

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



## Guía para la evaluación del impacto ambiental en construcciones

---

Trabajo de megaproyecto presentado por Pablo Miguel Marcet Pokorny, Ricardo Sepe Marcucci y Miguel José Garcés Marcilla del Valle para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Civil; y por Luis Salvador Dacaret Ferrús para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Química

*Guatemala*  
2010



UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



## Guía para la evaluación del impacto ambiental en construcciones

---

Trabajo de megaproyecto presentado por Pablo Miguel Marcet Pokorny, Ricardo Sepe Marcucci y Miguel José Garcés Marcilla del Valle para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Civil; y por Luis Salvador Dacaret Ferrús para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Química

Guatemala  
2010



# Guía para la evaluación del impacto ambiental en construcciones

---

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



## Guía para la evaluación del impacto ambiental en construcciones

---

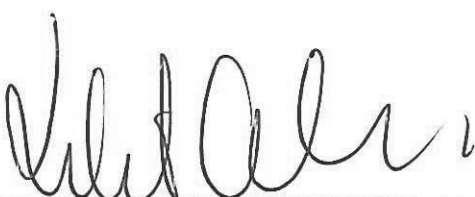
Trabajo de megaproyecto presentado por Pablo Miguel Marcet Pokorny, Ricardo Sepe Marcucci y Miguel José Garcés Marcilla del Valle para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Civil; y por Luis Salvador Dacaret Ferrús para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Química

*Guatemala*  
*2010*

Vo. Bo. :

(f)   
Arq. Juan Pablo Blas Arias  
Asesor

Tribunal Examinador:

(f)   
Ing. Roberto Gödo

(f)   
Ing. Luis Fernando Quiroa Velásquez

(f)   
Arq. Juan Pablo Blas Arias

Fecha de aprobación: Guatemala 22 de octubre de 2010

# CONTENIDO

Listado de ilustraciones .....	viii
Listado de tablas .....	xix
Resumen .....	xxiv
1. Introducción .....	1
2. Justificación .....	2
3. Objetivos .....	4
3.1. Objetivos generales.....	4
3.2. Objetivos específicos.....	4
4. Urbanismo sostenible .....	5
4.1. Fundamentos. ....	5
4.2. Localización .....	20
4.3. Accesibilidad.. ....	69
4.4. Espacios urbanos abiertos .....	82
4.5. Hidrología.....	91
5. Materiales <i>greenspec</i> .....	108
5.1. Concreto con ceniza volante.....	108
5.2. Pavimentos porosos.....	119
5.3. Techos verdes. ....	139
5.4. Ventanas. ....	157
6. Eficiencia energética .....	195
6.1. Iluminación artificial.....	195
6.2. Iluminación natural .....	211
6.3. Equipo con bajo consumo energético.....	221
6.4. Ventilación .....	221

6.5.	Generación de energía eléctrica .....	229
7.	Manejo de aguas residuales .....	243
7.1.	Caracterización de aguas residuales .....	244
7.2.	Composición típica del agua residual.....	246
7.3.	Aforo de caudal.....	249
7.4.	Análisis necesarios para la caracterización de aguas residuales .....	253
7.5.	Recolección de aguas residuales.....	259
7.6.	Tratamiento de aguas residuales.....	261
7.7.	Reutilización de aguas residuales .....	302
7.8.	Aprovechamiento de agua pluvial en edificaciones .....	304
7.9.	Evaluación de un tratamiento de aguas residuales .....	305
8.	Manejo de desechos sólidos .....	312
8.1.	Análisis de residuos en actividades domésticas .....	314
8.2.	Importancia de la separación de desechos.....	315
8.3.	Recolección y clasificación de residuos sólidos .....	321
8.4.	Cuantificación de residuos .....	324
8.5.	Rutas y horarios de descarga .....	326
8.6.	Clasificación final y almacenamiento de desechos.....	326
8.7.	Compostaje .....	328
8.8.	Evaluación del manejo de desechos sólidos .....	340
9.	Evaluación de proyecto.....	344
9.1.	Urbanismo sostenible .....	344
9.2.	Materiales <i>Greenspec</i> .....	375
9.3.	Eficiencia energética .....	396
9.4.	Tratamiento de aguas residuales.....	420
10.	Conclusiones .....	435
11.	Recomendaciones .....	438

12.	Bibliografía .....	440
13.	Apéndice .....	446
13.1.	Listado preliminar de puntos de evaluación.....	446
13.2.	Glosario .....	448

# LISTADO DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Componentes del medio físico natural.....	6
Ilustración 2. Esquema del ciclo hidrológico.....	7
Ilustración 3. Componentes del medio físico artificial. ....	10
Ilustración 4. Área rellenada en Black Bay, Boston. ....	12
Ilustración 5. Lago de Amatitlán, Guatemala. ....	17
Ilustración 6. Comportamiento del viento al chocar con un muro. ....	21
Ilustración 7. Comportamiento del viento a causa de la temperatura. ....	22
Ilustración 8. Efecto barranco en calles.....	23
Ilustración 9. Inversión de aire. ....	23
Ilustración 10. Disipación de inversión de aire.....	24
Ilustración 11. Inversión de aire en calles.....	24
Ilustración 12. Isla de calor debido a superficies impermeables.....	25
Ilustración 13. Mitigación de Isla de calor con vegetación.....	26
Ilustración 14. Imagen térmica de isla de calor en madrid.....	26
Ilustración 15. Parches y bordes; tamaño.....	28
Ilustración 16. Parches; cantidad.....	29
Ilustración 17. Parches; Estructura. ....	29
Ilustración 18. Parches; Estructura 2. ....	30
Ilustración 19. Corredores y conectividad; Serie de pasos.....	31
Ilustración 20. Corredores y conectividad; Grupo de pasos.....	31
Ilustración 21. Conectividad y circulación en sistemas.....	32
Ilustración 22. Urbanizaciones, intersecciones y exóticos en mosaicos.....	32
Ilustración 23. Corredor en Riachuelo, Buenos Aires, Argentina. ....	33
Ilustración 24. Ecología del paisaje en ríos. ....	36
Ilustración 25. Ancho de zona acuática intermedia y función ecológica en metros. ....	40
Ilustración 26. Patrón de distribución de baldosas de drenaje. ....	46
Ilustración 27. Sección de pozo seco. ....	46

Ilustración 28. Modificación de pendiente. ....	47
Ilustración 29. Pozo seco en corte de terreno. ....	47
Ilustración 30. Pozo seco con superficie impermeable. ....	48
Ilustración 31. Detalle de tubo perforado en pozo seco. ....	48
Ilustración 32. Protección contra zanjas para árboles. ....	49
Ilustración 33. Taza de infiltración. ....	50
Ilustración 34. Cercas de protección para árboles. ....	50
Ilustración 35. Protección contra equipamiento en árboles. ....	51
Ilustración 36. Orientación de cuadras en clima de montaña. ....	54
Ilustración 37. Árboles en clima de montaña. ....	54
Ilustración 38. Orientación de cuadras en clima templado. ....	55
Ilustración 39. Árboles en clima templado. ....	55
Ilustración 40. Lotes en clima tropical – húmedo. ....	56
Ilustración 41. Árboles en clima tropical húmedo. ....	57
Ilustración 42. Lotes en clima semidesértico. ....	58
Ilustración 43. Árboles en clima semidesértico. ....	58
Ilustración 44. Río de viento. ....	60
Ilustración 45. Sistema lineal. ....	61
Ilustración 46. Sistema concéntrico radial. ....	62
Ilustración 47. Sistema de "plato roto". ....	63
Ilustración 48. Sistema de malla. ....	64
Ilustración 49. Sistema cul-de-sac con agrupación cerrada. ....	65
Ilustración 50. Sistema cul-de-sac con agrupación dispersa. ....	65
Ilustración 51. Zonas del POT. ....	68
Ilustración 52. Sostenibilidad vs. densidad. ....	70
Ilustración 53. Distribuciones de casas en comunidades de alta densidad. ....	73
Ilustración 54. Distancias de recorrido según nivel de necesidad. ....	74
Ilustración 55. Recorridos según edad. ....	75
Ilustración 56. Ámbitos relacionados con la edad. ....	75

Ilustración 57. Consideraciones para peatones.....	77
Ilustración 58. Factor de desvío para peatones.....	78
Ilustración 59. Jerarquización de caminos peatonales. ....	78
Ilustración 60. Jerarquización de transporte por tipo de vía.....	81
Ilustración 61. Ejemplos de separación de calles y caminos peatonales.....	81
Ilustración 62. Reducción de velocidad con mobiliario urbano.....	86
Ilustración 63. Reducción de velocidad con estacionamientos. ....	87
Ilustración 64. Espacio ocupado por un peatón. ....	89
Ilustración 65. Dimensiones mínimas de aceras.....	89
Ilustración 66. Dimensiones mínimas de aceras 2.....	90
Ilustración 67. Pendientes máximas de aceras.....	90
Ilustración 68: Hidrología en paisajes intervenidos.....	92
Ilustración 69. Jardinera purificadora.....	99
Ilustración 70. Sección de jardinera purificadora. ....	100
Ilustración 71. Canales vegetados.....	101
Ilustración 72. Embalses en Canales Vegetados. ....	101
Ilustración 73. Calle con canal vegetado.....	102
Ilustración 74. Detalle de canal vegetado en calle. ....	102
Ilustración 75. Sección de canal vegetado en calle.....	103
Ilustración 76. Canal vegetado en estacionamiento.....	103
Ilustración 77. Franja de infiltración. ....	104
Ilustración 78. Jardín de retención. ....	106
Ilustración 79. Mitigación de laderas.....	107
Ilustración 80. Influencia del contenido de la ceniza volante en la consistencia. ....	111
Ilustración 81. Resistencia desarrollada en concretos con ceniza volante.....	115
Ilustración 82. Variación de la resistencia a compresión a los 28 días. ....	115
Ilustración 83. Relación entre resistencia a la flexión y compresión.....	116
Ilustración 84. Curvas de concreto sin ceniza volante y con ceniza volante (cv/cp=0.30). ....	117
Ilustración 85. Relación entre módulos de elasticidad y esfuerzo de compresión. ....	118

Ilustración 86. Módulo de elasticidad dinámico. ....	118
Ilustración 87. Módulo de elasticidad como función del contenido de ceniza volante. ....	119
Ilustración 88. Cubierta construidas en áreas de uso urbano contemporáneas. ....	120
Ilustración 89. Tipos de cubiertas construidas en tres tipos de uso de tierra. ....	122
Ilustración 90. Infiltración en la superficie de concreto poroso de un parqueo. ....	124
Ilustración 91. Efectos hidrológicos de pavimentos densos y pavimentos porosos. ....	124
Ilustración 92. Sección de pavimento con distinta superficie y base. ....	127
Ilustración 93. Pavimento con una sobrecapa porosa. ....	128
Ilustración 94. Embalses de pavimentos a nivel e inclinados. ....	129
Ilustración 95. Ejemplos de descarga lateral desde el fondo de una base embalse. ....	129
Ilustración 96. Pavimento de agregado suelto. ....	131
Ilustración 97. Superficie de césped utilizado para parqueo. ....	132
Ilustración 98. Geoceldas plásticas con relleno de grama. ....	133
Ilustración 99 .Adoquines de junta abierta próximos a plantaciones de árboles. ....	134
Ilustración 100. Grilla de concreto con celda abierta rodeando adoquines sólidos. ....	134
Ilustración 101. Pavimento con concreto poroso en área de parqueo. ....	135
Ilustración 102. Tramo para caminar hecho de mantillo de madera. ....	136
Ilustración 103. Techo verde en edificación. ....	141
Ilustración 104. Techo verde en edificio moderno en Chicago. ....	142
Ilustración 105. Techo verde residencial. ....	143
Ilustración 106. Estructura típica de un sistema de techo verde. ....	145
Ilustración 107. Modelo del techo ASLA. ....	146
Ilustración 108. Horizontes creados en techo ASLA. ....	146
Ilustración 109. Elevación frontal de techo ASLA. ....	147
Ilustración 110. Modelo de las olas de techo ALSA. ....	147
Ilustración 111. Olas de techo ASLA. ....	148
Ilustración 112. Modelo del enrejado de techo ASLA. ....	149
Ilustración 113. Enrejado del techo ASLA. ....	149
Ilustración 114. Techo ASLA como destino. ....	150

Ilustración 115. Varios enfoques del techo ASLA. ....	150
Ilustración 116. Techo con almacenamiento de agua con aislante flotante. ....	152
Ilustración 117. Techo con almacenamiento de agua estándar, total acceso peatonal. ....	152
Ilustración 118. Teja Bilbao tipo 39V de Inmaco. ....	153
Ilustración 119. Teja de concreto. ....	154
Ilustración 120. Baldosa asfáltica.....	154
Ilustración 121. Perfil y fijación recomendada para lámina termoacústica. ....	155
Ilustración 122. Estructura lámina termoacústica convencional.....	156
Ilustración 123. Instalación de lámina termoacústica. ....	157
Ilustración 124. Ventanería típica (a).....	158
Ilustración 125. Ventanería típica (b) .....	158
Ilustración 126. Ventanería típica (c).....	158
Ilustración 127. Ventanería típica (c).....	158
Ilustración 128. Ventanería típica (d) .....	159
Ilustración 129. Ventanería típica (e).....	159
Ilustración 130. Ventanas de acero metálico tubular de doble colgante .....	160
Ilustración 131. Tipos comunes de ventanería de acero inoxidable. ....	161
Ilustración 132. Tipos comunes de ventanería de acero inoxidable. ....	161
Ilustración 133. Tipos comunes de ventanería de acero inoxidable. ....	162
Ilustración 134. Tipos comunes de ventanería de acero inoxidable. ....	162
Ilustración 135. Detalle de ventanas típicas de acero inoxidable.....	164
Ilustración 136. Detalle de ventanas típicas de acero inoxidable.....	167
Ilustración 137. Detalle de ventanas típicas de acero inoxidable.....	167
Ilustración 138. Ventanas deslizantes de madera. ....	170
Ilustración 139. Ventanas de plástico típicos (a) .....	171
Ilustración 140. Ventanas de plástico típicos (b) .....	171
Ilustración 141. Ventanas de plástico típicos (b) .....	172
Ilustración 142. Ejemplo de ventanería PVC.....	173
Ilustración 143. Conductividad térmica. ....	173

Ilustración 144. Conductividad térmica. ....	174
Ilustración 145. Acabados y colores en PVC. ....	175
Ilustración 146. Imitación de madera en PVC. ....	175
Ilustración 147. Sección transversa: marco y hoja de ventana. ....	176
Ilustración 148. Análisis energético de un desarrollo urbano. ....	177
Ilustración 149. Aprovechamiento de la energía resultante en la fachada. ....	177
Ilustración 150. Temperatura interior en verano (derecha) e invierno (izquierda). ....	178
Ilustración 151. Bochum Century Hall. ....	179
Ilustración 152. Parámetros del grado de permeabilidad de energía. ....	180
Ilustración 153. King Fahad National Library in Raid, Saudi Arabia. ....	180
Ilustración 154. Modelo de simulación para calcular el influjo solar. ....	181
Ilustración 155. Torre de oficinas Kaiserhof en Hamburgo. ....	182
Ilustración 156. Fachada y conceptos de ventilación de la torre Kaiserhof (a). ....	182
Ilustración 157. Fachada y conceptos de ventilación de la torre Kaiserhof (b). ....	183
Ilustración 158. Postigos plegables en edificación. ....	184
Ilustración 159. Persianas horizontales simples. ....	184
Ilustración 160. Sección de la fachada. ....	185
Ilustración 161. Parámetros de transmisión de luz. ....	186
Ilustración 162. Distribución de la luminosidad determinada. ....	186
Ilustración 163. Impacto del aislamiento acústico para fachadas dobles. ....	187
Ilustración 164. Acercamiento de la fachada de Neudorf Gateen Duisburg. ....	188
Ilustración 165. Aluminio con deshidratante. ....	192
Ilustración 166. Sistema de corrediza y batiente. ....	192
Ilustración 167. Longitud de onda. ....	195
Ilustración 168. Longitud de onda y color. ....	196
Ilustración 169. Luz incidente, luz reflejada. ....	198
Ilustración 170. Eficiencias de bombillos. ....	204
Ilustración 171. Bombilla incandescente. ....	204
Ilustración 172. Tipos de bombillas incandescentes. ....	205

Ilustración 173. Bombillas fluorescentes con balastro .....	207
Ilustración 174. Bombillas fluorescentes sin balastro .....	207
Ilustración 175. Lámparas LED .....	209
Ilustración 176. Factor de iluminación natural .....	212
Ilustración 177. Elementos para mejorar la distribución de luz .....	214
Ilustración 178. Zonificación .....	215
Ilustración 179. Regla 2.5H .....	216
Ilustración 180. Regla 5/10 .....	216
Ilustración 181. Tipos de iluminación cenital .....	217
Ilustración 182. Estrategias de ventilación .....	222
Ilustración 183. Mapa de iso líneas de temperatura máxima .....	223
Ilustración 184. Velocidad y dirección de viento en Guatemala *unidades en km/H, .....	225
Ilustración 185. Capacidad de enfriamiento ventilación cruzada.....	226
Ilustración 186. Ventilación tradicional .....	227
Ilustración 187. Torres de ventilación solar.....	228
Ilustración 188. Capacidad de enfriamiento por extracción superior. ....	228
Ilustración 189. Forma de funcionamiento de una hidroeléctrica .....	230
Ilustración 190. Instalación de paneles solares en el techo. ....	232
Ilustración 191. Calentadores solares activos.....	234
Ilustración 192. Calentadores pasivos .....	235
Ilustración 193. Generadores con turbina horizontal.....	237
Ilustración 194. Componentes de una turbina horizontal.....	237
Ilustración 195. Turbina eólica.....	238
Ilustración 196. Biodigestores.....	239
Ilustración 197. Caída de agua para medición de caudal .....	250
Ilustración 198. Vertederos .....	250
Ilustración 199. Dispositivo de medición Parshall .....	251
Ilustración 200. Sección del Canal Parshall.....	251
Ilustración 201. Medidor de caudal Parshall fabricado de concreto .....	252

Ilustración 202. Palmer Bowlus .....	252
Ilustración 203. Palmer Bowlus Calibrado .....	253
Ilustración 204. Recolección y transporte de aguas residuales .....	260
Ilustración 205. Pre-tratamiento para aguas residuales domésticas .....	266
Ilustración 206. Reja manual.....	267
Ilustración 207. Cantidad de residuos según abertura de barras .....	267
Ilustración 208. Tamiz .....	268
Ilustración 209. Homogenizador.....	269
Ilustración 210. Trampa de grasa.....	270
Ilustración 211. Tratamiento primario.....	270
Ilustración 212. Sedimentador.....	271
Ilustración 213. Sedimentador primario .....	272
Ilustración 214. Tratamiento de lodos activados.....	275
Ilustración 215. Etapas de un ciclo de operación de un reactor discontinuo secuencial .....	276
Ilustración 216. Filtro percolador .....	277
Ilustración 217 Piedras como filtro para percoladores.....	277
Ilustración 218. Esquema de proceso de tratamiento con biodiscos .....	278
Ilustración 219. Tanque de manto de fango de flujo ascendente con retorno de lodos .....	279
Ilustración 220. Reactor anaerobio de flujo ascendente.....	279
Ilustración 221. Tanque séptico de dos cámaras.....	280
Ilustración 222. Partes señalizadas de un tanque séptico para su diseño.....	283
Ilustración 223. Vista de planta de un tanque imhoff .....	284
Ilustración 224. Vista de sección transversal de un tanque imhoff.....	284
Ilustración 225. Estanque aerobio .....	288
Ilustración 226. Clorador de hipoclorito de sodio .....	290
Ilustración 227. Tratamiento de lodos.....	296
Ilustración 228. Proceso de reutilización de agua residual en edificaciones.....	304
Ilustración 229. Evaluación del tratamiento de aguas residuales. ....	305
Ilustración 230. Gestión de manejo de desechos sólidos.....	313

Ilustración 231. Clasificación de plásticos.....	315
Ilustración 232. Colectores de desechos sólidos clasificados.....	323
Ilustración 233. Compostaje industrial y doméstico .....	329
Ilustración 234. Formas de realizar compostaje .....	329
Ilustración 235. Etapas del compostaje .....	332
Ilustración 236. Compostaje en hileras.....	335
Ilustración 237. Compostaje en pila estática aireada .....	336
Ilustración 238. Compostaje en reactor.....	337
Ilustración 239. Evaluación del manejo de desechos sólidos .....	341
Ilustración 240. Nomenclatura de colores para la clasificación de desechos .....	342
Ilustración 241. Pendiente del terreno.....	348
Ilustración 242. Pendientes parciales del terreno.....	349
Ilustración 243. Mapa de ubicación de necesidades de primer orden.....	356
Ilustración 244. Mapa de necesidades de segundo orden.....	357
Ilustración 245. Ubicación de elementos en el parque.....	367
Ilustración 246. Bambú existente.....	368
Ilustración 247. Jardinización prevista.....	369
Ilustración 248. Bambú conservado/trasplantado.....	370
Ilustración 249. Resistencia requerida del proyecto a los 28 días.....	377
Ilustración 250. Variación de la resistencia a compresión a los 28 días. (Repetida) .....	378
Ilustración 251. Planta de conjunto del proyecto sujeto a evaluación.....	380
Ilustración 252. Área 2 de parqueos de visita.....	381
Ilustración 253. Área 1 de parqueo de visitas.....	382
Ilustración 254. Área 3 de parqueos de vista.....	382
Ilustración 255. Grilla de concreto con celda abierta rodeando adoquines. (Repetida).....	384
Ilustración 256. Área de calle residencial del proyecto.....	385
Ilustración 257. Plaza de la familia.....	386
Ilustración 258. Plaza de la ciudad.....	386
Ilustración 259. Plaza transición del conocimiento.....	387

Ilustración 260. Plaza de las letras.....	387
Ilustración 261. Techos verdes en áreas de casas. ....	389
Ilustración 262. Estructura típica de un sistema de techo verde. (Repetida).....	390
Ilustración 263. Sección de casa 3 Ibañez.....	390
Ilustración 264. Techo con almacenamiento de agua con aislante. (Repetida) .....	391
Ilustración 265. Sección de casa 4 Isarri. ....	391
Ilustración 266. Planta torres Balzac y Zola. ....	392
Ilustración 267. Sección de techo torres Balzac y Loza.....	392
Ilustración 268. Planta de techos de las Torres Flaubert y Valera.....	393
Ilustración 269. Sección de techo de Torre Flaubert. ....	393
Ilustración 270. Sección de techo de Torre Valera. ....	394
Ilustración 271. Sección torre Balzac y Zola.....	397
Ilustración 272. Planta del apto 2B.....	398
Ilustración 273 Elevación posterior del apto 2B .....	399
Ilustración 274. Elevación lateral del apto 2B.....	399
Ilustración 275. Sección del apto 2B.....	399
Ilustración 276. Iluminación principal.....	400
Ilustración 277. Iluminación secundario .....	400
Ilustración 278. Lámpara seleccionada para sistema de iluminación principal.....	402
Ilustración 279. Especificaciones de lámpara para sistema principal.....	403
Ilustración 280. Bombillo seleccionado .....	404
Ilustración 281. Eficiencia de bombilla para sistema principal.....	404
Ilustración 282. Lámpara seleccionada para sistema de iluminación secundario.....	405
Ilustración 283. Especificaciones de lámpara para sistema secundario.....	406
Ilustración 284. Bombillo seleccionado sistema de iluminación complementario .....	406
Ilustración 285. Eficiencia de bombilla para sistema de iluminación secundario .....	407
Ilustración 286. Propuesta de iluminación principal para cocina .....	410
Ilustración 287. Regla 2.5h.....	411
Ilustración 288. Regla 5/10 .....	412

Ilustración 289. Ventanas en área de servicio .....	413
Ilustración 290. Ventanas en SS y WC.....	414
Ilustración 291. Rango de temperaturas para la ciudad de Guatemala. ....	417
Ilustración 292. Viento predominante en la ciudad de Guatemala.....	418
Ilustración 293. Dirección del viento sobre el apartamento .....	418
Ilustración 294 Trampas de grasa en cocinas .....	428
Ilustración 295. Digestor de las casas Valenti .....	428
Ilustración 296. Dispositivo de medición de caudal calibrado.....	429
Ilustración 297. Detalle de separación de aguas negras y aguas pluviales (Casa Brañas).....	430
Ilustración 298 Tratamiento de aguas propuesto.....	431
Ilustración 299. Cisterna de recolección de aguas pluviales del sótano de los edificios. ....	433
Ilustración 300. Esquema de sistema de aprovechamiento de agua pluvial para una casa...	434

# LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Consumo de agua por rubro. ....	8
Tabla 2. Tipo de vegetación y función ecológica. ....	39
Tabla 3. Pendientes y uso de suelo. ....	41
Tabla 4. Vegetación y uso de suelo. ....	43
Tabla 5. Valorización del clima. ....	51
Tabla 6. Ventajas y desventajas del sistema lineal. ....	60
Tabla 7. Ventajas y desventajas del sistema concéntrico lineal. ....	61
Tabla 8. Ventajas y desventajas del sistema "plato roto". ....	62
Tabla 9. Ventajas y desventajas del sistema de malla. ....	63
Tabla 10. Ventajas y desventajas del sistema cul-de-sac. ....	64
Tabla 11. Ventajas, desventajas y aprovechamiento de densidades. ....	71
Tabla 12. Distancias máximas recomendables. ....	76
Tabla 13. Vegetación nativa para el altiplano de Guatemala. ....	84
Tabla 14. Velocidades por función de carretera. ....	86
Tabla 15. Técnicas favorables en calles. ....	88
Tabla 16. Comparación de espacio/plaza de estacionamientos. ....	91
Tabla 17: Infiltración y percolación. ....	94
Tabla 18. Factores que afectan la velocidad de escorrentía. ....	96
Tabla 19. Factores de suelo para jardines de retención. ....	106
Tabla 20. Índice de infiltración. ....	137
Tabla 21. Coeficiente de escorrentía. ....	139
Tabla 22. Características de los diferentes tipos de techos verdes. ....	144
Tabla 23. Características técnicas de lámina termoacústica. ....	156
Tabla 24. Nivel sonoro. ....	190
Tabla 25. Consumos energéticos de materiales. ....	193
Tabla 26. Coeficiente de conductividad térmica. ....	193
Tabla 27. Estimación de consumo de energía y emisiones CO <sub>2</sub> . ....	193

Tabla 28. Consumo eléctrico anual calefacción/climatización. ....	194
Tabla 29. Temperatura del color.....	197
Tabla 30. Valores recomendados de reflectancia.....	199
Tabla 31. Valores de reflectancia de materiales.....	199
Tabla 32. Valores de reflectancia de colores .....	200
Tabla 33. Valores predeterminados de pérdidas totales.....	201
Tabla 34. Niveles de iluminación deseados .....	202
Tabla 35. Comparación de bombillos. ....	210
Tabla 36. Factores de iluminación natural recomendados.....	213
Tabla 37. Efectividad de aperturas .....	218
Tabla 38. Valores de SAP.....	220
Tabla 39. Clasificación de turbinas.....	236
Tabla 40. Comparación de turbinas .....	238
Tabla 41. Tiempo de retención .....	240
Tabla 42. Producción de estiércol.....	241
Tabla 43. Número mágico.....	241
Tabla 44. Consumo de Biogás .....	242
Tabla 45. Componentes del agua residual.....	244
Tabla 46. Factores de descarga unitarios .....	247
Tabla 47. Composición de agua residual sin tratamiento.....	247
Tabla 48. Valores representativos de contaminantes de aguas residuales.....	248
Tabla 49. Muestreo .....	254
Tabla 50. Periodicidad de toma de muestras de lodos.....	255
Tabla 51. Límites máximos permisibles de descarga aguas residuales. ....	255
Tabla 52. Límites máximos permisibles para descargas en esteros .....	256
Tabla 53. Límites máximos permisibles de descarga a la Cuenca de Lago de Atitlán. ....	256
Tabla 54. Límites máximos permisibles de descarga urbanizaciones.....	257
Tabla 55. Límites máximos permisibles de descarga al alcantarillado público.....	258
Tabla 56. Caudales de agua residual típicos .....	261

Tabla 57. Dimensionamiento de un sedimentador primario.....	272
Tabla 58. Contenido típico de metales en el lodo residual.....	293
Tabla 59. Comparación entre los niveles de nutrientes. ....	294
Tabla 60. Parámetros y límites máximos permisibles para lodos.....	295
Tabla 61. Criterios del Estado de California para la aplicación de agua residual recuperada	302
Tabla 62. Peso específico y contenido de humedad de los residuos sólidos .....	324
Tabla 63. Relación carbono/nitrógeno de compuestos orgánicos .....	333
Tabla 64. Puntos posibles de ubicación del terreno. ....	345
Tabla 65. Puntuación ubicación inteligente.....	345
Tabla 66. Rendimiento ubicación inteligente. ....	346
Tabla 67. Puntuación reutilización y adaptación de edificación existente. ....	346
Tabla 68. Puntuación conservación de áreas especiales. ....	347
Tabla 69. Puntuación uso de suelos y pendientes.....	347
Tabla 70. Rendimiento en uso de suelos y pendientes. ....	350
Tabla 71. Puntuación uso de suelo y vegetación. ....	351
Tabla 72. Rendimiento uso de suelo y vegetación. ....	351
Tabla 73. Puntuación conservación de árboles. ....	352
Tabla 74. Desglose de árboles existentes. ....	352
Tabla 75. Rendimiento conservación de árboles existentes.....	353
Tabla 76. Puntuación protección de árboles. ....	354
Tabla 77. Rendimiento protección de árboles.....	355
Tabla 78. Puntuación necesidades básicas. ....	355
Tabla 79. Puntuación necesidades básicas. ....	356
Tabla 80. Rendimiento necesidades primer orden.....	358
Tabla 81. Rendimiento necesidades segundo orden. ....	358
Tabla 82. Puntos posibles de estructura urbana. ....	358
Tabla 83. Puntuación adecuación al clima.....	359
Tabla 84. Rendimiento adecuación al clima. ....	360
Tabla 85. Puntuación densidad.....	360

Tabla 86. Desarrollo de densidades.....	361
Tabla 87. Rendimiento densidad.....	361
Tabla 88. Puntuación ordenamiento de calles.....	361
Tabla 89. Puntuación seguridad al peatón.....	362
Tabla 90. Rendimiento seguridad para el peatón.....	362
Tabla 91. Puntos posibles de espacios abiertos urbanos.....	362
Tabla 92. Puntuación aceras.....	363
Tabla 93. Rendimiento aceras.....	364
Tabla 94. Puntuación isla de calor.....	364
Tabla 95. Rendimiento reducción isla de calor.....	365
Tabla 96. Puntuación estacionamiento.....	365
Tabla 97. Rendimiento estacionamientos.....	366
Tabla 98. Puntuación parques completos.....	366
Tabla 99. Rendimiento parques completos.....	367
Tabla 100. Rendimiento recuperación de ecosistemas.....	369
Tabla 101. Puntuación vegetación local.....	370
Tabla 102. Rendimiento vegetación local.....	371
Tabla 103. Puntos posibles en manejo de escorrentía.....	371
Tabla 104. Puntuación permeabilidad de suelo.....	371
Tabla 105. Rendimiento permeabilidad del suelo.....	372
Tabla 106. Puntuación Permeabilidad del Suelo.....	372
Tabla 107. Puntuación sistema de manejo de escorrentía.....	373
Tabla 108. Rendimiento sistema de manejo de escorrentía.....	373
Tabla 109. Características de los diferentes tipos de techos verdes. (Repetida).....	388
Tabla 110. Datos generales del proyecto.....	396
Tabla 111. Datos generales del apartamento.....	397
Tabla 112. Reflectancia de materiales.....	401
Tabla 113. Coeficientes de utilización lámparas de sistema de iluminación principal.....	402
Tabla 114. Coeficientes de utilización lámparas de sistema de iluminación secundario.....	405

Tabla 115. Sistema de iluminación principal. ....	410
Tabla 116. Iluminación secundaria .....	411
Tabla 117. Equipos evaluados.....	415
Tabla 118. Valores de temperaturas máximas y mínimas, de bulbo húmedo y seco .....	416
Tabla 119. Consumo de energía eléctrica aproximada con calentador de paso .....	419
Tabla 120. Consumo de energía eléctrica aproximada con calentador solar .....	420
Tabla 121. Datos generales del proyecto a evaluar .....	421
Tabla 122. Caudales medios y picos a descargar por el proyecto residencial .....	422
Tabla 123. Concentración de contaminantes esperada de descarga .....	422
Tabla 124 Cargas orgánicas calculadas .....	423
Tabla 125 Límites máximos permisibles de descarga al alcantarillado público.....	425
Tabla 126 Concentraciones esperadas y máxima permitida. ....	426
Tabla 127 Remoción mínima para el cumplimiento de la Etapa 4 .....	426
Tabla 128. Cargas de DBO y porcentaje de remoción. ....	431
Tabla 129. Cargas de sólidos en suspensión y porcentaje de remoción. ....	431

# RESUMEN

El megaproyecto *Guía para la Evaluación Ambiental de Construcciones* tiene el objetivo de guiar la forma de evaluar proyectos de edificaciones que quieran generar un impacto ambiental menor en su construcción y en su tiempo de vida. El proyecto se dividió en cuatro áreas: urbanismo sostenible, materiales *greenspec*, eficiencia energética y manejo de desechos.

Se pretende que se hagan evaluaciones en construcciones sobre los factores más importantes de los cuatro temas antes mencionados, para determinar su efecto en el ambiente. El capítulo de urbanismo sostenible se enfoca en los problemas de la destrucción del ambiente debido a la explotación del desarrollo urbano. Describe los puntos más importantes para lograr la sostenibilidad de un desarrollo, pretendiendo dar teorías, metodologías, técnicas y recomendaciones para que un desarrollador, diseñador o constructor pueda implementarlas a sus proyectos.

El capítulo de materiales *greenspec* describe los materiales que reducen el impacto ambiental en edificaciones, entre los más importantes se pueden mencionar ceniza volante, pavimentos porosos, techos plantados, ventanas, entre otros. Se describen los diferentes materiales y explica la forma de integrarlos en el desarrollo del proyecto para lograr una reducción considerable en el impacto ambiental de construcción y uso del inmueble. El capítulo de consumo de la energía eléctrica se divide en los principios de cómo mejorar y evaluar la eficiencia energética y la segunda parte presenta una introducción a la generación de energía renovable para mejorar la eficiencia energética. El manejo de desechos se divide en el tratamiento de las aguas residuales y el manejo de desechos sólidos. En esta parte se describen los puntos más importantes para poder controlar, manejar y tratar los desechos, con el objetivo de contaminar lo menos posible.

Para verificar todos los puntos mencionados con anterioridad, se evaluó un proyecto residencial que se construirá en la ciudad de Guatemala. Verificando el entorno y las características de construcción, el manejo energético y el manejo de desechos. Se realizaron

evaluaciones y recomendaciones de cada área con el objetivo que el proyecto las implemente y disminuya su impacto negativo en el ambiente.

# 1. INTRODUCCIÓN

La *Guía para la Evaluación del Impacto Ambiental de Construcciones (GEIAC)* surge como una respuesta ante el deterioro ambiental. La misma explora la problemática medioambiental de 4 áreas principales: urbanismo sostenible, materiales *greenspec*, eficiencia energética y manejo de desechos.

La guía da teorías, metodologías, técnicas y recomendaciones para que un desarrollador, diseñador o constructor pueda reducir el impacto ambiental ocasionado por el desarrollo de construcciones. La misma es una guía con amplia aplicación en Guatemala, fue desarrollada pensando en tres principios básicos, la ruta del menor impacto posible, la comodidad del usuario y la aplicación en Guatemala.

El megaproyecto consiste en el desarrollo de la teoría necesaria para la evaluación del impacto ambiental, la creación de un instrumento de evaluación que relacione las distintas áreas, la validación del mismo y la creación de una guía práctica para reducir el impacto ambiental de construcciones.

En esta primera etapa del megaproyecto se desarrollan los puntos sobre los cuales se debe basar la evaluación del impacto ambiental de una construcción, los mismos deberán de ser abordados en la segunda etapa para lograr determinar y ponderar la relación existente entre el valor ecológico y cada uno de los puntos, en una tercera etapa se debe de investigar la relación costo/beneficio económico de cada uno de estos aspectos y elaborar la guía práctica.

En esta primera etapa se realizó una amplia investigación acerca de los puntos que afectan el impacto ambiental, en las cuatro áreas antes mencionadas. Esto con el propósito de centrar las bases para poder la realización de la guía. En esta etapa se pretende que el lector aprenda todos los factores que son importantes para la disminución del impacto ambiental en el ambiente. Con el objetivo de comprobar los puntos descritos se evaluó el proyecto residencial Vía Siete que se construirá en la Ciudad de Guatemala, obteniendo conclusiones del impacto ambiental del proyecto y recomendando las implementaciones de mejora.

## 2.JUSTIFICACIÓN

El objetivo principal de la primera parte del Megaproyecto *Guía para la evaluación del impacto ambiental deconstrucciones (GEIAC)* fue realizar un documento que describa todos los aspectos necesarios que hay que implementar en las áreas de desarrollo urbano, materiales *geenspec*, eficiencia energética y manejo de desechos para disminuir el impacto ambiental de las construcciones sobre el medio ambiente. El documento se realizó con estudiantes de las carreras de Ingeniería Civil e Ingeniería Química para apoyarse mutuamente, realizando un trabajo multidisciplinario y así abarcar las áreas mencionadas con anterioridad.

Guatemala es un país rico en ecosistemas, y cuidarlos debería ser el principio básico de todo desarrollo. Por lo tanto, las urbanizaciones que se hagan deben ser eficientes en cuanto al consumo de energía, cómodos, flexible en el uso y pensados para tener una larga vida útil y poco impacto ambiental. Es indispensable que las edificaciones utilicen herramientas para la creación de desarrollos, con el afán de lograr la creación de urbanizaciones saludables.

Se puede lograr una reducción del impacto ambiental si se tiene conocimiento de la existencia y el beneficio de los diferentes materiales que presentan un comportamiento más amigable con el medio ambiente que el resto de materiales comúnmente utilizados en la construcción.

No se puede continuar gastando la misma cantidad de energía y generándola de las mismas formas. A partir de este punto se plantean dos alternativas para cambiar la situación. La primera es la optimización del consumo de energía eléctrica y la segunda generación de energía. Se busca la disminución del consumo energético y realizar construcciones energéticamente eficientes.

En la actualidad no se le da la importancia al manejo ni al tratamiento de lo que las personas consideran basura y de las aguas que descargan en las actividades cotidianas, esto genera grandes cantidades de contaminación en el país. Por otro lado no se le da el seguimiento que estos tratamientos deben de tener para que persistan durante el tiempo de vida del proyecto. Se pretende guiar a los encargados de proyectos a tener un manejo de aguas residuales y manejo de desechos sólidos para poder ser controlados y tratados desde su generación hasta su descarga.

Se espera que la continuación de este megaproyecto se convierta en una certificación avalada, utilizando los puntos de evaluación mencionados y enfocándose en las áreas de desarrollo urbano, materiales *greenspec*, eficiencia energética y manejo de desechos, para que los proyectos que la apliquen se puedan catalogar como verdes en los aspectos evaluados. El aporte que esta guía hará a Guatemala es tener una herramienta para que futuros proyectos de construcción puedan realizar sus obras, construyendo edificaciones, residenciales y pequeñas comunidades de bajo impacto ambiental, haciendo que se certifiquen como amigables con el ambiente y su aporte a la contaminación sean menor a la descargada actualmente.

# 3.OBJETIVOS

## 3.1. Objetivos generales

1. Descripción de los principios básicos para la elaboración de una guía para la evaluación del impacto ambiental de construcciones.
2. Creación de los puntos a evaluar para la evaluación del impacto ambiental de construcciones.
3. Consultar la guía de evaluación propuesta para evaluar y realizar recomendaciones a un proyecto residencial.

## 3.2. Objetivos específicos

1. Describir las bases para crear un desarrollo sostenible o modificar un desarrollo existente de manera que éste sea sostenible.
2. Crear una propuesta de evaluación de manera que se pueda obtener un parámetro cuantitativo de la sostenibilidad de un proyecto.
3. Describir de los beneficios de la construcción con materiales amigables con el medio ambiente.
4. Orientar al lector para establecer criterios de selección de ciertos materiales amigables con el medio ambiente.
5. Describir las bases para el desarrollo y diseño de edificios energéticamente eficientes.
6. Crear un instrumento para medir la eficiencia energética de un edificio durante su vida útil.
7. Describir las bases para explicar el adecuado tratamiento de aguas residuales y manejo de desechos sólidos.
8. Describir los puntos más importantes para evaluar el manejo de las aguas residuales y desechos sólidos.

## 4. URBANISMO SOSTENIBLE

### 4.1. Fundamentos.

4.1.1. Prefacio. Para la adecuada planeación de un asentamiento urbano hay que conocer, comprender, respetar y saber utilizar los elementos previamente existentes a la intervención. Hay que entender que el sitio que será intervenido tiene un balance entre los elementos que lo conforman y, de ser intervenido sin sensatez, se dañará el sitio, teniendo consecuencias económicas y ecológicas que podrían ser graves.

Por lo tanto, se debe recordar que:

- Todos los sitios y elementos dentro de estos están interconectados y que una acción sobre un elemento origina cambios en el resto pudiendo causar daños irreversibles al sitio.
- Que el medio natural está compuesto por ecosistemas que tienen una íntima relación con los elementos físicos del sitio.
- Que estos ecosistemas tienen una limitada capacidad de adaptabilidad hacia elementos ajenos, modificaciones a sus procesos naturales y utilización de sus recursos.

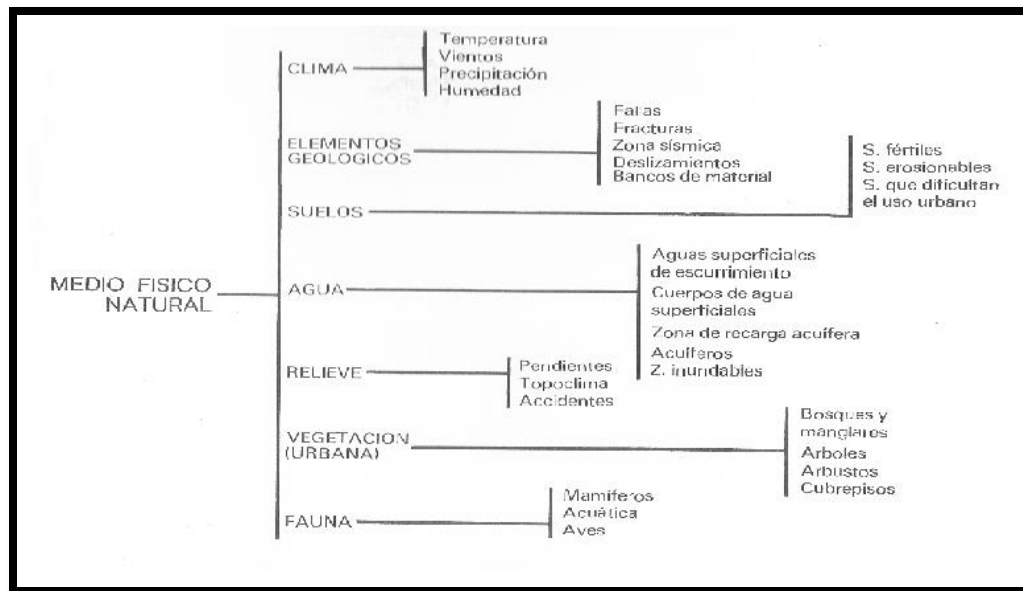
### 4.1.2. Medio físico natural

4.1.2.1. Componentes. El medio físico natural son todos aquellos componentes que no han sido creados por el hombre. Hay que reconocer que cada uno de ellos está íntimamente ligado a todo el resto de componentes, por lo cual la modificación a estos debe tomar en consideración el efecto en todo el resto. (Mario Schjetanan, 1984)

Componen el medio físico natural los siguientes componentes:

4.1.2.1.1. *Agua.* El agua es el elemento más importante tanto para los humanos como para el medio físico natural. Los humanos la utilizamos para consumo, riego, higiene, transporte, energía, diversión etc. y el agua a su vez controla el clima, temperaturas, la fertilidad de los suelos y sustenta ecosistemas enteros. Por eso mismo, cuidar este recurso debe ser imperativo en todo asentamiento humano. El cuidado del agua se puede resumir a mantener el funcionamiento original del ciclo hidrológico.

Ilustración 1. Componentes del medio físico natural.



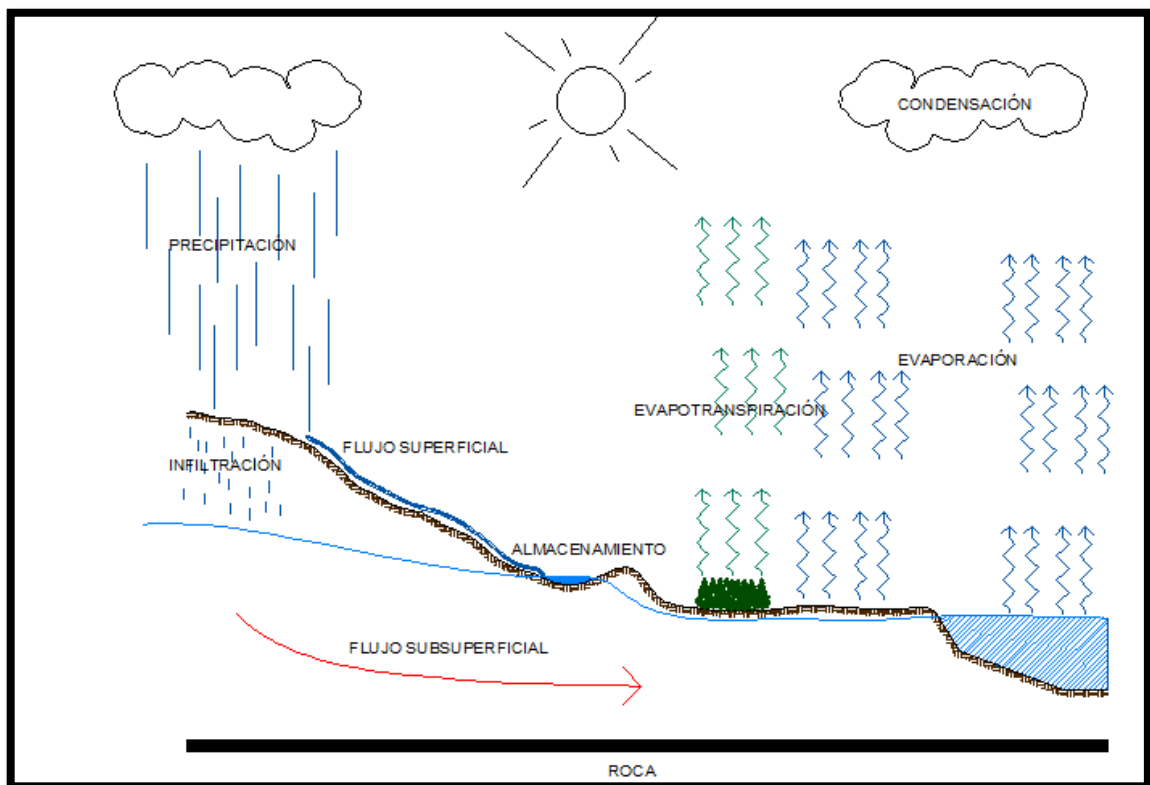
(Mario Schjetanan, 1984)

La intervención del *ciclo hidrológico* conlleva problemas tanto ambientales como económicos. Como se muestra en la figura el ciclo hidrológico está compuesto por los siguientes elementos: (Sáenz, 1999)

- Evaporación del agua
- Transpiración
- Evapotranspiración
- Condensación
- Precipitación
- Intercepción
- Almacenamiento por depresiones

- Escorrentía
- Flujo subsuperficial
- Infiltración
- Percolación
- Agua capilar
- Derretimiento
- Filtración

Ilustración 2. Esquema del ciclo hidrológico.



El mal manejo de estos elementos tiene consecuencias muy graves en cuanto a:

- **Clima:** cambio en las temperaturas, cambio en los niveles de precipitación y humedad.
- **Elementos geológicos:** deslizamientos.
- **Suelos:** erosión y lavado de nutrientes.
- **Agua:** desaparición de acuíferos, contaminación en cuerpos de agua, disminución de cuerpos de agua, inundaciones, sequías
- **Relieve:** cambios en el topoclíma.

- **Vegetación:** muerte de ecosistemas, desertificación.
- **Fauna:** muerte de poblaciones enteras de fauna, pestes.

Estos cambios a su vez, afectan a la vida humana y obras civiles en muchos aspectos, entre los cuales se encuentran:

- Abastecimiento de agua para uso doméstico, agrónomo e industrial
- Daños y necesidad de más obras hidráulicas
- Daños y ampliación de redes de drenajes
- Daños a infraestructura del país
- Aumento de polución
- Reducción y cambios en los patrones de navegación
- Baja de producción de energía hidroeléctrica
- Destrucción de áreas de recreo
- Daños irreversibles a la pesca, sector agrónomo y otros.

*Tabla 1. Consumo de agua por rubro.*

Casas habitación	71%
Industria	12%
Comercio	15%
Sector servicios	2%

Todos estos cambios afectan directamente a la economía del país, golpeando la producción, infraestructura e inmobiliario, así como gastos en más infraestructura y reparaciones. Pero sobre todo, es esencial cuidar el ciclo hidrológico ya que atenta directamente contra la vida de las personas.

Es importante recordar que esto no es un caso teórico o algo que sucederá a largo plazo, los efectos en el cambio del ciclo hidrológico se están reflejando desde hace unos años en Guatemala. Algunos ejemplos son, los lagos de Amatitlán y Atitlan, las sequías de los años 2001, 2007 y 2009 que llego a cobrar 25 vidas de niños y la pérdida del 90% de las cosechas de 120000 familias. Inundaciones en los años 2004, 2008 y 2009 en las áreas tanto urbanas como rurales, contaminación de arsénico en los mantos freáticos en Amatitlán y reducción de estos en la Ciudad de Guatemala, entre muchos otros. En el año 2010, la tormenta tropical

Agatha causó en Guatemala daños en infraestructura, agricultura y pérdidas humanas. Los costos aproximados de la infraestructura fueron de Q2.8 millardos, 172 muertos y 101 desaparecidos y un fuerte impacto en la agricultura y producto interno bruto del país. Este impacto pudo haber sido reducido si se hubiera frenado la deforestación y mal manejo de las cuencas del país. (AMSA, 1998) (Alvarez, 2010), (Reyna, 1998)

**4.1.3. Medio físico artificial.** El medio físico artificial es exactamente el contrario al natural, es decir, todos aquellos componentes de un sitio que han sido creados por el humano. Todos estos elementos han sido agregados modificando la estructura natural y por ende están interfiriendo con ecosistemas y relaciones naturales. Por lo tanto, se debe tener cuidado de cómo y dónde se construyen estos elementos para no sobrepasar el nivel de adaptabilidad del medio.

Los elementos artificiales se pueden dividir en dos grandes áreas construidas en respuesta a las actividades de la población: redes, comunicación y espacios adaptados. (Mario Schjetanan, 1984, 11-25)

- **Redes:** se refieren a todas las instalaciones que abastecen a las actividades humanas, es decir, luz, agua, drenajes, etc.
- **Comunicación:** medios de la población para desplazarse de un lugar a otro.
- **Espacios adaptados:** Espacios donde se realizan las actividades humanas, abiertos o cerrados.

Un concepto básico que se ha de comprender para la planeación de urbanizaciones sostenibles es la *accesibilidad*, la capacidad de aproximación entre los elementos artificiales. Teniendo una accesibilidad eficiente se pueden reducir la dependencia del automóvil, los recorridos de los mismos, las áreas impermeables creadas por las superficies de rodadura y se puede evitar división de ecosistemas y poblaciones, etc.

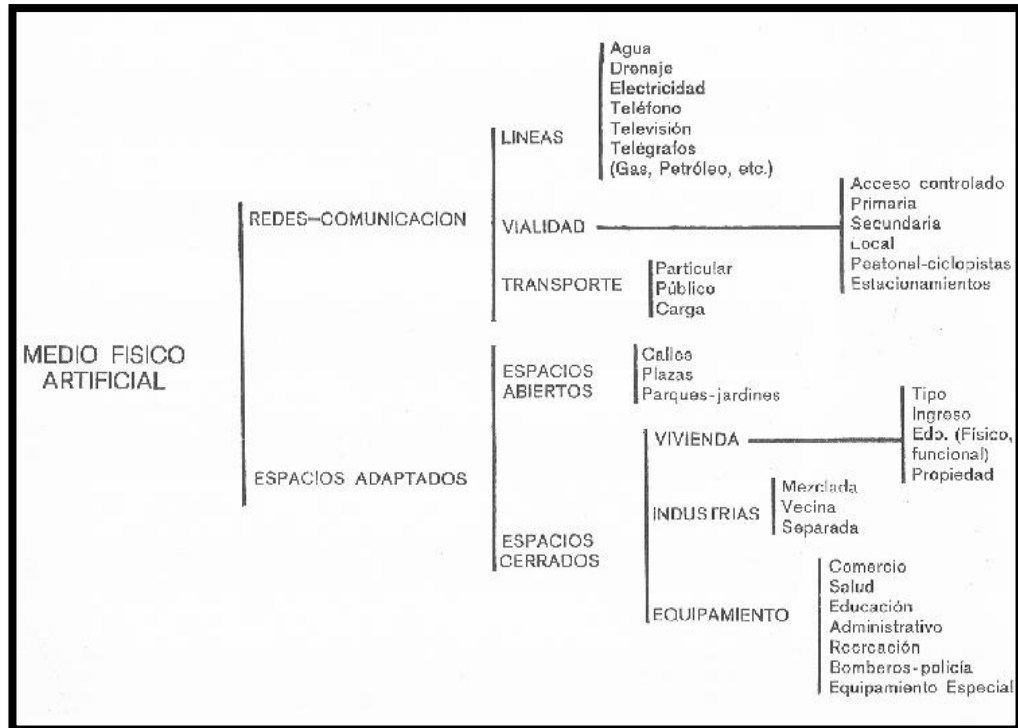
Los componentes del medio físico artificial son los siguientes:

Para medir los fenómenos y efectos que tienen los medios artificiales en el medio ambiente, se dividirán en tres escalas:

- Sitio: un lugar en específico y sus vecindades inmediatas.
- Barrio o Urbanización: un conjunto de casas, calles y plazas sin gobierno autónomo.

- Ciudad: la totalidad de todos los componentes a escala macro y las relaciones dentro de la ciudad así como fuera de la ciudad. (Mario Schjetanan, 1984)

Ilustración 3. Componentes del medio físico artificial.



(Mario Schjetanan, 1984)

Se entiende que la construcción de cualquier medio físico artificial en un sitio afectará al medio natural y por ende causará cambios en el mismo. Lo que se ha de buscar entonces es el *ruta del menor daño posible* y así limitar el efecto que se va a tener sobre el ambiente. De igual manera, se puede utilizar el medio físico natural para tener beneficios económicos y al mismo tiempo dañar muy poco el ambiente. (Friedman, 2007)

**4.1.4. Interacción.** Los planeadores y constructores comúnmente no se detienen a observar el ambiente y los ecosistemas en un sitio para poder diseñar y llevar a cabo la construcción con el fin de lograr el menor daño posible. Por lo general, destruyen ecosistemas o los perforan pensando sólo en las ganancias inmediatas sin pensar en las repercusiones que esto tiene a largo plazo.

También es común ver un ecosistema completamente destruido por la construcción, el cual es “reconstruido” artificialmente posterior a la construcción. Aunque no es tan malo como no hacer nada, un ecosistema tarda muchísimos años en crearse y lo mejor es

intervenir lo menos posible y tomar medidas tanto durante la planeación (evitando zonas especiales) y durante la construcción (cortando y depositando sin causar daño a estas áreas).

La deforestación por ejemplo, es un daño muy común tanto en ciudades como fuera de estas. Por lo tanto se crea un cambio en las características del clima, aumentando la cantidad de evaporación y secando el suelo. Esto a su vez altera el ciclo hidrológico lo cual disminuye los acuíferos en un área mayor de la que se deforestó. Estos cambios arruinan el suelo, causan erosión, sequías, mata la vegetación y crea climas insoportables.

Esto luego se traduce a tener que tomar acciones como profundizar los pozos, la gente gasta más en la climatización de casas, aumento de gastos en riego, se arruinan cultivos, aumentan las pestes, etc.

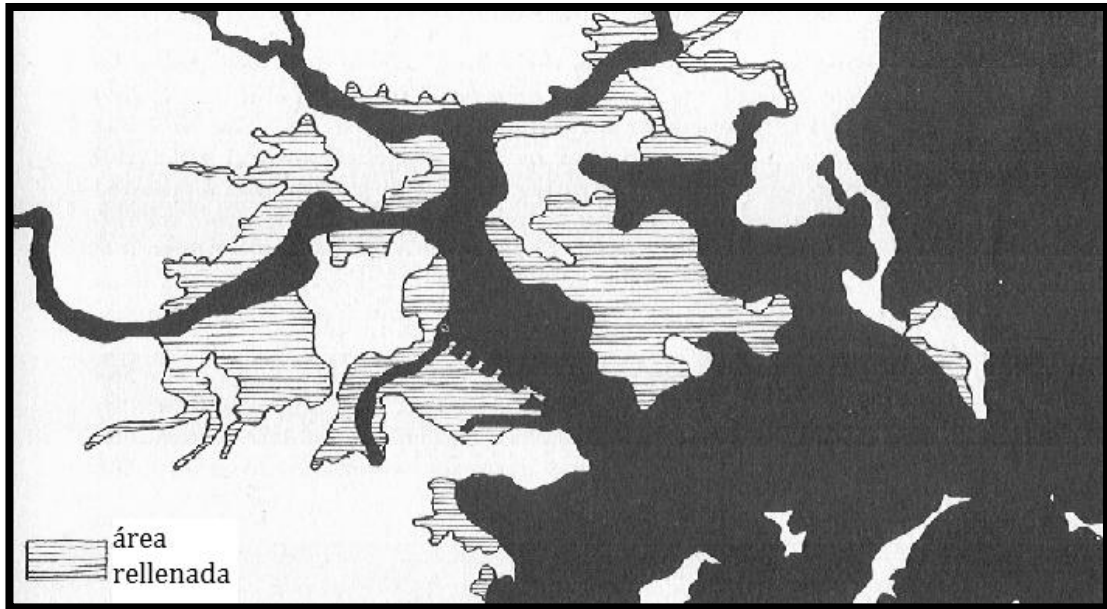
Para ejemplificar las causas de la destrucción del medio ambiente por una ciudad se expondrán brevemente los siguientes casos reales en ciudades alrededor del mundo seguido por el caso de Amatitlán, Guatemala, para ilustrar el futuro que espera a Guatemala si no se toman acciones inmediatas.

**4.1.5. Boston, Estados Unidos de América.** Cuando los ingleses se asentaron en la Bahía de Massachusetts ésta era un lugar ideal para crear una ciudad. Tenía mucha agua, bahías aisladas para hacer puertos, mucha pesca y nivel freático alto. Una vez fue creado el puerto la ciudad de Boston empezó a ganar importancia, así que ésta creció y por lo tanto demandando más espacio. Esto llevó a un crecimiento en la densidad de la población, inflación en los precios del terreno y por ende búsqueda de más terreno. Para principios del siglo XVII la población se triplica haciendo que los terrenos existentes ya no se dieran abasto, aprovechando esta situación, ávidos empresarios empezaron a excavar montañas enteras para llenar el mar, lagunas y marismas. Para 1982 la morfología de Boston estaba completamente cambiada.

Esto inició una serie de problemas ambientales para la ciudad. Primero, el manejo de desechos hasta entonces utilizaba las mareas para que sacaran los desechos de la bahía, que una vez modificada, cambiaron las mareas lo cual a su vez hizo que los desechos se quedaran en el mar, haciendo que éste se volviera un pantano con mal olor. Eso por supuesto, se tradujo en una inversión millonaria de la municipalidad para resolver el problema. Al mismo tiempo, las nuevas tierras sobre Black Bay eran muy susceptibles a inundaciones, lo cual llevó a otra gran inversión para el control de inundaciones, tanto en la creación de un gran parque

alrededor del río Charles como en la compra de miles de acres río arriba por su capacidad de retención de agua.

*Ilustración 4. Área rellenada en Black Bay, Boston.*



*(Spirn, 1984)*

El relleno de tanta área también trajo peligro a la gente que reside en esos barrios ya que Boston tiene antecedentes de terremotos y todas estas áreas son susceptibles a licuefacción y no son tan estables. Hay que recordar que esto fue lo que más causó destrucción en el terremoto de San Francisco.

Al mismo tiempo que Boston sufría de cómo deshacerse del agua de los drenajes surgía un nuevo problema, la escasez de agua potable. Debido a la sobre población del área, se superó la capacidad del manto freático de sustentar a la ciudad. Llegó a ser tanto la sobreexplotación del manto que solo 7 de 2767 pozos extraían agua potable lo que causaba que cada vez más parte de la población se conectara a la red municipal. Y esto por supuesto se trasladó a escasez de agua en la red municipal y por lo tanto en más gasto municipal para buscar fuentes de agua para abastecer a la ciudad. Los gastos involucraron primero, un acueducto de 96 kilómetros desde el lago Chochituate, inversión que no fue rentable ya que 20 años después la ciudad tuvo que comprar 186 millas cuadradas de terreno para hacer un embalse.

Hasta la fecha, Boston sigue luchando por el control de aguas negras y en la búsqueda de agua potable cada vez más y más lejos. Si se toma en consideración el crecimiento de los

suburbios y el hecho de que estos también se están conectando a la red municipal porque sus mantos freáticos también se acaban, el mal manejo de aguas y urbanización al momento del crecimiento de la ciudad se convierte en inversiones millonarias a futuro. (Spirn, 1984)

4.1.6. **Stuttgart, Alemania.** Stuttgart en 1980 era una ciudad de aproximadamente unas 630000 personas, cuya economía se basaba puramente en la industria. El valle en el que se encuentra está se caracteriza por viento pobre y alta incidencia de *inversión*, Esto creo mal estar en la población ya que el humo de la industria quedaba atrapado en la ciudad. Esto hizo que vivir y respirar en ella se volviera cada vez más difícil debido a la alta polución, mayor incidencia de enfermedades respiratorias, más calor por las islas de calor creadas, etc.

Para contrarrestar esto, la ciudad propuso un plan de renovación urbana en la cual se tomó en cuenta los patrones de viento del valle. Urbanistas y ecologistas se pusieron lado a lado para establecer las fuentes de viento puro, la dirección predominante del viento, las causas de contaminación, etc. Una vez sabiendo esto tomaron acción y iniciaron una reforma integral para terminar definitivamente con el problema. La solución constó de los siguientes 3 pasos:

- Zonificación; se paró la urbanización en los bosques aledaños y se establecieron como “cinturones verdes” para la producción de aire de la ciudad. Al mismo tiempo, se movió la industria viento abajo en la ciudad para que el humo no entrara a la ciudad.
- Canales de aire; se hicieron parques que ingresaban a la ciudad para que el poco viento que existía no fuera bloqueado por edificios y llegara a toda la ciudad.
- Mitigación de islas de calor; se utilizaron ‘techos verdes’ en los edificios, los parqueos se hicieron de tierra y adoquín con agujeros, se crearon parques con arboles altos para crear sombra y filtrar aire.

Stuttgart representa la eficacia con la cual utilizando el medio ambiente se puede salvar a una ciudad. Al manipular el viento y utilizar tanto bosques como parques se eliminó el problema de las inversiones y mala calidad de aire. Una solución con la cual se redujo el costo de mitigar el problema y a la vez hizo que la ciudad fuera más agradable para vivir. (Spirn, 1984)

4.1.7. **Cauquenes, Chile.** Cauquenes es una provincia que se encuentra en el Valle Central de la Región de Maule en Chile. La economía en la provincia se basa en la agricultura la cual tiene como fuente de agua el agua de lluvia, el Río Cauquenes y reservas de agua subterránea. El problema es que, con el transcurso de los años, las malas prácticas ambientales y la sobreexplotación de los suelos llevaron a agotar la capacidad del valle de sustentar la vida, razón por la cual va en camino a la ruina.

Las causas que dieron lugar a la escasez de agua fueron: sobreexplotación agua de riego más el uso fertilizantes químicos, aguas servidas directamente al río, pozos sépticos de industrias, transporte agrícola y tala de árboles. Todo el valle está siendo azotado por una sequía que llevó el promedio anual de lluvias de 700mm a 300mm, polución de los mantos freáticos, salinización de los suelos por excesiva evaporación, mala calidad de agua, mala calidad de aire, degradación de hábitat y pérdida de biodiversidad, pérdidas económicas y reducción en la calidad de vida.

Para contrarrestar esto, se está llevando a cabo un plan maestro para el salvamento de la región. La solución se trató a nivel regional teniendo como protagonistas ingenieros, arquitectos, urbanistas, ecologistas, economistas y toda una serie de profesionales para cubrir cada área de la recuperación y al mismo tiempo crear una visión para el futuro de Cauquenes. La solución a los problemas ambientales consta de las siguientes acciones:

- *Introducción de vías verdes:* para salvar la biodiversidad, limpiar el aire del valle y balancear el ciclo hidrológico. A futuro estas vías se convertirán en una atracción turística y un lugar para recreo de la ciudad.
- *Control y uso de la escorrentía:* se crearan tanto pozos como lagunas de infiltración de la escorrentía (filtrándola con plantas previo a la filtración) para recuperar el manto freático. Utilizar la lluvia que cae sobre las casas tanto para riego como para uso doméstico y así reducir el gasto de agua y de dinero.
- *Protección de riberas:* proteger los ríos de la escorrentía contaminada y del depósito de aguas negras en el. Así se mantendrá el agua limpia y se podrá reintroducir la pesca en la región.
- *Cambio en contexto:* junto a estas acciones mayores se tomaran también medidas en cuanto a los tipos de fertilizantes, sistemas de riego, reutilización de aguas grises, uso

de plantas nativas y prácticas amigables con el ambiente tanto de cada individuo como de las diferentes actividades económicas de la región.

El caso de Cauquenes es muy interesante ya que se trata el problema a gran escala. Reconociendo que el problema no es únicamente de la ciudad si no que del valle en general. El grupo de profesionales estuvo muy claro en la delimitación de las causas y encontró no solo una solución para el problema si no que creo nuevas oportunidades económicas para la población. Es importante recalcar la importancia de la población en hacer una vida de menos impacto, ya que de nada sirve cambiar una ciudad si sus ciudadanos siguen prácticas destructivas que vuelven estos esfuerzos inútiles. (Jesse Froehlich, 2008)

4.1.8. **Amatitlán, Guatemala.** La cuenca del Lago de Amatitlán presenta un caso parecido al de Cauquenes en Chile cuyas causas son básicamente las mismas que las de la ciudad de Boston. Amatitlán es una cuenca muy fértil, con gran historia y belleza. Desde tiempos muy antiguos se ha reconocido su importancia y su atractivo tanto para la agricultura como para la urbanización. El Lago de Amatitlán, reconocido por su belleza, solía ser una gran atracción turística, recreacional (sede de los Juegos Deportivos Centroamericanos y Juegos Centroamericanos y del Caribe), pesca y fuente de agua potable.

Ahora, se ve envuelto en un triste proceso de deterioro que amenaza con llevarlo a ser un pantano y con ello la pérdida de un patrimonio nacional, un recurso muy valioso y sobre todo, un sustento para 980,642 habitantes y los pobladores de los municipios vecinos de Guatemala, Villa Nueva, Villa Canales, San Miguel Petapa, Mixco, San Vicente Paya, Palín y Escuintla.

Causas de este desastre hay muchas, pero se han localizado los principales contaminantes:

- Plantas de tratamiento: existen 24 de las cuales ninguna está en funcionamiento.
- Industria: 23% de la industria de Guatemala está ubicada en la cuenca, solo el 1% posee tratamiento de aguas. Los desechos de estas quedan en suspensión en el lago y se depositan en el lecho.
- Río Villalobos: Este río sirve de drenaje para la ciudad de Guatemala y sus alrededores, depositando 500 mil toneladas de sedimentos al año, haciendo que éste pierda 70cm de profundidad anuales.

- Eutrofización: pérdida de oxígeno en el Lago por la proliferación de algas debido a la cantidad de nutrientes vertidos.
- Control de escorrentía: la mayoría de la cuenca ha sido urbanizada y toda el agua de lluvia que cae en la cuenca ya no es filtrada si no que es vertida al río sin tratamiento alguno. Esto a su vez, causa que el manto freático no se recargue.
- Crecimiento demográfico: la demanda sobre el agua potable de la cuenca ha aumentado a niveles no sostenibles. Aparte de la población de la cuenca, EMPAGUA extrae agua para al menos el 35% de la ciudad Capital.
- Chalets y población aledaña: Un mínimo porcentaje de la población cuenta con plantas de tratamiento y vierte las aguas negras al Lago.
- Deforestación: La tala, urbanización no ecológica y destrucción de riberas de los ríos hacen que no haya nada que filtre el agua antes de que entre al río y altera el ciclo hidrológico de la cuenca.

El efecto de estas malas prácticas sobre la cuenca es fatal para el lago y el medio ambiente y afectar a estos dos se traduce en un simple y devastador efecto, escasez de agua. El déficit de agua que se calcula en estos momentos es de  $5\text{m}^3/\text{s}$  y aumenta cada momento, se perdió la pesca y cada vez es más difícil sobrevivir para la vida acuática, la mayoría de los pozos de la cuenca empiezan a presentar contaminación de metales pesados dañinos para la salud, pérdida de la industria turística, etc. En fin, se estima que el Lago tiene un tiempo de vida de 12 años si no se frena el nivel de contaminación actual.

4.1.8.1. Mitigación. Con la misión de salvar al Lago se creó la AUTORIDAD PARA EL MANEJO SUSTENTABLE DE LA CUENCA Y DEL LADO DE AMATITLÁN (AMSA), que desde el año 1996 ha resguardado y iniciado el proceso de recuperación de la cuenca. Esta organización se plantea hacer esta enorme hazaña atacando el problema por todos los frentes teniendo en cuenta la gran ayuda que es el medio ambiente. Se propone "la descontaminación y el uso racional de los recursos renovables y no renovables de las zonas de recarga de acuíferos y zonas boscosas", haciendo proyectos que constan de reforestación, "mantener el espejo de agua limpio de basura, plantas y micro algas" y complementando estos esfuerzos con "concientización y formación de una cultura ambiental para la población".

Entre estos proyectos también se encuentra la Macroplanta de tratamiento de aguas negras del Río Villalobos, la cual remueve los desechos sólidos de parte del agua del río. La instalación de oxigenadores en el lago. Leyes para las urbanizaciones aledañas que demandan que tengan plantas de tratamiento y otras medidas de purificación y recarga de manto freático. Ordenamiento territorial, reforestación, infraestructura turística, programas de reciclaje, programas de educación y otra serie de proyectos para el control y calidad ambiental del Lago.

Estos proyectos son sin duda una gran ayuda a la cuenca y se basan en los mismos principios que son expuestos en esta guía. Aun así, hay mucho que hacer en la cuenca y se recomiendan acciones como: (AMSA, 1998)

- Control de escorrentía
- Vías verdes
- Reutilización de aguas grises
- Reforestación de ribera

*Ilustración 5. Lago de Amatitlán, Guatemala.*



*(Amatitlán nuestro, 2010)*

4.1.9. Documentos, estudios y consideraciones. Para llevar a cabo una urbanización sostenible se requiere tanto de información, como estudios previos y consideraciones adicionales. A continuación se proponen algunos documentos útiles para la planeación:

4.1.9.1. Ruta del menor impacto posible. La ruta del menor daño posible se refiere a la implementación del diseño y ejecución menos destructivo posible. Por ejemplo, si se tienen dos ubicaciones posibles del proyecto, evaluar el impacto ambiental de cada una y escoger la que menor impacto tenga. Se sabe que cualquier cambio en el ecosistema hará daño, lo que se busca entonces es aminorar este lo más posible de modo que no se comprometa la capacidad soporte del ecosistema y sea imposible su recuperación post intervención.

#### 4.1.9.2. Planos y documentos

- Topografía
- Ortofotos del área
- Trayectoria solar
- Patrones de viento (si fuera existente, de lo contrario elaborar un estudio)
- Planos de (Encontrados tanto en SIG Guatemala, Insivumeh y MAGA)
  - Infraestructura
  - Recursos naturales
  - Climas
  - Amenazas naturales
  - Capacidad de uso de tierra
  - Cobertura forestal
  - Intensidad de uso de tierra
  - Precipitación
  - Isoyetas
  - Series de suelos
  - Temperatura media
  - Cobertura vegetal y uso de la tierra
  - Cuencas hidrográficas
  - Otros mapas útiles para el proyecto a realizar.

#### 4.1.9.3. Estudios

- Impacto ambiental
- Estudio de ecosistemas
- Estudios hidrológicos
- Estudio de suelos

#### 4.1.9.4. Consideraciones

##### 4.1.9.4.1. *Económicas*

- Involucrar a accionistas y a vendedores
- Incentivos económicos
- Inversiones a largo plazo
- Plusvalía de diseño ecológico

##### 4.1.9.4.2. *Ambientales*

- Involucrar habitantes
- Educación ambiental
- Prácticas ecológicas individuales

#### 4.1.10. Principios básicos

- **Hacer el menor daño posible al ecosistema.**
  - Ubicación
  - Diseño
  - Construcción
- **Considerar el efecto a múltiples escalas.**
  - Local
  - Ciudad
  - Regional
- **Considerar efectos a largo plazo.**
- **Proyectar obra con clima local**
- **No sobrepasar la capacidad de carga y adaptación del ecosistema.**
- **Conservar el ciclo hidrológico**
- **Identificar y conservar los ecosistemas.**

- Priorizar ecosistemas especiales
- Restaurar
- Mantener
- **Uso de material local**
  - Materiales de construcción
  - Vegetación
- **Involucrar habitantes en una vida saludable y amigable con el ambiente.**
  - Ahorro de recursos
  - Importancia al peatón
  - Espacios urbanos abiertos.
- **Reutilizar, reciclar y no contaminar.**
  - Materiales de construcción
  - Material reciclado
  - Manejo de desechos

## 4.2. Localización

4.2.1. **Causas.** Para el adecuado diseño de una urbanización se deben entender tres cosas: *Contaminación, El Sol y El Viento.*

4.2.1.1. **Contaminación.** Los principales contaminadores de una ciudad son los autos, industrias, aires acondicionados y plantas de energía, que en total presentan casi el 90% de todas las emisiones en una ciudad. Estas emisiones están compuestas principalmente de monóxido de carbono, dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, ozono y partículas suspendidas. Las cuales se mezcla con el polvo mezclando arsénico, plomo, cadmio y asbesto creando intoxicaciones en los humanos.

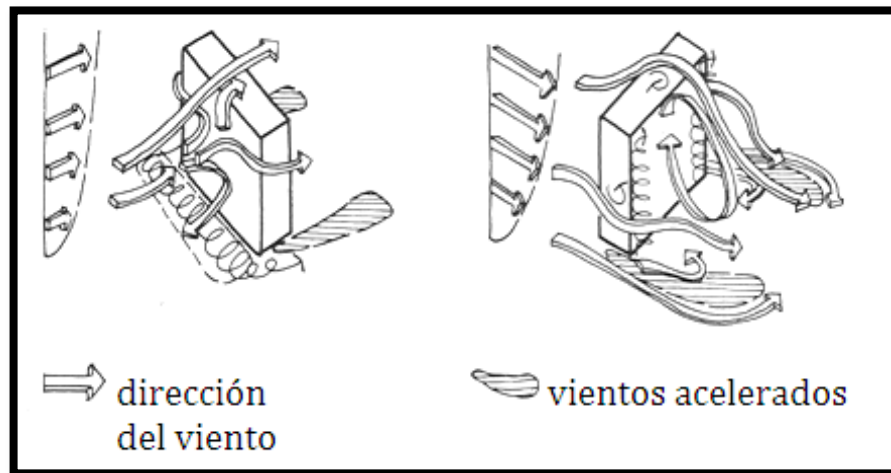
Estos contaminantes, junto con los efectos del sol y viento, pueden llegar a ser muy peligrosos. A ellos se les atribuye muchas muertes y accidentes, ya que las intoxicaciones son cada vez más comunes. Los más afectados son los niños y los ancianos, pero aun así, un adulto expuesto a las emisiones de hora pico de tráfico muestra síntomas como dolor de cabeza, pérdida de visión y alteración de la actividad motriz, todos adjudicados a la intoxicación por monóxido de carbono, por ejemplo.

Para el manejo adecuado de la contaminación hay que identificar el foco contaminante. Al saber dónde está el foco se sabrá que técnica usar para mitigar los efectos dañinos de este. Los focos se clasifican según su manera de emisión y estas son:

- *Emisión puntual*: son aquellas que se pueden localizar saliendo de un punto en particular, como las chimeneas de industrias o plantas energéticas por ejemplo.
- *Emisión lineal*: son aquellas que se dan en una ruta en particular, como puede ser el tráfico en una arteria en la ciudad.
- *Emisión por área*: es la suma de pequeños contaminadores en un área definida, como la polución en un barrio o zona. (Spirn, 1984)

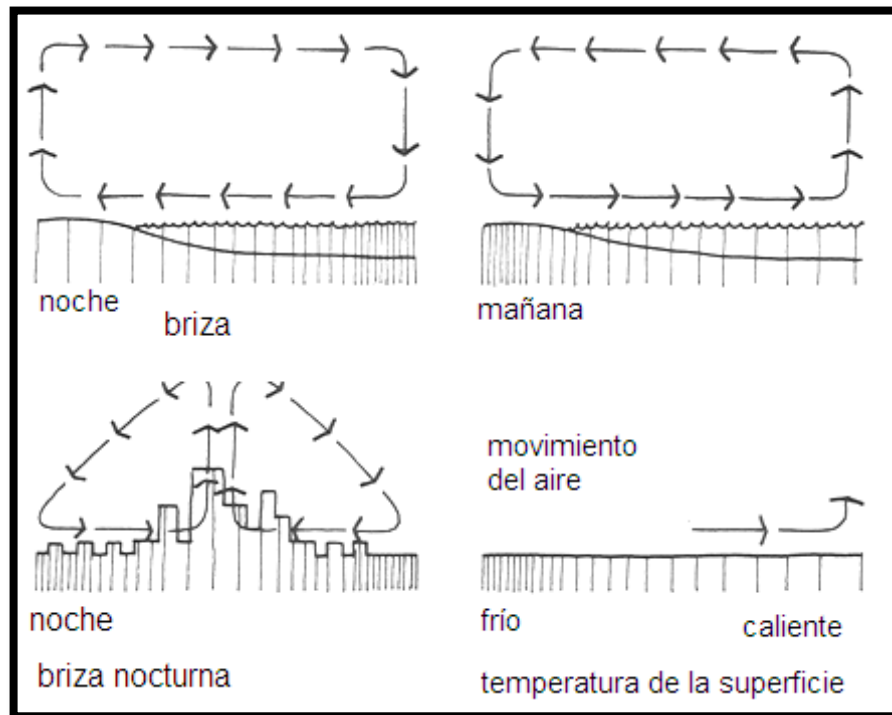
4.2.1.2. Viento. El viento afecta a la urbanización ya que éste es capaz de dispersar ó concentrar contaminantes. Una ciudad disipa, deflecta, intensifica y genera viento, lo cual, con el adecuado diseño, se puede manipular a favor de la ventilación de la misma.

Ilustración 6. Comportamiento del viento al chocar con un muro.



(Spirn, 1984)

Ilustración 7. Comportamiento del viento a causa de la temperatura.



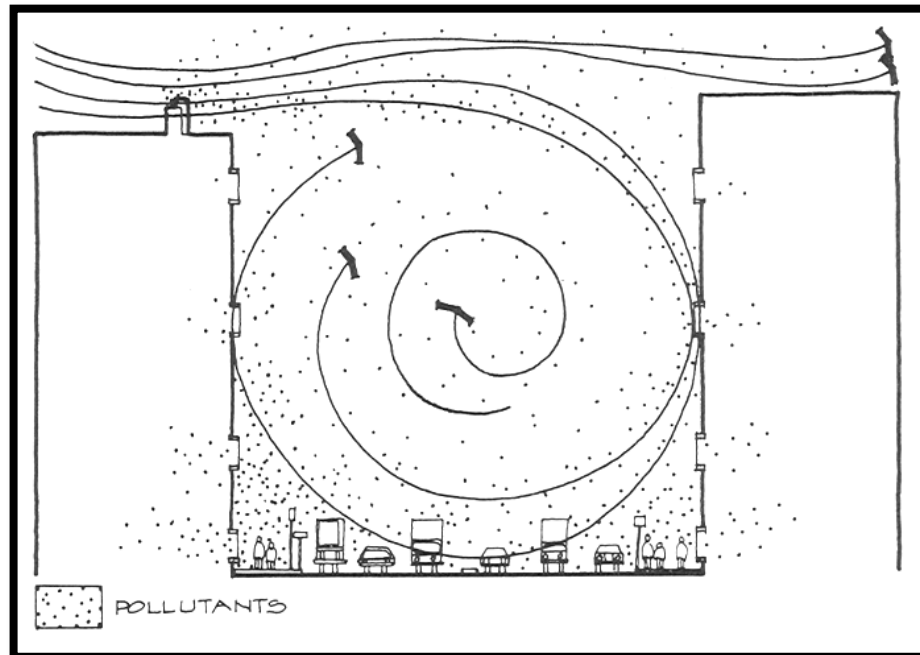
(Spirn, 1984)

4.2.1.3. Efecto barranco en calles. El "efecto barranco" es un fenómeno que se da cuando el aire queda atrapado entre dos edificios haciendo un remolino entre de estos pero no logrando salir hacia arriba, quedando estancado junto con los contaminantes del sitio. Esto depende de la relación entre el ancho de la calle y la altura de los edificios, así como la orientación de la calle al viento y los patrones de viento de la ciudad.

Si los edificios son altos y el viento es perpendicular, atrapa los contaminantes dentro de la calle. (Spirn, 1984)

4.2.1.4. Inversión de aire. La *inversión de aire* es uno de los efectos más peligrosos de la mala movilidad del viento en una ciudad. Se da cuando una masa de aire frío queda atrapada debajo de una masa de aire caliente el cual no deja subir al aire frío, haciendo que el aire que está dentro de la ciudad no pueda salir y atrape dentro del aire estancado los contaminantes de la ciudad.

Ilustración 8. Efecto barranco en calles.



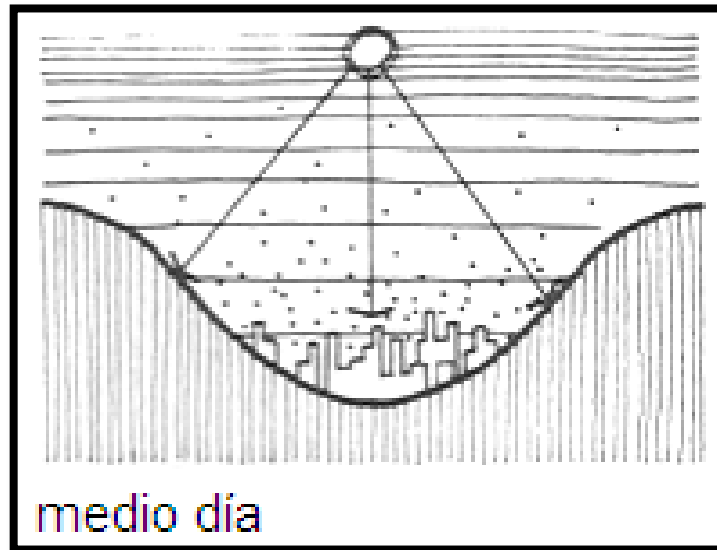
(Spirn, 1984)

Ilustración 9. Inversión de aire.



(Spirn, 1984)

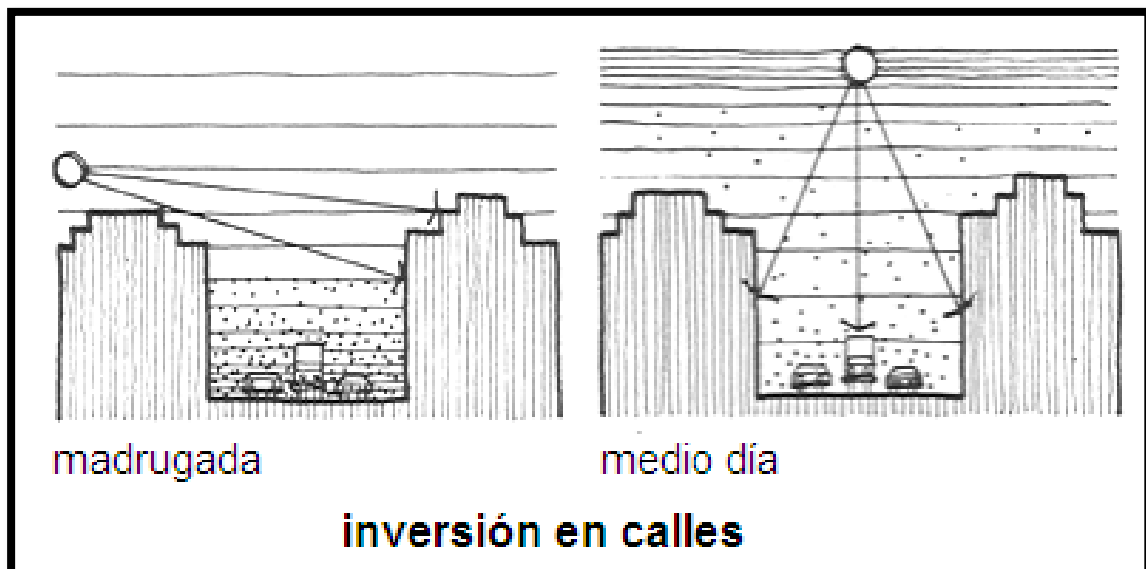
Ilustración 10. Disipación de inversión de aire.



(Spirn, 1984)

Esto es muy común en ciudades que están localizadas en valles. En la ciudad de Guatemala son muy comunes en la época fría, sobretodo en el mes de enero. Este fenómeno debe tratarse manipulando el sol y viento para que aunque sea mínimo siga fluyendo y con el Sol. (Spirn, 1984)

Ilustración 11. Inversión de aire en calles.



(Spirn, 1984)

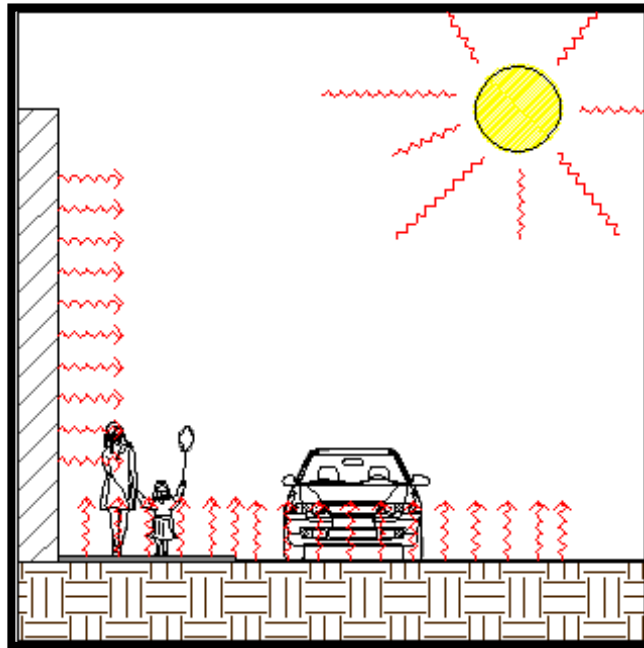
## 4.2.2. El Sol

4.2.2.1. Isla de calor. El sol y la distribución de la ciudad, barrio, calle, etc. dan lugar a lo que se llama *“isla de calor”*. Este fenómeno se refiere al aumento de la temperatura de un sitio debido al reflejo de radiación de materiales. Ésta se da en las ciudades por las propiedades de los materiales comúnmente usados para construir edificios y calles, así como el cemento, asfalto, block, etc.

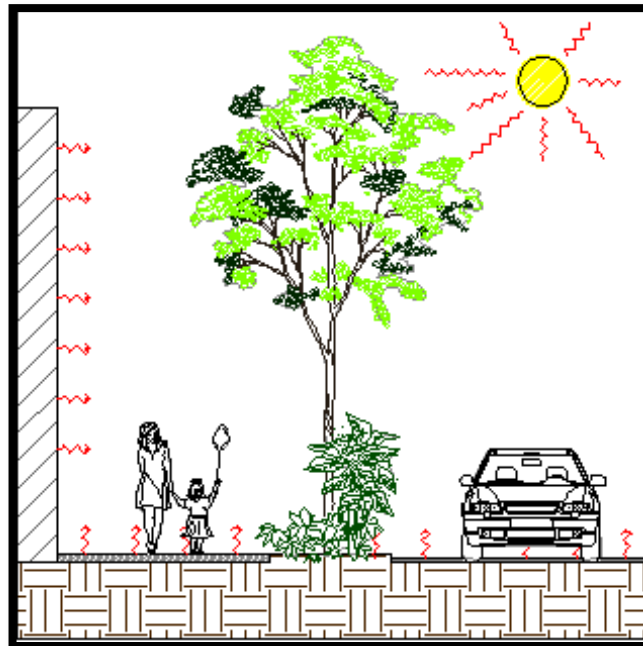
El sol irradia las superficies, las cuales absorben más calor que los elementos naturales y a su vez reflejan la radiación que no absorben a sus alrededores inmediatos. Esto hace que haya más calor cerca de estas superficies.

Los árboles, plantas, tierra y agua absorben el calor, pero lo irradian en forma de evaporación y evapotranspiración, lo cual hace que se reduzca el calor a los alrededores.

*Ilustración 12. Isla de calor debido a superficies impermeables.*



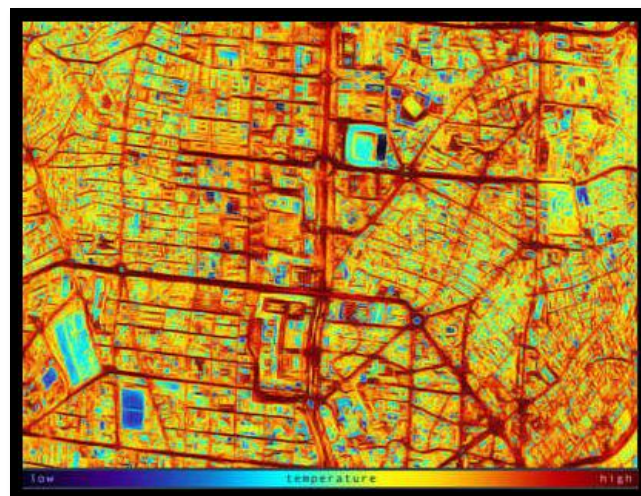
*Ilustración 13. Mitigación de Isla de calor con vegetación.*



Este fenómeno continúa en la noche, cuando las superficies que guardaron calor durante el día lo siguen irradiando hacia afuera haciendo que los alrededores se mantengan calientes. (Spirn, 1984)

Para mitigar este problema se pueden utilizar plantas, fuentes, superficies permeables o el viento. Se puede, incluso, utilizar el mismo sol para cambiar la temperatura del aire de manera que cree o disipe corriente de viento.

*Ilustración 14. Imagen térmica de isla de calor en Madrid.*



(Miguel, 2008)

4.2.3. **Ecología del paisaje.** La ecología del paisaje es la ciencia que estudia la relación entre naturaleza y población a gran escala, en amplias zonas tales como regiones, cuencas, sistemas boscosos, etc. Se centra en tres conceptos básicos:

1. Relaciones espaciales entre elementos del ecosistema.
2. Flujos de energía, nutrientes minerales y especies entre elementos del ecosistema.
3. Dinámica ecológica del mosaico que compone el ecosistema a lo largo del tiempo.

Existen cinco componentes principales en una zona de estudio:

- *Parches:* son hábitats aislados de cualquier tamaño, desde un parque nacional hasta un árbol. Pueden ser restos de algún bosque, un nuevo parque en un área urbana, un oasis, etc.
- *Bordes:* son las porciones de los parches en las cuales el entorno varía distintivamente del interior del mismo.
- *Corredores:* son largas franjas ininterrumpidas de vegetación que favorecen a la conservación de la ecología. Sirven para crear y conservar hábitats, conductos, filtros, introducción y cuna de especies, y para lograrlo son imperativos la conectividad y el ancho del corredor.
- *Mosaicos:* conjunto de parches, corredores y elementos externos en un paisaje.
- *Sistemas:* corredores interconectados entre sí por medio de parches o corredores más pequeños. Los sistemas enfatizan el funcionamiento de un paisaje y por lo general encierran elementos más pequeños dentro de ellos. Entender y cuidar los sistemas nos sirve para facilitar o inhibir flujos y movimientos a través de un mosaico.

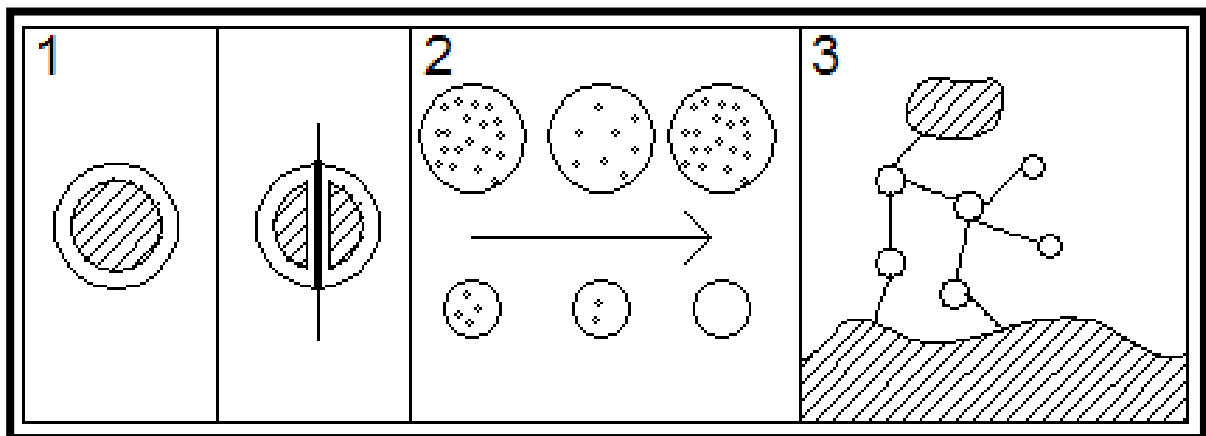
La ecología del paisaje observa la relación y cambio en las propiedades y poblaciones de estos elementos y los efectos en la salud del ecosistema. A continuación se expone la interacción de cada uno de estos elementos, su adaptación a un factor externo y el efecto que tiene cada cambio en las propiedades del ecosistema o hábitat. (Wenche E. Dramstad, 1996)

#### 4.2.3.1. Parches y bordes

##### 4.2.3.1.1. *Tamaño*

- Dividir un parche: Partir un parche aumenta las especies de los bordes y disminuye las del interior. Crea una barrera entre los dos parches evitando la expansión de algún disturbio de uno a otro.
- Población y extinción: Los parches pequeños normalmente tienen menos especies y las probabilidades de extinción son mayores. Los parches grandes tienen más probabilidad de tener más hábitats y por lo tanto más especies.
- Pequeño vs. grande: Los parches grandes permiten un ecosistema casi natural y conservan el ciclo hidrológico. Los parches pequeños pueden actuar como puentes de un ecosistema a otro entre matrices urbanas. Además pueden albergar especies poco comunes que no sobrevivirían en parches grandes.

*Ilustración 15. Parches y bordes; tamaño.*

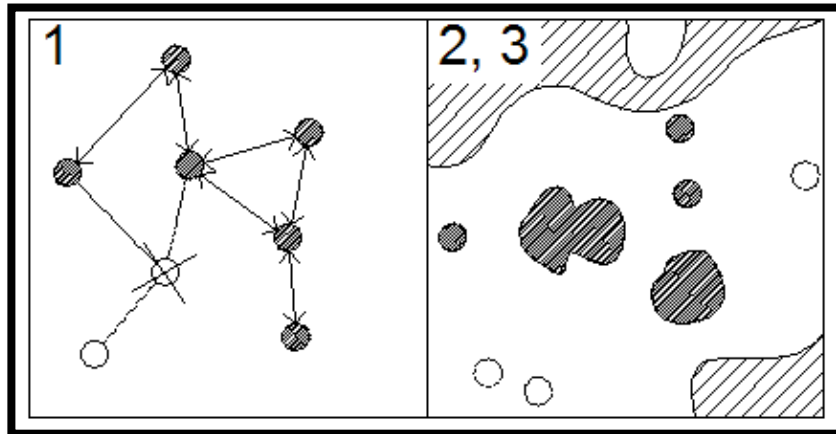


##### 4.2.3.1.2. *Cantidad*

- Número de parches: Quitar un parche produce pérdida de hábitat lo que a veces reduce la población de una especie que depende de ese hábitat. Tener varios parches distribuye la población, mejorando las posibilidades de supervivencia. Además, eliminar un parche disminuye la interacción entre especies del parche lo cual puede resultar en extinción local y también disminuye la recolonización de parches vacíos.
- Aislamiento: El aislamiento de un parche aumenta las probabilidades de extinción local, disminuye la capacidad de recolonización.

- Selección de parches a conservar: Debe basarse en: *contribución al sistema en total*, conexión a otros parches en la región; *Características inusuales o distintivas*, si el parche tiene especies poco comunes, en peligro de extinción o especies endémicas.

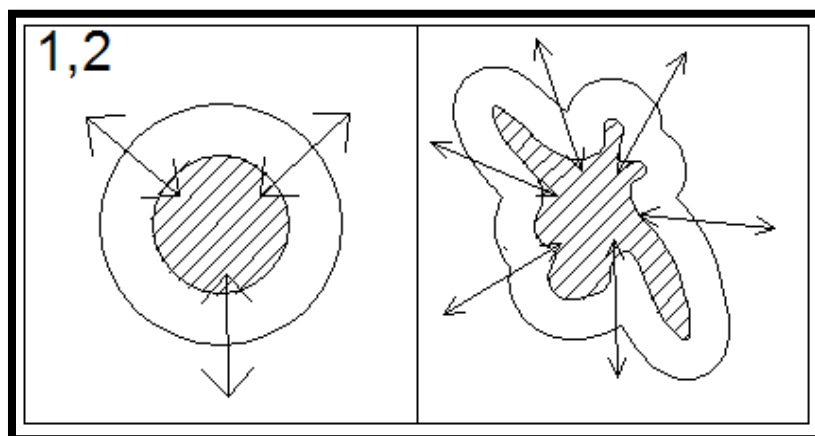
Ilustración 16. Parches; cantidad.



#### 4.2.3.1.3. Estructura

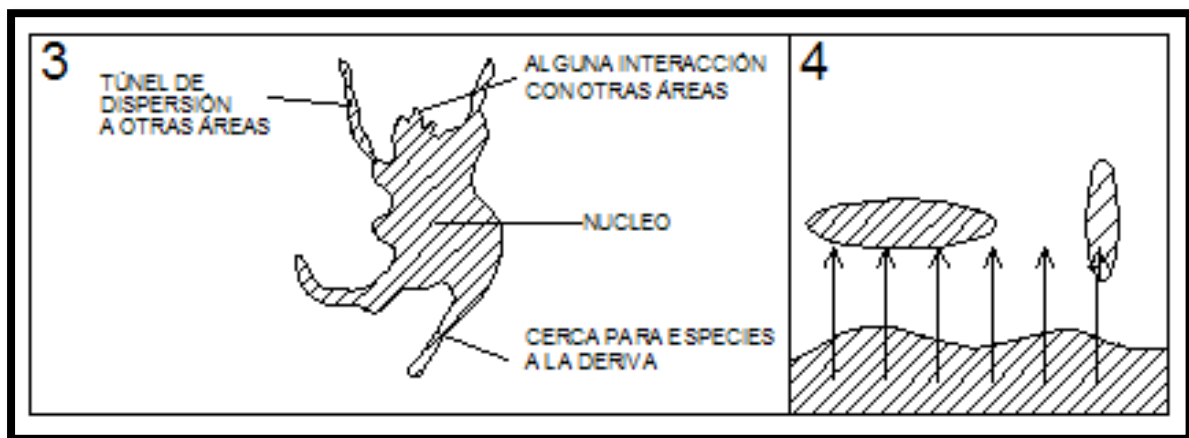
- Borde curvilíneo o recto: Los bordes curvilíneos tienen mayor diversidad estructural conlleva mayor diversidad de especies y hace crecer el área de borde. Los bordes rectos tienen menor diversidad estructural y de especies y disminuyen el tamaño del borde dando prioridad al centro del parche.
- Brusquedad del borde: Un borde brusco y recto aumenta el traslado a lo largo del borde y reduce el tamaño del borde. Un borde curvilíneo y que se desvanezca gradualmente aumenta el tamaño del borde, propicia el traslado hacia a través, reduce la erosión y aumenta las especies.

Ilustración 17. Parches; Estructura.



- Forma de borde ecológicamente óptima: El borde en forma de “nave espacial” provee una serie de beneficios ecológicos, tiene un núcleo redondo para la protección de recursos y tiene bordes curvilíneos y dedos para la dispersión de especies.
- Forma y orientación: Un parche con el eje longitudinal paralelo a la ruta de dispersión tiene menor probabilidad de ser (re-) colonizado que uno que tiene el eje perpendicular a la ruta.

Ilustración 18. Parches; Estructura 2.

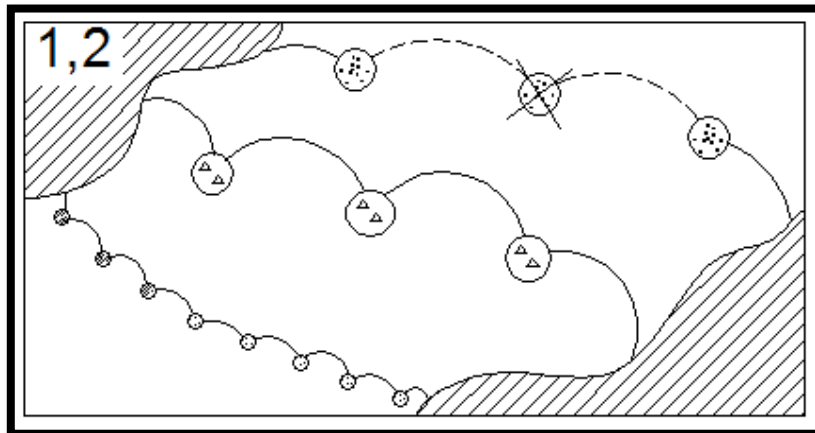


#### 4.2.3.2. Corredores y conectividad

##### 4.2.3.2.1. Conectividad por parches

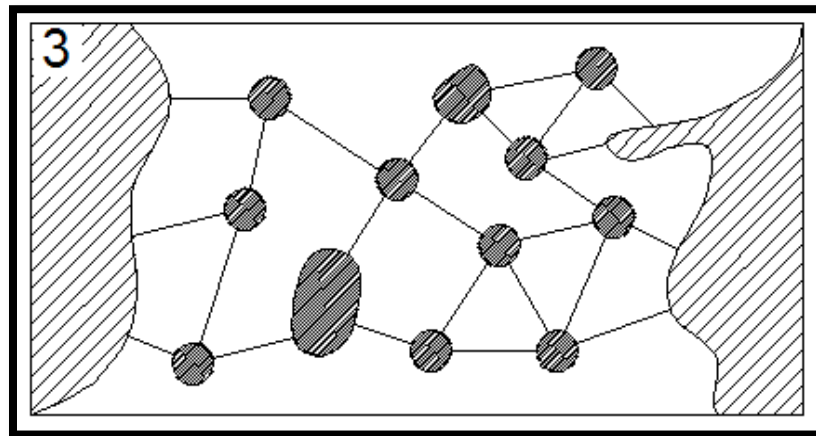
- Conectividad: Pequeños “pasos” formados por parches son el intermedio en conectividad entre tener un corredor o no. El efecto de estas brechas en la movilidad de las especies depende del espaciamiento entre parches y la escala de movimiento de la especie.
- Pérdida de un “paso”: La pérdida de un parche que funciona como paso inhibe la movilidad y por lo tanto incrementa la posibilidad de aislamiento.

Ilustración 19. Corredores y conectividad; Serie de pasos.



- Grupo de “pasos”: La mejor manera de proveer de pasos es generando varios caminos para llegar de un lugar a otro de una manera lineal.

Ilustración 20. Corredores y conectividad; Grupo de pasos.



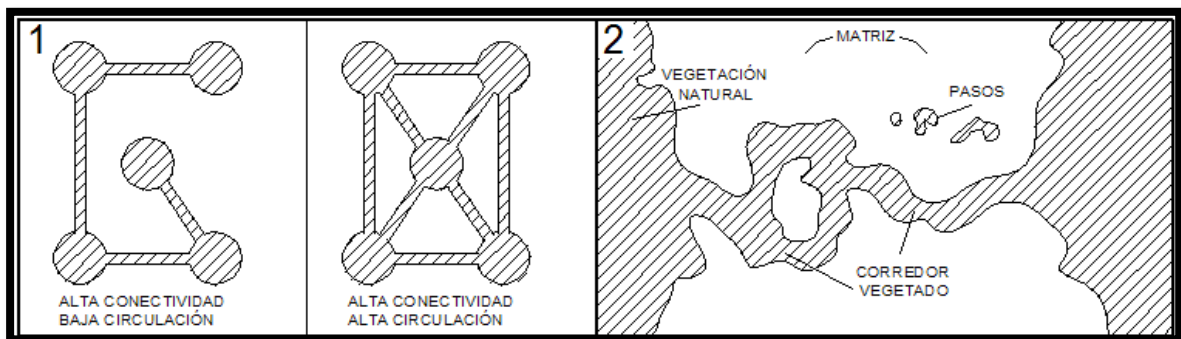
#### 4.2.3.3. Mosaicos y sistemas

##### 4.2.3.3.1. Flujos en mosaicos

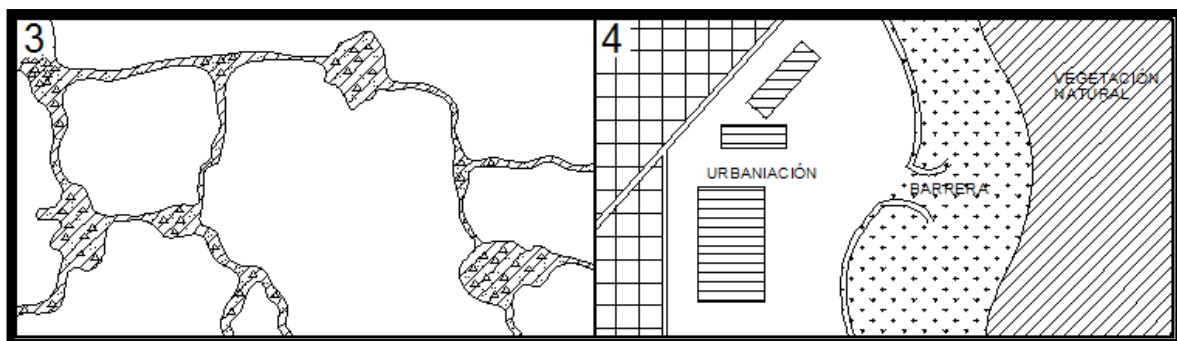
- Conectividad y circulación: La conectividad (grado al cual los elementos están interrelacionados con los corredores) combinado con la circulación (presencia de rutas alternativas en un sistema), indica qué tan simple o complejo es un sistema.
- Retornos y rutas alternativas: Retornos y rutas alternativas reduce el efecto negativo de barreras, disturbios, predadores y cazadores entre corredores, y por lo tanto, aumenta la eficiencia en la circulación entre el sistema.

- Intersecciones, parches conectados Las intersecciones entre corredores suelen tener mayor biodiversidad. Un parche conectado a un corredor tiene más probabilidad de tener más especies y además sirve de pausa entre corredor y corredor para que las especies puedan descansar y reproducirse.
- Urbanización, exóticos y áreas protegidas: En un paisaje que está siendo urbanizado y, por lo tanto, siendo invadido por especies exóticas, la biodiversidad del ecosistema presente puede ser protegido con una barrera que sirva de protección en contra de invasores. Esta barrera consiste de una franja intermedia entre el ecosistema natural y el área siendo urbanizada donde haya controles estrictos contra especies exóticas.

*Ilustración 21. Conectividad y circulación en sistemas.*



*Ilustración 22. Urbanizaciones, intersecciones y exóticos en mosaicos.*



4.2.3.4. Implementación. A la hora de implementar estos principios se deben tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

- Proveer de la máxima conectividad posible, creando rutas alternas en las mismas direcciones, interconectar parches con pequeños corredores y grandes corredores con parches.

- Que el tamaño y ancho de los corredores, parches y malla de la región sean lo más grandes posibles.
- Si es necesario seccionar un corredor o un parche, seccionar la opción que menor cantidad de veces lo atraviese.
- No desarrollar en áreas protegidas, cuencas de ríos o hábitats de especies en extinción.
- Utilizar siempre especies de flora existente o al menos nativa a la región. Así como mantener la estructura del hábitat lo más parecido posible al existente.
- Mantener la estructura del hábitat lo más parecido posible al existente.

*Ilustración 23. Corredor en Riachuelo, Buenos Aires, Argentina.*



*(Obiol, 2005)*

**4.2.4. Conservación** A la hora de localizar una urbanización se debe evitar construir e intervenir ciertas áreas con el afán de mantener tanto el ciclo hidrológico como el bienestar de los usuarios. Los elementos listados a continuación son vitales para conservar el medio ambiente y evitar la polución, además, utilizados de manera inteligente, puede presentar un gran medio de ahorro de dinero.

**4.2.4.1. Zonas acuáticas intermedias.** Se refieren a las orillas de los ríos, lagos, humedales y cuerpos de agua en general. Estos protegen a los cuerpos de agua, calidad del agua, ecosistemas y a las personas a través de:

- Entrega de nutrientes esenciales y material orgánico
- Reducción erosión de riberas

- Limitación de evaporación
- Conservación de temperatura ideal para cada vida acuática
- Proteger áreas vecinas de potencial daño causado por inundaciones
- Interceptar metales pesados y otros contaminantes
- Producción de hábitat salvaje

Por lo tanto se recomienda:

- No edificar en estas zonas para evitar altos costos de daños a infraestructura en caso de inundaciones y ahorra la necesidad de obras hidráulicas para el control de las mismas.
- Colocar canchas deportivas, parques o estructuras no habitadas si se desea construir, a manera de evitar pérdidas de vidas.

4.2.4.2. Zonas de recarga acuífera. Las zonas de recarga acuífera son zonas donde la velocidad de escorrentía disminuye, permitiendo que el agua infiltre el suelo. Se da sobretodo en áreas donde el suelo es arenoso y permite la percolación. Sirven como reserva de agua, purifican el agua antes de que esta ingrese al manto freático, disminuye la velocidad de escorrentía ayudando con el control de inundaciones y ayuda a abaratar el costo en infraestructura de drenaje pluvial. Para conservar estas áreas se recomienda:

- Evitar las superficies impermeables.
- Evitar polución debido a fugas de líquidos de los autos y máquinas, por lo tanto, se deben evitar estacionamientos y cuartos de máquinas.
- Explotar estas áreas como pozos de agua, canchas deportivas, parques y plantas de tratamiento de aguas negras.

4.2.4.3. Humedales. Los humedales son zonas con tierras saturadas o pantanos, son plantas de tratamiento naturales ya que las velocidades bajas y grandes cantidades de plantas que viven en ellos ayudan a sedimentar, limpiar e infiltrar el agua. Sirven para limpiar agua, como reservas de agua y para reducir la velocidad de escorrentía y así evitar inundaciones o colapsos de drenaje pluvial. Para conservar estas áreas se recomienda:

- Evitar rellenarlos y construir sobre ellos.

- Evitar cualquier perturbación del hábitat natural.
- Colocar pozos o plantas de tratamiento de agua, aunque al ser estas una planta de tratamiento de partículas suspendidas natural, se puede evitar construir una planta de tratamiento totalmente.

4.2.4.4. Ríos. Los ríos son flujos de escorrentía superficial que corre a lo largo de una cuenca recolectando el agua de esta y llevándola al punto de salida (Sáenz, 1999). Sirven como fuente de agua potable, drenajes, mejoran la calidad del agua, reserva de agua de lluvias, control de inundaciones, áreas recreacionales, irrigación, navegación, energía y hábitat de especies acuáticas. Para conservar estas áreas se recomienda:

- Evitar entubarlos, estrecharlos, poblar las riberas, deforestar riberas, polucionar excesivamente y no pasar la capacidad de soporte para irrigación.
- De urbanizar en sus riberas, utilizar densidades bajas.
- Utilizar como parques, plantas de tratamiento, áreas de recreación acuática y canchas deportivas en las riberas.

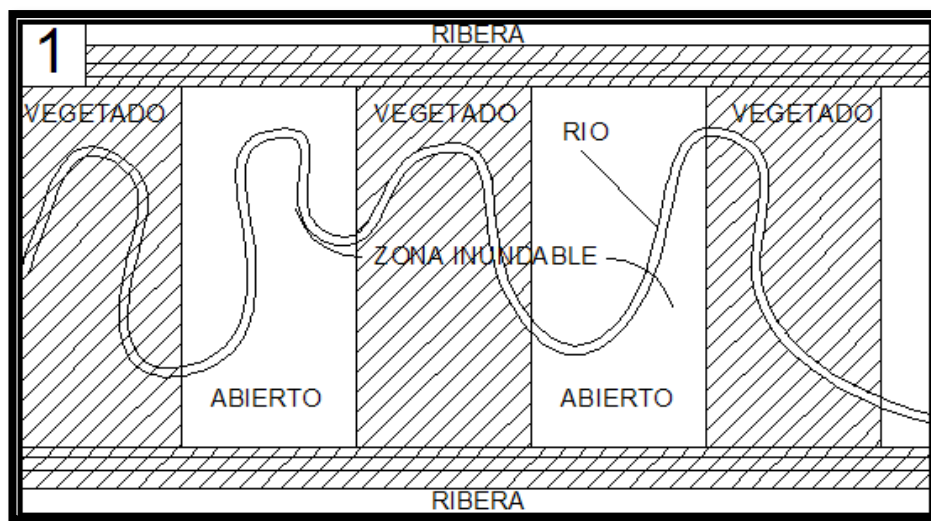
#### 4.2.4.5. Ecología del paisaje y los ríos

4.2.4.5.1. *Función de un corredor en un río Las sustancias disueltas, como nitrógeno, fósforo y toxinas que entran al área vegetada del corredor son interceptadas antes de entrar al río y reducir la calidad del agua. La fricción, absorción de las raíces, la arcilla y la materia orgánica de la tierra que provee el corredor son los principales agentes de interrupción, y mientras más ancho sea el corredor mayor es la limpieza. (Wenche E. Dramstad, 1996)*

- El contacto con las ramas de las plantas y la hojarasca disminuye la velocidad del agua.
- Las raíces de las plantas absorben las sustancias disueltas antes de que alcancen el río.
- Las partículas de arcilla atrapan las partículas disueltas en el agua.
- La materia orgánica del suelo absorbe las sustancias suspendidas.

4.2.4.5.2. *Ancho, largo y continuidad.* El ancho y largo del corredor vegetado a los costados de un río es determinante en los procesos de los ríos. Su continuidad a lo largo del río sin interrupciones grandes es esencial para mantener las condiciones adecuadas del agua y los ecosistemas. La continuidad debe ser como mínimo en secuencia de escalera (como es mostrado en la figura) para no perder las facultades de limpieza y control de inundaciones del corredor. El ancho que debe tener el corredor es mostrado en la Ilustración 24, esta muestra la función de limpieza con respecto al ancho del corredor.

Ilustración 24. Ecología del paisaje en ríos.



4.2.4.6. *Lagos.* Los lagos son grandes cuerpos de agua, generalmente dulce, almacenados en depresiones. Sirven como fuente de agua potable, irrigación, drenaje, recreación y hábitat de especies acuáticas. (Sáenz, 1999) Para su conservación se recomienda:

- Evitar sobrepasar la capacidad soporte de drenaje, irrigación y polución.
- Evitar deforestación en cuenca y riberas.
- Construir urbanizaciones de baja densidad entre un rango de 10 a 30 metros de la orilla, siempre y cuando no se deforeste excesivamente y tengan la menor cantidad de área impermeable. Estas urbanizaciones deben de tener plantas de tratamiento para sus aguas negras y control de escorrentía en todas las unidades.

- Construir áreas de recreo, canchas deportivas y embarcaderos. Pero es imperativo tener controles de contaminación de agua y escorrentía y el mínimo posible de áreas impermeables.
- Es necesario hacer corredores a sus orillas con las mismas condiciones que los corredores para ríos mostrados en la sección 3.2.4.5.

4.2.4.7. Laderas. Las laderas de las montañas aledañas a cuerpos de agua son de vital importancia para estos. Estas juegan el rol de una barrera protectora ante los químicos de fertilizantes que puedan caer debido a las plantaciones aledañas. El Lago de Atitlán es la más reciente víctima de este tipo de contaminación. La sobre mineralización de las aguas debido a la escorrentía llena de nutrientes causó que proliferara la Cyanobacterias, la cual está lentamente matando la vida acuática del Lago y convirtiéndolo en un pantano. Por ello, mantener las laderas vegetadas es indispensable para la supervivencia de cuerpos de agua. Se recomienda:

- Evitar la deforestación en estas zonas
- Hacer terrazas en las laderas de manera que la escorrentía sea desacelerada y se remuevan los nutrientes de la misma.

4.2.4.8. Bosques. Los bosques son una superficie de tierra de más de 5000m<sup>2</sup>, con árboles de altura superior a 5 metros y una cubierta forestal de más del 10% ó, con árboles con potencial para cumplir dichos parámetros. (FAO) y para fines de esta guía también se aplica a áreas más pequeñas dentro de la ciudad. Los bosques sirven para regular el clima, microclima, humedad del suelo, disminuyen la velocidad y limpian la escorrentía, evitan erosión, son fuente de oxígeno y aire limpio, aminoran malos olores y sirven de hábitat para flora y fauna. Para conservar los bosques se recomienda:

- Evitar deforestar o segmentar estos sitios.
- Evitar sobrepasar la capacidad soporte.
- Utilizar como áreas de recreo para la población.

4.2.4.9. Barrancos. Los barrancos son depresiones topográficas con bordes escarpados formados por la ruptura entre dos cauces. Sirven como captadores, purificadores y filtradores de agua y aire. Son sistemas con alta diversidad de flora y fauna, evitan erosión, son peligrosos para la construcción en sus bordes ya que son muy escarpados y son formados por fallas geológicas. Son ecosistemas extremadamente frágiles que pueden ser completamente destruidos por tirar tierra o ripio en ellos o erosionar los costados superiores. Para su conservación se recomienda:

- Evitar deforestar, construir, depositar basura, ripio, tierra o desechos de construcciones.
- Evitar sobrepasar su capacidad soporte de captación y limpieza de agua.
- Evitar construir calles a sus costados y de no tener opción evitar a toda costa que caiga la tierra de los cortes para la carretera al barranco y dejar los drenajes y pendiente de la calle hacia el lado contrario al barranco.
- Evitar intervenir, ya que cualquier variación a su estado natural los destruye.
- Utilizar o integrar estas áreas junto con la ecología del paisaje para lograr un sistema integral de ecosistemas.
- Crear un sistema natural de drenaje de agua pluvial, tratamiento de aguas negras y recargas de manto freático para ahorrar dinero en costosas estructuras. Y al mismo tiempo ganar dinero utilizándolo como área verde, canchas deportivas y/o zonas turísticas.
- Proteger estas zonas con leyes de zonificación, de este modo garantizar aire limpio, salud pública y conservación ecológica.
- Explotar los beneficios económicos de estas áreas y mantener la contaminación bajo la capacidad soporte de cada una de ellas.

4.2.5. Rol de la vegetación en la conservación. La vegetación es un filtro natural y de poco costo que se puede utilizar de infinitas maneras para limpiar el agua. Hay zonas especialmente efectivas como pantanos y zonas acuáticas intermedias que siempre deberían de estar vegetadas. Para lograr la conservación de todas las zonas previamente mencionadas siempre es recomendable dejar una barrera de vegetación para limpiar el agua y mantener la biodiversidad.

Tabla 2. Tipo de vegetación y función ecológica.

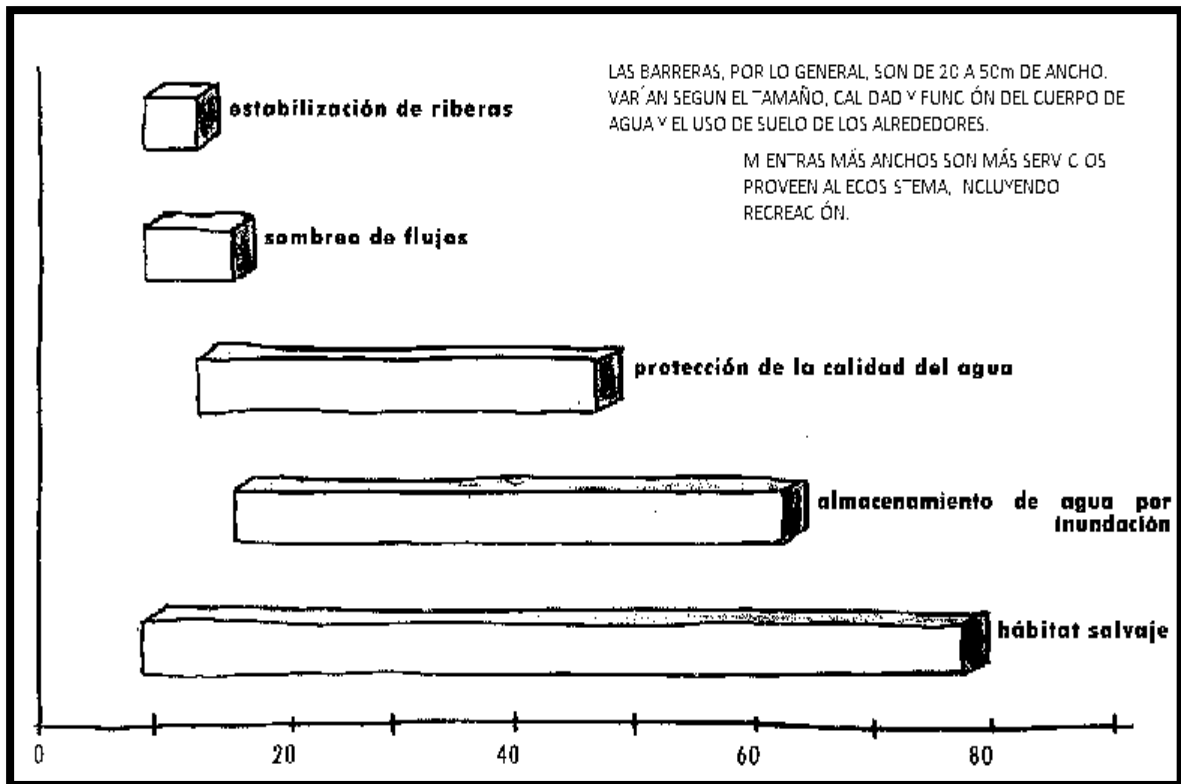
TIPO DE VEGETACIÓN Y FUNCIÓN ECOLÓGICA			
	PASTOS	ARBUSTOS	ÁRBOLES
Estabiliza riberas de esteros			
Filtra sedimentos			
Filtra nutrientes, pesticidas y microbios de la escorrentía			
Protege los suministros de agua potable y aguas subterráneas			
Mejora el hábitat acuático			
Mejora el hábitat para vida salvaje del campo			
Mejora el hábitat para vida salvaje de bosque			
Modera la temperatura del agua			
Otorga interés visual			
Protege contra inundaciones			
		ALTO	
		MODERADO	
		BAJO	

(Jesse Froehlich, 2008)

A continuación se muestran anchos recomendables para funciones posibles de la barrera y qué tipo de plantas son más efectivas para cada caso.

4.2.6. **Ubicación.** Previo a hacer cualquier tipo de proyecto se debe pensar donde se va a ubicar éste. La ubicación es indispensable para crear proyectos sostenibles y por lo tanto esta sección generaliza cuatro tipos de ubicación. Están ordenados de mayor a menor sustentabilidad con la cercanía a amenidades y la infraestructura presente. (Friedman, 2007, pág. 48) (USGBC, 2007), (Dirección de Planificación Urbana de la Ciudad de Guatemala, 2010)

Ilustración 25. Ancho de zona acuática intermedia y función ecológica en metros.



(Jesse Froehlich, 2008)

- **Área de relleno: (ideal)** terreno en un área que ya ha sido urbanizada. Aquí ya se encuentran instalaciones de infraestructura y amenidades. (Zonas G3, G4 y G5 en POT de la Ciudad de Guatemala)
- **Área comercial:** terrenos donde existen establecimientos comerciales como centros comerciales o edificios. Por lo general contienen amenidades aunque menos que un área de relleno, y están cerca de la actividad de la ciudad.
- **Área industrial:** Terreno situado en una antigua área industrial o de bodegas. Ya tiene infraestructura pero es posible que no tenga amenidades cercanas.
- **Área natural:** Terreno ubicado en lugares vírgenes u orillas de ciudades donde no hay urbanización previa o cercana. Esto crea esparcimiento urbano, destruye bosques, crea necesidad de infraestructura, tiene baja densidad y no tiene amenidades cercanas. (Zonas G0 y G1 del POT de la Ciudad de Guatemala)
- **Áreas especiales:** las cercanías y laderas de las zonas especiales mencionadas en la sección 3.2.4.

4.2.7.Reducción de la huella. La reducción de la huella en un desarrollo hace referencia al camino de menor impacto que se busca para conseguir la sostenibilidad. La huella de un desarrollo es una medida de cuánto se afecta un terreno con la construcción de edificaciones y el proceso de ejecución de las mismas. Para diseñar y planificar el desarrollo en el terreno se debe tener en cuenta (Bazant, 1986):

- La topografía
- El suelo y subsuelo
- La hidrología
- La vegetación existente, en especial los árboles
- El Clima

Los tres aspectos tienen una relación íntima ya que un cambio en uno de los aspectos afecta directamente al siguiente y viceversa. Por lo tanto, la aproximación al terreno debe ser integral y no se debe excluir ninguno de estos aspectos al diseñar y planificar.

4.2.7.1. Topografía La forma del relieve determina procesos naturales y los usos que el hombre puede hacer a distintas zonas. Antes de afectar una pendiente se debe tomar en cuenta que afectarla puede causar, entre otros efectos:

- Erosión
- Derrumbes
- Intercepción del ciclo hidrológico
- Destrucción de la vegetación por rellenos y falta de agua

Para establecer la zona de menor huella en el terreno relativo a la topografía, se deben identificar las pendientes del terreno y seguir las recomendaciones de la siguiente tabla:

*Tabla 3. Pendientes y uso de suelo.*

PENDIENTE	USO
0 – 5%	A pesar de ser apto para la construcción, se recomienda dejar las áreas verdes y suelos impermeables en estas áreas ya que son zonas de recarga acuífera y juegan un rol importante en la hidrología del sitio. (Bazant, 1986)

Tabla 3. Pendientes y uso de suelo. (Continuación)

Continuación Tabla 3 5 – 10%	Apto y recomendado para la construcción. No se requiere mucho movimiento de tierra, es ventajoso para el escurrimiento de agua, evitando humedad y costos de drenaje. Las viviendas tienen mejores condiciones de viento y vistas. Eso sí, se debe intentar que todas las calles vayan en diagonal entre las curvas de nivel para facilitar el escurrimiento pluvial.
10 – 15%	Requieren de mayores movimientos de tierra, mayor costo de infraestructura, pero mantienen las ventajas de construir entre el 5 y 10% de pendiente. Se debe procurar que las calles sean trazadas ligeramente paralelas al contorno topográfico.
>15%	Se debe evitar el desarrollo urbano, ya que el costo y el riesgo son muy altos.

(Bazant, 1986)

4.2.7.2. Suelos. Los suelos están determinados por las condiciones del clima, la topografía y la vegetación. Cuando varía estas determinantes, los suelos experimentan cambios. En general los suelos son aptos para la construcción excepto:

- Suelos expansivos
- Suelos dispersivos (arcillas erosionables)
- Suelos colapsables
- Suelos corrosivos
- Suelos orgánicos

La primera capa de suelo por lo general está compuesta por suelos orgánicos, comúnmente llamados “tierra negra”, los cuales se recomienda remover y guardar para reciclarlos en jardineras o jardines.

4.2.7.3. Hidrografía. El elemento principal a tratar con respecto a la hidrología es el escurrimiento, ya que causan molestias a los pobladores y trastornos graves que pueden ocasionar inundaciones y polución en los cuerpos de agua. (Bazant, 1986)

En general, se recomienda respetar los cauces naturales del sitio, evitando construir sobre ellos ya que puede causar serios daños a la construcción en una precipitación intensa.

Se recomienda utilizar los cauces como áreas verdes y utilizar las técnicas descritas en la sección de Hidrología de este documento para el control de escorrentía. (Bazant, 1986)

Las depresiones del terreno en las partes bajas de los valles son susceptibles a inundaciones por lo que se debe evitar la construcción en estas zonas. Para recomendaciones de cómo utilizar estas y otras áreas críticas para la hidrología de un sitio referirse a la sección III.D de este documento. (Bazant, 1986)

4.2.7.4. Vegetación. Por ser un elemento estabilizador de micro-clima, por sus cualidades estéticas, capacidad de reducción de isla de calor, control de erosión y rol en la hidrología, se recomienda respetar la vegetación existente en el sitio, sobre todo los árboles. (Bazant, 1986) Se recomiendan los siguientes usos de suelo según la vegetación presente:

*Tabla 4. Vegetación y uso de suelo.*

<b>VEGETACIÓN</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>USO RECOMENDABLE</b>
<b>Pastizal</b>	Fácil sustitución Asoleamiento constante Temporal de lluvias Temperaturas extremas Se da en valles y colinas Control bueno para siembra Control de la erosión	Agrícola y ganadería Urbanización sin restricción Industria
<b>VEGETACIÓN</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>USO RECOMENDABLE</b>
<b>Bosques o frutales</b>	Sustituible si es planeada Vegetación constante Asoleamiento al 50% Temperatura media Topografía regular Humedad baja y media	Industria maderera Industria de comestibles Urbanización con restricción

Tabla 4. Vegetación y uso de suelo. (Continuación)

<b>Palmar</b>	Sustituible si es planeada Vegetación mediana Clima cálido o templado Lluvias de temporal esporádico Asoleamiento casi todo el día Topografía regular con algunas variantes	Preservación Industria de comestibles (aceites) Urbanización con restricción
<b>Selva Baja</b>	Vegetación media de difícil sustitución Temperaturas altas y medias Humedad constante Abundante flora y fauna Topografía regular Lluvias constantes 50% de día con nublados	Ganadería Agrícola Fruticultura Reserva natural No urbanizar
<b>Selva Media</b>	Vegetación insustituible Vegetación muy cerrada Temperaturas altas Humedad excesiva Exuberante flora y abundante fauna Ventilación media Topografía no muy regular Lluvias constantes y poca evaporación Asoleamiento constante	Reserva ecológica Parque natural No Urbanizar

(Bazant, 1986)

4.2.7.4.1. *Conservación de árboles en planeación y ejecución de obras.* Las principales razones por las cuales muere un árbol en una obra civil son la alteración de oxígeno en la tierra, daño a las raíces y daño a la estructura del árbol. El estancamiento de agua, los pavimentos y la compactación de suelos son causas comunes de reducción de oxígeno, mientras que la mala planificación de tuberías, rutas de acceso y descuido durante la obra dañan y golpean los árboles y sus raíces. Muchos árboles

prácticamente no toleran ninguno de estos daños por lo tanto es imprescindible que se identifiquen los árboles en el terreno, se escoja el camino del menor daño posible y luego planificar el cuidado de los árboles a conservar con las siguientes técnicas: (Carpenter, 1983)

- Pozos secos

Brindan protección a los árboles contra lesiones relacionadas a tierras de relleno o movimientos de tierra, incluso el apilamiento temporal de tierra. Su función es la de proteger a las raíces evitando que se deposite tierra sobre éstas y cambien los niveles de oxígeno en la tierra. Algunos árboles como el aguacatal toleran alrededor de 20cm de relleno pero otros como los encinos no toleran cambio en absoluto. (Carpenter, 1983)

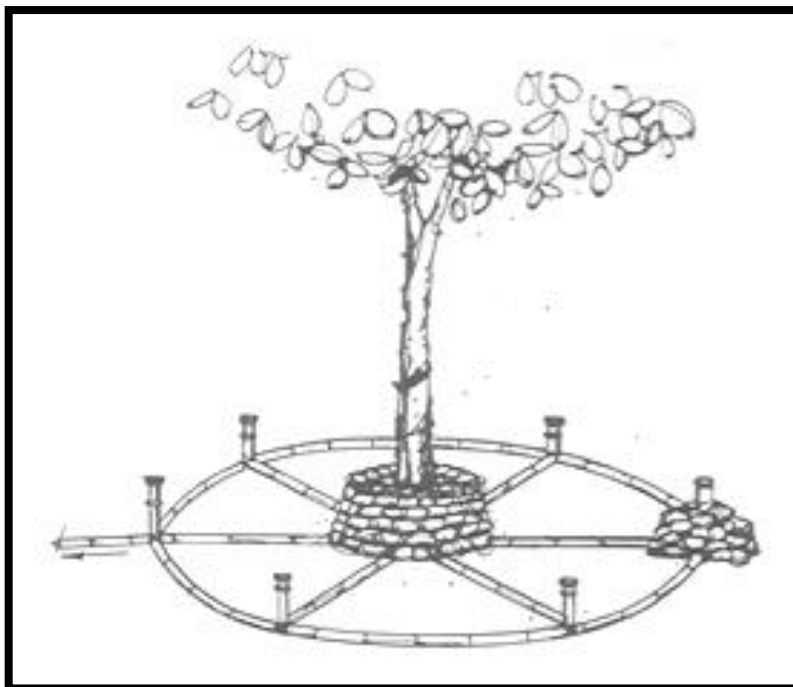
Lo primero que se debe hacer es quitar la hojarasca de debajo de la copa del árbol y dispersar abono y mezclarlo con la tierra superficial. Luego, se debe hacer un drenaje a base de baldosas de drenaje de aproximadamente 10cm, con sisa junta, con el mismo diámetro de la copa del árbol y con el siguiente patrón. (Carpenter, 1983)

Luego levantar un muro de la altura del relleno en el perímetro del círculo de drenaje y un muro alrededor del tronco del árbol (pozo), lo suficientemente grande para permitir el crecimiento del árbol. Estos muros pueden estar hechos de piedra, ladrillo o block y se recomienda rellenar de piedrín de 2 pulgadas para evitar costos de mantenimiento y limpieza del pozo. Rellenar el espacio entre los muros entre 20 y 30cm con piedrín de 3 pulgadas o más. Cubrir esta capa con paja o geotextil para evitar que se tapen los espacios de aire ente las piedras y luego rellenar el agujero con la tierra de relleno. A continuación se muestra una sección del pozo. (Carpenter, 1983)

Este sistema sirve tanto para rellenos como para cortes de terreno, de esta manera se evita cortar las raíces y matar una sección o incluso todo el árbol. (Carpenter, 1983)

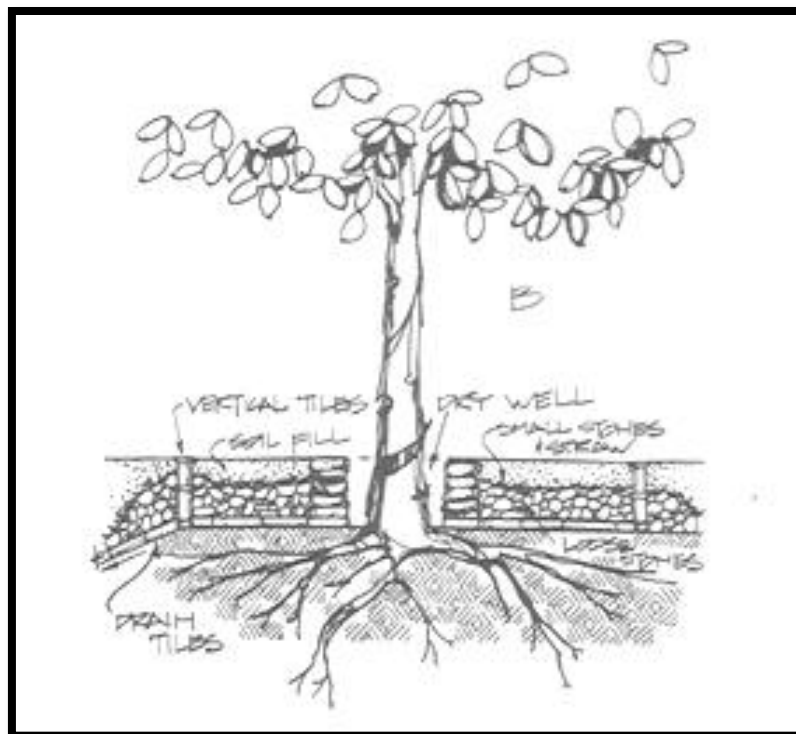
Una vez creado el pozo, si se quiere poner un área impermeable sobre éste se debe dejar como mínimo la mitad de la copa del árbol con área permeable. Para el resto de la copa, se deben dejar tubos perforados a los extremos de la copa para que estos lleven agua y oxígeno hacia las raíces más extremas. Este método funciona únicamente si el suelo del pozo no es compactado, de lo contrario, las raíces mueren igual. A continuación se muestra un esquema de este sistema. (Pokorny, 2010)

Ilustración 26. Patrón de distribución de baldosas de drenaje.



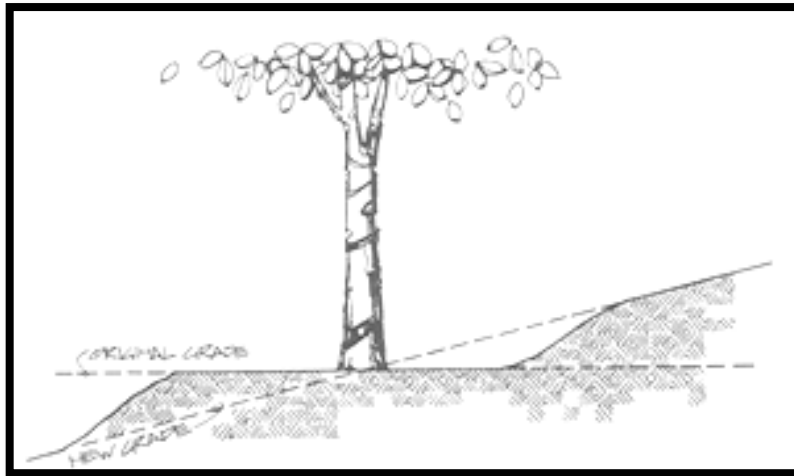
(Carpenter, 1983)

Ilustración 27. Sección de pozo seco.



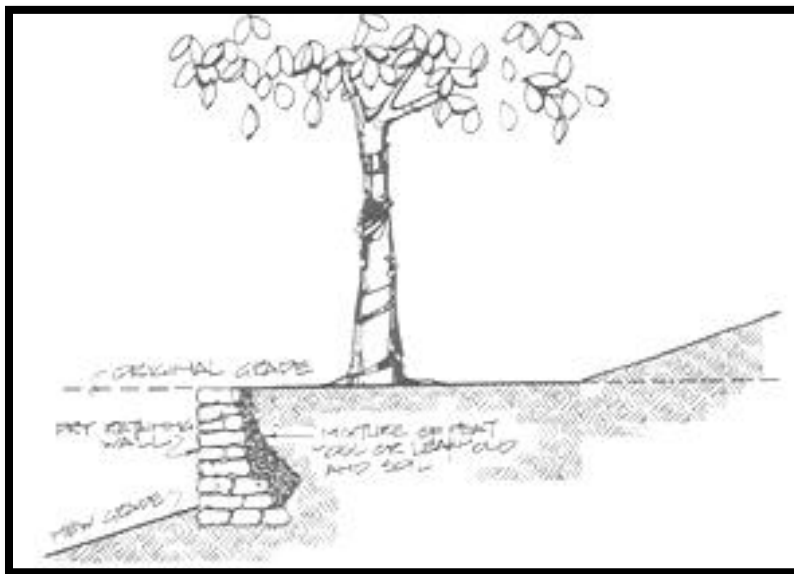
(Carpenter, 1983)

Ilustración 28. Modificación de pendiente.



(Carpenter, 1983)

Ilustración 29. Pozo seco en corte de terreno.



(Carpenter, 1983)

Este sistema sirve tanto para rellenos como para cortes de terreno, de esta manera se evita cortar las raíces y matar una sección o incluso todo el árbol. (Carpenter, 1983)

Ilustración 30. Pozo seco con superficie impermeable.

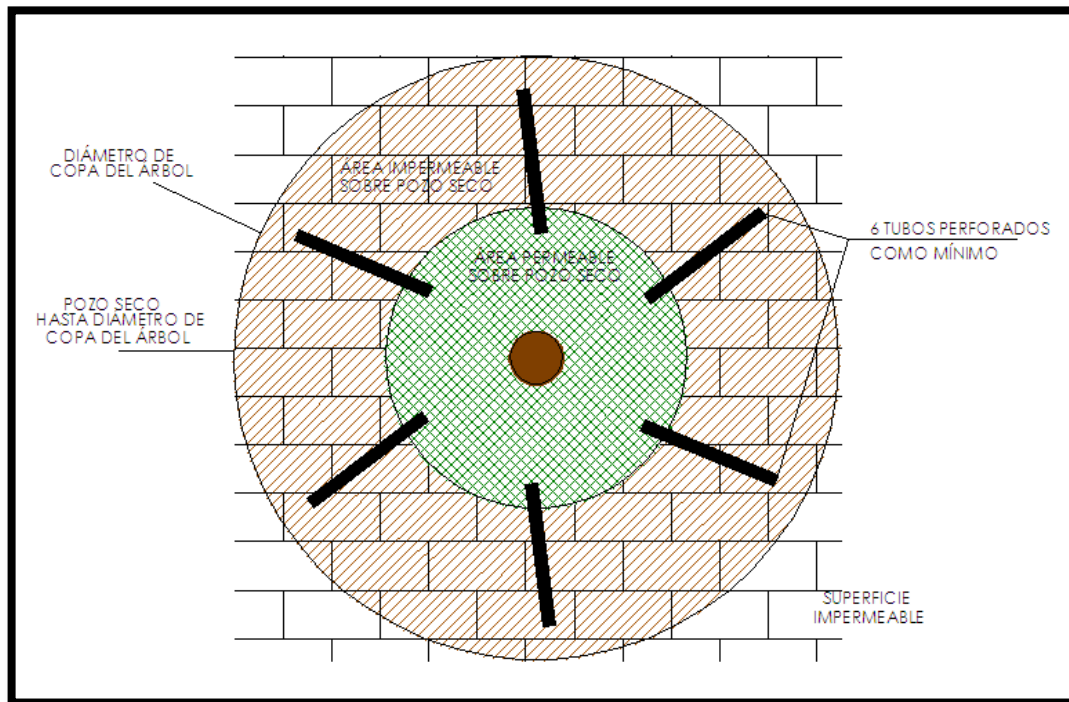
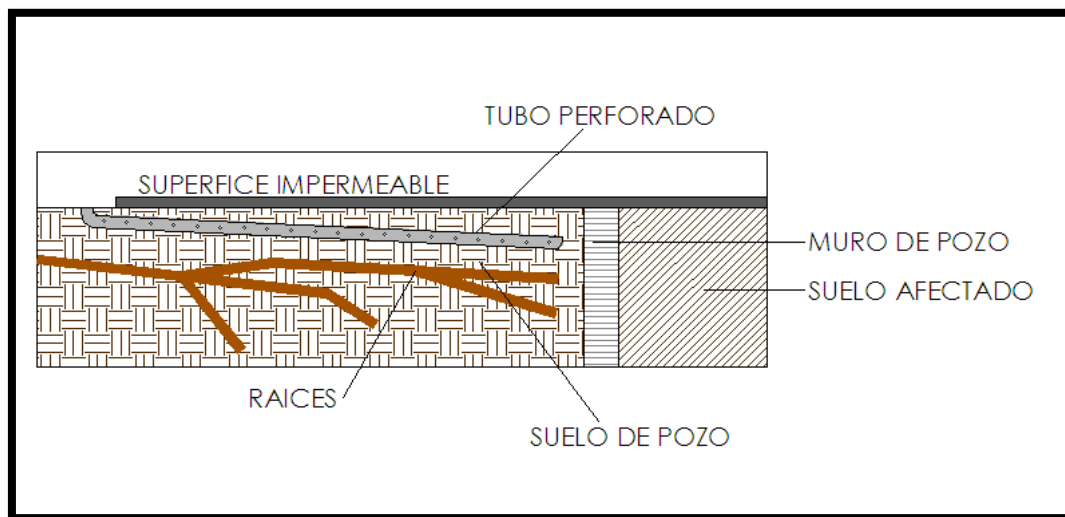


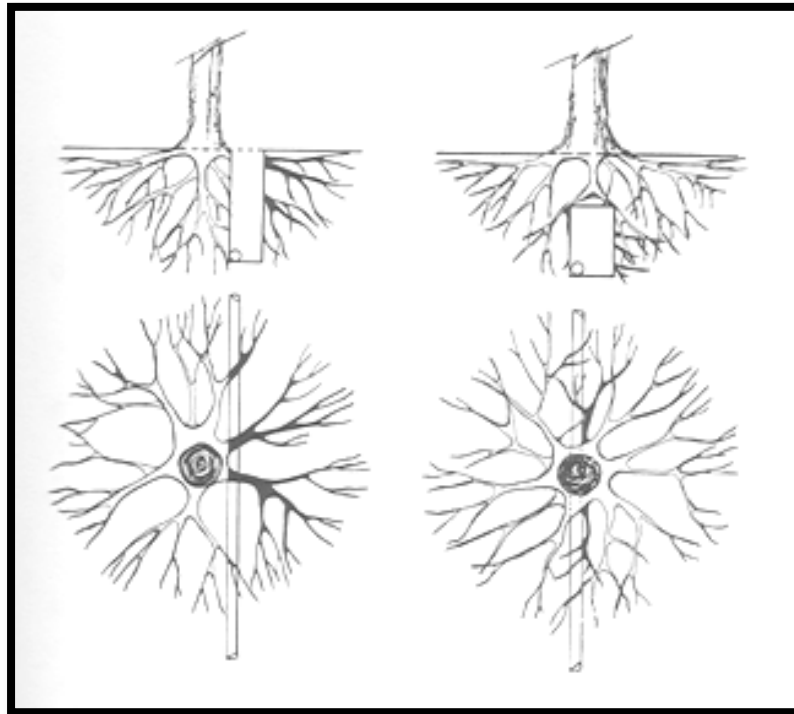
Ilustración 31. Detalle de tubo perforado en pozo seco.



- Protección contra zanjas

Una de las maneras más comunes de daño a las raíces de los árboles son las zanjas o trincheras por debajo de la copa del mismo. La mejor manera de evitar esto es evitar el paso de los drenajes por debajo de las copas en la etapa de planeación. (Carpenter, 1983) (Nigel Dunnett, 2007)

*Ilustración 32. Protección contra zanjas para árboles.*



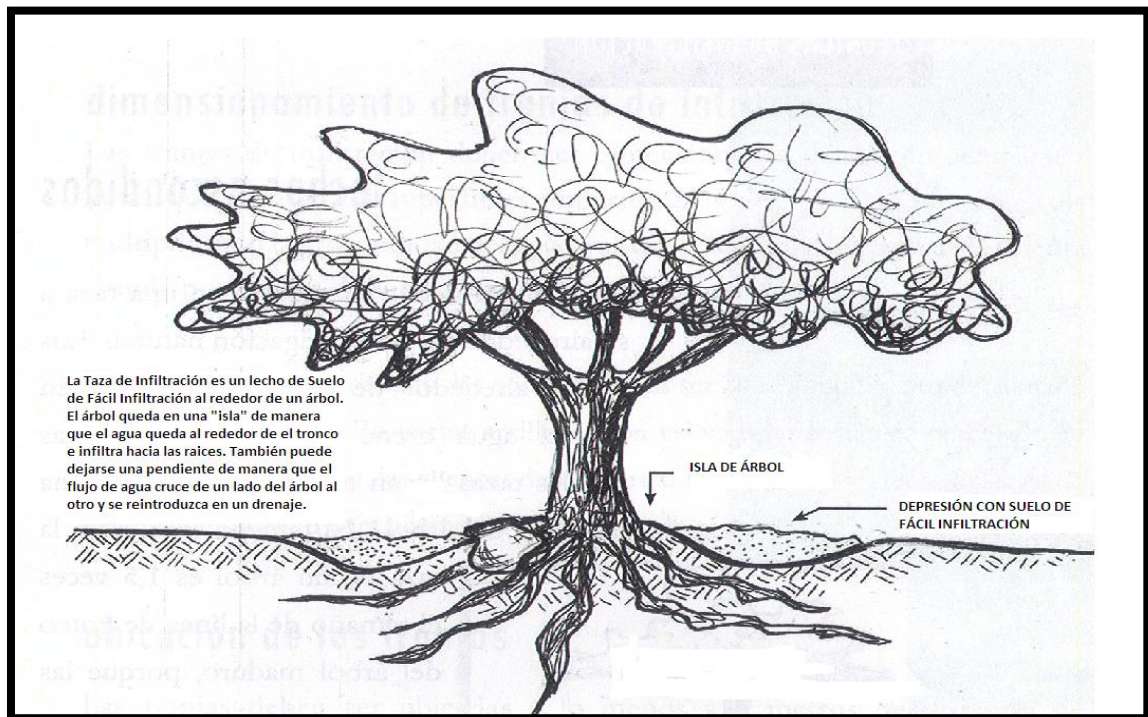
*(Carpenter, 1983)*

De no ser posible se debe ya sea hacer un túnel debajo del árbol o incorporar el árbol al sistema de drenajes por medio de una taza de absorción. Estas tazas pueden ser el destino final de dicho drenaje o estar incorporadas al sistema de manejo de escorrentía descrito en la sección de hidrología de este documento.

- Lesiones por equipamiento

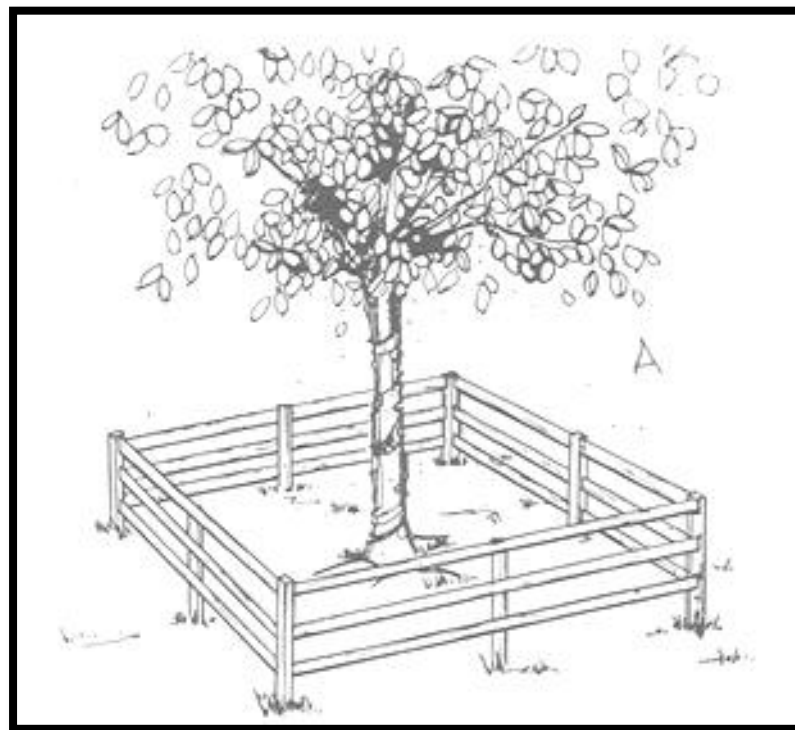
Otro tipo de lesiones a un árbol son los cortes al tronco debido a maquinaria y compactación de la tierra por el paso de vehículos, que exponen y dañan los sistemas internos del árbol y cambian la infiltración y oxígeno de la tierra, respectivamente. La mejor manera de evitar esto es haciendo una cerca alrededor del árbol, protegiendo el espacio debajo de la copa (A). Debido a que esto no siempre es posible, se puede hacer también barreras pegadas al tronco (B) a manera de evitar punzonamiento o cortes a la corteza del árbol. (Carpenter, 1983)

Ilustración 33. Taza de infiltración.



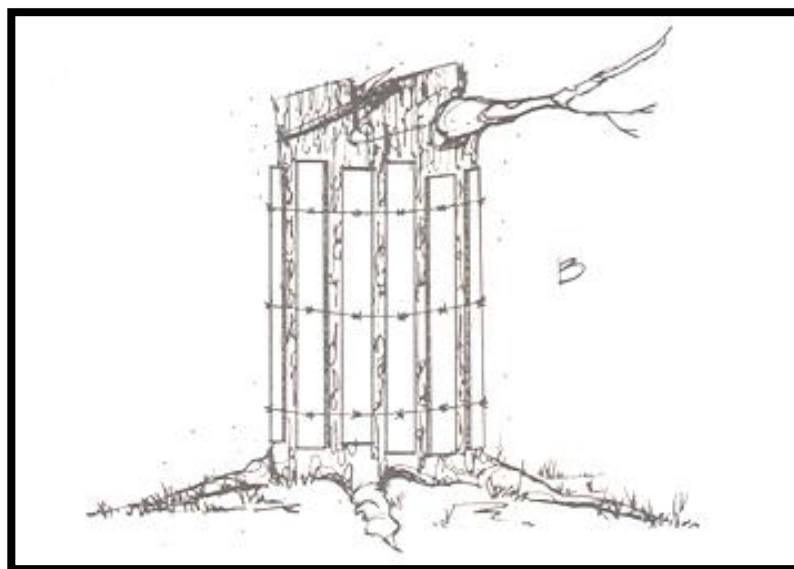
(Jesse Froehlich, 2008)

Ilustración 34. Cercas de protección para árboles.



(Carpenter, 1983)

Ilustración 35. Protección contra equipamiento en árboles.



(Carpenter, 1983)

4.2.7.5. Clima. Es importante tener el clima en consideración para resolver los siguientes problemas:

Tabla 5. Valorización del clima.

VARIABLES	CARACTERÍSTICAS	APLICACIÓN al DISEÑO	PROBLEMAS a RESOLVER
<b>Temperatura alta</b> 30°C - 40°C	En desierto: lluvia escasa, humedad seca En trópico: lluvia abundante, humedad elevada	Procurar ventilación cruzada y espacios sombreados Muros gruesos Techos altos, pórticos	Ventilación Sombras
<b>Temperatura media</b> 20°C - 30°C	Calor soportable Lluvia regular Humedad media	Espacios abiertos Muros delgados Ventanas grandes	Sombras
<b>Temperatura baja</b> 0°C - 20°C	Poco calor Poco lluvioso Húmedo	Procurar asoleamiento y retención de calor Techos bajos, ventanas pequeñas	Protección contra vientos fríos

Continuación tabla 5

VARIABLES	CARACTERÍSTICAS	APLICACIÓN al DISEÑO	PROBLEMAS a RESOLVER
<b>Asoleamiento directo</b>	Radiación exposición franca	Espacios de deporte al aire libre Áreas de recreación Usar volados, aleros, vegetación para procurar sombras	Sombras Bloquear orientación indeseable y aprovechar la deseable
<b>Asoleamiento tangente o indirecto</b>	Exposición media a reflejos	Áreas residenciales y de equipamiento urbano Usar partesoles para matizar reflejos.	Reflejos
<b>Vientos dominantes</b>	Buena ventilación Atraen lluvia Disminuyen la contaminación	Aprovechamiento para condiciones de confort en los espacios Ventanas medianas	Ventilación de los espacios
<b>Precipitación 750mm</b>	Lluvia constante todo el año	Procurar buenos drenajes pluviales y áreas grandes techadas volados, aleros en las construcciones; pórticos	Escurrimiento Erosión
<b>Precipitación 250–750 mm</b>	Lluvia de temporal unos meses del año	Concentrar el agua en canales y presas	Almacenamiento
<b>Precipitación 250mm</b>	Lluvia esporádica de temporal	Prever presas Perforaciones profundas Obras de captación de aguas	Captación
<b>Humedad 60% - 100%</b>	Asoleamiento bueno muy lluvioso	Procurar sombra y ventilación cruzada Espacios grandes, claros y altos	Ventilación

Continuación tabla 5

VARIABLES	CARACTERÍSTICAS	APLICACIÓN al DISEÑO	PROBLEMAS a RESOLVER
<b>Humedad</b> <b>30% - 60%</b>	Asoleamiento bueno poco lluvioso	Provocar ventilación	Asoleamiento
<b>Humedad</b> <b>30%</b>	Muysoleado poca lluvia	Procurar sombras Espacios pequeños y oscuros	Evaporación

(Bazant, 1986)

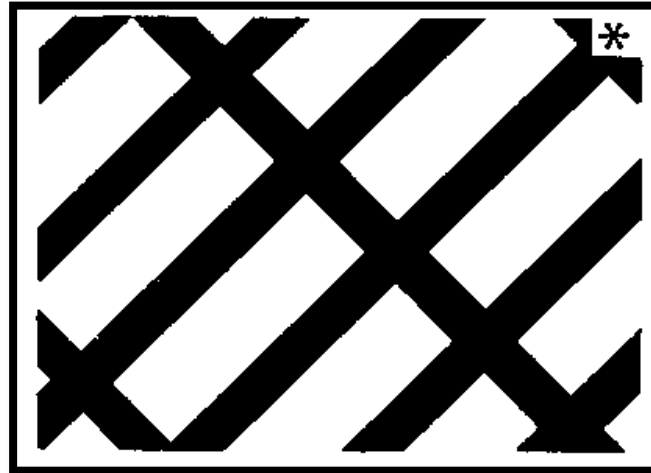
**4.2.8. Orientación.** Orientar una urbanización se refiere a la dirección de sus calles, cuadras, casas y áreas verdes de tal manera que aumente la comodidad de los usuarios, se reduzca el uso de energía y se exploten las cualidades de los elementos naturales. Para lograr el confort hay que tomar en cuenta las necesidades de cada tipo de clima para lograr el confort así como el uso que se le esté dando a cada zona. A continuación se exponen las orientaciones para 4 tipos de clima generales. (Mario Schjetanan, 1984)

#### 4.2.8.1. Clima frío o de montaña

**Descripción:** Las temperaturas oscilan entre los 5.0°C y 20.0°, días soleados en época seca y nuboso en época de lluvia. Vientos variables. (Bazant, 1986)

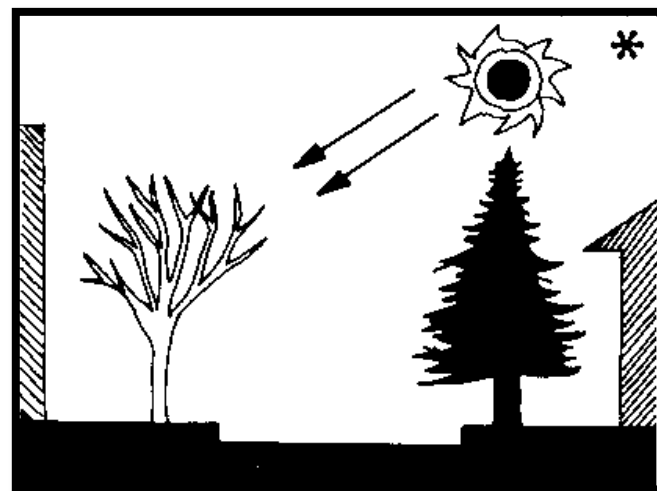
- **Calles:** Anchas y soleadas, dirección NO-SE o NE-SO.
- **Cuadras:** Lado largo en dirección SO o NE.
- **Casas:** Lotes y viviendas compactas, fachadas NO, SO, SE o NE, alargados con patios traseros soleados y protegidos al viento.
- **Árboles:** De hoja caduca al SO y perenes al NE (sin dar sombra a la fachada NE).
- **Objetivo:**
  - *Evitar el viento Norte:* No dar exposición franca a fachadas y calles al norte ya que los vientos en esta dirección son más fríos.
  - *Ganar energía solar:* Aprovechar el sol de la mañana en las fachadas para calentar en época de frío. (Mario Schjetanan, 1984) (Bazant, 1986)

Ilustración 36. Orientación de cuadras en clima de montaña.



(Mario Schjetanan, 1984)

Ilustración 37. Árboles en clima de montaña.



(Mario Schjetanan, 1984)

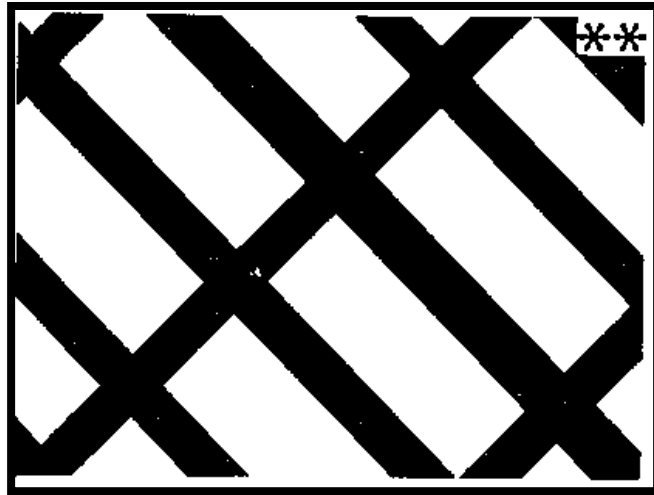
#### 4.2.8.2. Clima templado

**Descripción:** Temperaturas oscilan entre los 15°C y los 25°C, con temperaturas máximas de 35°C y mínimas de 5°C. Distribución uniforme entre días soleados y nublados, dependiendo de la estación. Vientos Norte, Noreste y Noroeste entre 10 a 20 km/hr. Humedad entre el 40 y 60% con precipitación 6 meses al año. (Bazant, 1986)

- **Calles:** Dirección NO-SE o NE-SO, sección es irrelevante.
- **Cuadras:** Lado largo en dirección NO o SE.
- **Casas:** Lotes y viviendas angostas o regulares (6-8m), fachadas NO, SO, SE ó NE, fondo de ±18m con patios traseros soleados.

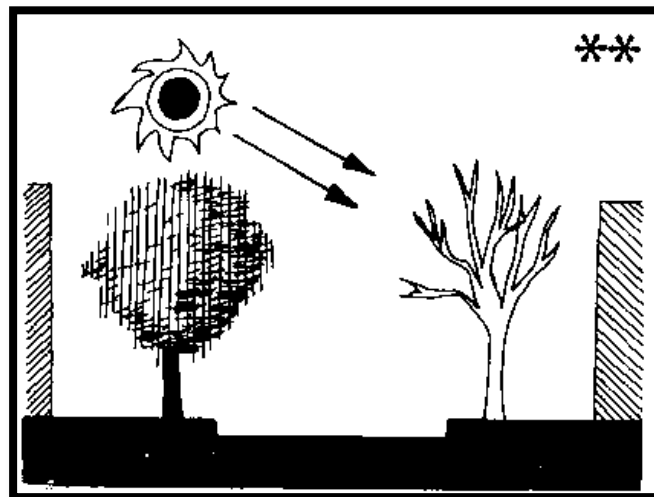
- **Árboles:** Perenes al SO y caducas al NE (asoleamiento en invierno).
- **Objetivo:**
  - *Sol para cada época:* Aprovechar el sol en la época de invierno y evitarlo en época de verano para reducir costos en energía.
  - *Árboles en calles:* Utilizar árboles que disminuyan el sol pero que no lo tapen por completo. (Mario Schjetanan, 1984) (Bazant, 1986)

*Ilustración 38. Orientación de cuerdas en clima templado.*



(Mario Schjetanan, 1984)

*Ilustración 39. Árboles en clima templado.*



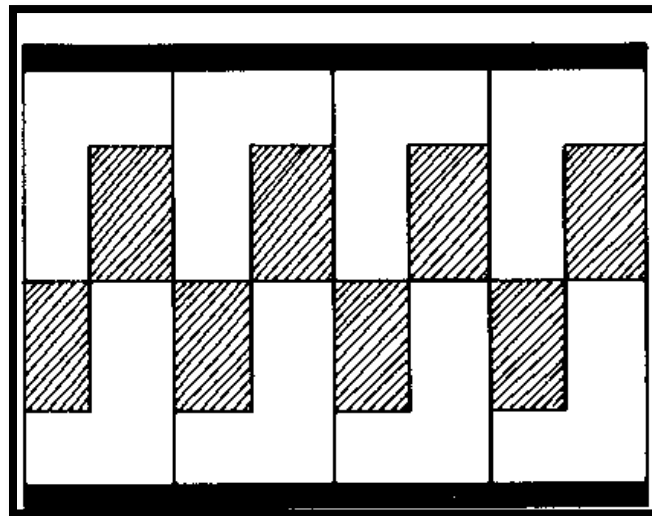
(Mario Schjetanan, 1984)

#### 4.2.8.3. Clima tropical – húmedo

**Descripción:** Temperaturas entre los 20°C y 30°C, máximos de 35°C y mínimos de 15°C. días soleados y claros, vientos de 20 a 50 km/hr, humedad del 50 a 90% con alta intensidad de precipitación. (Bazant, 1986)

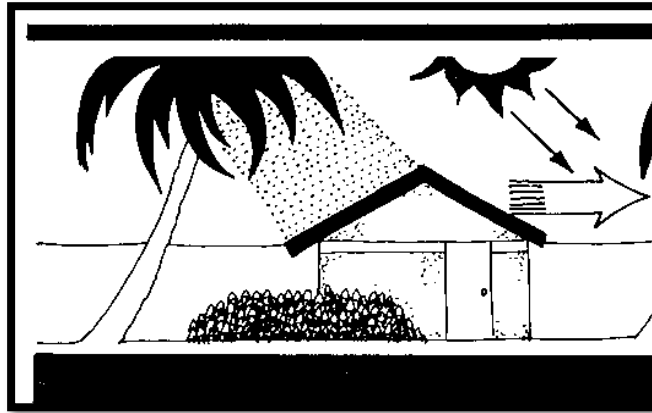
- **Calles:** En dirección del viento predominante y bien sombreadas.
- **Cuadras:** Lado largo paralelo al viento.
- **Casas:** Lotes anchos  $\pm 12$ m, casas con colindancias libres, fachadas E o O evitando el sol durante época calurosa.
- **Árboles:** Perenes dando sombra a casas, poca frondosidad para permitir el paso de viento.
- **Objetivo:**
  - *Evitar el Sol:* se busca evitar la exposición directa al sol, especialmente en época de calor.
  - *Árboles:* tapando la mayor cantidad de área de calles y casas para mantener fresca y evitar radiación. (Mario Schjetanan, 1984) (Bazant, 1986)

*Ilustración 40. Lotes en clima tropical – húmedo.*



*(Mario Schjetanan, 1984)*

Ilustración 41. Árboles en clima tropical húmedo.



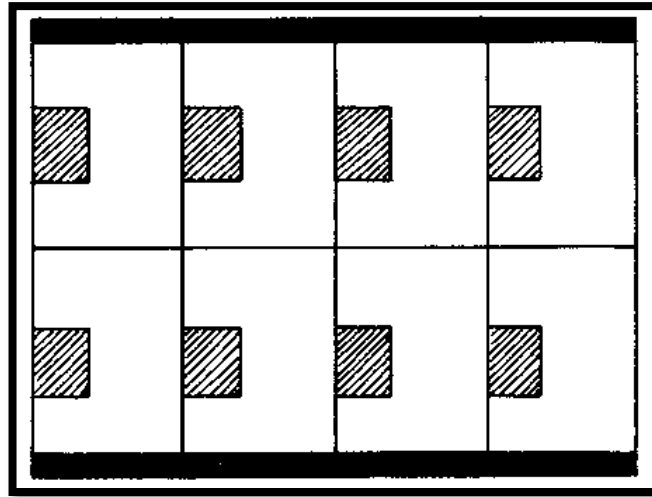
(Mario Schjetanan, 1984)

#### 4.2.8.4. Clima semidesértico (extremo)

**Descripción:** temperaturas entre 10°C y 30°C, máximos de 35°C y mínimos de 0°C, más del 80% son soleados, vientos entre 20 y 30 km/hr con poca precipitación y humedad entre el 10 y 30%. (Bazant, 1986)

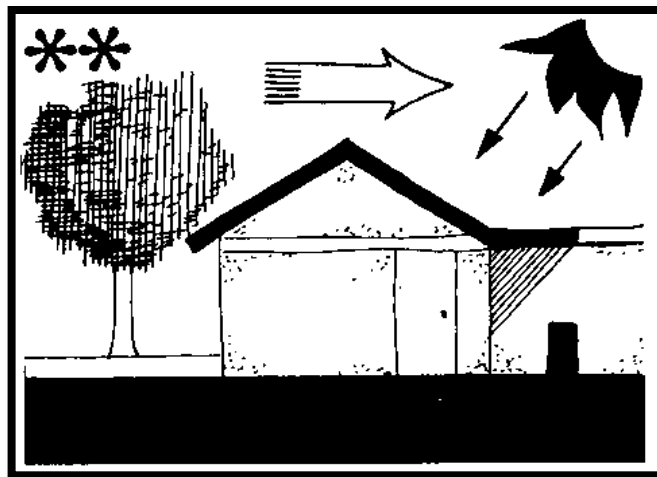
- **Calles:** Angostas, evitando el Norte.
- **Cuadras:** Evitando el Norte.
- **Casas:** Lotes anchos y cuadrados, casas cerradas con patios cerrados asoleados en invierno, sombrear con terrazas o árboles en verano, ubicando ventanas hacia el patio.
- **Árboles:** Caducos dando sombra a casas en verano y asoleando en invierno, frondosos para aminorar cambios bruscos de clima, proteger de viento y sol.
- **Objetivo:**
  - *Cerrar calles y casas:* se quiere evitar sol en verano y viento en invierno, así que evitar cualquier exposición es la manera más efectiva.
  - *Árboles:* tapar en verano y bajar velocidad de viento en invierno. (Mario Schjetanan, 1984) (Bazant, 1986)

*Ilustración 42. Lotes en clima semidesértico.*



(Mario Schjetanan, 1984)

*Ilustración 43. Árboles en clima semidesértico.*



(Mario Schjetanan, 1984)

4.2.8.5. Viento. Para mantener la ciudad con aire limpio y fresco se recomienda utilizar el viento de manera que limpie las arterias principales ó calles principales de una urbanización y que provea aire fresco a la ciudad. (Spirn, 1984) Para ello utilizar:

4.2.8.5.1. *Ríos de viento*. Corredores verdes, parques lineales, sistemas de parques, etc. ramificados y paralelos al viento para que llegue aire puro a cada rincón de la ciudad. (Spirn, 1984)

4.2.9. **Estructura urbana**. La estructura urbana es la síntesis de todas las diversas acciones que los habitantes de una ciudad pueden realizar, tales como trabajar, recrearse, trasladarse, comercial o hacer uso de servicios. La estructura se compone de:

- Redes
- Comunicación
- Accesibilidad
- Actividades de la Población
- Espacios Adaptados

Existen varios sistemas que se han creado según la necesidad de cada lugar. Debido a la diversidad topográfica de Guatemala, se expondrán todos los sistemas con sus ventajas y desventajas para que el diseñador pueda seleccionar uno o una mezcla de sistemas. (Mario Schjetanan, 1984)

4.2.9.1. **Sistema lineal**. La estructura se crea a lo largo de una vía principal, teniendo el desarrollo a los costados. Se presentan ramificaciones a los costados de poca profundidad.

Se puede utilizar como estructura básica de una desarrollo, siendo vía principal una arteria que une distintas zonas o recolecta los autos de la urbanización. Se debe evitar que la línea sea muy larga ya que aleja mucho las actividades y crea dependencia del auto. (Mario Schjetanan, 1984)

Ilustración 44. Río de viento.

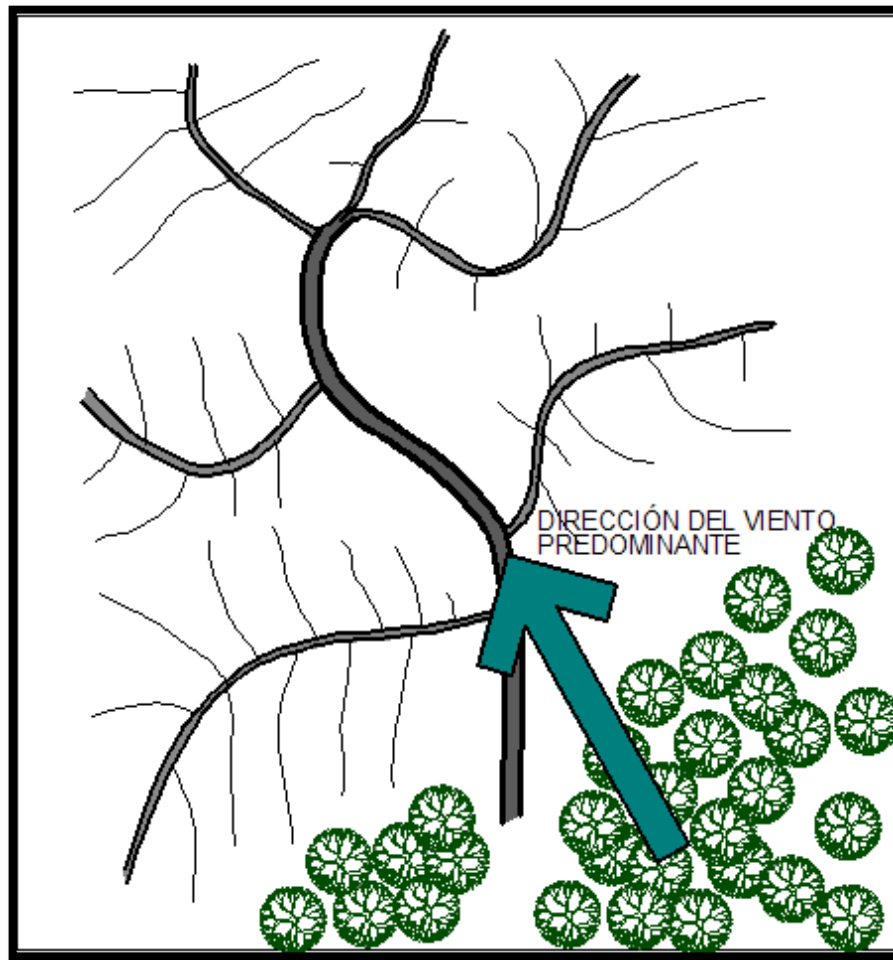
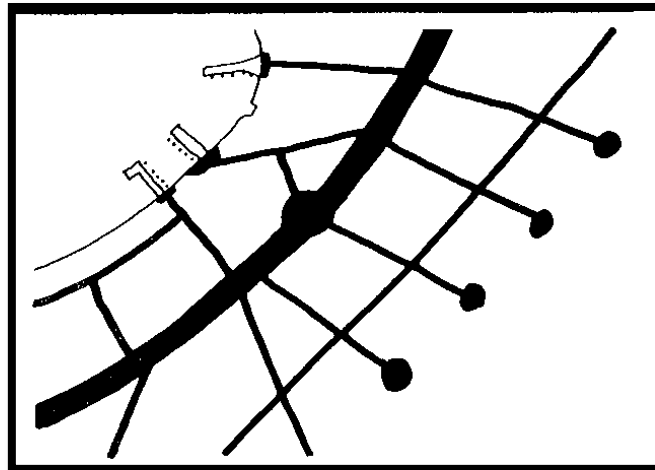


Tabla 6. Ventajas y desventajas del sistema lineal.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Fácil crecimiento sin comprometer estructura básica.	No tiene muchas alternativas de arreglo de tráfico.
Fácil control de desarrollo y forma.	Actividades se alejan cada vez más creando mayor uso de auto.
Facilita orientación de habitantes.	Paisaje monótono.
Sencilla la urbanización e implementación de infraestructura.	
Se adapta bien a transporte colectivo.	
Facilita concentración y evita dispersión.	
Se adapta bien a topografía.	

Ilustración 45. Sistema lineal.



(Mario Schjetanan, 1984)

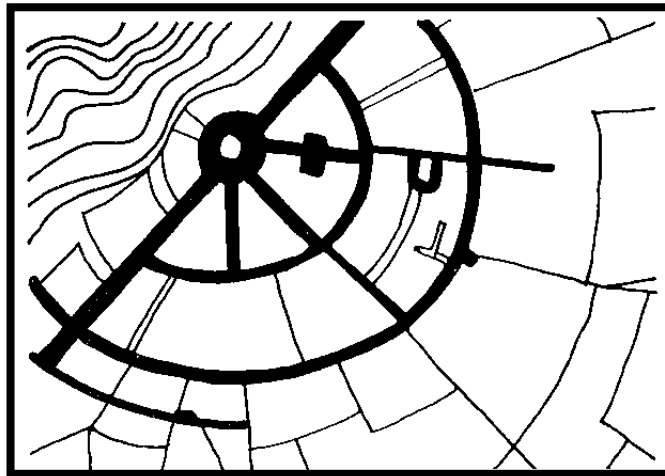
4.2.9.2. Sistema Concéntrico Radial. La estructura consiste de un centro del cual irradian calles que las cuales son unidas por otros radios de tal manera que quedan anillos concéntricos unidos por un centro común.

Se puede utilizar como estructura básica de una urbanización pequeña y con poco tráfico.

Tabla 7. Ventajas y desventajas del sistema concéntrico lineal.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Puede crecer con incrementos cada vez más grandes.	El desarrollo se debe hacer en todo su perímetro de forma equilibrada.
Propicia la equidistancia al centro, y por lo tanto, vuelve accesible el centro desde cualquier punto.	Costosa implementación de infraestructura y vialidad.
Se adapta a topografías planas.	Propicia dispersión.
Propicia diferentes alternativas de desarrollo.	Es difícil su adaptación a topografías accidentadas.
	Tiende a saturarse y congestionarse en el centro siendo difícil el crecimiento y descentralización.
	Se adapta mejor a transporte privado que colectivo.

Ilustración 46. Sistema concéntrico radial.



(Mario Schjetanan, 1984)

4.2.9.3. Sistema "plato roto". No tiene una estructura geométrica definida u orden.

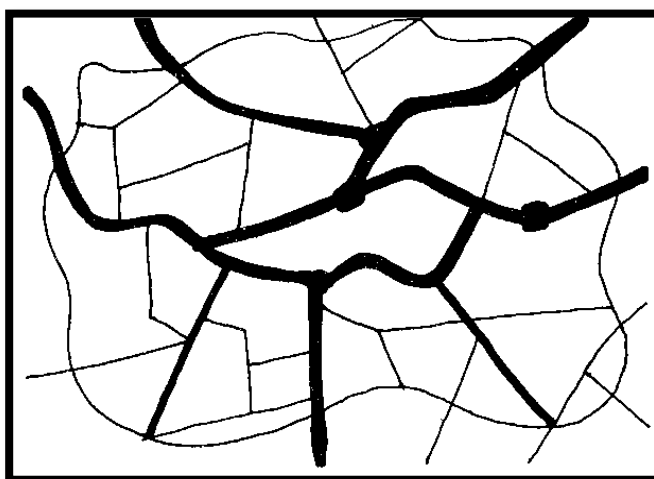
Tabla 8. Ventajas y desventajas del sistema "plato roto".

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Genera una ciudad con mucha arquitectura y con mucha vida	No permite sistematización de terrenos y calles.
Buena adaptación a topografía accidentada.	Confuso para orientación de usuarios
Genera alternativas de orientación de lotes.	Dificulta tránsito y propicia el congestionamiento.
Genera alternativas de orientación de lotes.	La infraestructura es difícil de introducir y se incrementa costo
Propicia sistemas peatonales y escala humana.	Difícil jerarquizar vialidad.
Genera ciudades o zonas pintorescas.	

Se puede utilizar como estructura básica de una urbanización pequeña y con poco tráfico.

4.2.9.4. Sistema de malla o retícula. La estructura es cuadrada o rectangular, hace que se creen manzanas. Pueden haber variantes cambiando el ángulo de cruce de la vialidad o tomar formas curvas.

Ilustración 47. Sistema de "plato roto".



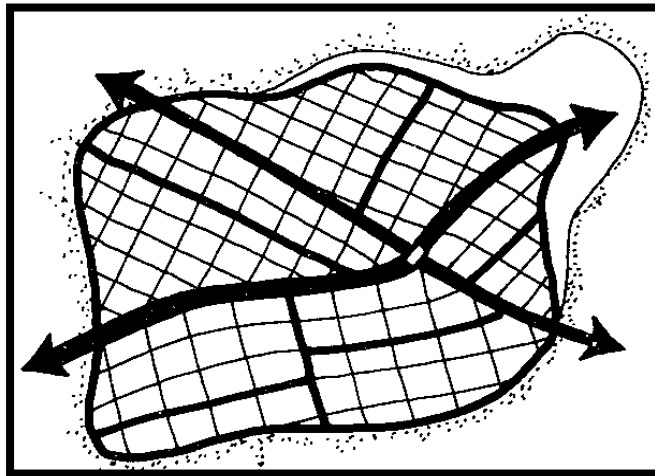
(Mario Schjetanan, 1984)

Tabla 9. Ventajas y desventajas del sistema de malla.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Fácil organización de lotes.	Si la vialidad no está bien jerarquizada se vuelven peligrosos los cruces y se saturan algunas vías al tiempo que se desperdician otras.
Forma fácil de comprender.	Presenta dificultad de adaptación a accidentes topográficos curvilíneos.
Fácil crecimiento.	No facilita el transporte urbano.
Flexible por su lotificación modulable.	
Tiene cierto grado de adaptación a diferentes topografías.	
Permite mayor control de las orientaciones y vientos.	
En casos de saturación de algunas vías tiene alternativas de solución.	
Es flexible a cambios de dimensión y forma en calles.	

Es muy recomendado para áreas grandes de vivienda pero se recomienda proveer con calles de entrada y salida para evitar saturaciones. Asimismo, se recomienda que el tráfico en áreas comerciales sea fluido y se provea de parqueos para evitar obstáculos en la calle que creen saturaciones.

Ilustración 48. Sistema de malla.



(Mario Schjetanan, 1984)

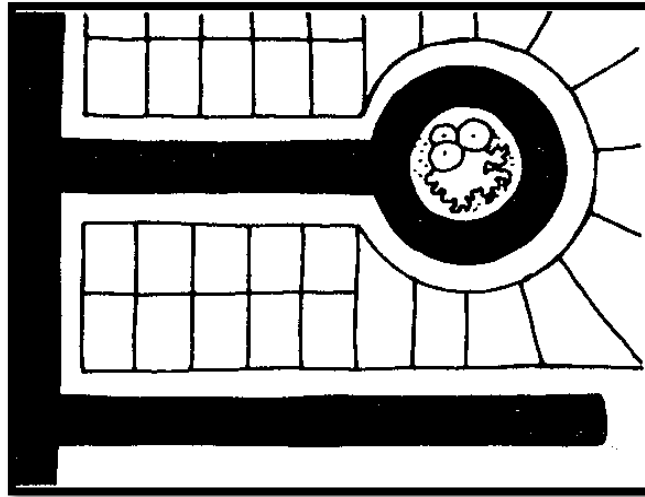
4.2.9.5. Sistema cul-de-sac. Sistema que se basa en calles sin salida, estos crean grandes manzanas, agrupaciones de casas o retículas interrumpidas donde se separan las vías para tráfico con caminos peatonales.

Tabla 10. Ventajas y desventajas del sistema cul-de-sac.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Mayor opción de distribución de lotes.	En casos de saturación hay pocas alternativas.
Forma fácil de comprender.	Lotes irregulares.
Fácil crecimiento.	Limita accesos a tránsito.
Fácil adaptación a terrenos accidentados.	De ser mal diseñado puede ocupar mucho terreno y aumentar la huella en el terreno.
Fácil jerarquización de vías	
Aumento de seguridad al peatón.	

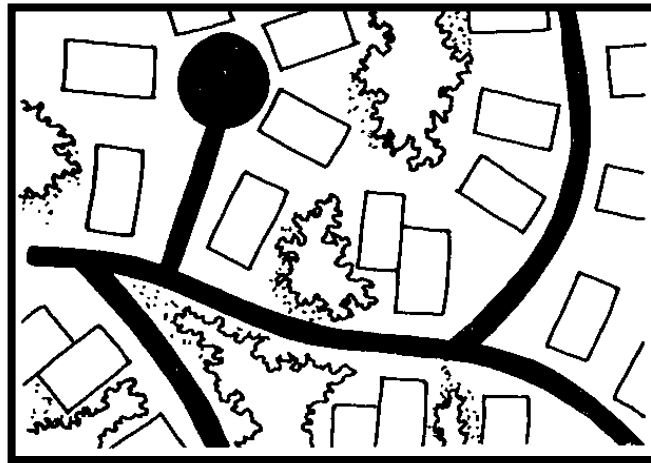
Es recomendable en urbanizaciones privadas de poco tráfico. Se debe planificar muy bien la jerarquización de vías y distribución de lotes para disminuir el impacto al terreno y facilitar la orientación de los usuarios. Para lograr esto se recomiendan agrupaciones cerradas y no dispersas. (Restrepo, 2010) (Mario Schjetanan, 1984)

*Ilustración 49. Sistema cul-de-sac con agrupación cerrada.*



*(Mario Schjetanan, 1984)*

*Ilustración 50. Sistema cul-de-sac con agrupación dispersa.*



*(Mario Schjetanan, 1984)*

4.2.9.6. Recomendación. Debido a la variabilidad del sitio, la topografía e enfoque de cada desarrollo, se recomienda utilizar un sistema mixto. Elaborar un sistema donde se resuelvan las desventajas de un sistema con las ventajas del otro o utilizando las ventajas de movilidad y acceso de varios sistemas. Es decir, se puede hacer un sistema de cuadrícula con alta accesibilidad que incorpore el sistema cul-de-sac para la seguridad de los peatones, por ejemplo. Lamentablemente no hay un sistema que pruebe ser sostenible al 100%, por lo tanto se recomienda hacer un listado de las características deseadas del desarrollo e implementar el sistema que más se adapte a dichas condiciones o, implementar un sistema mixto que resuelva todas las condiciones necesarias. Para la implementación de cualquier sistema se debe tener en cuenta los parámetros expuestos en el capítulo de Accesibilidad.

#### 4.2.10. Zonificación

4.2.10.1. Sistema multifocal Se recomienda usar este sistema ya que ayuda a reducir los embotellamientos y reduce las distancias de los viajes a necesidades. Consta en varios centros bien definidos y reconocibles. Su planeación debe considerar: (Mario Schjetanan, 1984)

- Tener la mayor cantidad de necesidades dentro de la zona para evitar tener que ir a otros centros más lejanos.
- Comunicar los centros de la manera más fluida posible y planificar el transporte público alrededor de estos.
- Proveer de suficiente estacionamiento.
- Evitar el tráfico dentro del centro, en lo posible haciendo grandes áreas peatonales de tráfico limitado.

Se debe evitar: (Mario Schjetanan, 1984)

- Que dos o más centros se unan convirtiéndose en uno.
- Que los centros estén aislados y carezcan del número de usuarios necesarios para asegurar su costeabilidad.
- Que su área de influencia se desborde sobre zonas habitacionales vecinas. (Mario Schjetanan, 1984)

4.2.10.2. Ordenamiento territorial El ordenamiento territorial se puede dar tanto a nivel ciudad como a nivel zona o urbanización. En base a consideraciones ambientales se propone separar los siguientes usos de tierra: (Friedman, 2007)

- ZONAS PROTEGIDAS: parques grandes, arboledas, ecosistemas únicos, barrancos, cimas de montañas y cuerpos de agua.
- ZONAS INDUSTRIALES: colocar siempre en el extremo viento abajo. Constituido por industrias que polucionan el aire, despidan olores o sean consideradas molestas para los habitantes. esta zona debe estar rodeada de una densa línea de vegetación y atenderse al manejo de desechos requerido por las autoridades.
- ZONAS ECONÓMICAS: constituidas por los centros urbanos donde se maneja la actividad tanto económica como jurídica. Por ejemplo; bancos, constructoras, grandes oficinas, etc.
- ZONAS MIXTAS: elemento crítico para comunidades ecológicas y más aplicables a menor escala. Se refiere a zonas residencial junto a todas las necesidades listadas en la sección de Equipamiento de este texto y oficinas pequeñas.

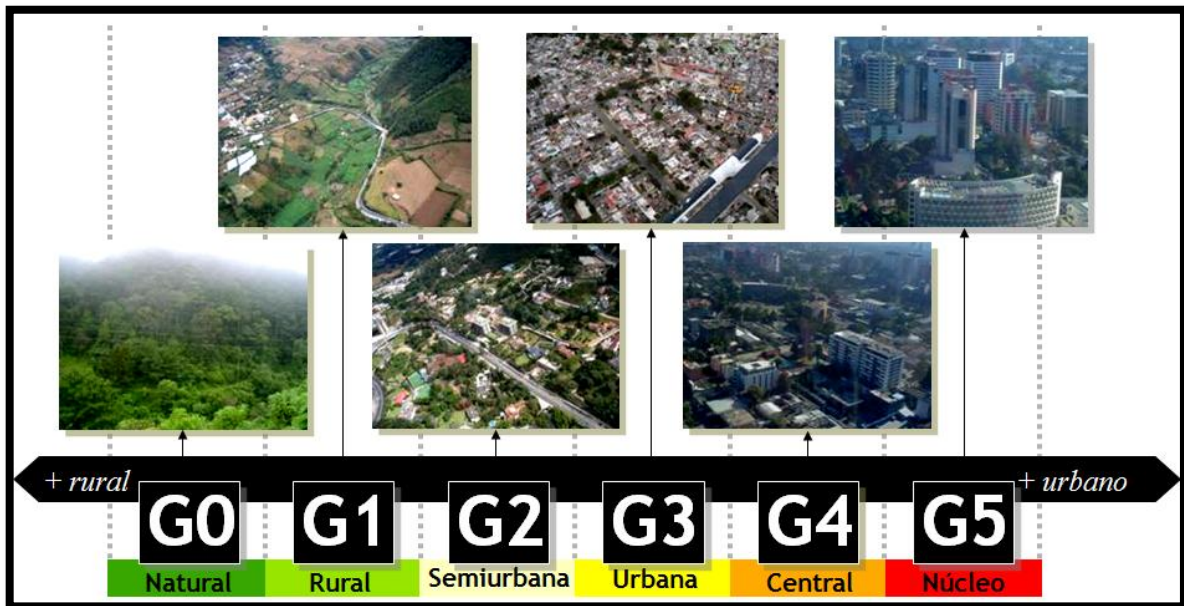
4.2.10.2.1. *Plan de Ordenamiento Territorial (POT) de la ciudad de Guatemala* El plan de ordenamiento territorial (POT) de la ciudad de Guatemala se define como:

*«La ordenanza municipal que norma las acciones de fraccionamiento, construcción y uso del suelo en predios privados, a través de parámetros normativos y de procedimientos establecidos para el efecto» (Dirección de Planificación Urbana de la Ciudad de Guatemala, 2010)*

El POT divide la ciudad en cinco zonas de distintas características denominadas G1, G2, G3, G4 y G5. Estas zonas representan limitaciones y oportunidades al desarrollo urbano, dependiendo de dónde se emplaza dicho desarrollo. Las zonas representan lo siguiente:

- G0 = zona natural
- G1 = zona rural
- G2 = Semiurbana
- G3 = Urbana
- G4 = Central
- G5 = Núcleo

Ilustración 51. Zonas del POT.



(Dirección de Planificación Urbana de la Ciudad de Guatemala, 2010)

El POT se centra en 13 índices que limitan cada zona, estos índices son: (Dirección de Planificación Urbana de la Ciudad de Guatemala, 2010)

- Edificabilidad
- Vialidad
- Tamaño de cuadras
- Área verde
- Tamaño de predio
- Tipología edificatoria
- Ocupación del predio
- Altura máxima
- Separación de colindancias
- Uso residencial
- Uso no residencial
- Ubicación de plazas de parqueo
- Dotación de parqueo

Estos índices rigen las limitaciones denominadas para cada zona y, al mismo tiempo, pueden ser utilizados para lograr aumentar el índice de edificabilidad permitido al implementar incentivos dados por el mismo POT. Estos incentivos son acciones a tomar a la hora de planificar el desarrollo que, dado su beneficio al ambiente o la sociedad, permiten

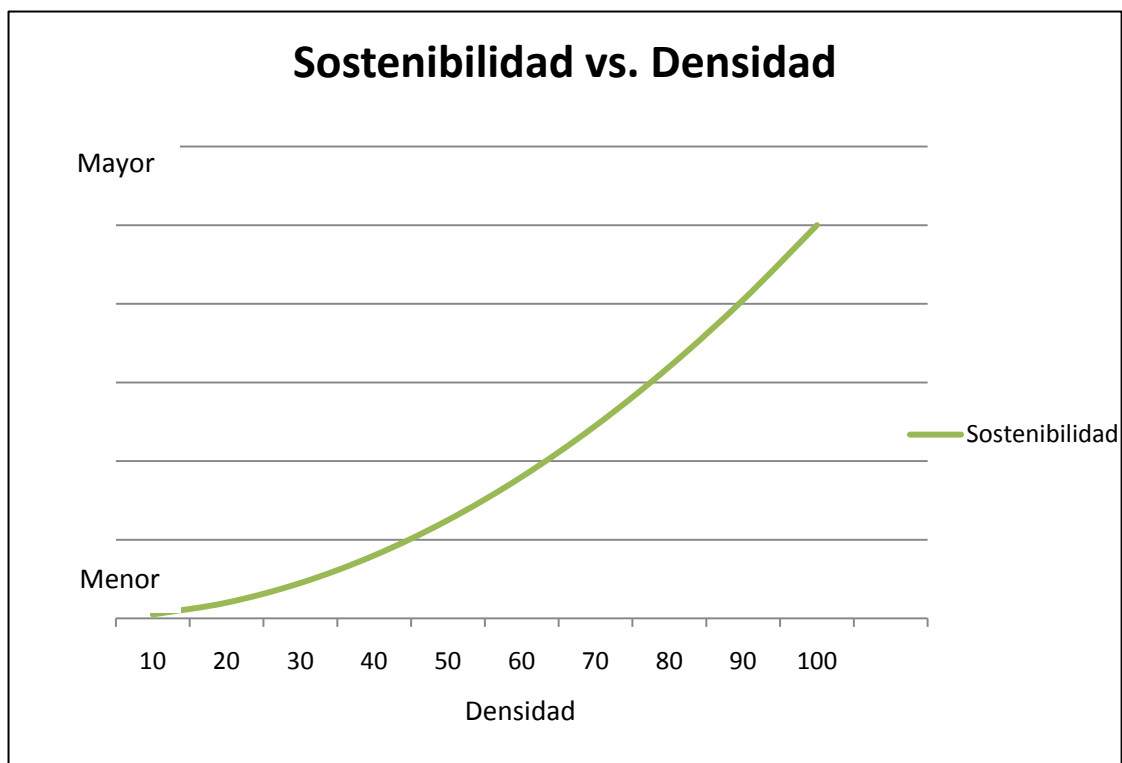
aumentar el índice de edificabilidad de cada zona. A continuación se expondrán los distintos índices y los incentivos posibles respectivos.

*4.2.10.2.2. Ordenamiento territorial a nivel urbanización* El ordenamiento territorial a nivel urbanización se refiere a las reglas y normas que se tienen dentro de una urbanización. Por ejemplo, no construir con más de dos niveles o sitios prohibidos para estacionamientos. No tiene ninguna rama jurídica y es puramente un acuerdo de vecinos para la convivencia entre sí. Con el POT de la Ciudad de Guatemala se pueden crear Planes Locales de Ordenamiento Territorial (PLOT), los cuales permiten hacer modificaciones al POT para el distrito o barrio en consideración. En dicho caso, se deberá respetar dicho reglamento, de no tenerlo, se debe respetar antes el Plan de Ordenamiento Territorial existente en el sitio antes del ordenamiento a nivel de urbanización.

**4.3. Accesibilidad.** Para la correcta implementación de cada uno de estos sistemas de estructura urbana se deben tomar en consideración los siguientes elementos. La mejor opción será aquella que se adapte a la topografía de manera que se logre tener el mayor índice posible de cada una de estas consideraciones.

**4.3.1. Densidades.** La densidad es un elemento muy importante a la hora de hacer un desarrollo sostenible. Siendo uno de los principios básicos el usar la menor cantidad de suelo posible, el que vivan más personas en menos espacios es un objetivo primordial. La densidad se define como la cantidad de habitantes por metro cuadrado, pero, debido a que no se puede obligar a que vivan cierta cantidad de personas por casa, se tomará como parámetro la cantidad de parcelas por hectárea de desarrollo. A continuación se muestra una escala de densidades, las ventajas y desventajas y la sostenibilidad de cada una:

Ilustración 52. Sostenibilidad vs. densidad.



Como parámetro de densidad de lotes en el terreno se puede tomar:

*Tabla 11. Ventajas, desventajas y aprovechamiento de densidades.*

<p><b>20 lotes por hta (500m<sup>2</sup>/lote)</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Muy baja densidad, los lotes son grandes, infraestructura es muy cara, propicia el esparcimiento urbano y el costo por unidad es caro.</li> <li>• Poco ecológico.</li> <li>• Para aumentar la densidad se deben construir torres de apartamentos para maximizar la parcela.</li> <li>• Apta para zonas de baja densidad como riberas.</li> </ul>
<p><b>65 lotes por hta (150m<sup>2</sup>/lote)</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Medida balanceada entre alta y baja densidad, espacio mínimo entre vecinos para crear sentido de privacidad, jardín privado y costos de infraestructura aceptables.</li> <li>• Ecológico si es implementado infringiendo la menor cantidad de alteraciones posibles la terreno.</li> <li>• Apto para casas plurifamiliares y edificios pequeños.</li> </ul>
<p><b>100 lotes por hta (100m<sup>2</sup>/lote)</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alta densidad, afecta a la menor cantidad de terreno, acorta distancias, costos de infraestructura bajos, áreas verdes grandes.</li> <li>• Ecológico siempre y cuando se dejen espacios urbanos abiertos.</li> <li>• Apta para casas unifamiliares.</li> </ul>

### 4.3.2. Necesidades básicas

4.3.2.1. Necesidades de primer orden Son aquellas que se recomienda que toda vivienda lo tenga a una distancia de máximo 500 metros. Éstas son: (Prinz, 1986)

- Parques
- Jardín infantil
- Parada de bus
- Tienda de conveniencia

4.3.2.2. Necesidades de segundo orden Son aquellas que se accedan por lo menos una vez por semana y requieren de un mínimo de habitantes para su costeabilidad. Se recomienda que estén a un radio de 1 kilómetro de la urbanización o vivienda. Éstas son: (Prinz, 1986)

- Supermercado
- Estación de policía y bomberos
- Ferretería
- Farmacia
- Banco
- Escuela primaria/secundaria
- Comercios (P/ej. Librería, restaurante, peluquería, etc)
- Instalaciones deportivas

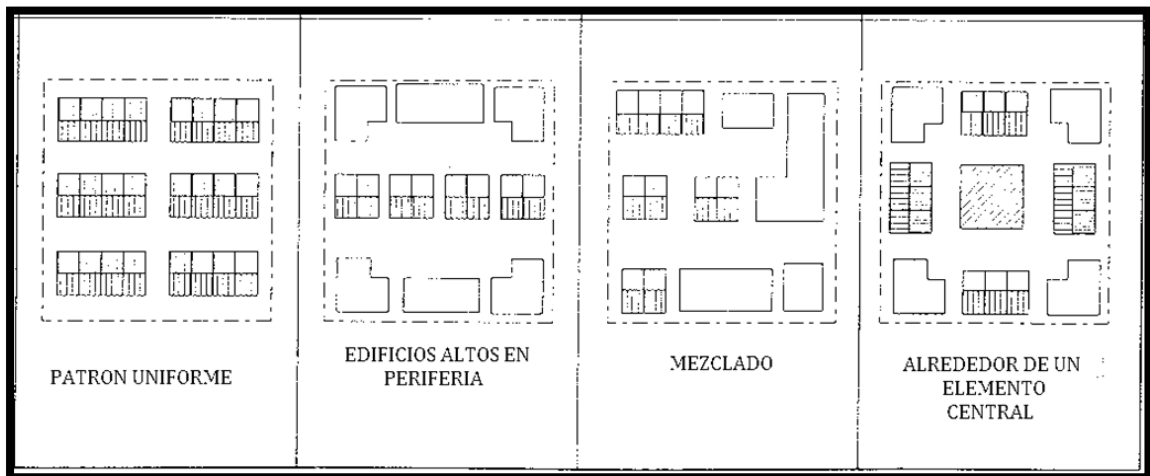
4.3.2.3. Necesidades de tercer orden Son aquellas actividades que a pesar de ser frecuentemente accesadas y/o consideradas como necesidades para la salud de la persona no siempre pueden estar cerca de las áreas residenciales. Estas son: (Prinz, 1986)

- Centros de oficinas
- Parques grandes y zonas de recreo de uso no cotidiano
- Hospitales
- Agencias gubernamentales

Para lograr estas densidades se recomienda (Friedman, 2007):

- **Poca huella:** la huella de la casa debe ser pequeña para consumir menos terreno. Una casa larga y poco ancha reduce costos de infraestructura.
- **Casas:** los tipos de casa apropiados son:
  - o Unifamiliar con agrupación continúa.
  - o Plurifamiliar.
  - o Edificios pequeños.
  - o Edificios altos.
- **Espacios abiertos:** Se debe tratar de que la mayoría de las casas tengan vista a espacios abiertos y que todas tengan fácil acceso a estos y mantener la mayor cantidad de área impermeable posible.
- **Diseño para subdivisiones:** Diseñar para que las unidades puedan ser convertidas en distintos espacios para darles distintos usos.

*Ilustración 53. Distribuciones de casas en comunidades de alta densidad.*



*(Friedman, 2007)*

Mientras más alta la densidad más se podrá:

- Ocupar la menor cantidad posible de área con superficies impermeables.
- Aumentar los espacios urbanos abiertos.
- Reducir el costo de infraestructura.
- Facilitar movimiento peatonal y maximizar eficiencia de transporte público.
- Reducir distancias.
- Hacer costeables negocios y tiendas de necesidades básicas.

### 4.3.3. Comunicación

4.3.3.1. Escala humana Los desarrollos pueden estar diseñados para varios tipos de transporte, autos, transporte público, bicicletas, peatones, etc. Pero, para que un desarrollo sea sostenible, se requiere el menor uso posible de transporte motorizado. De este principio se da el concepto de escala humana, que se refiere a que las necesidades de una persona este a tiempos, recorridos y distancias que puedan ser recorridas por un peatón o ciclista. Es decir, que el usuario tenga sus necesidades de primero y segundo orden a una distancia tal que sea factible caminar a esta.

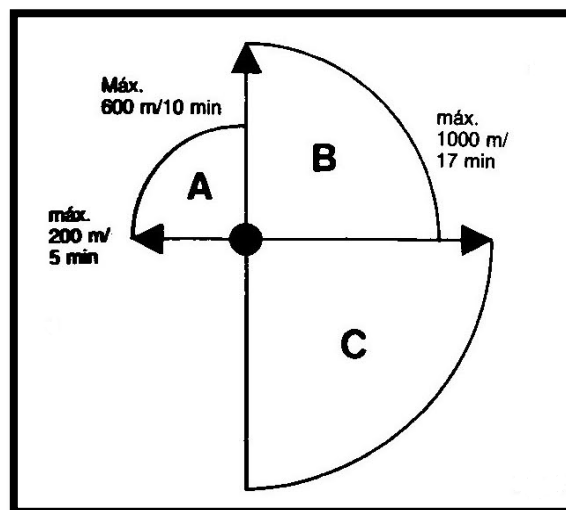
4.3.3.2. Tiempos y recorridos El radio de acción de los peatones depende de: (Prinz, 1986)

- Las relaciones entre los distintos objetivos
- La longitud o la duración de los recorridos, que dependen de:
  - Las características de las personas (edad, condición física, disponibilidad de tiempo)
  - La frecuencia de los recorridos
  - Los obstáculos (peligros, desvíos, pendientes, etc.)

A continuación se muestran los recorridos ideales para:

- A – necesidades de primer orden
- B – necesidades de segundo orden
- C – necesidades de tercer orden

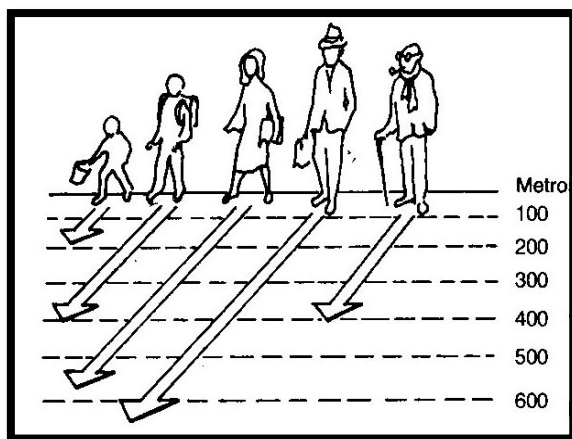
*Ilustración 54. Distancias de recorrido según nivel de necesidad.*



(Prinz, 1986)

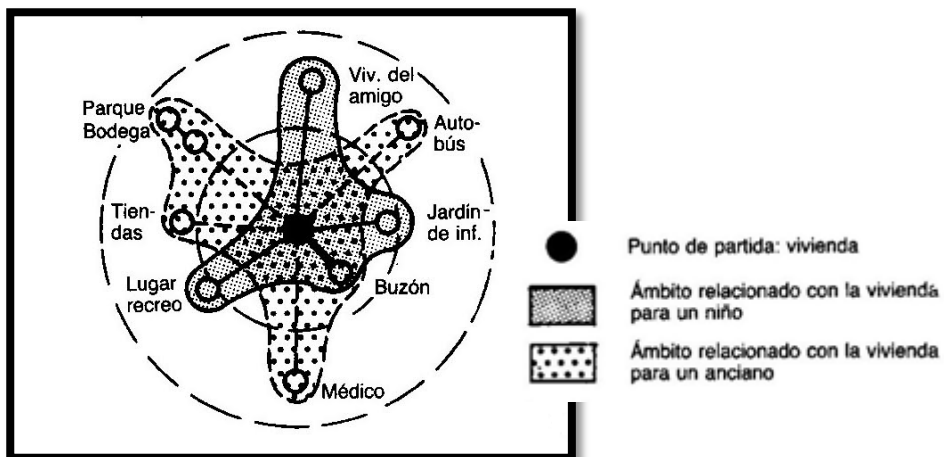
Como se mencionó antes, las distancias y tiempo de recorrido varían según la edad y físico de las personas. Por lo tanto, a la hora de planificar un nuevo desarrollo y definir el grupo objetivo, se debe tener en mente las siguientes distancias y necesidades según la edad: (Prinz, 1986)

Ilustración 55. Recorridos según edad.



(Prinz, 1986)

Ilustración 56. Ámbitos relacionados con la edad.



(Prinz, 1986)

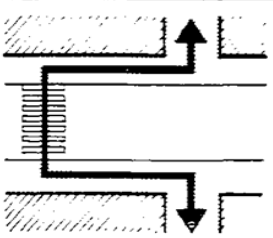
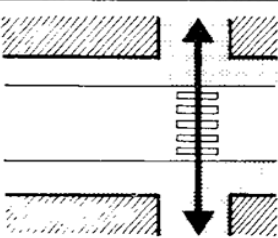




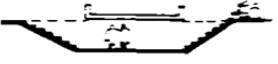

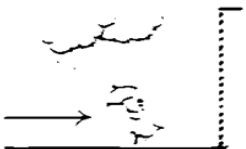
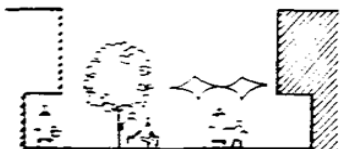
Tabla 12. Distancias máximas recomendables.

DISTANCIAS MÁXIMAS RECOMENDABLES		
Actividades/equipamiento	Distancia (m)	Área de influencia (ha.)
Educación		
Jardín de niños	400	32
Escuela primaria	1000	199
Escuela secundaria	8000	12800
Centro social	1000	199
Recreación		
Local:		
Niños	400	32
Adolescentes	1000	200
Adultos	400	32
Regional	30000	180000
Comercio		
Diarias: comida	400	32
Semanal: comida, bienes/servicios	2000	200
Regional	15000	43000
Empleo		
Para grupos de bajos ingresos	2000	800
(a pie)	8000	12800
(en bicicleta)	15000	45000
Transporte		
Transporte público	400	32
Estacionamiento (según densidad)	600	45

4.3.3.3. El peatón. La circulación peatonal, por lo general, se encuentra en desventaja contra los otros tipos de transporte. La falta de infraestructura, malas conexiones, inclemencias del tiempo y confort en general disuaden al peatón a salir a las calles.

4.3.3.3.1. *Comodidad para el peatón.* Siendo el peatón una parte fundamental de las urbanizaciones sostenibles, se recomienda:

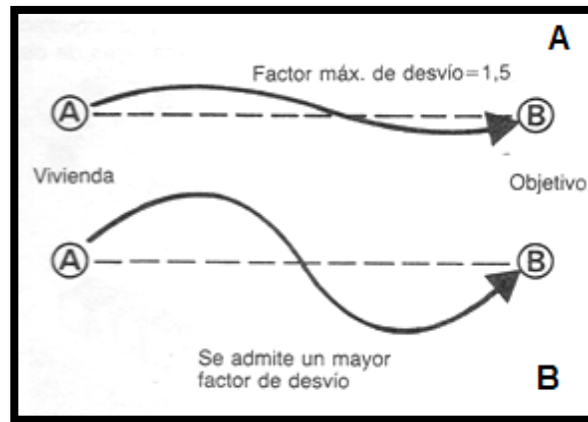
*Ilustración 57. Consideraciones para peatones.*

	Ejemplos negativos	Ejemplos positivos
Longitudes de desvíos		
Pendientes		
Pasos superiores		
Pasos inferiores		
Protección contra inclemencias atmosféricas		

(Prinz, 1986)

4.3.3.2. *Factores de desvío.* El factor de desvío consiste en la relación entre la distancia entre un punto A y B y el recorrido que debe hacer el peatón para llegar a este. Es decir, si la distancia es de 1km, para llegar a las necesidades de primer orden el camino no debe tener más de 1.5 km. Si es una necesidad de segundo o tercer orden puede ser superior. (Prinz, 1986)

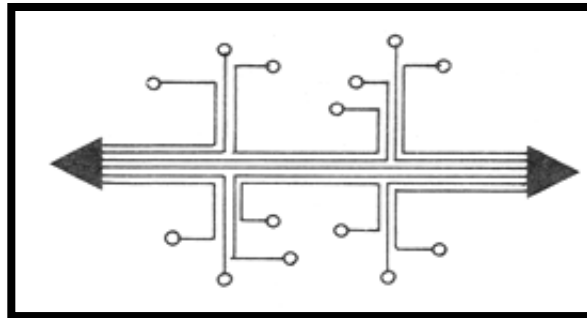
Ilustración 58. Factor de desvío para peatones.



(Prinz, 1986)

Al igual que en los automóviles, los caminos peatonales se pueden jerarquizar de manera que se distingan las diferentes categorías de las vías.

Ilustración 59. Jerarquización de caminos peatonales.



(Prinz, 1986)

#### 4.3.3.3. *Recomendaciones*

- Reducir el tráfico rodado en zonas residenciales o peatonales.
- Reducir el tráfico de peatones en arterias principales y zonas de alta movilidad.
- Reducir el tráfico rodado con infraestructura varia en forma de red impidiendo el tráfico de paso, limitando la velocidad e implantando calles residenciales o zonas peatonales.

- Separar el tráfico rodado y peatonal de tal manera que existan la menor cantidad de puntos de contacto entre ambos.

**4.3.4. Ordenamiento de calles.** Es importante identificar la función de una calle y en base a eso diseñarla. De este modo, se sabe que la calle va a estar cumpliendo con las exigencias del tránsito. Esta distribución es aplicable a nivel de urbanización, utilizando las características mencionadas para cada función de calle para la escala de la urbanización.

**4.3.4.1. Distribución funcional** Esta distribución divide las calles según la función que prestan a los usuarios, clasifica los diferentes tipos de vías según los parámetros de movilidad y acceso.

**4.3.4.1.1. *Movimiento principal.*** Características:

- Alta movilidad
- Baja accesibilidad

El propósito es que los autos vayan del punto A al punto B de la manera más rápida y fluida posible. Maneja altos volúmenes de tránsito. Por ejemplo, arterias, viaductos e interestatales.

**4.3.4.1.2. *Vías de transición.*** Características:

- Alta movilidad

Conectan las vías principales con las vías de distribución, por lo general son cortas y sirven como carril de aceleración. Deben permitir a un automóvil salir o entrar a la vía principal sin entorpecer el tráfico. Por ejemplo, anillos periféricos, pasos a desnivel y calles anchas.

**4.3.4.1.3. *Vías de distribución.*** Características:

- Movilidad moderada
- Acceso moderado

Prestan servicio a viajes de alcance moderado (2 – 4 km). Dan acceso a diferentes zonas y barrios. Por ejemplo, anillos periféricos y diagonales.

#### 4.3.4.1.4. *Vías recolectoras.* Características:

- Movilidad moderada
- Alta accesibilidad

Desalojan el tránsito de vías de mayor jerarquía y los distribuyen a las distintas zonas y viceversa. Las calles de acceso de los distintos distritos o urbanizaciones desembocan en estas y sirven de enlace con las vías de alta movilidad. Por ejemplo, calles anchas y carriles auxiliares.

#### 4.3.4.1.5. *Vías de acceso.* Características:

- Baja movilidad
- Alta accesibilidad

Son el acceso a las distintas urbanizaciones independientes, los trayectos son cortos. Por ejemplo, calles anulares.

#### 4.3.4.1.6. *Vías locales.* Características:

- Baja movilidad
- Alta accesibilidad

Éstas llevan al usuario hasta la puerta de su casa. Existen dentro de las urbanizaciones por lo que la velocidad debe ser muy baja para asegurar la seguridad del peatón. Por ejemplo, calles de tráfico limitado y *woonroofs*.

### 4.3.5. Transporte

4.3.5.1. Jerarquización. La siguiente tabla muestra la importancia que se le debe dar a cada tipo de transporte en cada uno de los tipos de vías existentes.

4.3.5.2. Separación de rutas Para asegurar la seguridad del peatón y mejorar la movilidad de los automóviles, se recomienda separar las vías en los casos posibles. A continuación se presentan ejemplos de cómo lograrlo.

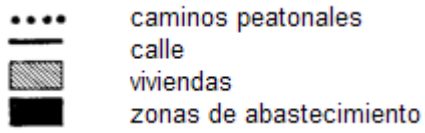
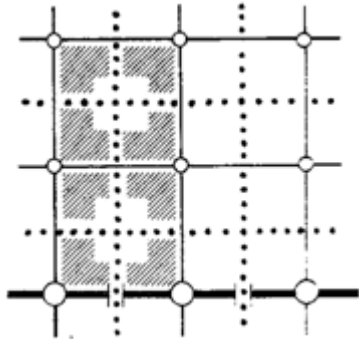
Ilustración 60. Jerarquización de transporte por tipo de vía.

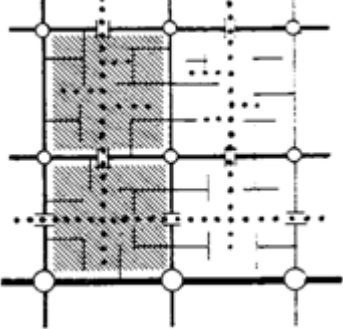
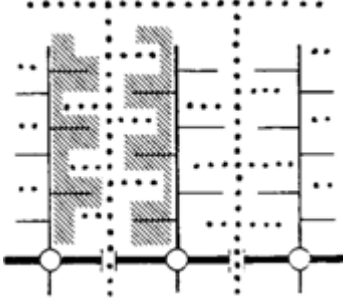
JERARQUIZACIÓN POR MEDIO DE TRANSPORTE			
	Transporte público	Transporte privado	peatón
Principal	●	●	○
Distribución	●	●	○
Recolección	●	●	●
Acceso	●	●	●
Final	○	●	●

●	Primario
●	Secundario
○	Sin acceso

Ilustración 61. Ejemplos de separación de calles y caminos peatonales.

MÉTODO	 <p>                     ..... caminos peatonales                      ————— calle                      ▨ viviendas                      ■ zonas de abastecimiento                 </p>
Retícula invertida	

Continúa Ilustración 64	
Células de tráfico limitado	
Forma de peine	

(Prinz, 1986)

#### 4.4. Espacios urbanos abiertos

4.4.1. Parques. Los parques se definen como espacios urbanos en los que predominan los elementos naturales; árboles, plantas pastos, etc. Predominan las áreas naturales sobre las construidas. (Mario Schjetanan, 1984) Sus funciones son:

- Descanso
- Recreación
- Equilibrio ecológico
- Reducción de "islas de calor"
- Mejora imagen urbana.
- Alojar infraestructura verde.

Para que un parque sea funcional debe atender las necesidades de todas las edades. (Pokorny, 2010) Para lograr esto se recomienda que tenga:

- Área de juegos infantiles

- Área de reposo.
- Instalaciones deportivas. (canchas deportivas, senderos, pistas de bicicleta, etc)
- Kiosco para eventos.

#### 4.4.1.1. Recomendaciones. Se recomienda:

- Preservar en su estado natural los remanentes de área no ocupados por la urbanización.
- Que las cimas de los cerros y montañas, zonas de recarga acuífera, ríos, lagos, barrancos y bosques vírgenes sean áreas verdes.
- Conectar los distintos parques por medio de vegetación en las calles para crear corredores ecológicos y reducir el efecto de la “Isla de Calor”.
- Utilizar parques para localizar infraestructura verde.
- Utilizar lotes baldíos en zonas de alta densidad como parques.
- Proveer actividades para todas las edades con el fin de llegar a la mayoría de residentes y crear una vida en comunidad.
- Utilizar vegetación nativa para reducir costos de agua y efectos negativos en el ecosistema.

#### 4.4.2. Vegetación

4.4.2.1. Vegetación urbana. En las ciudades la vegetación juega un rol muy importante en la regulación del microclima, purificación del aire, control de sequías, control de plagas, mitigación de inundaciones y contaminación. (Ver capítulo de Hidrología)

Las plantas se pueden utilizar para lograr el confort de los peatones en las calles y al mismo tiempo mejoran la calidad de la imagen urbana. Por ello, planificar con vegetación trae tanto beneficios a los desarrolladores como a los usuarios y debe de ser una parte muy importante en la planeación.

4.4.2.2. Plantas. Para asegurar tanto la supervivencia de la vegetación como los bajos costos en mantenimiento se recomienda utilizar plantas nativas. Estas pueden ser nativas del sitio (recomendado) o nativas del ecosistema de la región. A continuación se presenta una lista de plantas nativas para el altiplano de Guatemala en general.

Se recomienda:

- Para crear un ecosistema sano, mientras más variedad de flora más cantidad de fauna.
  - Para utilizar en parques y áreas sin urbanizar.
- Para estética una sola variedad por secciones.
  - Para utilizar en calles o plazas, variando la especie por calles o espacios de la plaza. (Pokorny, 2010)

Tabla 13. Vegetación nativa para el altiplano de Guatemala.

VEGETACIÓN NATIVA PARA EL ALTIPLANO DE GUATEMALA			
	ÁRBOLES	ARBUSTOS	PLANTAS
Grandes	Pino	casta susana	Sombra y humedad gushnay
	Ciprés	pata de vaca	heliconia
	Encino	bambú caña de pescar	pacaína
	manzanote	maguey	pacaya
	liquidámbar	plumero nativo	chipe
Medianos		agaves	mano de león
	Aguacate		pnillodendrons varios
	Carreto		quequesque
	Injerto		cola común
Pequeños	matilisguate		neomarica
	Izote		iresine
	Pony		camarón rojo
	Guacipilin		Sol penisetum
	tepemuste		moreaea
	Níspero		iris moraea
	Coralillo		hiedrón
	Chalum		buganvilia
	Timboque		
	olamboyan		
Wahn			

\* Estas tres especies son asociación natural de la franja montañosa de Guatemala por lo que se recomienda reproducir lo más posible.

(Pokorny, 2010)

4.4.3. **Calles.** Las calles son el espacio por el cual se traslada la población y también organiza y comunica los predios y edificios. (Mario Schjetanan, 1984). Al mismo tiempo, se llevan a cabo muchas actividades relacionadas con las edificaciones y sus actividades. Algunas funciones son:

- Movimiento
- Definición de estructura urbana.
- Propicia sol, luz y aire.
- Alojamiento de infraestructura.
- Vida comunitaria
- Espacio abierto para ferias, kioscos, mercados, etc.
- Recreación
- Estacionamiento.

4.4.3.1. **Factores a considerar.** Para dimensionar una calle se deben tomar en cuenta los siguientes factores:

4.4.3.1.1. *Volumen de tránsito.* El tipo de función, ancho y velocidades de diseño serán función directa de la cantidad de vehículos por hora que transiten la calle.

4.4.3.1.2. *Velocidad.* Se debe tomar en cuenta la función que dará la calle sobre todo otro factor, considerando la movilidad que se requiere para tomar la velocidad de diseño. Para el diseño de vías principales, vías de transición, distribución y recolección se recomienda seguir los lineamientos del “Green Book” de la AASHTO o los lineamientos del Departamento de Caminos de Guatemala.

Para vías de acceso y locales se recomiendan velocidades bajas y prioridad a los peatones, para lograrlo se puede variar:

- *Anchos de las calles:* una calle más angosta hace que los vehículos vayan más lento, dando más seguridad, prioridad al peatón y además reduce el costo de la misma.

- **Mobiliario urbano:** introduciendo mobiliario urbano de tal manera que represente un obstáculo en la calle. De esta manera se crean quiebres que fuerzan a los carros a hacer maniobras a baja velocidad. Logran mayor efectividad si se colocan a intervalos que no permitan que los autos desarrollen toda su velocidad.

Tabla 14. Velocidades por función de carretera.

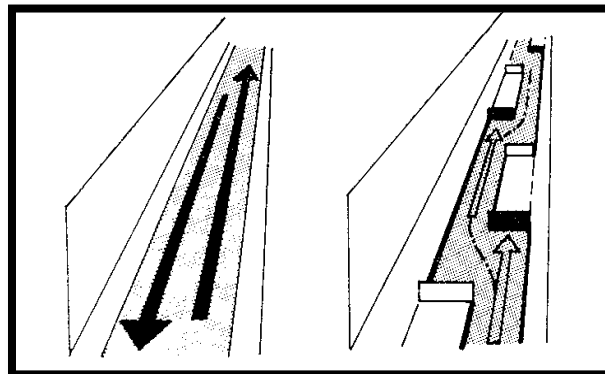
VHD: vehículos por hora de diseño      TPD: tránsito promedio diario

Clase		Velocidad (millas/hora)					
		20	30	40	50	60	70
Arteria principal rural	Mínimo 50 millas/hora para autopistas			x	x	x	x
Arteria menor rural				x	x	x	x
	VHD mayor que 400			x	x	x	
Rural	VHD entre 20 y 400			x	x	x	
Colector	VHD entre 100 y 200		x	x	x		
Camino	TPD actual mayor que 400		x	x	x		
	TPD actual menor que 400	x	x	x			
	VHD mayor que 400		x	x	x		
	VHD de 200 a 400		x	x	x		
Rural	VHD de 100 a 200		x	x	x		
Local	TPD actual mayor que 400		x	x	x		
Camino	TPD actual de 250 a 400	x	x	x			
	TPD actual de 50 a 250	x	x				
	TPD actual menor que 50	x	x				
Arteria principal urbana	Mínimo 50 millas/hora para las autopistas		x	x	x	x	x
Arteria menor urbana			x	x	x	x	
Calle colector urbana			x	x	x		
Calle local urbana		x	x				

FUENTE: *Road Design Manual* (Manual de diseño de caminos). Departamento de Transporte de Virginia, Richmond, Va., 2000.

(Virginia, 2000)

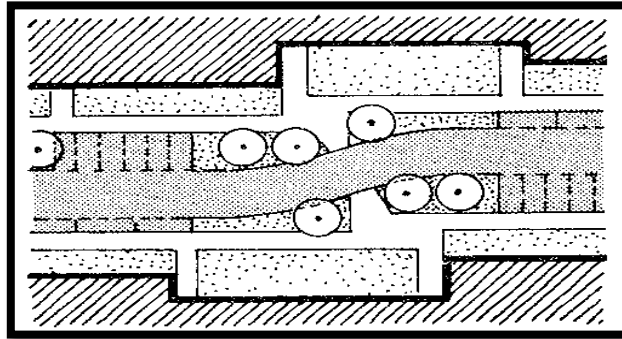
Ilustración 62. Reducción de velocidad con mobiliario urbano.



(Prinz, 1986)

- Estacionamiento: el estacionamiento a los costados de las calles hace que el conductor transite con más precaución a velocidades más bajas.

*Ilustración 63. Reducción de velocidad con estacionamientos.*



*(Prinz, 1986)*

La curvatura de la calzada, la disposición alternativa de estacionamientos y las barrearas ópticas favorecen la seguridad vial y ofrecen espacio para funciones ajenas al tráfico. (Prinz, 1986)

#### 4.4.3.1.3. Tráfico Al dar prioridad y confort al peatón se

incita a las personas a caminar en lugar de utilizar el auto, sobretodo en trayectos cortos. De ese modo se reduce el volumen de autos y por lo tanto el tráfico. Aun así, muchas veces esto no es suficiente. Entonces, para la reducción de tráfico en calles residenciales se recomiendan:

- Calles de tráfico limitado y plurifuncionales

Son calles cuyo uso se limita sólo a los residentes de las casas adyacentes a estas, evitando así, el tráfico de paso. Además, sirven como espacio de recreo para niños y plataforma de vida en comunidad para los residentes. Puede también reducir los costos.

- Woonroof

El woonroof es un tipo calle desarrollado en Holanda que introduce mobiliario urbano a las calles. En ellas, el mobiliario urbano sustituye la calle por completo, haciendo así, que los autos tengan que sortear obstáculos y por lo tanto tener que ir más lento. (Spirn, 1984)

Además, da prioridad al peatón convirtiendo a la calle en un área de recreo más que un lugar para autos. Esto es útil en las calles donde los carros rara vez transitan, como calles

residenciales o callejones. La mayor ventaja de este tipo de calles es que no requieren de mucha inversión para convertir una calle normal en un woonroof.

Tabla 15. Técnicas favorables en calles.

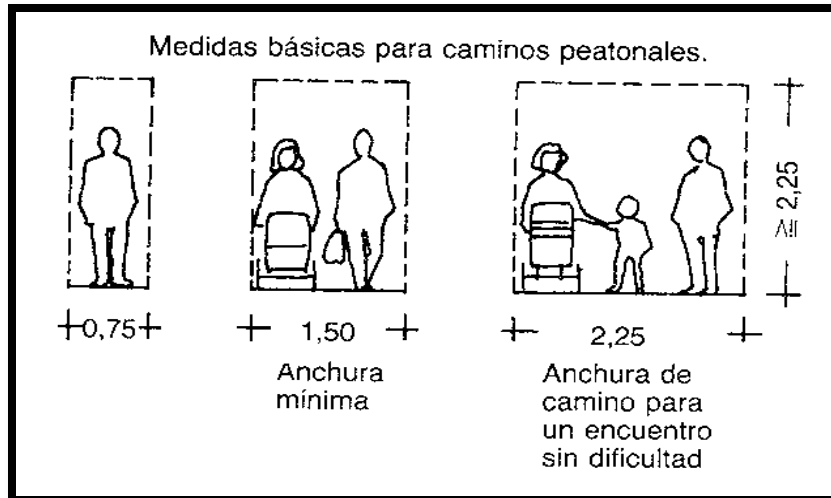
n.º	Medidas	Efectos deseados							Complejo de medidas A - Sistema de circulación B - Formación de detalles C - Dirección del tráfico
		Supresión del tráfico externo	Disminución de la velocidad	Refuerzo de la función residencial	Más seguridad para peatones y niños	Más espacio para peatones y residentes	Disminución del ruido del tráfico	Apelación a la consideración, «motivación positiva»	
A	1 «Cul de sac»	••	•		•	•	•		
2	Calles en forma de anillo	•					•		
3	Calles de dirección única	•					•		
B	1 Cambio de material en calzadas		•						
2	Estrechamiento de la calzada	•	••		•		•		
3	Transformación visual del espacio de la calle	•	•	••	•		•	•	
4	Obstáculos al tráfico	•	••		•			•	
5	Nueva organización del estacionamiento		••		•	•			
6	Pavimentación	•	••	••	•	••	•	••	
C	1 Indicación de «zona residencial»		•	•				•	
2	Limitación de la velocidad a 30 km/h		••		•		•		
3	Cambio de la regulación de la prefer. de paso		•						

(Prinz, 1986)

#### 4.4.3.2. Aceras

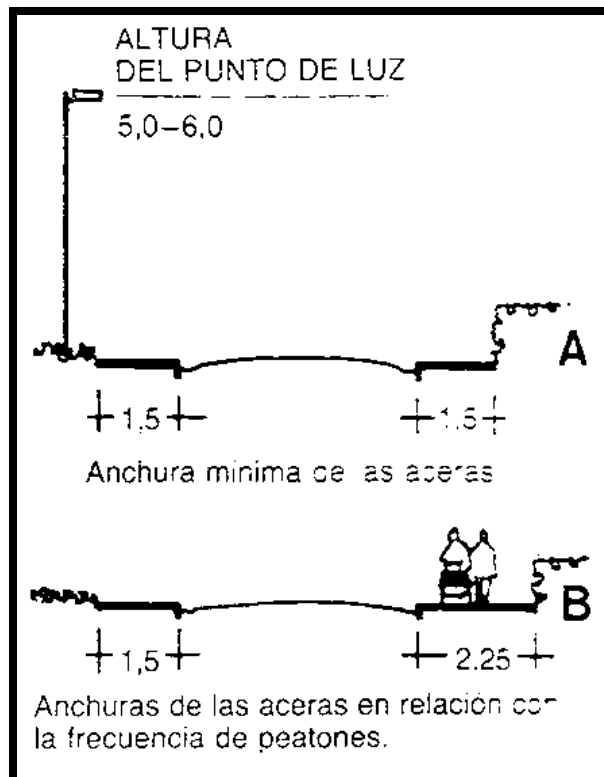
4.4.3.2.1. *Aceras* A continuación se muestran los parámetros de dimensionamiento de caminos peatonales.

*Ilustración 64. Espacio ocupado por un peatón.*



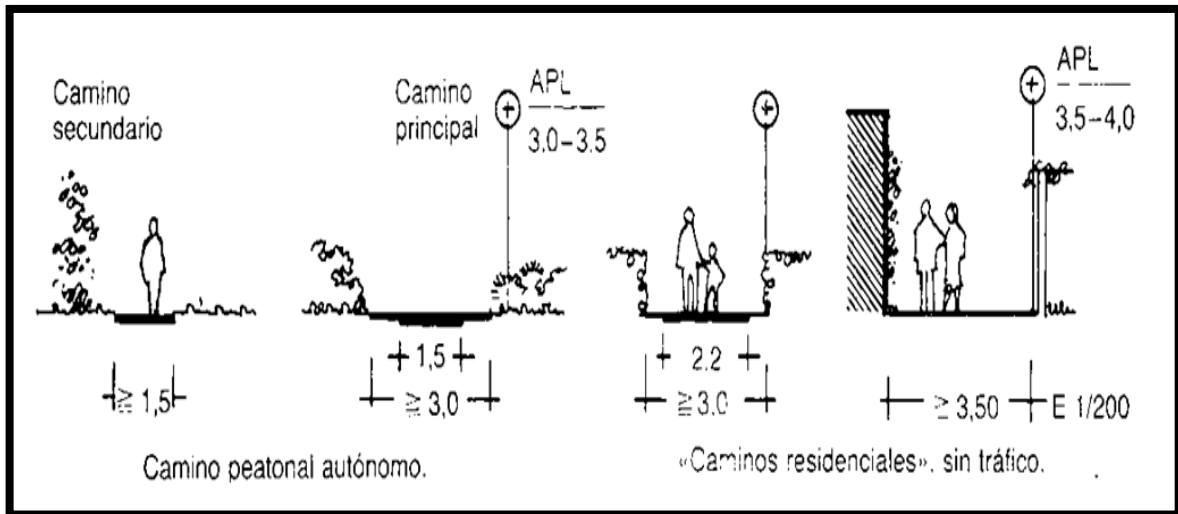
(Prinz, 1986)

*Ilustración 65. Dimensiones mínimas de aceras.*



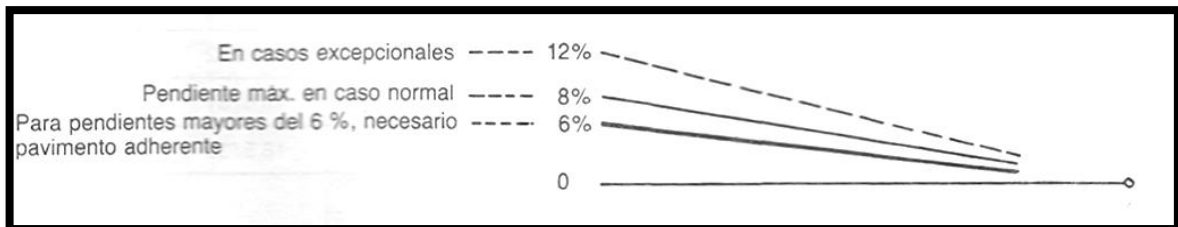
(Prinz, 1986)

Ilustración 66. Dimensiones mínimas de aceras 2.



(Prinz, 1986)

Ilustración 67. Pendientes máximas de aceras.



(Prinz, 1986)







4.4.4. Estacionamientos. El pavimento puede consumir hasta un 50% de un desarrollo urbano. Al minimizar esta área se logra reducir considerablemente el área impermeable y la huella del proyecto, además, se reducen los costos de infraestructura.

Para lograr reducir esta área se recomienda (Spirn, 1984):

- *Altas densidades:* reduce el trayecto entre objetivos por lo que se requieren menos estacionamiento. Además, incita el estacionamiento en las calles lo cual reduce la velocidad del tráfico.
- *Reducir dimensiones:* reducir al mínimo las dimensiones de la superficie del estacionamiento o adoptar soluciones que ahorren espacio.
- *Múltiples funciones:* poner distintas funciones al mismo espacio (p/ej, parqueo de noche, canchas deportivas de día) ahorra área requerida por otras funciones.

- *Compartir estacionamiento*: oficinas de día y residencial de noche.
- *Parqueos comunales*: en lugar de poner estacionamientos en cada calle hacer estacionamientos para varias residencias.

Tabla 16. Comparación de espacio/plaza de estacionamientos.

Compar.: consumo de espacio/plaza de aparc.			
Tipos de estac.		Superf. estac. neto m <sup>2</sup> *	Superf. estac. + calzada m <sup>2</sup>
	0°	12,0	30,0
	90°	10,4	24,3
			17,3
	60°	11,5	23,0
			19,5
	45°	13,8	26,4
			19,5
	30°	20,7	36,8
			28,8

(Prinz, 1986)

## 4.5. Hidrología

4.5.1. Cuencas hidrográficas. Las cuencas hidrográficas son áreas delimitadas topográficamente, drenada por un curso de agua o un sistema conectado de cursos de agua, tal que todo el caudal efluente es descargado a través de una salida simple. (Sáenz, 1999)

*Ecuación 1. Ecuación Fundamental de una Cuenca.*

$$\mathbf{Entrada - Salida = \Delta Almacenamiento}$$

(Sáenz, 1999)

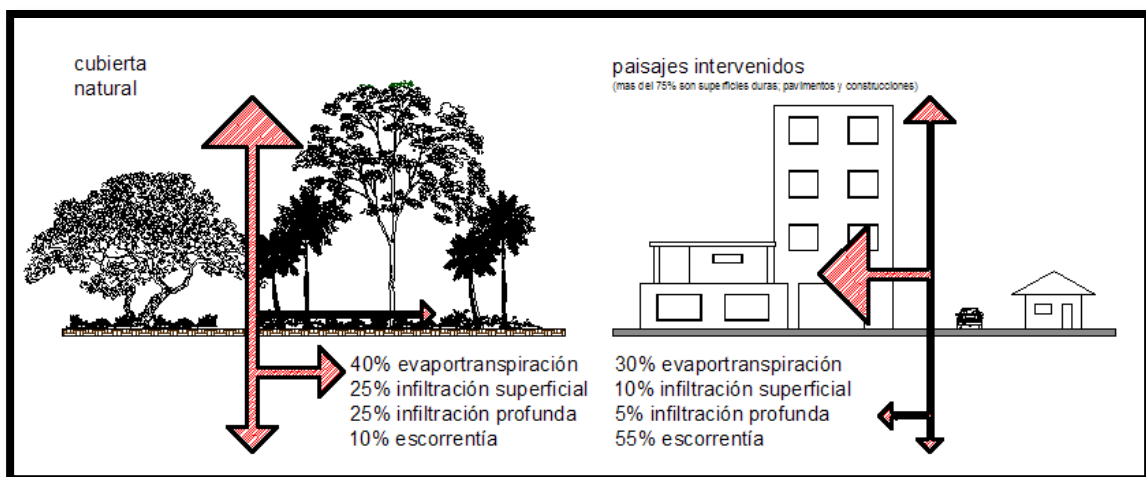
El balance hídrico en una cuenca es tan importante porque define la flora y fauna del lugar así como la capacidad soporte de la misma. En una cuenca el agua que ingresa menos el agua almacenada o extraída es la cantidad de agua que sale de esta. Ecosistemas, dentro y fuera de la cuenca, dependen de que esta simple ecuación se mantenga relativamente constante. Por lo tanto, introducir cambios severos en la cuenca destruye la cuenca y los alrededores de esta.

El comportamiento del agua en una cuenca se resume en cinco procesos: (Sáenz, 1999)

- Precipitación (entrada principal)
- Evaporación y Evotranspiración
- Infiltración
- Escorrentía
- Agua Subterránea

Cada uno de ellos representa un porcentaje de las entradas o salidas de agua de una cuenca y cualquier alteración en ellos puede resultar fatal para los pobladores de la cuenca y el ecosistema de la misma. Por eso, al intervenir en una cuenca se debe hacer de tal manera que se afecte lo menos posible a este balance.

*Ilustración 68: Hidrología en paisajes intervenidos*



4.5.2. Precipitación. La precipitación se define como un agregado de partículas acuosas, líquidas o sólidas, cristalizadas o amorfas, que caen de una nube o grupo de nubes y alcanzan el suelo (Sáenz, 1999). Básicamente es toda aquella agua almacenada en el aire o nubes que cae al suelo en forma de lluvia, condensación, nieve, etc. y ésta representa una gran parte de las entradas de agua a una cuenca.

La cantidad de precipitación es influenciada por los siguientes factores: (Sáenz, 1999)

- Atmosféricos
  - o Humedad del aire.
  - o Partículas en suspensión
  - o Presión
  - o Temperatura
- Físicos
  - o Vegetación
  - o Topografía
  - o Características del suelo

Introducir cualquier cambio en cualquiera de estos factores cambiaría consecuentemente la frecuencia e intensidad de las lluvias resultando en sequías o inundaciones.

4.5.2.1. Medición. La lluvia es representada por la intensidad de caída, es decir, la cantidad de milímetros de agua que caen en cierto rango de tiempo (mm/hr, por ejemplo). Las intensidades son particulares para cada área y cambian incluso dentro de la misma cuenca por lo que el diseñador y desarrollador tienen que estar consciente de la intensidad del sitio en particular. Es recomendable utilizar la intensidad de un evento que se de cada 50 años para evitar inundaciones.

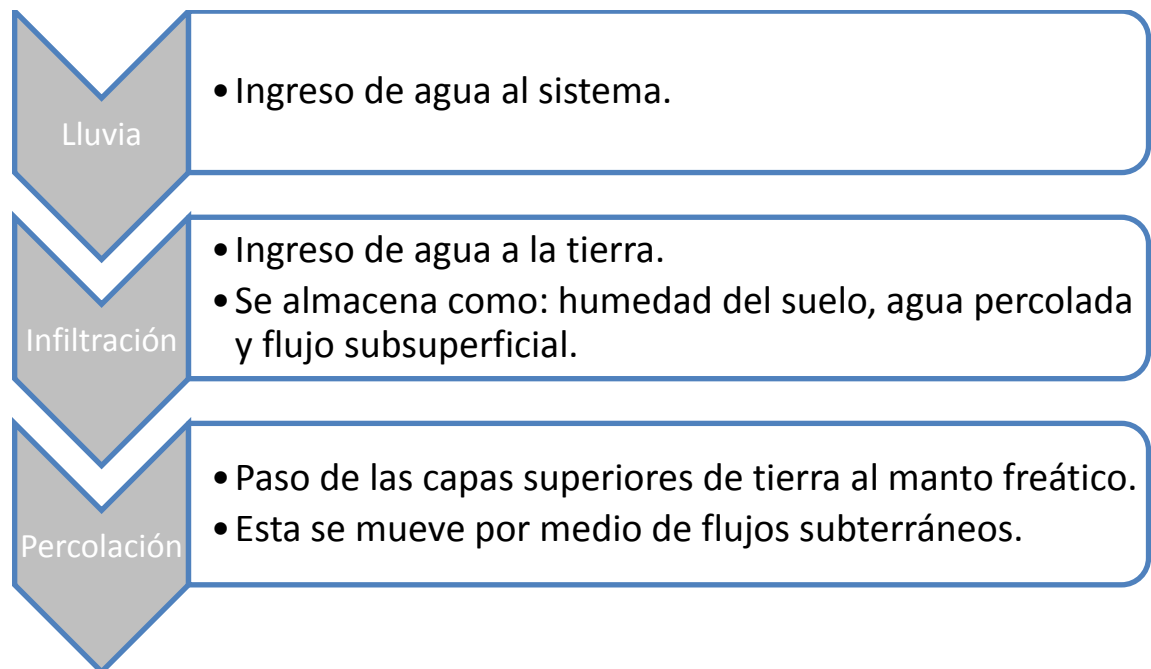
Los datos de lluvias de varios años pueden ser encontrados en el INSIVUMEH o se puede considerar la opción de mapas de isoyetas o polígonos de Thyssen para encontrar la intensidad buscada.

4.5.3. **Infiltración.** En esta sección se referirá a la infiltración como dos procesos distintos de la infiltración que, aunque por definición son dos procesos aparte, son esenciales para la conservación de agua tanto en el terreno y en el manto freático. Los procesos son: infiltración y percolación.

La *infiltración* es la formación de un paso de agua en forma de conducto a través de materiales naturales o artificiales. En este caso, se refiere al paso de agua a través de las primeras capas de tierra. (Sáenz, 1999)

La *percolación*, es un flujo de líquido a través de un medio poroso bajo la acción de gradientes hidráulicos moderados; principalmente es un flujo debido a la gravedad. (Sáenz, 1999)

Tabla 17: Infiltración y percolación



Tanto el agua retenida en la superficie como el agua en los mantos freáticos son esenciales para el humano, ya sea para la producción de comida o para pozos y abastecimiento de agua. Por lo tanto, es evidente que mantener el ritmo de infiltración es indispensable para la vida en un ecosistema.

Este proceso se corta cuando se sustituye un suelo permeable por uno impermeable. Esto sucede cuando se construye encima el suelo con una superficie impermeable, un techo o una calle por ejemplo, o cuando se compacta el suelo de manera que se reducen los espacios entre partículas y ya no infiltra al mismo ritmo.

4.5.4. **Escorrentía superficial.** Se define como parte de la precipitación que llega al suelo y no es infiltrado por lo que se mueve libremente por la superficie. Engloba desde que ésta es una fina capa de agua sobre la superficie hasta ríos de gran caudal. (Sáenz, 1999)

La escorrentía es uno de los fenómenos más utilizados por el hombre (irrigación, abastecimiento, energía, etc.) pero también es el más peligroso ya que es el causante de la mayoría de los desastres hidrológicos.

Desastres causados por la escorrentía:

- Inundaciones
- Erosión
- Crecidas
- Polución
- Deslaves
- Sequías

Factores que influyen en la escorrentía (Sáenz, 1999):

- Climáticos
  - o Intensidad de precipitación
  - o Duración de la lluvia.
  - o Precipitación antecedente
- Fisiográficos
  - o Área
  - o Permeabilidad
- Factores humanos
  - o Obras hidráulicas
  - o Rectificación de ríos

Estos factores influyen en dos aspectos importantes de la escorrentía:

- Velocidad: tiempo que tarda a la escorrentía de un lugar a otro y factor importante en el caudal ( $Q = \text{Velocidad} \times \text{Área}$ )

- Tiempo de concentración: tiempo que toma a la gota más extrema de una cuenca llegar al punto de salida.

Ambos factores afectan en la creación de caudales máximos y los cambios introducidos a estos son los principales causantes de desastres naturales. La velocidad y el tiempo de concentración pueden ser afectados por:

- Forma de la cuenca
- Pendiente de la cuenca y el flujo
- Uso del suelo
- Permeabilidad del suelo
- Sinuosidad de un río

*Tabla 18. Factores que afectan la velocidad de escorrentía.*

<b>AUMENTA VELOCIDAD</b>	<b>DISMINUYE VELOCIDAD</b>
Mayor pendiente	Pendientes pequeñas
Suelos impermeables	Suelos permeables
Flujos rectos	Flujos sinuosos
Áreas poco vegetadas	Áreas vegetadas

4.5.4.1. Permeabilidad de suelos. Un suelo permeable es la capacidad de este de permitir el flujo de un fluido a través suyo. (Borfitz, 2008) Esta característica es la que permite al agua infiltrar hacia los mantos freáticos, por lo cual, es de suma importancia para el ciclo hidrológico. Algunas superficies permeables son:

- Suelos naturales no compactados.
- Pavimentos porosos
- Suelos granulares

4.5.5. **Bioretención.** La bioretención es la práctica del uso de suelo que utiliza las propiedades químicas, biológicas y físicas de las plantas. (Nigel Dunnett, 2007) La bioretención ayuda en:

4.5.5.1. **Control de cantidad de escorrentía.** Uno de los propósitos de la bioretención es la disminución de la escorrentía creada por las superficies impermeables. Esto se logra a través de:

- Intercepción
- Infiltración
- Evaporación
- Evapotranspiración

4.5.5.2. **Control de la calidad del agua.** La tierra y las plantas, como puede ser visto en los humedales, tienen la cualidad de poder limpiar el agua. Pueden remover material orgánico, aceites, material inorgánico, como metales pesados, y nutrientes, como los encontrados en fertilizantes. (Nigel Dunnett, 2007)

El proceso no se conoce bien, pero se sabe que los siguientes factores ayudan: (Nigel Dunnett, 2007)

- Sedimentación y deposición
- Filtración
- Asimilación
- Adsorción
- Degradación y descomposición

4.5.6. **Cadenas de manejo de escorrentía.** Para eliminar el efecto negativo de la escorrentía se debe atacar el problema en dos frentes: disminución de áreas impermeables y utilizar la tierra y las plantas para mover, retener y filtrar el agua. (Nigel Dunnett, 2007)

Para que la bioretención sea efectiva se debe tener un acercamiento integrado del manejo de escorrentía. Este manejo integrado debe tener en mente cómo entra, transporta y sale el agua de un sitio. (Nigel Dunnett, 2007)

Este manejo integrado se conoce como “Cadena de Manejo de Escorrentía” y se basa en: (Nigel Dunnett, 2007)

- Técnicas que previenen escorrentía
- Técnicas de retención que infiltran o evaporan el agua
- Captación de escorrentía
- Transporte de escorrentía de donde cae a donde se guarda

Se ha estudiado e implementado el uso de técnicas de bioretención para el manejo de agua y escorrentía en desarrollos. En esta sección se expondrán los diferentes métodos y su forma de uso.

4.5.6.1. Ingreso de la escorrentía. En una construcción existen muchas superficies impermeables en su mayoría calles y techos. Estas superficies hacen un corto circuito en el terreno y no permiten que el agua infiltre de manera natural. Cuando una calle no está hecha de pavimento permeable o un techo no está diseñado para almacenar agua hay un exceso de escorrentía que fluye directamente a los drenajes pluviales del desarrollo.

Este proceso desperdicia agua y pone más presión a los drenajes de agua pluvial. Para recuperar este recurso se pueden colocar suelos permeables y desconectar las bajadas de agua. Cuando se tiene un pavimento permeable el agua logra infiltrar a través de este, y cuando se desconecta una bajada de agua del drenaje pluvial se puede:

1. Escurrir por una superficie permeable o en un jardín
2. Guiarla a infraestructura de contención de agua o franjas de infiltración
3. Ser almacenada en cisternas o barriles para su uso posterior.

4.5.6.1.1. *Jardineras purificadoras* Son jardineras que se encuentran en la salida de las bajadas de agua. Éstas reciben, almacenan temporalmente y filtran antes de seguir en la cadena de manejo de escorrentía. Las jardineras capturan el agua la cual infiltra el suelo de la misma. Pero, a diferencia de una jardinera normal, el suelo está diseñado en capas de tierra permeable, arena y piedrín o ripio, que limpian el agua antes de que esta salga. Se recomienda no utilizar fertilizantes más que material orgánico triturado como fuente de carbono.

La tierra de fácil infiltración consta de: (Nigel Dunnett, 2007)

- 2 partes de arena gruesa
- 1-2 partes de tierra negra o compost vegetal como fuente de nutrientes
- 1 parte de madera triturada para fuente de carbono
- Se debe comprobar que la mezcla infiltra el agua antes de colocarla.

El drenaje de salida del rebalse puede salir tanto al drenaje de agua pluvial como a la salida de agua al siguiente elemento de la cadena. La mezcla de tierra, arena y piedrín debe tener al menos 45 centímetros y el alto de rebalse fuera de esta se aconseja en 15 centímetros o más. (Nigel Dunnett, 2007)

*Ilustración 69. Jardinera purificadora.*

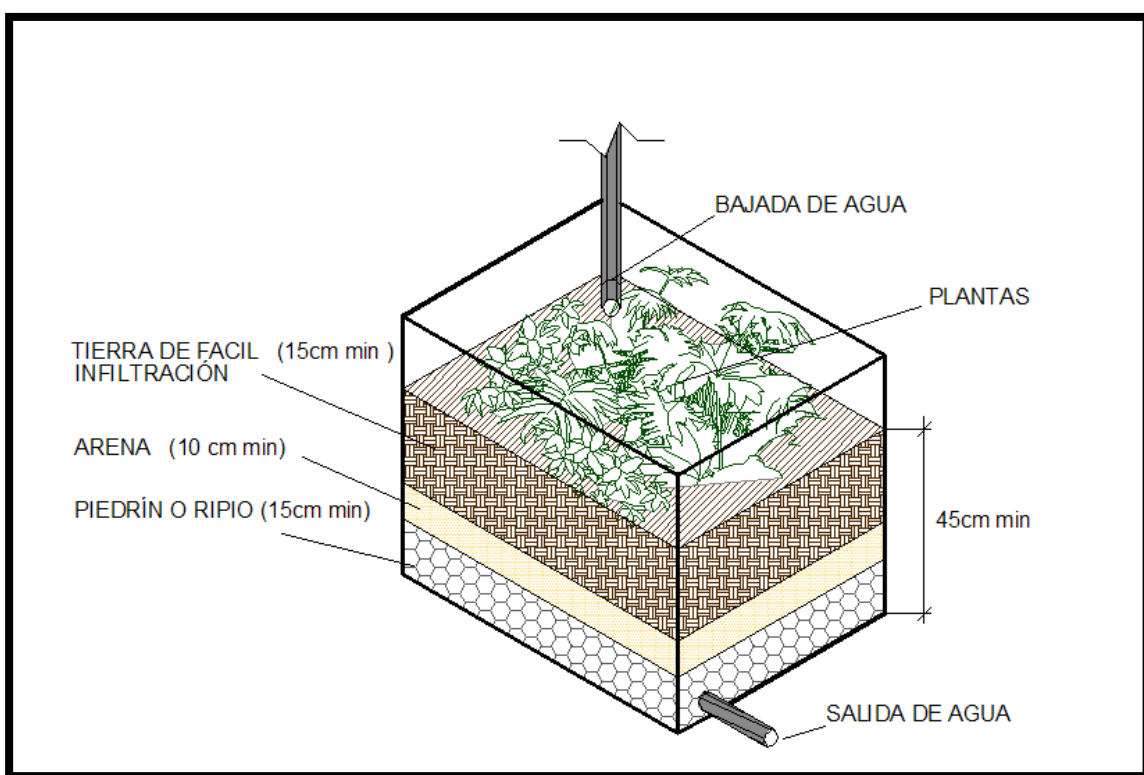
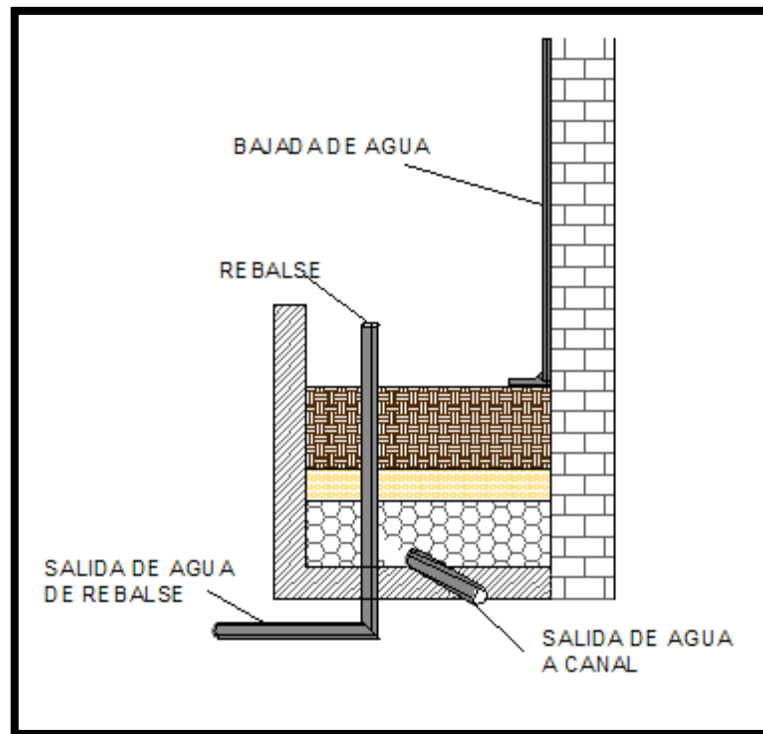


Ilustración 70. Sección de jardinera purificadora.



#### 4.5.6.2. Conducción de escorrentía

4.5.6.2.1. *Canales vegetados.* Son básicamente canales de conducción que filtran y limpian el agua durante el trayecto. Pueden ser canales o depresiones lineales. Los canales guardan y mueven la escorrentía disminuyendo el total de escorrentía y la velocidad de la misma. Al mismo tiempo limpian algunos contaminantes. (Nigel Dunnett, 2007)

Estos canales deben ser diseñados para permitir que el agua pase algunas horas en ellos de tal modo que pueda infiltrar y sedimentar. Introducir pequeños embalses puede ser muy útil, especialmente en terrenos con mucha pendiente. (Nigel Dunnett, 2007)

Ilustración 71. Canales vegetados.

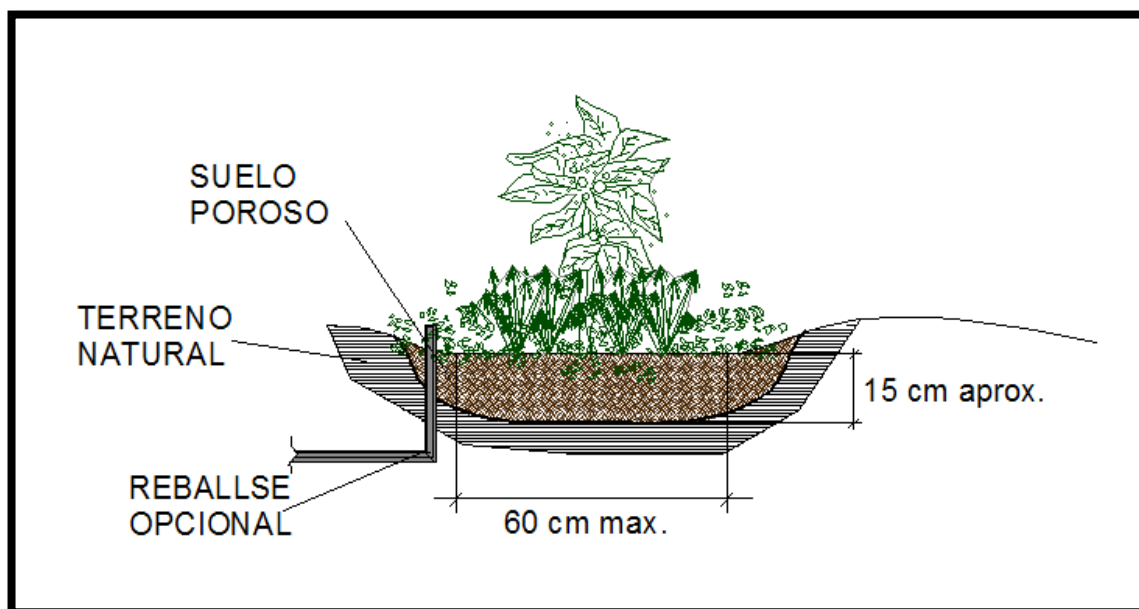
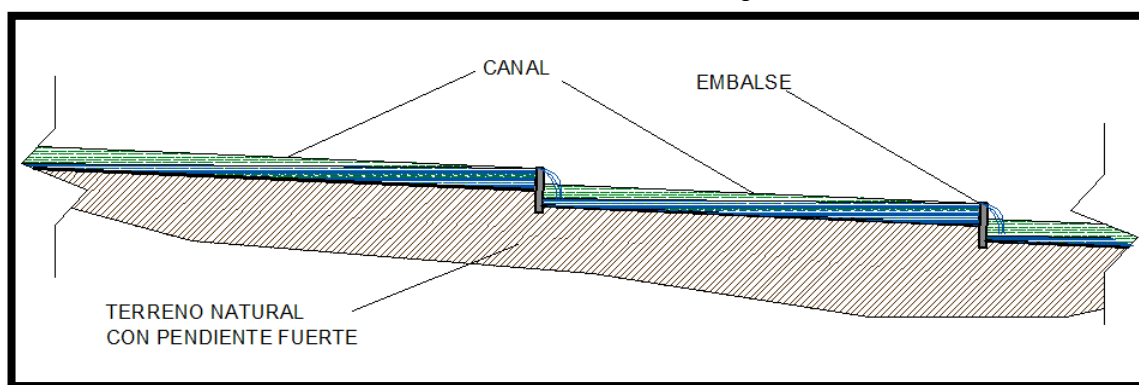


Ilustración 72. Embalses en Canales Vegetados.



Los canales deben tener una profundidad de alrededor de 14 cm y un ancho máximo de 60 cm en casas o residenciales o 1.2 m. en áreas públicas. Si el suelo es arcilloso, se recomienda poner una capa de suelo de fácil infiltración sobre el terreno natural. (Nigel Dunnett, 2007)

Existen dos tipos de canales:

- Canales vegetados; buenos para infiltrar
- Canales de pasto; buenos donde se requiere que fluya más el agua

Se recomienda podar y limpiar la basura de los canales una vez al año, preferiblemente antes de la época de lluvia.

4.5.6.2.2. *Canales vegetados en calles.* Son canales vegetados diseñados para recolectar la escorrentía de calles que a su vez sirven de jardineras y protección para los peatones. El ancho puede ser de máximo 1.2 metros.

Ilustración 73. Calle con canal vegetado.

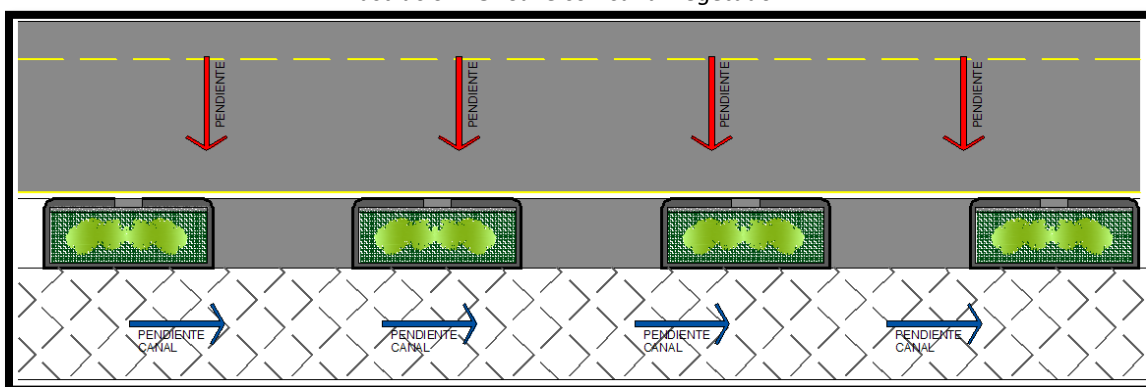


Ilustración 74. Detalle de canal vegetado en calle.

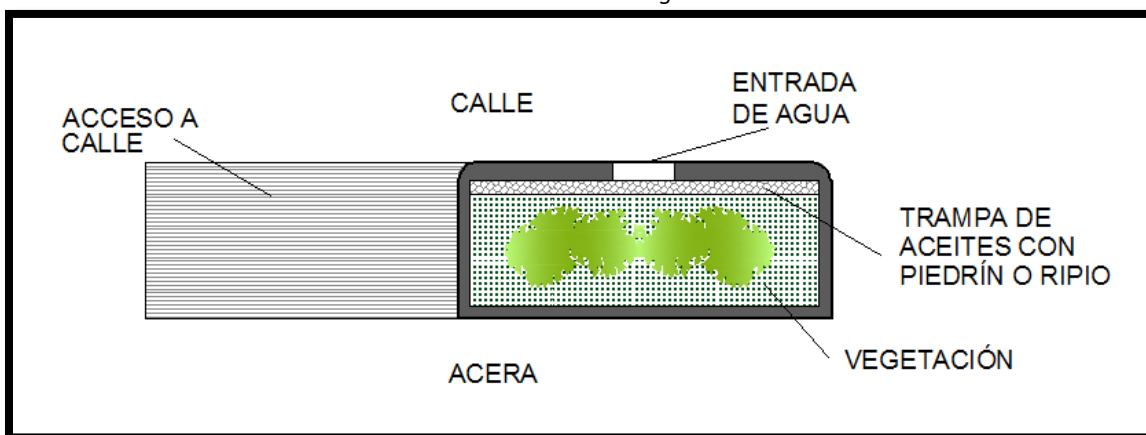
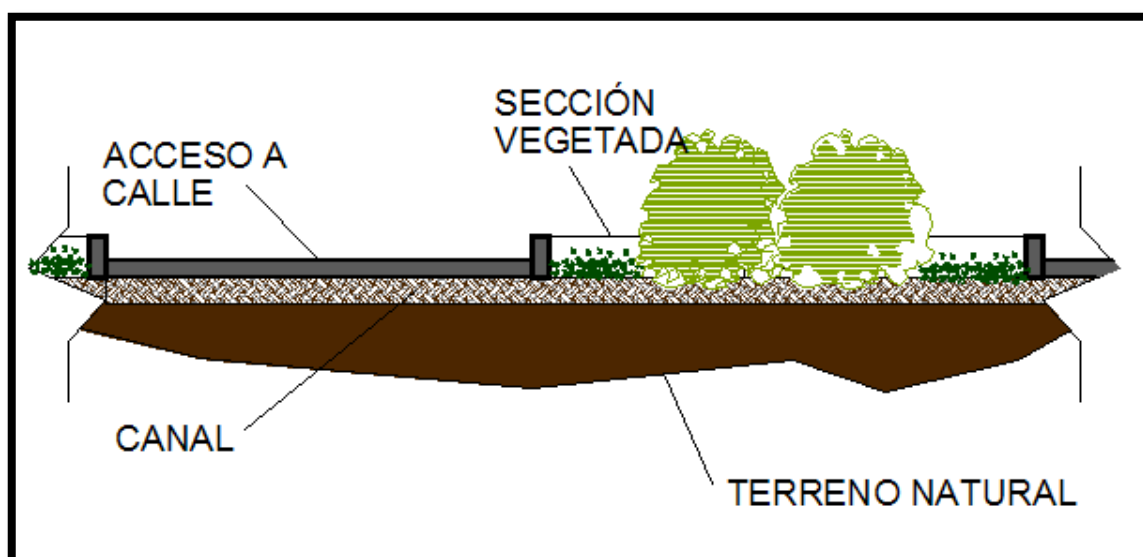


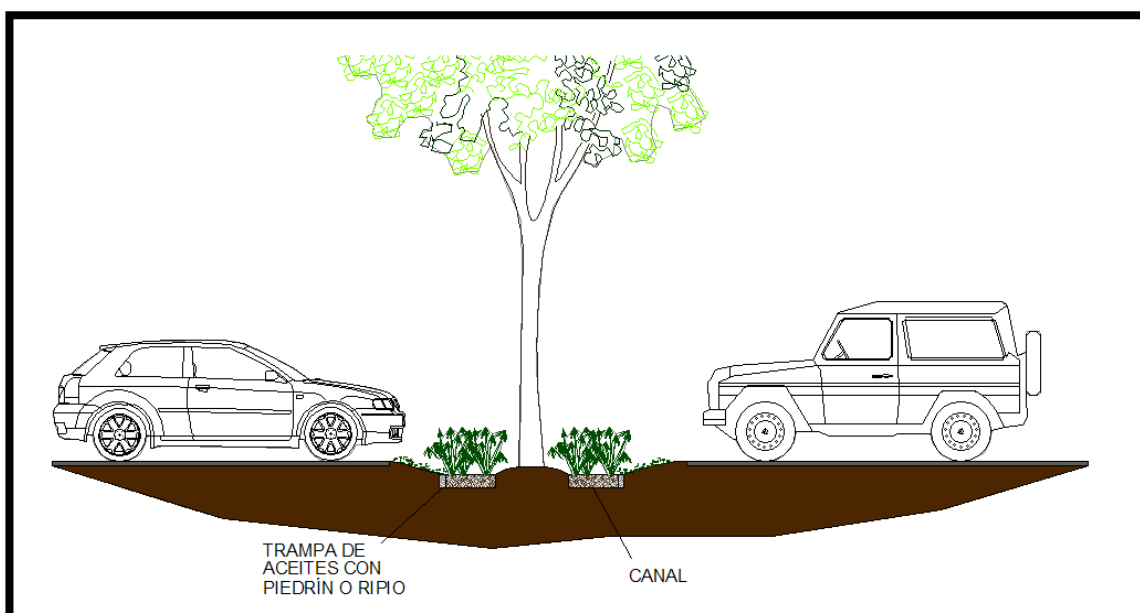
Ilustración 75. Sección de canal vegetado en calle.



#### 4.5.6.2.3. Canales vegetados en estacionamientos

Son elementos diseñados para dividir o bordear estacionamientos que captan la escorrentía. Difieren del canal común en que tienen que ser vegetados y deben tener una pequeña trinchera de piedrín para atrapar aceites y gasolina.

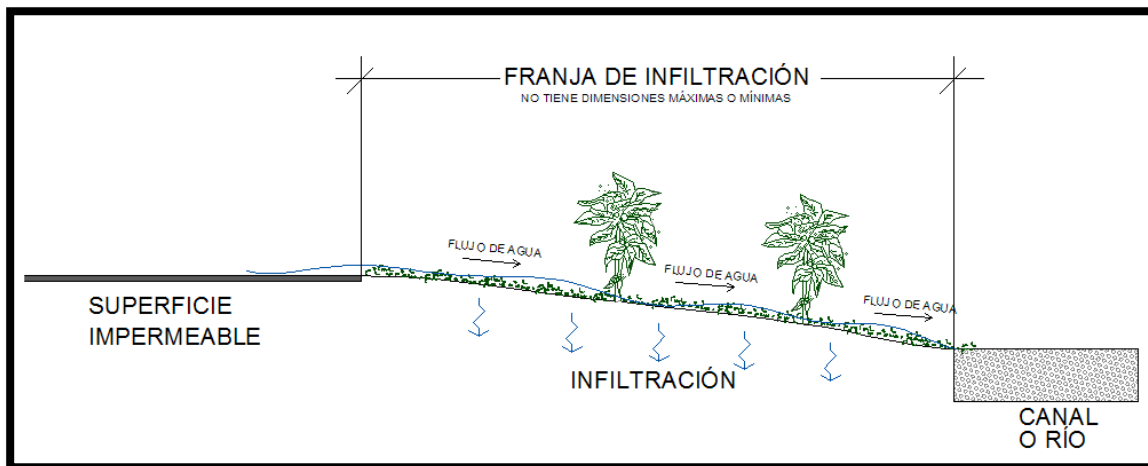
Ilustración 76. Canal vegetado en estacionamiento.



4.5.6.2.4. *Franjas de infiltración.* Son áreas vegetadas con pendientes suaves. Estas reciben la escorrentía de superficies impermeables, disminuyen la velocidad y atrapan sedimento y contaminantes. Se diferencian de los canales en que las franjas de infiltración están diseñadas para dispersar el agua y no recolectarla como los canales. (Nigel Dunnett, 2007)

Las franjas pueden ser vegetadas, de pastos o de piedrín (recomendado donde haya aceite o gasolina). (Nigel Dunnett, 2007)

Ilustración 77. Franja de infiltración.



### 4.5.6.3. Retención

4.5.6.3.1. *Laguna de retención.* Son depresiones impermeables que retienen agua permanentemente. Son uno de los elementos finales de una cadena de escorrentía. Es el lugar final de la escorrentía y su principal rol es el manejo de contaminantes. (Nigel Dunnett, 2007)

Puede ser utilizado para estética o como hábitat. Debido a la fluctuación natural del nivel de agua puede ser necesario un rebalse. Pueden tener variedades de plantas o no ser vegetados, dependiendo el uso que se le quiera dar. Las plantas ayudarán con la limpieza del agua y el hábitat, mientras su ausencia significará que es puramente estético. (Nigel Dunnett, 2007)

Para evitar la contaminación y el crecimiento de algas, se recomienda no verter escorrentía directamente, si no utilizar los métodos anteriormente descritos, previo a su

ingreso. Estas lagunas también pueden adoptar la forma de humedales o pantanos para aumentar la biodiversidad y valor ecológico.

4.5.6.3.2. *Jardines de recolección.* Son depresiones plantadas poco profundas. Eliminan la escorrentía por medio de infiltración y ayudan a adsorber contaminantes. (Nigel Dunnett, 2007) Esencialmente son jardines ornamentales con capacidad de retención. Requieren de un rebalse, ya sea un drenaje o alguno de los métodos mencionados anteriormente.

Deben tener aunque sea 1 metro de tierra permeable de la cual 30cm debe ser tierra negra o de fácil infiltración. De esa manera se asegura la supervivencia de las plantas ante un posible estancamiento. La intención de los jardines no es retener el agua permanentemente como las lagunas, por lo cual el drenaje y la tierra permeable son de suma importancia.

La profundidad típica es de 10 a 20cm con lados de pendiente suave. El área del jardín depende de la profundidad, el tipo de suelo, la distancia al área impermeable y del área que escurrirá hacia él. Se puede calcular con la siguiente fórmula: (Nigel Dunnett, 2007)

$$A = h \times Ae \times fs$$

Donde;

- A = Área de la jardín de retención
- h = Profundidad del jardín
- Ae = Área de escurrimiento
- fs = Factor de suelo

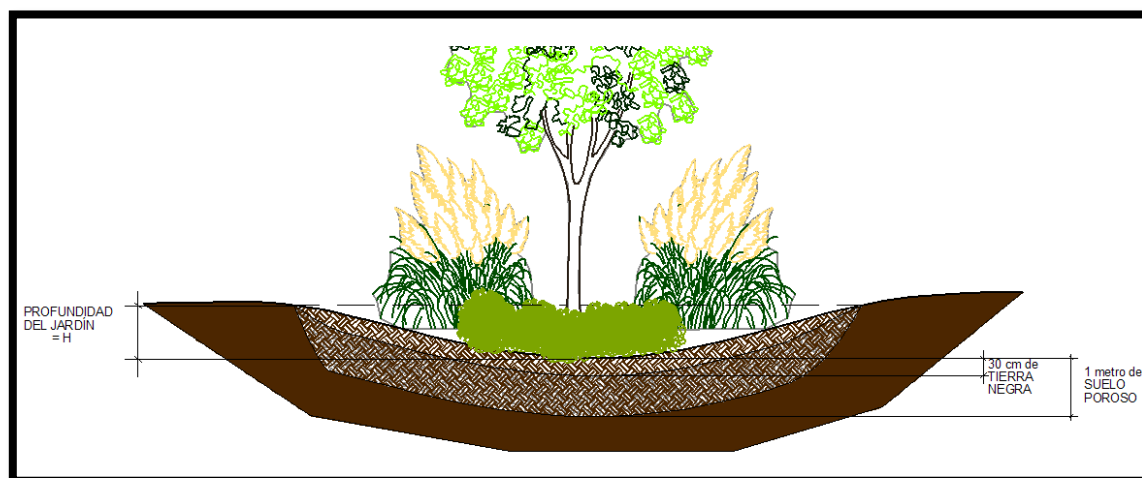
Los factores de suelo son:

Tabla 19. Factores de suelo para jardines de retención.

	Jardines a menos de 10m de superficie impermeable			Más de 10m a superficie impermeable
	10 - 15 cm	15 - 18 cm	20 cm	Todas las profundidades
Suelo arenoso	0.19	0.15	0 .08	0.03
Suelo limoso	0.34	0.25	0 .16	0.06
Suelo arcilloso	0.43	0.32	0 .2	0.1

(Nigel Dunnett, 2007)

Ilustración 78. Jardín de retención.



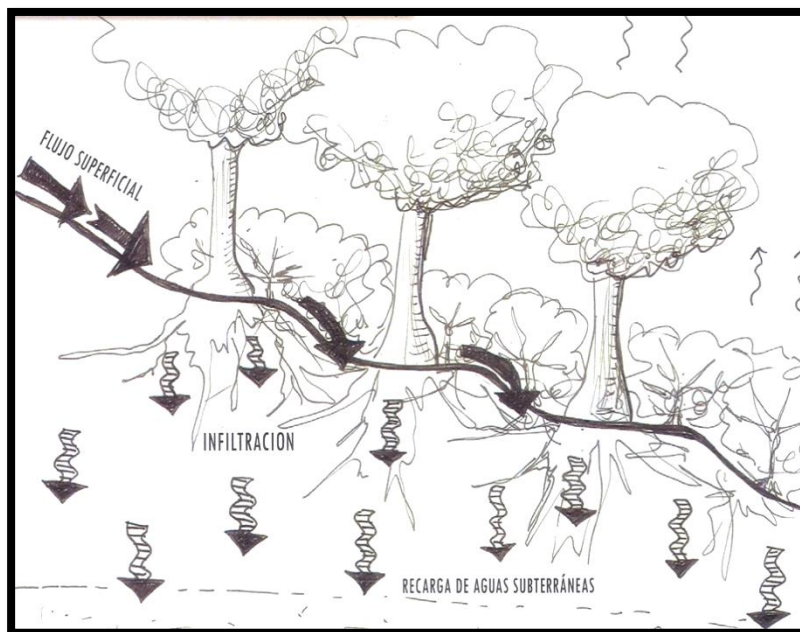
#### 4.5.6.4. Almacenamiento

4.5.6.4.1. *Captación de agua de lluvia.* Técnica que consta de grandes contenedores y cisternas que captan el agua de lluvia, esorrentía o el final de una cadena de esorrentía. Esto reduce la cantidad de esorrentía y el consumo de agua para usos domésticos no potables. (Nigel Dunnett, 2007)

El agua es captada y filtrada para luego usarla en usos no potables como riego, inodoros, lavaplatos, etc.

4.5.6.5. *Mitigación. de laderas* Las terrazas se utilizan para mitigar laderas con pendiente, interrumpiéndolas con una serie de áreas plantadas escaladas. El agua permanece en las superficies planas e infiltra hacia la tierra en lugar de correr ladera abajo. Esta estrategia es adecuada hasta pendientes de 2:1. Se pueden utilizar terrazas y muros de contención para mitigar laderas más inclinadas.

Ilustración 79. Mitigación de laderas.



(Jesse Froehlich, 2008)

## 5. MATERIALES *GREENSPEC*

Los materiales *GreenSpec* se definen como aquellos materiales que reducen el impacto ambiental en edificaciones. Pueden ser materiales total o parcialmente reciclados o de origen vegetal. Adicionalmente, deben ser materiales fácilmente accesibles y ecológicos.

Actualmente se diseña considerando cómo se comportarán los materiales durante la vida útil de la edificación y en función del precio, confort y, posiblemente, estatus social. Generalmente, no se toma en cuenta que la obtención del material pueda requerir alguna acción que genere algún daño ambiental, como la tala de árboles o la producción de materiales altamente contaminantes.

Los materiales *GreenSpec* surgen de la necesidad de una alternativa a la construcción tradicional, que resulta ser de gran grado contaminante, por lo que se buscaron opciones que produjeran diseños y métodos constructivos sostenibles.

### 5.1. Concreto con ceniza volante

#### 5.1.1. Caracterización

5.1.1.1. Definición. El término ceniza volante se define como partículas finas de material precipitado de una caldera industrial o cámara de gas producto de la ignición de combustibles sólidos. Generalmente, se tienen dos categorías de ceniza volante dependiendo de su origen y composición química y mineralógica: ceniza volante con bajo contenido de calcio y ceniza volante con alto contenido de calcio. Ambas tienen propiedades puzolánicas sin embargo, la ceniza volante de alto contenido de calcio presenta también propiedades cementicias. A pesar de que el origen de la ceniza volante sea la misma, puede ser altamente variable en cuanto a su composición química y propiedades físicas. Por lo que la interacción entre el cemento y la ceniza volante tiene que enfatizarse principalmente en tendencias y no tanto en parámetros cuantitativos. (Wesche, 2005)

Se debe reconocer que donde la demanda energética, tanto para uso industrial como doméstico, resulta en la producción de grandes volúmenes de ceniza volante, no tienen que ser únicamente almacenados adecuadamente, evitando ser fuente de contaminación ambiental, sino que tiene que ser aprovechado como un recurso con el que se dispone. (Wesche, 2005)

5.1.1.2. Origen. El carbón es un material heterogéneo utilizado en un amplio espectro como fuente de energía. Al ser quemado el carbón pulverizado para generar energía, produce grandes cantidades de ceniza volante. (Wesche, 2005)

El carbón es quemado en plantas de generación de energía para producir el calor necesario para convertir agua en vapor, el cual es utilizado en turbinas. Se utilizan tres diferentes procesos en plantas de generación para la combustión de carbón pulverizado:

- Combustión de alta temperatura: aquí, la combustión ocurre en calderas a temperaturas de 1500 – 1700°C. La ceniza resultante se funde y cae en agua. Sólo una pequeña parte de fina partículas escapa de los precipitadores electrostáticos en forma de ceniza volante.
- Combustión seca: en este caso, el carbón pulverizado es quemado en calderas a temperaturas de 1100 – 1400°C Aproximadamente el 90% de la ceniza acumulada en el proceso es en forma de partículas ultra-finas retenidas por electrofiltros o precipitadores.
- Mezclas fluidas: la temperatura de la cadera para las mezclas fluidas es menor de 900°, excluyendo la fundición. Las cenizas son de forma irregular, con un gran porcentaje de partículas cristalinas. Estas no son cenizas volantes como tal, por lo que no son relevantes para materiales de construcción. (Wesche, 2005)

5.1.1.3. Propiedades. Las puzolanas son materiales de silicio y aluminio que, por sí solos tienen pequeños o ningún valor cementicio pero, con la presencia de agua, reaccionan químicamente con el hidróxido de calcio a temperatura ambiente para formar compuestos con propiedades cementatas. (Wesche, 2005)

La ceniza volante es un sólido, granulado, producto de la combustión de carbón pulverizado en calderas de estaciones de generación. Recaudado en separadores mecánicos o electroestáticos. El término ceniza volante no abarca el residuo del fondo de las calderas. (Wesche, 2005)

La ceniza volante es capaz de reaccionar con  $\text{Ca(OH)}_2$  a temperatura ambiente y actuar como material puzolánico. Su carácter puzolánico se debe a la presencia de  $\text{SiO}_2$  y  $\text{Al}_2\text{O}_3$  en forma amorfa. (Wesche, 2005)

5.1.1.3.1. *Composición mineralógica.* La composición química y mineralógica de la ceniza volante depende de las características y composición del carbón quemado en la planta de generación. Debido al rápido enfriamiento del material, la ceniza volante se compone principalmente (50 – 90%) de material mineral en forma de partículas vítreas. Una pequeña cantidad de ceniza se da en forma de cristales. (Wesche, 2005)

5.1.1.3.2. *Contenido de agua.* La cantidad de agua necesaria para obtener un concreto con ceniza volante de normal consistencia depende considerablemente del contenido de carbón. La absorción de agua es baja cuando el carbón que no se quemó es alrededor del 1%. Contrariamente, la ceniza volante con aproximadamente 10% de carbón libre consume una gran cantidad de agua. Es por esto que el concreto con ceniza volante mejora su resistencia mecánica si el contenido de carbón es bajo. (Wesche, 2005)

5.1.1.3.3. *Soundness.* Es la capacidad de una pasta de cemento, mortero o concreto para resistir esfuerzos internos generados durante la hidratación del cemento, sin que se quebrante. El fenómeno contrario es causado usualmente debido a una lenta hidratación de CaO quemado y/o MgO del cemento. Estas reacciones ocurren cuando la pasta cementicia se ha endurecido. Los hidróxidos formados en este proceso,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  y/o  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  tiene un gran tamaño molecular que induce a esfuerzos internos que eventualmente producen la expansión del concreto. (Wesche, 2005)

Se ha encontrado que el uso de cemento mezclado (cemento portland + ceniza volante) reduce el fenómeno de expansión del concreto, probablemente debido al hecho de que el concreto contiene una cantidad más pequeña de cemento portland que el concreto sin ceniza volante. (Wesche, 2005)

## 5.1.2. Mortero y concreto con ceniza volante fresco

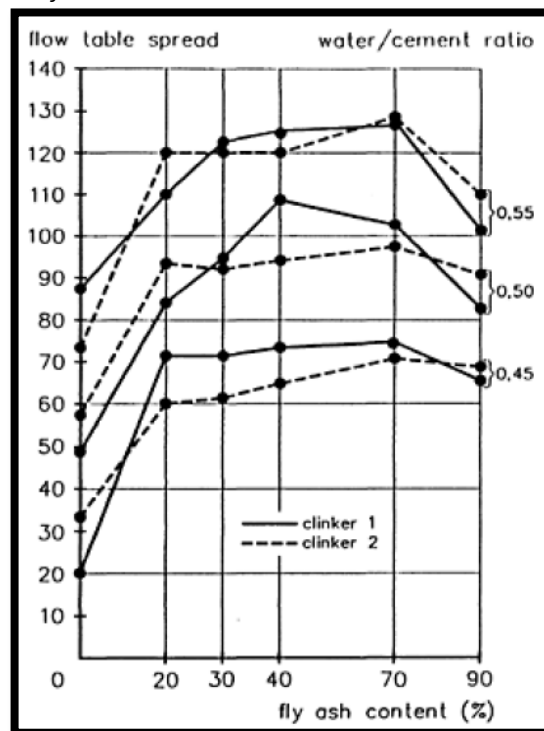
5.1.2.1. *Propiedades del mortero y concreto recién mezclado.* Uno de los aspectos más importantes del uso de ceniza volante en concreto es el hecho que, en general, mejora notoriamente las propiedades del concreto fresco. Observaciones de la experimentación práctica de concreto conteniendo ceniza volante reportan lo siguiente:

- Reemplazar el cemento por ceniza volante reduce la demanda de agua del concreto.

- La utilización de ceniza carbón mejora el bombeo del concreto.
- La trabajabilidad, fluidez y plasticidad del concreto son generalmente mejoradas.
- El trabajo necesario para moldear y colocar el concreto es reducido.
- Se reduce el riesgo de superficies porosas al contraerse el concreto.
- La pérdida de agua del concreto disminuye. (Wesche, 2005)

La reducción de la demanda de agua del mortero y concreto que resulta al sustituir ceniza volante por cemento se debe a que se produce una consistencia líquida con un contenido de agua constante. La figura a continuación muestra el incremento de la fluidez del mortero al variarle la relación agua/cemento en función del porcentaje de ceniza volante en relación al cemento más ceniza volante. (Wesche, 2005)

*Ilustración 80. Influencia del contenido de la ceniza volante en la consistencia.*



(Wesche, 2005)

Las curvas muestran un valor óptimo relativo para este efecto en un contenido de ceniza volante en un rango de 20 a 70%. La determinación de ese óptimo relativo depende de las propiedades del cemento y la ceniza volante. (Wesche, 2005)

Los resultados obtenidos con las pruebas en un mortero no son los mismos para el concreto, ya que éste depende tanto de las propiedades del cemento y de la ceniza volante como de los agregados. En pruebas realizadas con concreto, el requerimiento de agua para

una mezcla con cemento y ceniza volante varió casi linealmente en función de la proporción de la mezcla. (Wesche, 2005)

#### 5.1.2.2. Aditivos y contenido de aire

5.1.2.2.1. *Superplastificantes.* Actualmente, ha aumentado el uso de aditivos superplastificantes, particularmente en la producción de concreto fluido. Para una correcta proporción es recomendable usar más arena que en el concreto convencional. Se ha estudiado el efecto en la reducción de agua que produce un superplastificante en concreto conteniendo ceniza volante. Se notó que se da un mejor esparcimiento utilizando superplastificantes en concreto con ceniza volante que en los concretos sin ceniza volante. (Wesche, 2005)

5.1.2.2.2. *Acelerantes.* A temperatura normal (22°C), se da una reducción de la resistencia en mezclas conteniendo ceniza volante en relación con la mezcla de control (100% cemento portland sin aditivos) a todas las edades, exceptuando la mezcla conteniendo ceniza volante y superplastificantes. También se notó que la efectividad de los químicos para acelerar el fraguado en mezclas conteniendo ceniza volante disminuye al aumentar el contenido en la mezcla de dicha ceniza. (Wesche, 2005)

5.1.2.2.3. *Contenido de aire.* El contenido de aire en concreto de cemento portland fresco es normalmente menos del 3%, dependiendo de la finura del cemento, el grado y la forma de los agregados, y el grado de consolidación. El concreto conteniendo ceniza volante reduce en contenido de aire en un 0.5 – 1% debido a la influencia de los finos. (Wesche, 2005)

5.1.2.2.4. *Contenido de agua.* La ceniza volante generalmente prolonga el fraguado del concreto sin embargo, tanto el fraguado inicial como el final permanece dentro de los límites especificados para cementos estándar. Este retraso en el fraguado debido a la ceniza volante se ve afectado por la proporción, la finura y la composición química de la ceniza. A pesar de la finura del cemento, el contenido de agua de la pasta y la temperatura ambiente usualmente tienen un efecto mayor en el fraguado que la adición de la ceniza volante. (Wesche, 2005)

5.1.2.2.5. *Contracción plástica.* El efecto de la presencia de ceniza volante en la mezcla respecto a la contracción plástica no es tan significativo como el efecto de la relación agua/cemento. Por otro lado, el contenido de agua

necesaria para obtener cierta trabajabilidad es menor para el concreto conteniendo ceniza volante de alta calidad que para el concreto sin ceniza volante, y la reducción del contenido de agua afecta la contracción del concreto. (Wesche, 2005)

### 5.1.3. Mortero y concreto con ceniza volante endurecido

#### 5.1.3.1. Curado y resistencia

*5.1.3.1.1. Influencia de la ceniza volante en la hidratación del cemento y del concreto.* Generalmente, en la reacción puzolánica de la ceniza volante, el  $\text{Ca(OH)}_2$  producido durante la hidratación del cemento reacciona con las fases silicatas y alumínicas de la ceniza volante para producir silicato de calcio e hidratos alumínicos. Sin embargo, la hidratación del cemento y las reacciones puzolánicas no proceden independientemente. Los alcalinos solubles en agua, sulfatos, cal y componentes orgánicos de la ceniza volante pueden afectar el proceso de cristalización, especialmente en etapas tempranas del curado del concreto. (Wesche, 2005)

*5.1.3.1.2. Efecto de la ceniza volante en el desarrollo del endurecimiento de morteros y concretos.* La resistencia a la compresión y otras propiedades mecánicas de los morteros y concretos conteniendo ceniza volante dependen de la reactividad de la puzolana de la ceniza volante, la riqueza de la mezcla, la caracterización de los agregados, el contenido de agua y las condiciones de curado. La ceniza volante puede ser agregada a la mezcla separada o combinada con el cemento. (Wesche, 2005)

Los principales componentes de la ceniza volante que contribuyentes a la reacción puzolánica son los silicatos y aluminato reactivos, considerando que la mullita y el cuarzo son inefectivos. Se sugiere que la reactividad de la ceniza volante depende más de la temperatura a la que el carbón fue quemado que la calidad del carbón. (Wesche, 2005)

La finura de la ceniza volante es considerada más determinante que la composición química en la reactividad y mejora de las características de resistencia de morteros y concretos. Los materiales más finos se disolverán y reaccionarán más rápido en la fase líquida de la hidratación del sistema. Existe una correlación directa entre la finura de la ceniza volante y la reactividad y endurecimiento del mortero y concreto, aunque el efecto de la finura no sea evidente a temprana edad. Mientras menor sea el residuo sobre el tamiz de  $45\mu\text{m}$ , la reactividad es mejor. (Wesche, 2005)

Aparte de la calidad de la ceniza volante y el cemento, el método de diseño de mezcla es sencillamente el factor más influyente en las propiedades del concreto con ceniza volante. En general, estos métodos se clasifican en:

- Sustituto parcial de cemento
- Sustituto parcial de cemento y agregado fino
- Sustituto parcial de agregado fino (Wesche, 2005)

Se cuenta con gran cantidad de literatura que reportan el efecto de la incorporación de ceniza volante en el desarrollo de resistencia a compresión y otras propiedades mecánicas de morteros y concretos. A pesar de que varias de las fuentes se basaron en algún tipo de ceniza volante específica o para un proyecto en particular, se pueden hacer ciertas generalizaciones. (Wesche, 2005)

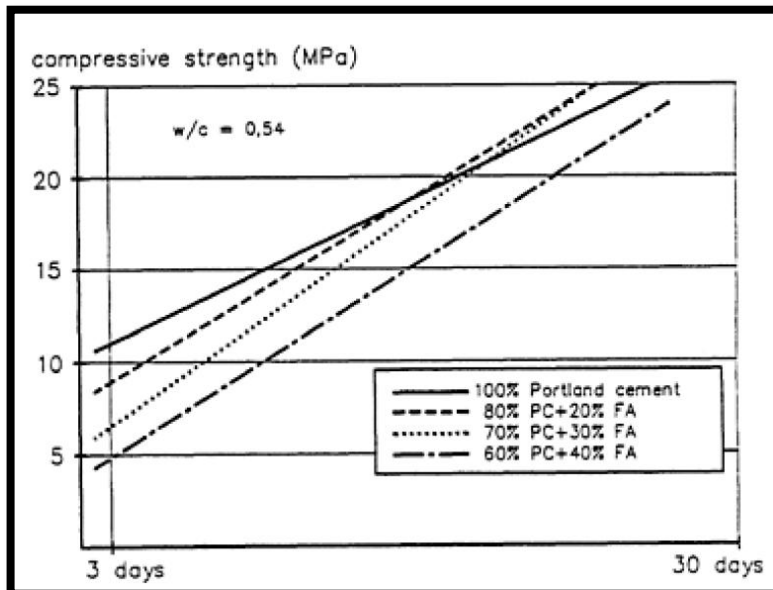
Una parte sustancial de la literatura sugiere que ese remplazo parcial de cemento en mortero o concreto por ceniza volante resulta en una resistencia a la compresión menor a temprana edad (alrededor de 3 a 6 meses) pero, con un desarrollo mayor a partir de 6 meses, comparado con el concreto de control. Esta mayor resistencia tardía es el resultado de una aumentada reacción puzolánica a edades mayores. El momento en el que la resistencia del concreto con ceniza volante alcanzará la del concreto simple dependerá generalmente de la cantidad, reactividad y finura de la ceniza volante, la relación agua a sólido y las condiciones de curado como la humedad y temperatura. (Wesche, 2005)

Un aumento en el contenido de ceniza volante en la mezcla retrasa el fraguado y disminuye la resistencia a temprana edad. La ceniza volante con alto contenido de calcio desarrolla resistencia a más temprana edad que la ceniza volante con bajo contenido de calcio, aunque puede causar un falso fraguado. Se desarrolla más rápidamente la resistencia si se reduce el contenido de agua y se aumenta la temperatura de curado. El curado húmedo resulta benéfico para el desarrollo de resistencia de concretos con ceniza volante. (Wesche, 2005)

El reemplazo parcial de cemento y agregados finos por ceniza volante en mezclas de concreto resulta en un concreto con tempranas resistencias menores comparado con las mezclas de control, pero con esfuerzos mayores a edades superiores. El reemplazo parcial de agregado fino por ceniza volante generalmente produce concreto con resistencias mayores a

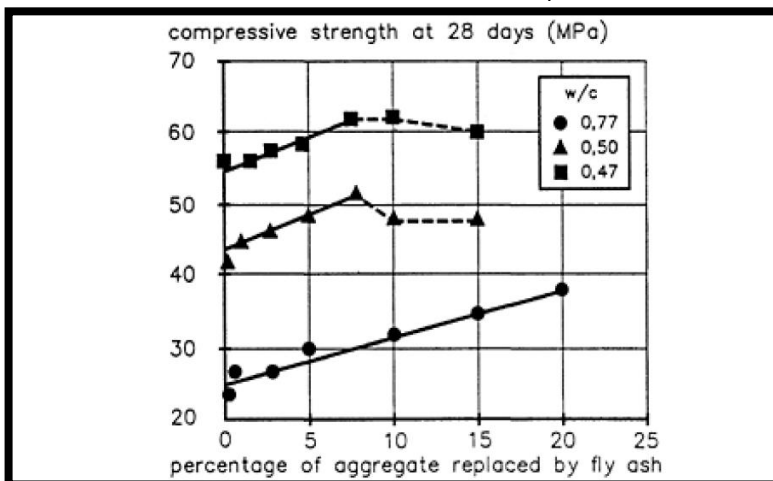
toda edad comparado con la mezcla de control. Esta observación resulta del hecho que no se da una reducción en el contenido de cemento en la mezcla. (Wesche, 2005)

Ilustración 81. Resistencia desarrollada en concretos con ceniza volante.



(Wesche, 2005)

Ilustración 82. Variación de la resistencia a compresión a los 28 días.



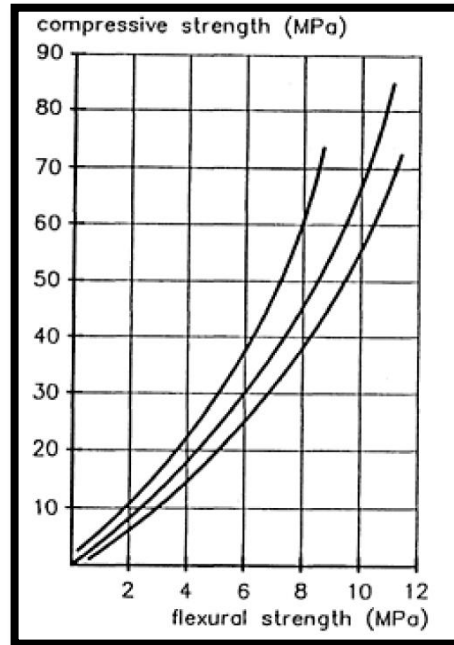
(Wesche, 2005)

### 5.1.3.1.3. Resistencia a la flexión y a la tensión. Al

utilizarse ceniza volante como sustituto parcial o total del cemento portland, datos de laboratorio indican que la resistencia a la flexión (o módulo de ruptura) y la resistencia a la tensión pueden obtenerse a partir de la resistencia de compresión. La relación de resistencia de flexión a compresión es ligeramente mayor que la relación de resistencia de tensión a

compresión. (Wesche, 2005)

Ilustración 83. Relación entre resistencia a la flexión y compresión.



(Wesche, 2005)

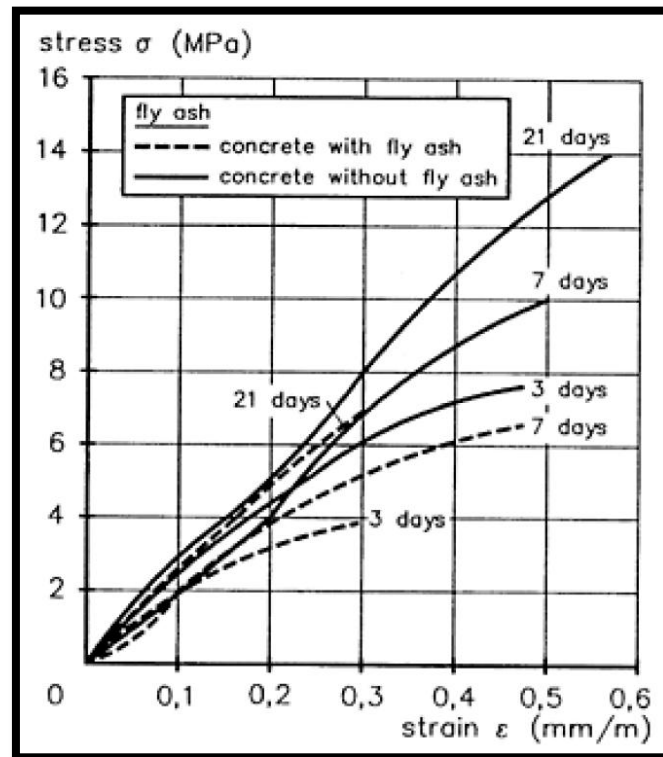
### 5.1.3.2. Deformaciones

#### 5.1.3.2.1. Deformaciones bajo esfuerzos de compresión

A pesar que la gráfica del concreto depende de varios factores como la mezcla, edad, temperatura y condiciones de almacenaje, se obtuvieron algunos resultados para concretos y morteros conteniendo ceniza volante. (Wesche, 2005)

A los 28 días, el concreto con ceniza volante presentó una resistencia a la compresión de 18.7MPa y el concreto sin ceniza volante una resistencia a la compresión de 26.8MPa. El concreto con ceniza volante fue más deformable a temprana edad que el concreto sin ceniza volante. (Wesche, 2005)

Ilustración 84. Curvas de concreto sin ceniza volante y con ceniza volante ( $c_v/c_p=0.30$ ).

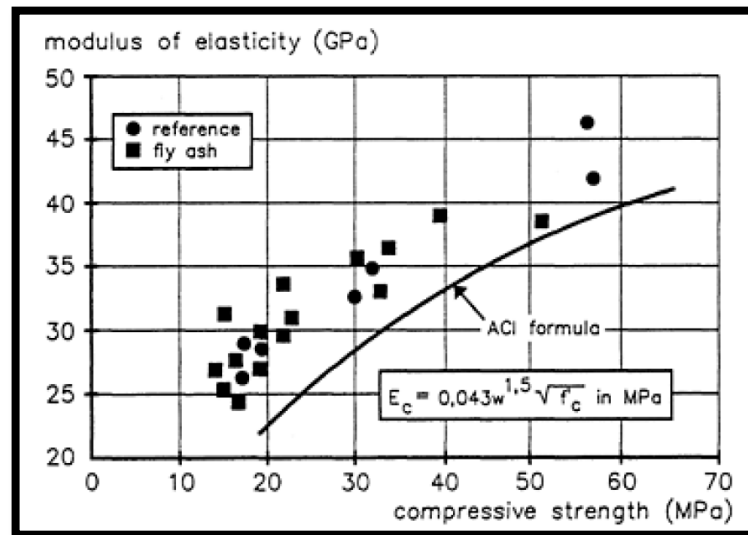


(Wesche, 2005)

El módulo de elasticidad es una característica esencial de un material utilizado en la construcción, ya que indica la relación entre esfuerzo y la deformación elástica. Aparentemente, la diferencia entre concreto con ceniza volante y concreto convencional para determinado esfuerzo de compresión. A partir de los 28 días, las diferencias de las propiedades elásticas son aún menores. (Wesche, 2005)

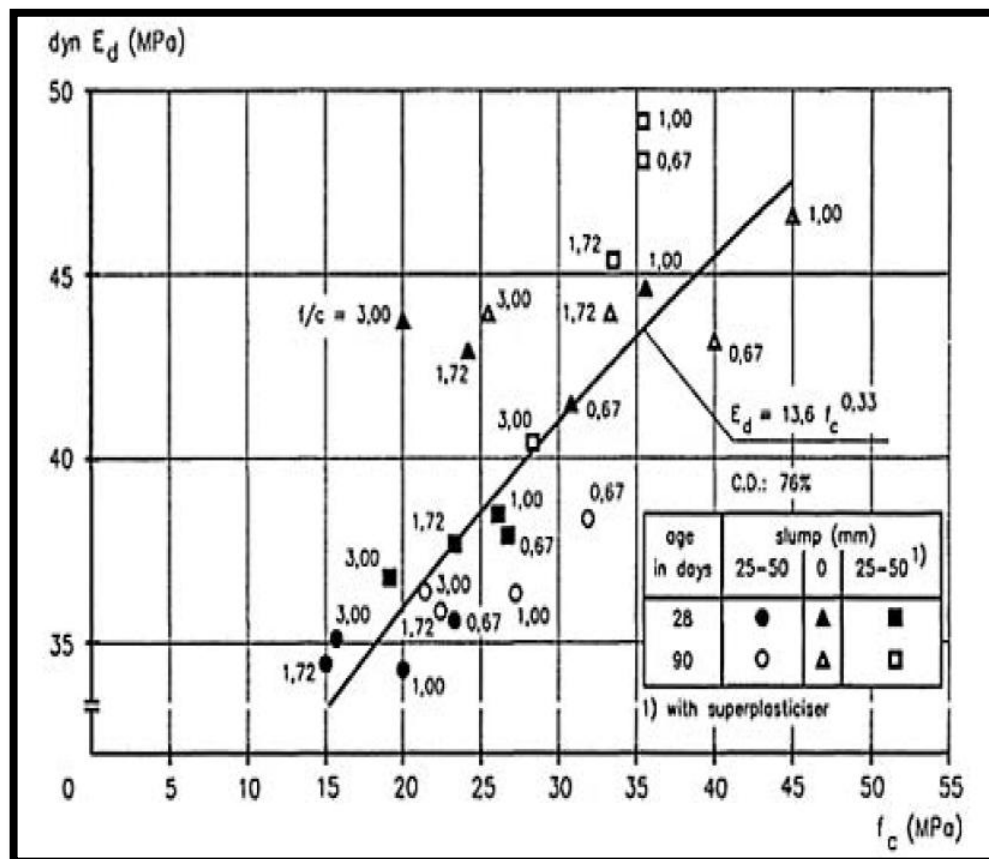
El módulo de elasticidad de concreto conteniendo ceniza volante aumenta más con el pasar del tiempo que aquellos concretos convencionales. El módulo de elasticidad es ligeramente afectado por el contenido de la ceniza volante. El módulo de elasticidad es ligeramente disminuido al aumentar el contenido de ceniza volante. (Wesche, 2005)

Ilustración 85. Relación entre módulos de elasticidad y esfuerzo de compresión.



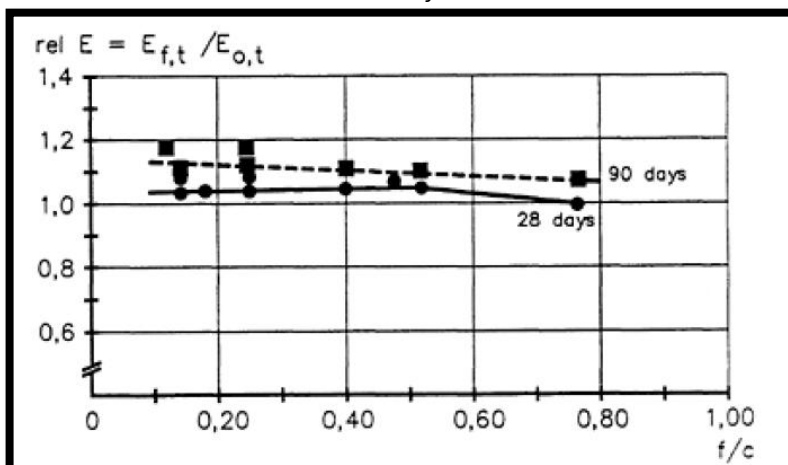
(Wesche, 2005)

Ilustración 86. Módulo de elasticidad dinámico.



(Wesche, 2005)

Ilustración 87. Módulo de elasticidad como función del contenido de ceniza volante.



(Wesche, 2005)

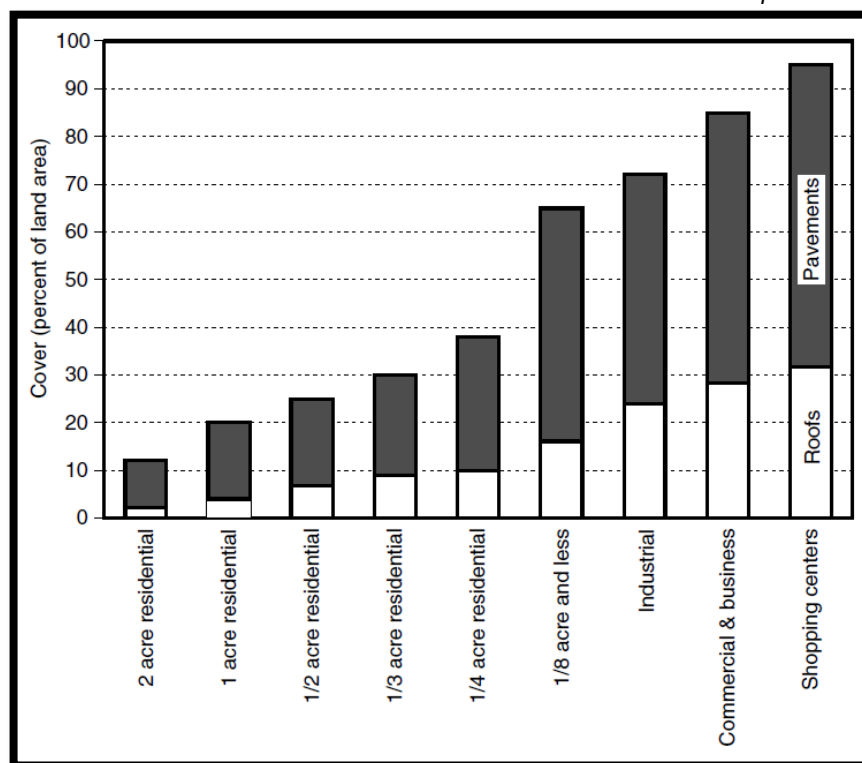
## 5.2. Pavimentos porosos

### 5.2.1. ¿Por qué hacer pavimentos porosos?

5.2.1.1. Definición. En cualquier parte que se construya pavimentos, los pavimentos porosos pueden mejorar la interacción con el ambiente de varias formas. Un pavimento es cualquier tratamiento o cubierta aplicada sobre superficies de tierra que soporta tráfico. Un pavimento poroso es aquel con la suficiente porosidad y permeabilidad que afectan significativamente la hidrología, el hábitat de las raíces y otros aspectos ambientales. Las áreas de tráfico bajo a moderado son elegibles para ciertos tipos de pavimento poroso. (Ferguson, 2005)

5.2.1.2. Magnitud de los pavimentos. La siguiente gráfica muestra la proporción de área cubierta por estructuras construidas en zonas urbanas contemporáneas, la parte oscura de cada columna representa pavimentos y la parte en blanco representa el techo de las edificaciones. Los valores obtenidos son de mediciones de áreas de la Bahía de Chesapeake. (Ferguson, 2005)

Ilustración 88. Cubierta construidas en áreas de uso urbano contemporáneas.



(Ferguson, 2005)

En el lado izquierdo inicia la gráfica con grandes áreas residenciales, donde el área de edificación alcanza escasamente el 12% de la tierra. Progresando hacia la derecha de la gráfica, se encuentra una intensificación del área residencial, industrial, y comercial donde correspondientemente tienen una mayor área cubierta por alguna construcción. Los centros comerciales están en una clase aparte, ya que la tierra cubierta por construcción es alrededor de 90%. Generalmente, los pavimentos ocupan alrededor del 65 a 70% del área de construcción. (Ferguson, 2005)

En la siguiente ilustración se analiza la cobertura constructiva comparando áreas de techo de edificaciones y tres categorías de pavimento. La altura de cada columna representa la proporción que abarca cada tipo de estructura. Nuevamente las áreas de techo están representadas por el color blanco y las de pavimento de color oscuro. Se muestran las gráficas para áreas de residencias unifamiliares, residencias multifamiliares y zonas comerciales. Los tres gráficos se puede observar que el área de edificación cubre alrededor de un tercio del área, mientras el área cubierta por pavimento representa los otros dos tercios. (Ferguson, 2005)

En las zonas de residencias unifamiliares, el área de calles es abundante debido a la necesidad de largas calles para conectar residencias tan dispersas. Adicionalmente, las calles se utilizan como parqueo. En estas zonas las carreteras, calles y las aceras tienen carga de tráfico pequeña, por lo que son considerables para el uso de pavimentos porosos sin causar conflictos estructurales. (Ferguson, 2005)

En áreas de residencias multifamiliares, tanto las calles como las áreas de parqueo son substanciales. Las aceras y la mayoría de los parqueos tienen carga de tráfico pequeña, por lo que son considerables para el uso de pavimentos porosos sin causar conflictos estructurales. La carga de tráfico en las carreteras puede resultar muy variable. (Ferguson, 2005)

En zonas comerciales, las áreas de parqueo dominan el área de construcción cubierta. A pesar de que las carreteras en estas zonas son amplias, ocupan una pequeña porción comparada con las áreas de parqueo cercanas. Gran parte de los parqueos tiene una carga de tráfico baja o moderada por lo que son considerables para el uso de pavimentos porosos. (Ferguson, 2005)

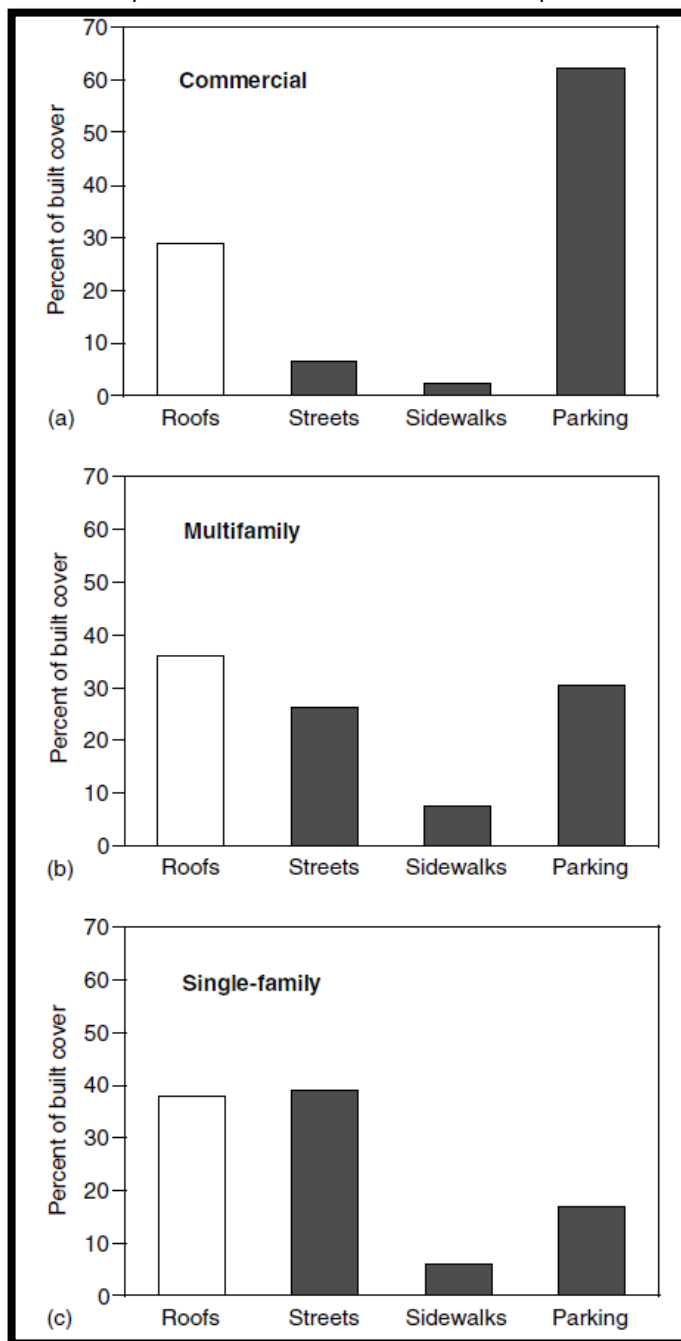
En resumen, es posible seleccionar pavimentos porosos para aproximadamente la mitad del área de construcción cubierta en la mayoría de zonas urbanas. (Ferguson, 2005)

5.2.1.3. Dónde no conviene realizar pavimentos porosos. Existen ciertos lugares especiales, donde los pavimentos deben ser densos e impermeables para la conservación de recursos y la protección ambiental:

- En lugares donde la escorrentía de los pavimentos densos es un recurso utilizado para la irrigación o algún otro propósito productivo.
- Áreas industriales antiguas, donde los pavimentos densos prevén que el agua pluvial se filtre entre los depósitos tóxicos en el suelo.

Donde la disposición del terreno puede causar una acumulación de sedimentos en la superficie del pavimento, donde la pendiente es muy pronunciada o la carga de tráfico es muy alta. (Ferguson, 2005)

Ilustración 89. Tipos de cubiertas construidas en tres tipos de uso de tierra.



(Ferguson, 2005)

En todas estas áreas listadas, los pavimentos porosos no son recomendables. Dejando por un lado estas excepciones, para todos los usos que se le den a la tierra, en cualquier patrón de desarrollo, en todo tipo de zona, gran parte del pavimento a construir puede realizarse como pavimento poroso. Los efectos ambientales que ofrecen son geográficamente de amplio espectro y funcionalmente multifacéticos (Ferguson, 2005)

Adicionalmente, el problema de las inundaciones en sectores urbanos por los efectos propios de la urbanización, ya que se reducen considerablemente las áreas permeables del suelo aumentando la cantidad de agua escurrida, la cual sobrepasa la capacidad drenante del sistema de alcantarillado.

5.2.1.4. La promesa de agua limpia. El problema que representan las cuencas urbanas producto de pavimentos impermeables es la acumulación de agentes contaminantes depositados de la atmósfera, de goteras de vehículos, óxido de tuberías metálicas y excretas de animales. Al presentarse las primeras lluvias, toda esta contaminación es introducida en la corriente del drenaje. (Ferguson, 2005)

En la siguiente ilustración se observa cómo los pavimentos porosos pueden proteger las cuencas urbanas. Cierta cantidad de agua fue regada en la superficie de concreto poroso de un parqueo. La mancha circular indica que el agua se filtró en los poros del pavimento, y no a través de la superficie. Un pavimento poroso infiltra y trata el agua pluvial donde esta cae, el espacio vacío entre sus poroso funciona como una retención. La mayoría de pavimentos porosos reducen la escorrentía y restaura la infiltración durante pequeñas lluvias, las cuales son frecuentes y numerosas, con lo que el agua infiltrada recarga acuíferos y el manto freático. Los poros alberga un microecosistema que filtra y biodegrada los contaminantes que son producidos en áreas residenciales, comerciales y de oficinas, el ecosistema de la capa inferior propicia un sistema de tratamiento de reserva que asegura que se le de un tratamiento de alto nivel. Los pavimentos porosos atacan el problema de las cuencas urbanas desde la fuente, reduciendo o eliminando los problemas que puedan causar corriente abajo. (Ferguson, 2005)

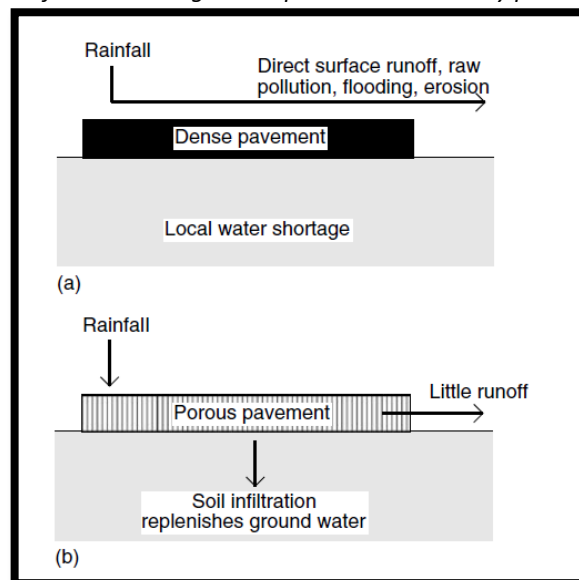
La ilustración subsiguiente muestra el contraste de los efectos hidrológicos de los pavimentos porosos y los pavimentos densos. En áreas en desarrollo los pavimentos porosos protegen el agua del nivel freático y de acuarios cercanos. En ciudades viejas, renovar antiguos pavimentos con pavimentos porosos compensa la insuficiencia de los antiguos sistemas de alcantarillados combinados. Donde se deba pavimentar, el uso de pavimentos porosos permite el contacto del agua pluvial con la capa subyacente de suelo. (Ferguson, 2005)

Ilustración 90. Infiltración en la superficie de concreto poroso de un parqueo.



(Ferguson, 2005)

Ilustración 91. Efectos hidrológicos de pavimentos densos y pavimentos porosos.



(Ferguson, 2005)

5.2.1.5. La promesa de árboles longevos. Cuando árboles que pueden vivir 100 años o más, son plantados en un área estrecha rodeada de pavimento

denso, estos pueden encontrarse muertos o muriendo después de apenas siete años de haber sido plantados. Esto afecta el beneficio que puedan representar, ya que estos se alcanzan a plenitud sólo cuando los árboles crecen en su totalidad y tienen largas vidas. (Ferguson, 2005)

La supervivencia y crecimiento de un árbol requiere una amplia zona de enraizamiento con libre intercambio de aire, agua y nutrientes. La zona ordinariamente comprende un perímetro de 2 a 3 metros de la superficie. Las raíces del árbol crecen provisionalmente explorando en todas direcciones con pequeñas raíces absorbentes que se extienden en direcciones donde encuentran mayor cantidad oxígeno y humedad. (Ferguson, 2005)

Los árboles plantados en pequeños patios, donde son rodeados por pavimentos impermeables y suelos compactados, proveen un volumen muy pequeño de suelo aireado y penetrable para que las raíces crezcan como el árbol necesita. Las raíces que penetran más allá del área de patio, en el área de suelo debajo de un pavimento impermeable, rápidamente agotan el contenido de aire del suelo porque no hay intercambio con la atmósfera; y en una condición anóxica las raíces fallan y mueren. (Ferguson, 2005)

Un pavimento poroso permite el ingreso de aire y agua en la zona de enraizamiento en áreas de construcción. Esta alternativa de pavimento permite el intercambio de aire y humedad a través de la superficie del pavimento similar a aquella superficie en estado natural y sano. (Ferguson, 2005)

5.2.1.6. La promesa de calles silenciosas. El ruido del tráfico es censurable en áreas residenciales que colindan autopistas y calles muy transitadas. El ruido ocasionado por un vehículo en movimiento se origina en el escape del motor, la flexión de llantas rodando, la rodada de las llantas pasando sobre una superficie de pavimento rugosa, y la salpicadura de las llantas en superficies húmedas. El ruido ocasionado por el escape del motor es reducido por accesorios como silenciadores; el resto de factores causantes del ruido dependen, al menos, parcialmente del pavimento. (Ferguson, 2005)

Los pavimentos porosos reducen el ruido del tráfico desde la fuente, particularmente el ruido ocasionado por las llantas. Una superficie porosa tanto absorbe energía de sonido como permite que el aire alrededor de la llantas se introduzca en los poros del pavimento, disipando la presión de aire antes de que cualquier ruido sea generado. (Ferguson, 2005)

La intensidad del ruido del tráfico tiende a subir en condiciones húmedas debido a que las llantas se mueven forzosamente a través de la superficie del pavimento. En esta situación,

los pavimentos porosos son mejor drenados en climas húmedos y todo charco es absorbido a través de los poros de la superficie. (Ferguson, 2005)

5.2.1.7. La promesa de reducir costos. La utilización de pavimentos porosos en lugar de los densos, representa directamente una reducción en los costos del proyecto. En muchas regiones, el agregado poroso utilizado sin refuerzo es el más económico de todos los materiales utilizados para pavimentos, incluyendo el asfalto convencional. A pesar de que las áreas de poco tráfico, donde el agregado en mención puede ser utilizado son individualmente pequeñas y aisladas, al considerarse como conjunto representan una gran área de pavimento. Al ser utilizado el agregado poroso en lugar de otros materiales usados comúnmente para pavimento, el costo del metro cuadrado de construcción disminuye inmediatamente. (Ferguson, 2005)

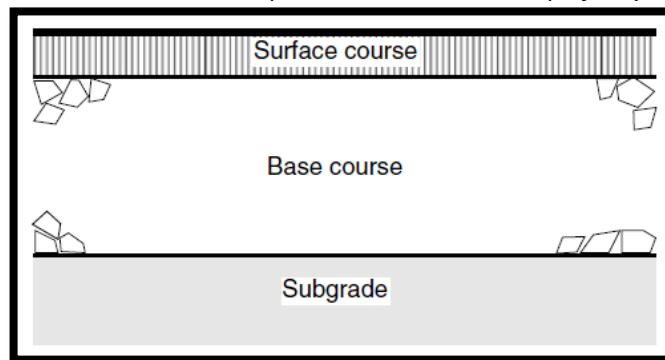
5.2.2. Componentes de pavimento porosos. Existen varios tipos de pavimentos porosos sin embargo, los materiales y configuraciones se deben seleccionar cuidadosamente para cada entorno y requerimientos específicos de cada proyecto. A continuación se definen potenciales tipos de componentes:

- Estrato de base: capa colocada debajo de una superficie sobre la cual se extenderá la cubierta de pavimento. Puede llamársele simplemente base.
- Capa: es una franja de la estructura de un pavimento.
- Filtro de estrato: cualquier capa insertada en medio de otras dos, o en medio de la capa de pavimento y de la subrasante, que evita que la partículas de una migren hacia otra dentro del espacio vacío de otra.
- Geomembrana: tela impermeable, también se le llama forro.
- Geotextil: tela permeable, se le conoce como filtro de tela.
- Pavimento: cualquier tratamiento o cubierta que se le da a la superficie de la tierra para soportar tráfico.
- Capa sobrepuesta: cubierta aplicada sobre un pavimento preexistente.
- Estructura de pavimento: combinación de estratos de diversos materiales que conforman el pavimento.
- Subbase: estrato sobre el cual se cubre con la capa de pavimento.

- Subrasante: capa suelo subyacente a la estructura del pavimento que se encarga de soportar la carga última.
- Capa de rodadura: capa del pavimento que recibe directamente la carga de tráfico.

5.2.2.1. Superficie y las capas de la base. La construcción de un pavimento en dos o más capas es común, ya que permite que se optimice el propósito específico para el que se consideró en el pavimento. (Ferguson, 2005)

*Ilustración 92. Sección de pavimento con distinta superficie y base.*



(Ferguson, 2005)

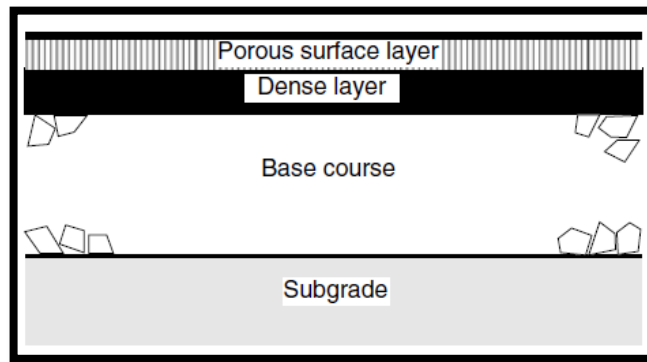
La capa de la superficie que recibe directamente la carga de tráfico y los efectos de desintegración de la abrasión del tráfico, generalmente están hechos de materiales especiales, relativamente costosos, capaces de resistir los efectos del tráfico y tiene que proveer características tales como buena apariencia y accesibilidad. (Ferguson, 2005)

Otra capa de material es utilizada para engrosar el pavimento y con un material relativamente más económico se dispersa la carga de tráfico a la subrasante. Si fuera necesario, se puede adicionar una capa de subbase para engrosar aún más la estructura del pavimento o para almacenar más agua mientras es desfogada a algún drenaje o se infiltra en el suelo. (Ferguson, 2005)

En una estructura de pavimento denso, no penetran ni aire ni agua a ninguna parte del pavimento o suelo, a pesar de que en muchos pavimentos de superficie densa la base está constituida de agregado poroso. Una superficie impermeable priva al pavimento en su totalidad de trabajar como una estructura porosa o permeable. (Ferguson, 2005)

5.2.2.2. Sobrecapa. Una sobrecapa es cualquier carpeta aplicada a una preexistente, la cual permite mejorar los beneficios de la superficie de un pavimento. (Ferguson, 2005)

Ilustración 93. Pavimento con una sobrecapa porosa.



(Ferguson, 2005)

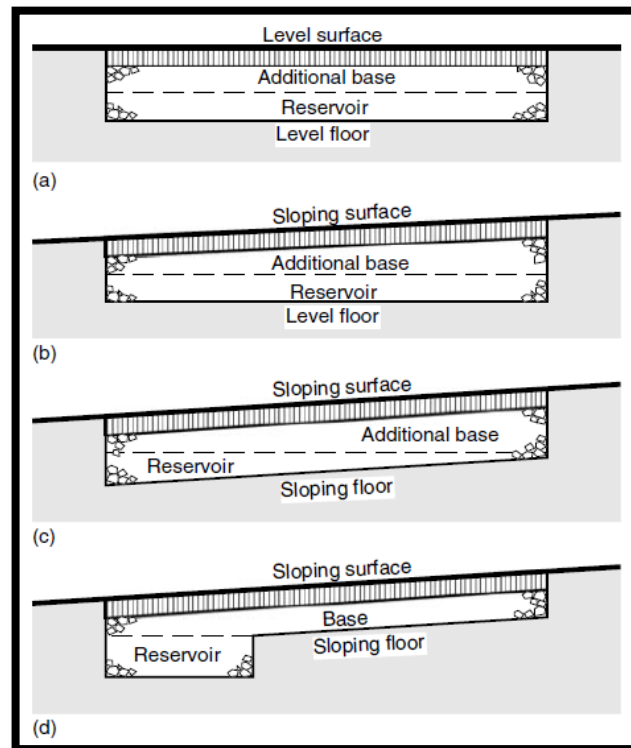
La capa porosa drena el agua fuera de la superficie, mejora la visibilidad, aumenta la tracción y reduce tanto el ruido como el reflejo en la rasante. Mejora la seguridad de la carretera y permite soportar mayores cargas de tráfico con un costo menor que el de ampliar la carretera. (Ferguson, 2005)

5.2.2.3. Embalse. Un embalse es cualquier parte de un pavimento que almacena o conduce el agua mientras ésta sale por una tubería de drenaje o se infiltra en el suelo. Un embalse incluye todos los materiales del pavimento donde se almacene o a través del cual fluya el agua. El volumen de almacenaje es el espacio vacío entre partículas del material. (Ferguson, 2005)

Cuando el agua almacenada en el embalse de un pavimento descarga relativamente lento a través de drenajes laterales, el almacenaje interno del pavimento reduce inundaciones y erosiones en el punto donde desfogue el drenaje; así como el tamaño requerido del sistema de drenaje. (Ferguson, 2005)

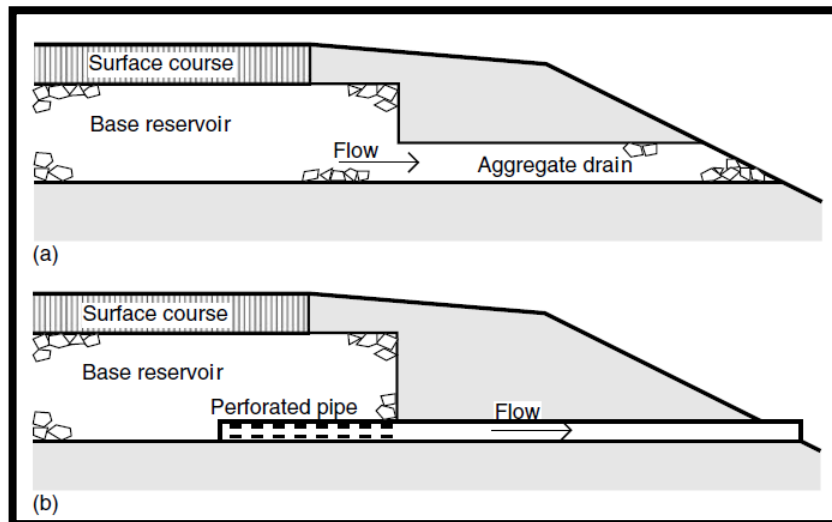
Comúnmente, las funciones hidrológicas y estructurales de un material del pavimento son unidas en una misma capa que se le llama embalse. Un embalse es drenado por un segmento de tubería, y más frecuentemente por una capa subyacente húmeda, donde el agua permanece para infiltración. La capa superior, permanece como un segmento seco libre del riesgo de congelación y su función es principalmente estructural. La capa de abajo, tiene tanto función estructural como hidrológica. (Ferguson, 2005)

Ilustración 94. Embalses de pavimentos a nivel e inclinados.



(Ferguson, 2005)

Ilustración 95. Ejemplos de descarga lateral desde el fondo de una base embalse.



(Ferguson, 2005)

5.2.3. Materiales de pavimentos porosos. Se debe realizar una selección cuidadosa del material a utilizar en el pavimento considerando la función, entorno, apariencia, costo. A continuación se definen los materiales utilizados para pavimentos:

- Agregados: cualquier masa de partículas.
- Asfalto: agregado consolidado por cemento asfáltico.
- Bloque: pieza sólida de material utilizado como unidad de construcción.
- Concreto: agregado consolidado por cemento Portland.
- Geocelda: celosía plástica que forma una red de celdas. (Ferguson, 2005)

5.2.3.1. Agregados porosos. Un agregado es cualquier masa de partículas de materiales tales como grava, piedra triturada, blocks reciclados, o granito descompuesto. Las partículas aisladas crean una masa de agregado con un 30 a 40% de espacio vacío, este material poroso puede ser extremadamente permeable al agua y aire.

Los agregados son, los materiales más utilizados en la construcción de pavimentos. Es el material más común en la capa de base de pavimentos. El agregado de un mismo tamaño es también el principal componente de un asfalto poroso y concreto porosos, y es utilizado como relleno en las celdas abiertas y juntas de bloques de pavimentos, grillas y geoceldas. (Ferguson, 2005)

Agregados sueltos son utilizados directamente como capa de superficie en áreas de tráfico liviano como en caminos residenciales, parqueos de poco uso y caminamientos ligeramente usados. Las superficies de agregados son utilizados en entornos en los que se tengan suelos que puedan congelarse o expandirse. En algunos casos puede requerir mantenimiento, para nivelar la superficie y reponer el material perdido. (Ferguson, 2005)

En las condiciones adecuadas, agregados sueltos presentan ventajas simultáneamente en cuanto a economía y ambiente. El agregado resulta ser el material más asequible de los materiales de superficie firme. Conjuntamente, la alta porosidad y permeabilidad de agregados del mismo tamaño resultan ser los más favorables de todos los materiales utilizados para pavimentos, ya que permite restaurar la hidrología de las cuencas y el hábitat de las raíces de los árboles. Los agregados están disponibles de fuentes naturales y recicladas a un costo energético bajo. (Ferguson, 2005)

Ilustración 96. Pavimento de agregado suelto.



(Ferguson, 2005)

5.2.3.2. Césped. Una superficie porosa de césped es un espacio verde abierto que también funciona como un pavimento que soporta tráfico peatonal y vehicular. La permeabilidad del césped es útil siempre y cuando no sea compactada por carga excesiva de tráfico, ya que un césped en condiciones adecuadas mantiene la permeabilidad del suelo y la transpiración de la grama reduce potencialmente el calor de islas urbanas. (Ferguson, 2005)

La ubicación para el uso de céspedes debe ser seleccionada para evitar una compactación frecuente debido al tráfico. Resulta particularmente fácil de ser dañado en caso de que el estrato superior sea una arcilla plástica, ya que las llantas de los vehículos pueden enterrarse en ella fácilmente en climas húmedos. Por otro lado, es conveniente aplicarlo en condiciones donde el suelo pueda presentar hinchazón o levantamientos por helada, ya que las deformaciones de la subrasante son escasamente apreciables en la superficie irregular del césped. (Ferguson, 2005)

Todos los céspedes deben contar con un mantenimiento regular el cual incluye corte y algún tipo de fertilizante y riego, este es el costo inherente de una superficie verde. Debido a la programación que requiere el mantenimiento del césped, éste debe ser utilizado sólo en

áreas donde el tráfico pueda ser controlado o tiene un uso con un horario predecible, como una oficina, iglesia o un parqueo para eventos; no debe ser utilizado en parqueos de residencias multifamiliares donde puede ser utilizado a cualquier hora del día. (Ferguson, 2005)

*Ilustración 97. Superficie de césped utilizado para parqueo.*



*(Ferguson, 2005)*

5.2.3.3. Geoceldas plásticas. Las geoceldas plásticas son de apariencia similar a la de un enrejado con la característica de que retienen un agregado o estrato, restringiendo el movimiento o compactación de los mismos. Las geoceldas permiten el uso de agregado y césped para condiciones de carga de tráfico más demandantes que las que soportarían aislados. (Ferguson, 2005)

La mayoría de las geoceldas son flexibles por lo que son adaptables a terrenos con ciertas irregularidades en el suelo. La mayoría de modelos disponibles de geoceldas ocupan una porción de la superficie muy pequeña, por lo que la permeabilidad, temperatura y apariencia de la superficie son prácticamente las de la grama o el agregado de relleno. (Ferguson, 2005)

*Ilustración 98. Geoceldas plásticas con relleno de grama.*



*(Ferguson, 2005)*

5.2.3.4. Adoquines con junta abierta. Los adoquines son unidades sólidas de concreto, de block o de piedra tendidos uno al lado del otro para soportar cargas de tráfico. Los modelos que pueden utilizar para hacer pavimentos porosos son producidos de tal forma que producen juntas separadas entre unidades adyacentes. Al colocar en las juntas agregados porosos o grama se le da al pavimento porosidad y permeabilidad. (Ferguson, 2005)

Muchos adoquines son bastante durables, ya que tienen una larga vida útil y bajo costo de mantenimiento. Pueden llegar a soportar cargas de tráfico bastante grandes y deben ser colocado con un agregado grueso adecuado puede llegar a ser altamente permeable. Sin embargo, el uso de adoquines es más costoso que otro tipo de pavimentos y son muy susceptibles de alguna deformación en la base o subrasante. (Ferguson, 2005)

5.2.3.5. Mallas de concreto de celda abierta. Las armaduras de concreto de celda abierta tienen aspecto similar al de una malla y están hechas de concreto o ladrillos, que son diseñados para que pueden ser rellenos con un agregado poroso o grama. Las unidades se colocan una al lado de otra y la superficie resultante es una combinación de blocks sólidos alternando con celdas de agregado o grama. (Ferguson, 2005)

*Ilustración 99 .Adoquines de junta abierta próximos a plantaciones de árboles.*



*(Ferguson, 2005)*

*Ilustración 100. Grilla de concreto con celda abierta rodeando adoquines sólidos.*



*(Ferguson, 2005)*

5.2.3.6. Concreto poroso. El concreto poroso es hecho de agregado de un mismo tamaño pegado por cemento Portland, y es colocado en lugar de una losa de concreto rígido. El costo inicial del concreto poroso es moderadamente alto pero el costo de mantenimiento puede ser relativamente bajo si la colocación fue la apropiada. El concreto instalado debidamente es apropiado tanto para cargas de tráfico bajas como las que tienen aceras y pequeñas calles; como para cargas de tráfico moderadas como las que tienen que soportar parqueos en áreas comerciales y calles residenciales. No está demás comentar que puede ser hecho de manera tal que pueda soportar cargas de tráfico considerablemente pesadas. La superficie final puede llegar a tener muy buena porosidad y permeabilidad, además de ofrecer firmeza y accesibilidad total. (Ferguson, 2005)

*Ilustración 101. Pavimento con concreto poroso en área de parqueo.*



*(Ferguson, 2005)*

5.2.3.7. Asfalto poros. El asfalto poros es hecho de agregado de un mismo tamaño pegado por una carpeta de asfalto bituminoso. El asfalto es un material bituminoso familiar y accesible, y puede ser una variación viable, ya que al utilizarlo para hacer un pavimento poroso puede llegar a tener alta permeabilidad. (Ferguson, 2005)

En Europa y en Estados Unidos se han desarrollado tecnologías para estabilizar la carpeta y asegurar que el asfalto poroso tenga una larga vida útil. La motivación surge de las

inusuales condiciones de seguridad y manejabilidad que brinda en carreteras con un mejor drenaje y alta tracción en la rasante. (Ferguson, 2005)

5.2.3.8. Materiales blandos. La categoría de materiales blandos para pavimentos incluye cualquier material granular proveniente de una fuente orgánica o reciclada tales como mantillo de corteza, cáscaras trituradas o gránulos de caucho. Estos materiales son adecuados únicamente para cargas de tráfico bastante bajas, tales como caminos para peatones, o calles residenciales o parqueos poco usados. (Ferguson, 2005)

*Ilustración 102. Tramo para caminar hecho de mantillo de madera.*



*(Ferguson, 2005)*

#### 5.2.4. Índice de infiltración y coeficiente de escorrentía

5.2.4.1. Índice de infiltración. El índice de infiltración de un

pavimento es medido con agua estancada sobre la superficie del pavimento. En laboratorio, muestras del pavimento son posicionadas en cilindros que retienen agua. En campo, pequeñas áreas de pavimento son rodeados por una estructura retenedora de agua. La cantidad de agua que permanecerá encharcada es lo que se conoce técnicamente como el coeficiente de conductividad hidráulica saturado  $K$ , que se describe como la permeabilidad en condiciones saturadas bajo un gradiente de presión unitaria. Durante la prueba, todo el espacio de poro vacío, es utilizado para que agua pase a través de la estructura del pavimento. A continuación se listan el índice de infiltración saturado para algunos materiales utilizados en pavimentos porosos:

Tabla 20. Índice de infiltración.

Surface Type	Infiltration Rate (inch/hour)	Reference
<b>Porous pavement surfaces</b>		
Unbound aggregate		
1" uniform size	50,000	AASHTO, 1986, p. AA-18
1/2" uniform size	15,000	AASHTO, 1986, p. AA-18
1/4" uniform size	2500	AASHTO, 1986, p. AA-18
0.09" to 0.75" in size	1500	AASHTO, 1993, p. I-19
0.08" to 0.75" in size	1300	AASHTO, 1993, p. I-19
Turf on loamy soil, 2–10 years old		
Earth disturbed during construction	0.2 to 1.1	Hamilton, 1990, pp. 47–54
Earth not disturbed during construction	1.9 to 3.9	Hamilton, 1990, pp. 47–54
Open-jointed blocks with 0.08" to 0.20" aggregate fill		
Initially built	9.2	Borgwardt, 1999
6 years after construction	4.1	Borgwardt, 1999
Open-celled grids with cells in 10%+ of surface area		
With 0.1" to 0.2" aggregate fill	40+	Pratt et al., 1995
With 2/5 mm aggregate fill		
0.1 year after installation	9.4	Borgwardt, 1997a, 1997b
2 years after installation	6.1	Borgwardt, 1997a, 1997b
4.5 years after installation	4.8	Borgwardt, 1997a, 1997b
8 years after installation	4.12	Borgwardt, 1997a, 1997b
Two years after installation		
With 2/5 mm aggregate fill	6.1	Borgwardt, 1997b
With 1/3 mm aggregate fill	4.0	Borgwardt, 1997b
With 0/2 mm aggregate fill	2.8	Borgwardt, 1997b
Porous concrete		
Properly constructed	670 to 900	Wingerter and Paine, 1989, App. P-1 and P-3
Over-vibrated during construction	1.25 to 24	Wingerter and Paine, 1989, App. P-1 and P-3

(Ferguson, 2005)

Tabla 20. Índice de Infiltración. (Continuación)

<b>Porous asphalt</b>		
Immediately after construction	170 to 500+	St. John and Horner, 1997, p. xvi; Thelen and Howe, 1978, p. 13; Wei 1986, pp. 6–11
After 3 to 4 years	15 to 39	Wei, 1986, pp. 6–28 and 7–28
After 4 years of winter sanding	1.4	St. John and Horner, 1997
<b>Other surfaces</b>		
Forest soil	8 to 60	Lull and Rinehart, 1972
Clay loam desert soil with partial shrub cover	0.9 to 1.9	Smith and Leopold, 1942
Dense-graded aggregate	0.5 to 10	AASHTO, 1986, p. AA-18
Coarse sand	0.39 to 100	AASHTO, 1986, p. AA-18; van der Leeden et al., 1990, p. 284
Surface type	Infiltration Rate (inch/hour)	Reference
Dense concrete	<0.00002	Rollings and Rollings, 1996, p. 149; and derived from Kosmatka and Paranese, 1988, p. 8
Dense asphalt	0.00006 to 6	Rollings and Rollings, 1996, p. 149

Values for open-jointed blocks and open-celled grids apply to the entire composite surfaces (0/2, 1/3, and 2/5 are German specifications for aggregate respectively 0 to 2, 1 to 3, and 2 to 5 millimeters in size).

(Ferguson, 2005)

5.2.4.2. Coeficiente de escorrentía. El coeficiente de escorrentía está en función del agua de lluvia que no se infiltra en la superficie. El rango de valores va de 0 a 1. Para su medición, en campo se realiza con lluvia natural y en laboratorio con “lluvia artificial” rociada desde arriba. La lluvia, generalmente no llega a saturar la superficie del pavimento, como sucede con el agua estancada durante la medición del índice de infiltración. Las gotas de lluvia presentan un comportamiento diferente, ya que después de su primer impacto con la superficie del pavimento, se dirigen aleatoriamente hacia las aberturas del pavimento, formando una combinación que constantemente está variando entre aire y agua dentro de los poros vacíos.

El coeficiente de escorrentía varía de lluvia en lluvia. Dicho valor es relativamente bajo durante lluvias pequeñas, donde la mayoría del agua pluvial se infiltra en la superficie; y es relativamente alto en lluvias intensas, donde la superficie se tiende a inundar y consecuentemente se produce una mayor escorrentía. A continuación se lista el coeficiente de escorrentía de algunos materiales utilizados en materiales porosos:

Tabla 21. Coeficiente de escorrentía.

Surface Type	Runoff Coefficient	Reference
<b>Porous pavement surfaces</b>		
Aggregate		
Range of gradations	0.30 to 0.70	USFAA, 1965, Appendix 1, p. 1:
Turf, grass cover greater than 50 percent	0.05 to 0.53	Chow et al., 1988, p. 498; van der Leeden et al., 1990, p. 76
Open-jointed blocks		
With 0.80" to 0.20" aggregate fill	0.30 to 0.50	Borgwardt 1999, p. 69, and 1997b, p. 10
Open-celled Checkerblock and Monoslab grids		
With topsoil and Kentucky bluegrass	0.00 to 0.27	Day et al., 1981, p. 30
Open-celled Turfstone (Turfblock) grids		
With sandy loam and Bermuda grass	0.18 to 0.36	Goforth et al., 1983, p. 65
With topsoil and Kentucky bluegrass	0.00 to 0.56	Day et al., 1981, p. 30
Porous asphalt		
Newly installed	0.12 to 0.40	St. John and Horner 1997, p. xvi
3 to 4 years after installation	0.18 to 0.29	Wei 1986, pp. 7–34
<b>Dense pavement surfaces</b>		
Dense asphalt	0.73 to 0.95	Chow et al., 1988, p. 498; van der Leeden et al., 1990, p. 76; St. John and Horner 1997, p. xvi
Dense concrete	0.75 to 0.97	Chow et al., 1988, p. 498; van der Leeden et al., 1990, p. 76

Where a range of values is given the higher values are for steep slopes, intense storms, and relatively impermeable surfaces.

(Ferguson, 2005)

**5.3. Techos verdes.** De todos los componentes de una edificación, el techo juega un papel especialmente crítico, ya que desempeña funciones de aislante de calor y frío, protección de aire y viento, y provee sombra. El techo debe soportar condiciones extremas (fuertes vientos, cambios de temperatura, exposición prolongada a luz ultravioleta y lluvias extremas), por lo que debe ser construido para resistir las condiciones climatológicas a las cuales va a estar expuesto. (Wolley, Green Building Handbook Volume 1, 1997)

La durabilidad es sumamente importante desde la perspectiva tanto económica como ambiental. Un largo período de vida útil reduce el impacto generado al ser construido y contribuye a disminuir el desperdicio generado conforme el techo va necesitando con menor frecuencia algún reemplazo e inclusive podría llegar a ser utilizado en otra edificación. (Wolley, Green Building Handbook Volume 1, 1997)

Sin embargo, es usual que se vean relacionados proporcionalmente la durabilidad y el impacto ambiental generado durante la producción, ya que, por citar un ejemplo, la teja de

mejor calidad y mayor durabilidad necesita un tiempo de horneado mayor que el que toma la teja de calidad menor, por lo tanto se necesita mayor energía durante su producción. Asimismo, para edificaciones contempladas para un período de servicio relativamente corto, puede ser mejor alternativa usar materiales de corta vida útil, si el darle otro uso al material no es muy factible. El mantenimiento también debe ser considerado, particularmente para el remplazo que tejas dañadas. (Wolley, Green Building Handbook Volume 1, 1997)

Existe un gran potencial para usar un techo más que como una simple protección de elementos, al utilizar mecanismos de colección del agua pluvial para irrigación o para uso parcial en la red de agua potable, techos plantados para crear espacios verdes o como un sistema fotovoltaico para producción de energía. (Wolley, Green Building Handbook Volume 1, 1997)

**5.3.1. Techos plantados.** Los techos plantados generalmente son considerados como una opción verde para cubiertas de techo, sin embargo es de tener especial cuidado en la especificación de los materiales que una cubierta como esta necesita, para que no se vea comprometido el beneficio de la alternativa. (Wolley, Green Building Handbook Volume 2, 2000)

Adicional a la membrana impermeable, varios de los techos plantados incluyen una capa de suelo, una capa de drenaje y una membrana adicional para evitar la penetración de las raíces y prevenir el bloqueo de la capa de drenaje. (Wolley, Green Building Handbook Volume 2, 2000)

El espesor que se logra en la capa de suelo utilizada en la mayoría de los techos verdes generalmente no es suficiente para proporcionar el efecto de aislamiento que se busca por sí solo, por lo que una capa de aislante puede ser necesaria. El aislante a utilizar en un techo plantado puede ser posicionado encima de la membrana impermeable, lo cual permite mantener toda la estructura del techo seca y a una menor temperatura. Muchos materiales naturales no son apropiados como aislantes, ya que tienden a romperse, saturarse o compactarse. Las principales opciones apropiadas serían concreto reforzada con fibra mineral, poliestireno extruido y fibra vidrio. Esta última alternativa es posiblemente la de menor impacto ambiental. (Wolley, Green Building Handbook Volume 2, 2000)

*Ilustración 103. Techo verde en edificación.*



*(Hes, 2009)*

El PVC es generalmente utilizado como barrera para evitar la penetración las raíces, sin embargo, debido al impacto ambiental de este material, se recomienda evitar utilizarlo y considerar membranas de menor daño o utilizar alguna barrera laminada. (Wolley, Green Building Handbook Volume 2, 2000)

Para la capa de drenaje se usa generalmente grava. Aunque se dispone de materiales especiales para drenar, éstos por lo general son sintéticos, los cuales representan un impacto ambiental mayor. Para un área grande de techo verde con inclinación mayor a 5° y una altura de vegetación no mayor a 0.25m, se puede obviar la capa de drenaje. (Wolley, Green Building Handbook Volume 2, 2000)

El tipo de plantación dependerá del efecto deseado, y la misma debe ser escogida tomando en cuenta factores climáticos y de localización. Jardines de techo intensos, con árboles, arbustos, etc., generalmente requieren una capa superficial de suelo muy buena, la cual es costosa y tiene que ser removida de otro sitio. El uso de materiales que se encuentren en el sitio tales como arena, grava o inclusive escombros triturados como complemento orgánico, es recomendado como una alternativa verde. Esto permite reusar el material que de lo contrario requeriría ser desechado, y así reducir costos de transporte, requerimientos de relleno y la producción de nuevos materiales. (Wolley, Green Building Handbook Volume 2, 2000)

*Ilustración 104. Techo verde en edificio moderno en Chicago.*



*(Hes, 2009)*

El tipo de plantación dependerá del efecto deseado, y la misma debe ser escogida tomando en cuenta factores climáticos y de localización. Jardines de techo intensos, con árboles, arbustos, etc., generalmente requieren una capa superficial de suelo muy buena, la cual es costosa y tiene que ser removida de otro sitio. El uso de materiales que se encuentren en el sitio tales como arena, grava o inclusive desechos orgánicos, es recomendado como una alternativa verde. Esto permite reusar el material que de lo contrario requeriría ser desechado, y así reducir costos de transporte, requerimientos de relleno y la producción de nuevos materiales. (Wolley, Green Building Handbook Volume 2, 2000)

5.3.1.1. Buenas perspectivas. Actualmente la tendencia de convertir cubiertas de techos en oasis de plantaciones naturales está en constante crecimiento. Ya sea que se esté buscando agregar un poco de verde a un garaje o se busque crear un ambicioso jardín en el techo, un techo verde busca una conservación activa y es un paso clave hacia la mejora del ambiente y la calidad de vida. (Ansel)

*Ilustración 105. Techo verde residencial.*



*(Ansel)*

La instalación de un techo verde rápidamente cubre su costo a través de la aislación térmica, almacenamiento de agua pluvial y la protección que le da al impermeabilizante del techo. Ningún otro concepto en edificaciones crea tan amplio rango de beneficios tanto para la edificación como para el ambiente. (Ansel)

Nuevas áreas residenciales y nuevas rutas de transporte están siendo constantemente desarrolladas a costa del ambiente. Los techos verdes pueden ayudar a reducir el impacto local en la naturaleza. Pueden actuar como “biotopos de paso” y darle tanto a plantas como a animales un reemplazo de sus hábitats naturales. (Ansel)

Los techos verdes proporcionan un factor importante en cuanto a reducir el riesgo de inundación. Dependiendo del tipo de construcción, entre 50 – 90% de la precipitación que cae en la cubierta del techo es retenida y retornada directamente al ciclo del agua a través de la evaporación. El exceso de agua pluvial es filtrado y drenado con un retraso temporal. Esto conduce a una reducción en la descarga en el sistema de drenaje durante el año y en períodos de lluvia pico. (Ansel)

Durante los meses de verano muchas ciudades se convierten en verdaderas “islas de calor”. Esto debido al creciente número de casas, el calor expelido del tráfico, las industrias y sistemas de calentamiento. Los techos verdes pueden reducir el nivel de exceso de energía por medio de absorción y evaporación de agua, y así hacer el clima más soportable. Así

mismo, polvo y partículas tóxicas son filtrados, implementando una mejora en la calidad del aire. (Ansel)

Las superficies de techos planos sin ninguna cubierta permanecen desprotegidas ante las condiciones climáticas, rayos ultravioletas y tensiones mecánicas. Con el paso de los años el impermeabilizante empieza a sufrir fatiga, grietas y fugas. Con un techo verde, se forma una barrera natural contra los efectos climáticos y ambientales. La vida útil del impermeabilizante puede aumentarse hasta el doble. (Ansel)

Los jardines en techos actúan como cubiertas naturales que pueden mejorar marcadamente el balance energético de la edificación. El beneficio se ve reflejado en la reducción del costo de calefacción, en la reducción de emisión de CO<sub>2</sub> al ambiente y durante el verano también beneficia en disminuir la transmisión de calor dentro de la edificación. (Ansel)

Uno de los efectos negativos de la urbanización e industrialización cae en los altos niveles de contaminación auditiva que conllevan. Los techos verdes reducen la conducción de sonido y mejorara el aislamiento acústico de la edificación. (Ansel)

El mantenimiento, la elección de plantas, la estructura y los costos variarán dependiendo del tipo de techo verde que se implemente. A continuación se muestra un criterio de clasificación en el cual se diferencian tres tipos: extensos, semi-intensos e intensos. Todos los parámetros mencionados son promedios que pueden variar dependiendo de factores como el clima y la disponibilidad local. (Ansel)

*Tabla 22. Características de los diferentes tipos de techos verdes.*

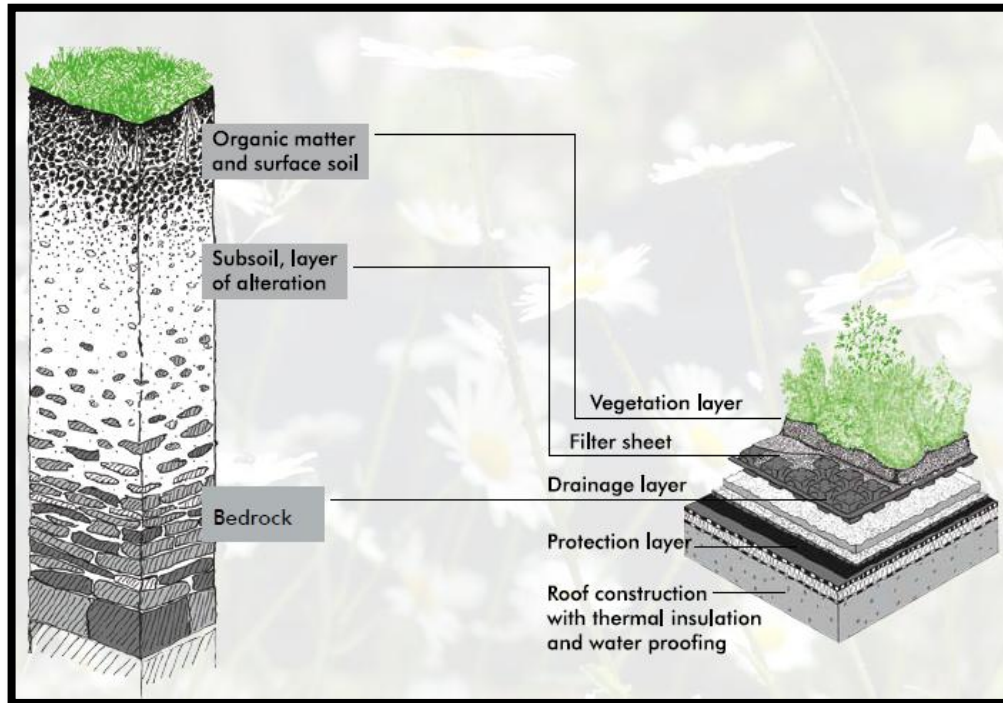
Tipo de techo verde	Extenso	Semi-intenso	Intenso
Mantenimiento	Bajo	Periódico	Alto
Plantación	Hierbas y matorrales	Hierbas y arbustos	Césped, arbustos o árboles
Altura	120 – 250 mm	120 – 250 mm	150 – 1000 mm
Peso	60 – 150 kg/m <sup>2</sup>	120 – 200 kg/m <sup>2</sup>	180 – 500 kg/m <sup>2</sup>
Costo	Bajo	Medio	Alto

(Ansel)

Las especificaciones para la construcción de jardines en techos son manipulables. Se debe asegurar la obtención de condiciones óptimas de crecimiento para las plantas seleccionadas, la protección de la estructura de techo y el sistema de drenaje tiene que estar garantizado para durar décadas. Al mismo tiempo, la estructura del edificio usualmente limita el peso de la instalación, consecuentemente la mayoría de los sistemas

de techos verdes imitan al suelo natural y utilizan diferentes capas cumpliendo diferentes funciones y optimizando el peso del sistema. (Ansel)

Ilustración 106. Estructura típica de un sistema de techo verde.



(Ansel)

### 5.3.1.2. Techo ASLA

#### 5.3.1.2.1. Entre techos verdes y jardines en techo.

Existen muchas trayectorias y desarrollos anterior y contemporáneamente en el mundo de los techos vegetados, los cuales han surgido como reacción a las condiciones dañinas de las densas ciudades del siglo XIX. Lo que se busca es incorporar dentro de la arquitectura moderna los jardines en techos y terrazas, las cuales la mayoría se encontraban mayormente pavimentadas y con vegetación en una pequeña proporción. (Werthmann, 2007)

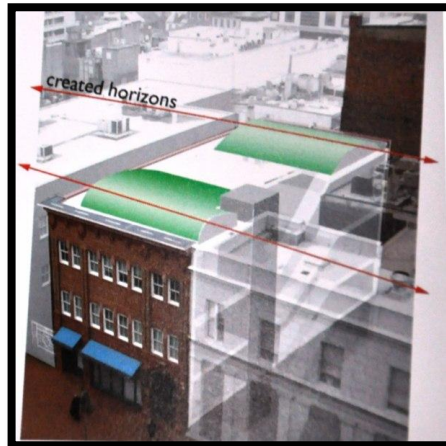
El objetivo principal del techo ASLA (*American Society of Landscape Architects*), es implementar la tecnología de un techo verde liviano, para que pueda desarrollarse en un techo cuya estructura no fue diseñada para soportar más que su propio peso. No se desarrolló una carpeta de techo verde genérica, sino que se buscó explotar el potencial para que la tecnología de un techo verde pudiera transformar un techo desértico, en un ambiente exterior placentero y atractivo al cual se pudiera tener acceso y disfrutarse durante el día. (Werthmann, 2007)

*Ilustración 107. Modelo del techo ASLA.*



*(Werthmann, 2007)*

*Ilustración 108. Horizontes creados en techo ASLA.*



*(Werthmann, 2007)*

Las consideraciones de diseño clásico tales como la selección de material, formación espacial, secuencia de entrada, creación de vista, manipulación de contexto, vegetación; fueron parte esencial de la concepción del techo. La verdadera innovación del diseño del techo ASLA está en la fusión de lo ambiental con lo humano. La fusión se puede ejemplificar por medio de dos elementos de diseño: las “olas” y el enrejado. (Werthmann, 2007)

*Ilustración 109. Elevación frontal de techo ALSA.*



*(Werthmann, 2007)*

5.3.1.2.2. *Las olas.* Dos olas vegetadas, son los elementos más prominentes en el techo, creando una topografía artificial que establece una nueva relación entre el visitante y el alrededor de la ciudad. *(Werthmann, 2007)*

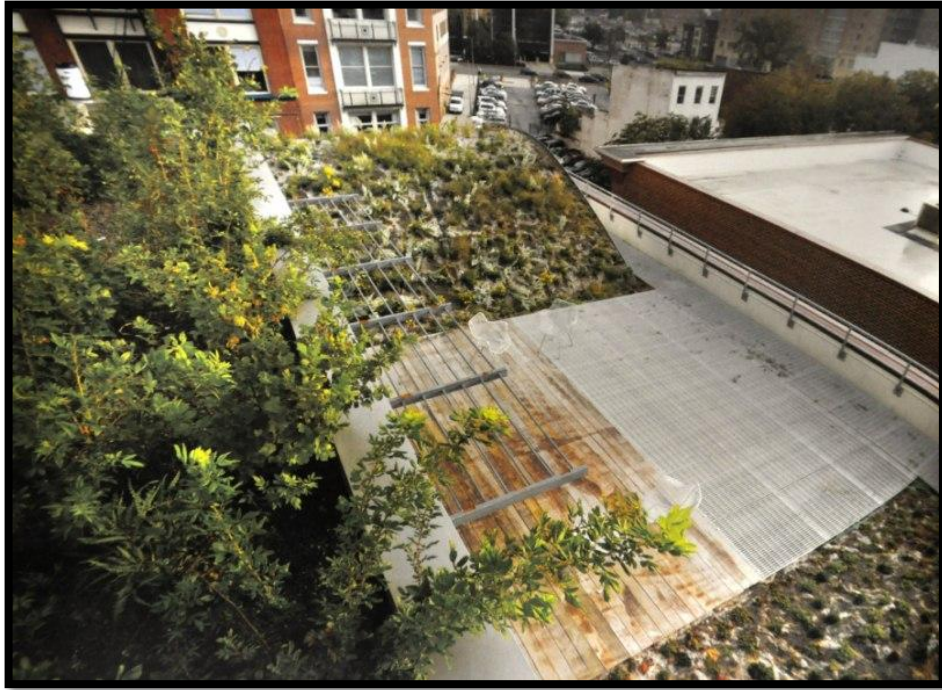
*Ilustración 110. Modelo de las olas de techo ALSA.*



*(Werthmann, 2007)*

Las ondas están compuestas de una carpeta liviana de vegetación sobre una capa de sustrato. Al cubrir la estructura, las ondas integran al visitante en el techo, proporcionándole protección contra el viento, creando un horizonte artificial direccionando y bloqueando ciertas vistas, escondiendo unidades mecánicas y exhibe la vegetación mientras logra cumplir con las funciones ecológicas de un techo verde tradicional. La invención de elementos funcionales, como las olas, es clave en situaciones donde el espacio es limitado. Sin embargo, el mayor mérito de la manipulación tectónica es haber logrado transformar un techo verde genérico en un jardín sensual. *(Werthmann, 2007)*

Ilustración 111. Olas de techo ASLA.



(Werthmann, 2007)

5.3.1.2.3. *Enrejado*. El otro ejemplo de fusión entre lo humano y lo ambiental es el uso del enrejado de aluminio como una superficie de paso que flota sobre una delgada plantación de un tipo de planta bien adaptada a la sequía. La solución tradicional es separar áreas para peatones de las áreas plantación por medio de pavimentos. El enrejado permite a las plantas y al humano coexistir en la misma locación. El enrejado cubre el 60% de todas las superficies accesibles en el techo y aumenta el área de la superficie verde en un 30%. Similar a las olas, la calidad multifuncional del enrejado/vegetación permite sacar mejor provecho de un pequeño techo tanto para el humano como para la ecología. (Werthmann, 2007)

*Ilustración 112. Modelo del enrejado de techo ASLA.*



*(Werthmann, 2007)*

*Ilustración 113. Enrejado del techo ASLA.*



*(Werthmann, 2007)*

Ambos elementos de diseño, las olas y en enrejado, ejemplifican como los diseñadores de la tecnología para techos verdes maximizaron la calidad de la experiencia manteniendo un desempeño ambiental al máximo, a modo que el techo no fuera sólo un elemento ecológico, sino también un destino para el usuario. (Werthmann, 2007)

Ilustración 114. Techo ASLA como destino.



(Werthmann, 2007)

Ilustración 115. Varios enfoques del techo ASLA.



(Werthmann, 2007)

5.3.2. Techos con almacenamiento de agua. El principal objetivo de un techo con almacenamiento de agua es para captar y almacenar agua de lluvia para utilizarla dentro de la edificación para demandas de agua no potable y reducir el consumo de agua. Con el aumento en el costo del suministro de agua, el uso de agua pluvial almacenada puede generar un ahorro significativo, así como una disminución en el consumo de energía para bombear agua. (Wolley, Green Building Handbook Volume 2, 2000)

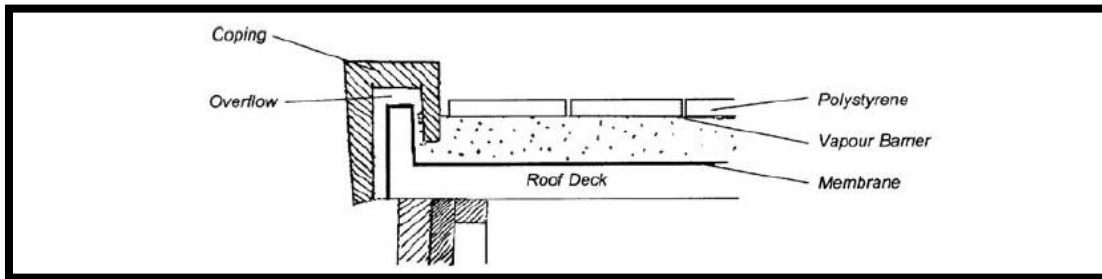
Un techo con almacenamiento de agua necesita un parapeto y una membrana 100% impermeable en todos los bordes. El agua protege y preserva a la membrana impermeable, disminuyendo la probabilidad de aparición de fugas que en un techo convencional. Actúa como una barrera térmica para la membrana, así como la protege de rayos ultravioleta. (Wolley, Green Building Handbook Volume 2, 2000)

El agua almacenada puede ser utilizada para inodoros, con el tanque de agua en la parte superior. Debido a que el uso será mayor que el almacenamiento, un techo de agua elimina la necesidad de un sistema de drenaje de agua pluvial con bajadas, tubería, pozos y superficies de drenaje. (Wolley, Green Building Handbook Volume 2, 2000)

5.3.2.1. Estructura. La membrana del techo tiene que ser 100% impermeable, puede utilizarse una membrana de relativo bajo costo si ésta no tiene que resistir la radiación solar. Sobre la capa de agua se coloca una cubierta de piezas de poliestireno extruido, las cuales son colocadas con una leve separación. Esto funciona como aislante y ayuda a evitar que el agua almacenada no tenga mucho ingreso de basura. Si se quiere tener acceso al techo, el poliestireno tiene que ser cubierto por losas de concreto y soportado por debajo. Si el techo no requiere acceso, las planchas de poliestireno pueden tenderse sin soporte y deben ser pintadas con una emulsión acrílica para protegerlas de la radiación solar. (Wolley, Green Building Handbook Volume 2, 2000)

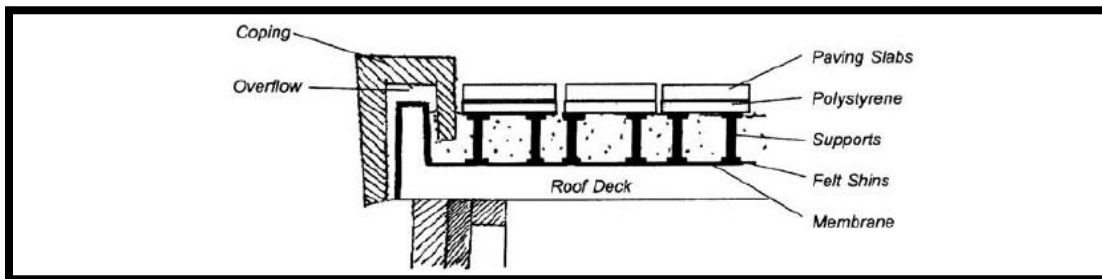
Comparado con una cisterna de agua convencional, donde se debe asegurar la capacidad de soporte a nivel de desplante, la carga distribuida de un techo de agua puede ser soportada por una estructura normal. Sin embargo, el la resistencia estructural del techo existente debe ser revisada antes de ser convertido en un techo de agua. (Wolley, Green Building Handbook Volume 2, 2000)

Ilustración 116. Techo con almacenamiento de agua con aislante flotante.



(Wolley, Green Building Handbook Volume 2, 2000)

Ilustración 117. Techo con almacenamiento de agua estándar, total acceso peatonal.



(Wolley, Green Building Handbook Volume 2, 2000)

### 5.3.3. Materiales para techos.

5.3.3.1. Teja de barro. El barro es generalmente caolinita con cristales de óxido de aluminio y trazas de cuarzo, mica y óxido ferroso. La aleación es lograda por la vitrificación de los minerales. Mientras mayor sea el tiempo de horneado, mayor será la densidad, resistencia, dureza, resistencia química y al congelamiento. No obstante, al aumentar el tiempo de horneado, también aumenta la fragilidad y la demanda de energía, la cual ya de por sí es bastante alta, debido a las altas temperaturas de horneado que son requeridas. Las tejas hechas a mano generalmente presentan una mejor resistencia y una consistencia más uniforme, haciéndola menos susceptible a ser quebrantada durante su manejo, así como menos vulnerable al daño por heladas que las producidas por maquinaria.

*Ilustración 118. Teja Bilbao tipo 39V de Inmaco.*



(INMACO)

5.3.3.2. Teja de concreto. Tejas artificiales pueden ser producidas en grandes volúmenes a un bajo costo y cumpliendo con altos estándares de calidad, proveyendo una alternativa atractiva, durable y de costo efectivo. Actualmente, es perceptible la diferencia entre las tejas naturales pero, los desarrolladores afirman que próximamente no se notará la diferencia. (Wolley, Green Building Handbook Volume 1, 1997)

Las tejas de concreto son producidas por un proceso de extrusión de cemento portland, arena y agua con insertos de pigmentos inertes. Las tejas de fibrocemento son producidas utilizando cemento portland con una matriz de fibra, que mejora la resistencia y le da la textura similar a la de la teja. Las fibras de asbesto fueron tradicionalmente usadas, sin embargo, por cuestiones de salud, fueron reemplazadas alrededor de la década de 1980, por mezclas de fibra de vidrio, celulosa y compuestos a base de resina, incluidos los de polipropileno, alcohol polivinílico, el poliacrilonitrilo, el sisal y coco y fibra de vidrio. (Wolley, Green Building Handbook Volume 1, 1997)

La fibra de celulosa es menos resistente al calor que el asbesto, pero tiene la ventaja ambiental que su producción es de fuentes renovables. En países subdesarrollados, donde los productos industriales como la fibra de vidrio y las fibras de polímeros son menos accesibles debido a las circunstancias socioeconómicas, fibras a base de plantas son comúnmente utilizadas en tejas de cemento. El tipo más común de fibras es de sisal y coco. Las tejas de cemento reforzadas con fibra de sisal y coco tienen un tiempo de servicio más pequeño que aquellas hechas a base de alguna fibra industrial, y puede estimarse que dure entre 10 y 15 años. (Wolley, Green Building Handbook Volume 1, 1997)

*Ilustración 119. Teja de concreto.*



*(Bibliocad)*

5.3.3.3. Baldosas asfálticas. Las tejas asfálticas consisten en un material fibroso con una cubierta asfáltica. Tradicionalmente, madera, papel u otras fibras orgánicas eran usadas, pero desde la década de 1980, éstas en el mercado han sido desplazadas en gran cantidad por fibra de vidrio. Este cambio de un recurso reciclable, de una fuente renovable a un producto que requiere de un proceso industrial, representa cierto tipo de atraso en términos ambientales, a pesar de que el uso de fibra de vidrio reduce la cantidad de asfalto requerida para su producción. (Wolley, Green Building Handbook Volume 1, 1997)

Debido a que los márgenes de utilidad son pequeños en el mercado de las tejas para techos, los productores se han visto obligados a una disminución en la calidad del producto, lo cual se ve reflejado en que las tejas económicas reportan problemas con su durabilidad, y por lo tanto no son recomendados como una opción ambiental. (Wolley, Green Building Handbook Volume 1, 1997)

*Ilustración 120. Baldosa asfáltica.*



*(Wolley, Green Building Handbook Volume 1, 1997)*

5.3.3.4. Forros de lámina. El rango de materiales disponibles en el mercado va desde láminas metálicas con recubrimiento hechas in situ, hasta láminas prefabricadas, y planchas individuales de acero o aluminio. El mercado es dominado por láminas prefabricadas. (Wolley, Green Building Handbook Volume 1, 1997)

El uso de techos de lámina es comúnmente usado para edificaciones industriales, de agricultura y estructuras livianas como garajes o bodegas. El material más utilizado es acero, con recubierto con zinc y aluminio, o en una mezcla de zinc y aluminio en un relación de 45:55. Generalmente estas son cubiertas con un recubrimiento orgánico, usualmente de PVF2 (floruro de polivinilideno), polyester, polyester siliconizado PVC o algún material acrílico. PVC y PVF2 son los más comúnmente usados, y son los que más durabilidad reportan. Mientras estos recubrimientos orgánicos extienden el tiempo de vida del acero, tienen un impacto ambiental serio durante su producción, particularmente el PVC, ya que su producción resulta en la liberación de dioxinas y plastificantes, que se han reportado que producen trastornos hormonales. (Wolley, Green Building Handbook Volume 1, 1997)

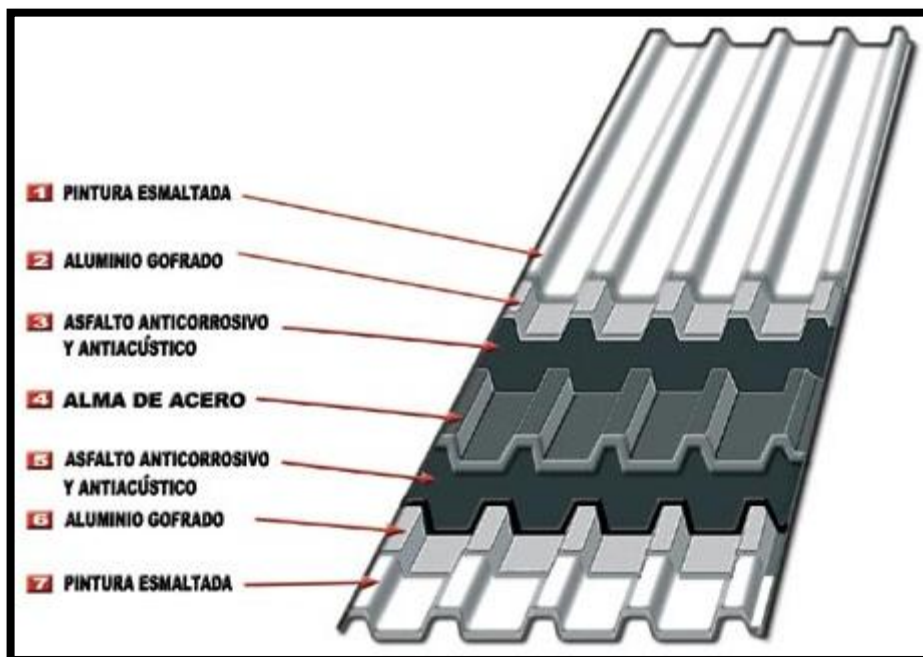
Localmente, se encuentra disponible la opción de láminas termo acústicas CINDU, dentro de la cual se presenta la CINDURIB 26. Es una lámina con el alma de acero, recubierta de ambos lados por una capa de asfalto anticorrosivo y antiacústico y un foil de aluminio gofrado esmaltado. Estas 7 capas, hacen que esta lámina sea silenciosa con la lluvia y es fresca. (CINDU)

Ilustración 121. Perfil y fijación recomendada para lámina termoacústica.



(CINDU)

Ilustración 122. Estructura lámina termoacústica convencional.



(CINDU)

Tabla 23. Características técnicas de lámina termoacústica.

Ancho útil	78.4 cm
Distancia entre apoyos para diseño	1.50 m
Distancia máxima entre apoyos	1.70 m
Voladizo máximo recomendado	30 cms
Peso por metro cuadrado útil	5.61 Kg
Peso por metro lineal	4.40 Kg
Espesor lámina	2.10 mm
Traslape longitudinal mínimo	15 cms. Min.
Pendiente mínima	7%
Espesor de acero	0.35 – 0.38 mm
Espesor equivalente en conjunto	calibre 26
Espesor de aluminio	40 micrones
Número de trapecios	5
Profundidad del módulo	3.4 cms.
Distancia entre módulos	19.6 cms.
Solape lateral	1 trapecio
Resistencia térmica (R)	(AT=69.5 <sup>0</sup> C) 0.00247
Conductividad térmica (BTU-in/hr20F)	K=0.21
Punto de inflamación asfáltica	Mayor a 310 <sup>0</sup> C
Punto de fluidez del asfalto	Mayor a 128 <sup>0</sup> C
Aislamiento acústico: La amortización promedio del ruido de lluvia es de 20db o sea 2.33 veces menos ruido que la más cercana (asbesto-cemento)	

(CINDU)

*Ilustración 123. Instalación de lámina termoacústica.*



(CINDU)

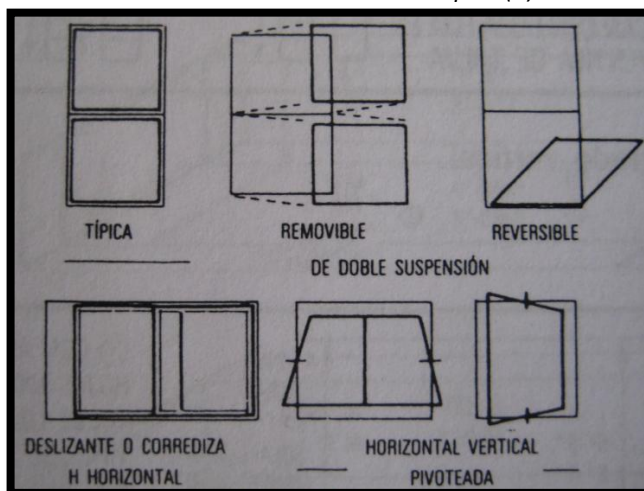
**5.4. Ventanas.** Una ventana se describe como un elemento arquitectónico en forma de vano o hueco en una pared, con la finalidad de proporcionar luz y ventilación al área correspondiente. Aparte de ser un elemento funcional, las ventanas también han proporcionado un detalle decorativo a las construcciones, dándoles distintos tipos de arquitectura, jugando con los materiales, colores, disposición, formas, etc. (Hornbostel, 1999)

Las ventanas, generalmente se fabrican y diseñan según el tipo de uso que se les piense dar, relacionando el tipo de edificación que se desea construir, por ejemplo: residencial, comercial, monumental, institucional o industrial, prisiones, casas de detención, instituciones para enfermos mentales, etc. (Hornbostel, 1999)

En la actualidad existe una amplia gama de materiales para la construcción de ventanas entre las que podríamos mencionar a las más comunes como la ventanería de PVC, madera y aluminio, entre otras. Cada tipo de ventana tiene sus ventajas y sus respectivas desventajas, pero al final siempre se busca satisfacer todas las necesidades del medio, por ejemplo: asilamiento de frío, asilamiento de sonido, privacidad, protección, iluminación, ventilación, decoración, entre muchas otras necesidades. (Hornbostel, 1999)

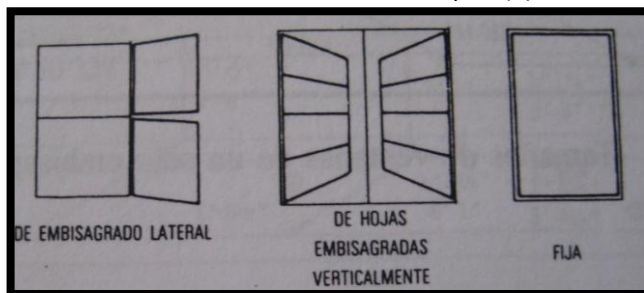
Comúnmente existen diversos tipos de ventanas con distintas características debido a sus métodos de operación, tipos de mallas de protección y materiales de construcción. En la siguiente figura se ilustran las más comunes en el mercado. (Hornbostel, 1999)

Ilustración 124. Ventanería típica (a)



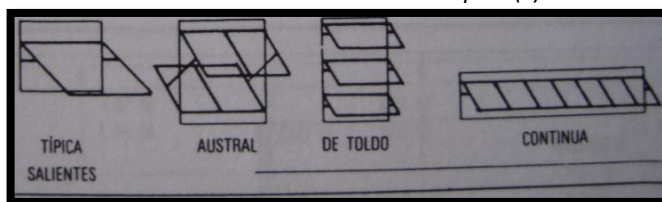
(Hornbostel, 1999)

Ilustración 125. Ventanería típica (b)



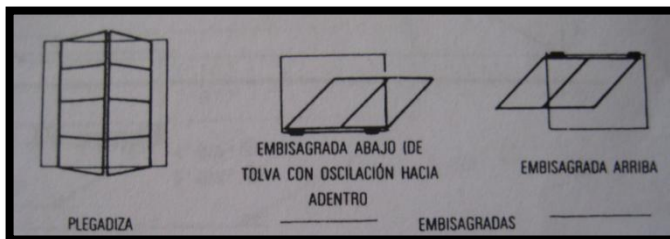
(Hornbostel, 1999)

Ilustración 126. Ventanería típica (c)



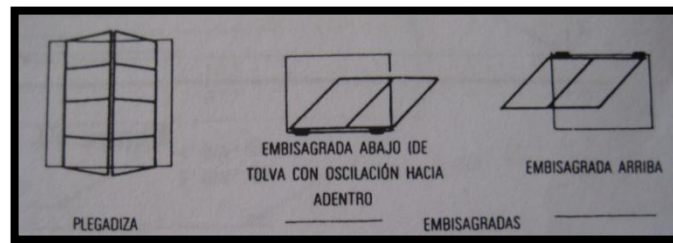
(Hornbostel, 1999)

Ilustración 127. Ventanería típica (c)



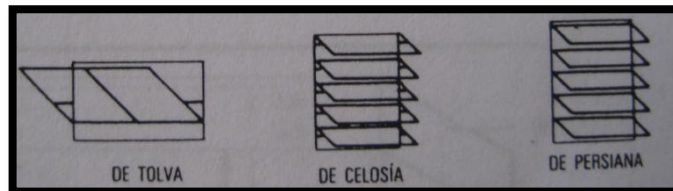
(Hornbostel, 1999)

Ilustración 128. Ventanería típica (d)



(Hornbostel, 1999)

Ilustración 129. Ventanería típica (e)



(Hornbostel, 1999)

5.4.1. Marcos de ventana. La durabilidad es el aspecto clave para la elección del marco de ventana. Las ventanas de madera han ganado una desmerecida reputación por ser susceptibles a putrefacción y las alternativas tales como aluminio o PVC son vistas como las únicas opciones durables. La mala reputación de los marcos de madera puede atribuírsele a la calidad de la madera utilizada, la instalación que se haya realizado, la aplicación del recubrimiento y el mantenimiento de la misma. (Wolley, Green Building Handbook Volume 1, 1997)

La madera dura como el roble, es muy durable, y puede ser usada sin pintura o algún conservante, perfila como la mejor opción verde para marcos de ventanas, especialmente si la fuente es de una operación forestal controlada. (Wolley, Green Building Handbook Volume 1, 1997)

A pesar de que la madera proveniente de una fuente certificada es la mejor opción para marcos de ventanas, la pintura o recubrimiento a utilizar es igualmente crucial, ya que si se usara una pintura sintética convencional hecha a base de disolvente, puede representar un mayor daño ambiental que un marco de una madera no certificada y una pintura natural. La combinación de una madera no certificada con la aplicación de una pintura sintética convencional puede representar un impacto ambiental mayor que el PVC. (Wolley, Green Building Handbook Volume 1, 1997)

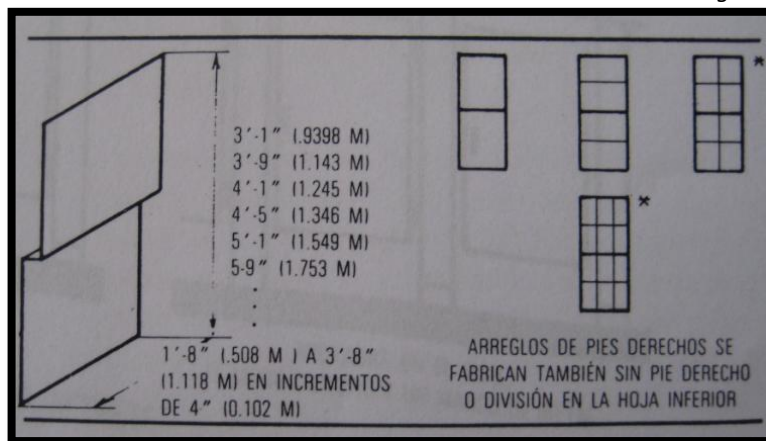
## 5.4.2. Ventanas con herrería tubular

5.4.2.1. Definición. La herrería de acero tubular incluye puertas y ventanas exteriores (ventanas abisagradas verticalmente), marcos y bastidores para puertas, molduras para ventanas, travesaños, rejillas y muchos artículos misceláneos como marcos, bases, molduras para retratos. Actualmente, se utilizan mucho como divisiones para retrete en los baños públicos. (Hornbostel, 1999)

5.4.2.2. Composición. El acero que se usa para herrería tubular es el de láminas y soleras de acero de horno de hogar abierto, del tipo que se usa para mobiliario. Está totalmente limpio a base de baño de ácido, rolado en frío, templado doble y nivelado. En general, los calibres que se usan son 10, 12, 14, 16 y 18, con soleras de  $\frac{1}{8}$ " (3.18 mm) y  $\frac{3}{16}$ " (4.76 mm) de grosor utilizadas como refuerzo de la herrería. (Hornbostel, 1999)

5.4.2.3. Proceso Industrial. Todos los productos en herrería de acero existen con recubrimiento de imprimación, galvanizados, pre pintados, acabados con esmalte, porcelanizado, recubiertos de vinilos, y con varios tipos de acabados de capas superficiales. Las ventanas de abisagrado vertical se fabrican en tamaños modulares y no modulares. Su construcción consiste en lámina y solera de acero moldeado o troquelada o unida con costuras sobre perfiles huecos de la forma que se requiera; todas las uniones son soldadas. Se fabrican en unidades completas y se les da un tratamiento adecuado para pintarlas en obra, o bien con una capa de imprimador de pintura dada en taller. Se obtienen con recubrimientos vinílicos de colores estándar. (Hornbostel, 1999)

*Ilustración 130. Ventanas de acero metálico tubular de doble colgante*

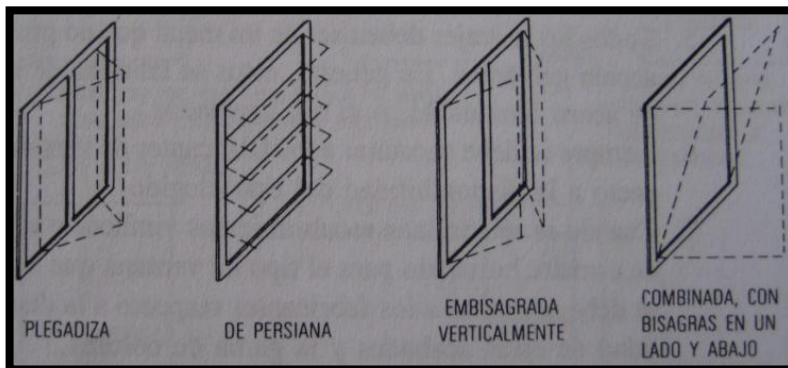


(Hornbostel, 1999)

### 5.4.3. Ventanas de acero inoxidable

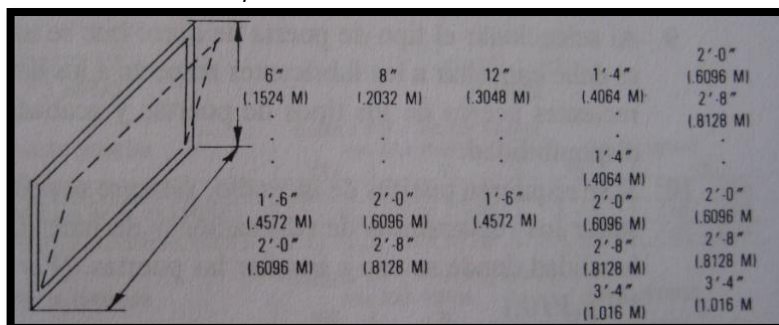
5.4.3.1. Definición. El acero inoxidable es muy popular debido a su resistencia a la corrosión, la facilidad que este presenta para su limpieza y actualmente el acabado decorativo que se le logra dar es muy vistoso y de agrado de muchos. (Hornbostel, 1999)

Ilustración 131. Tipos comunes de ventanería de acero inoxidable.



(Hornbostel, 1999)

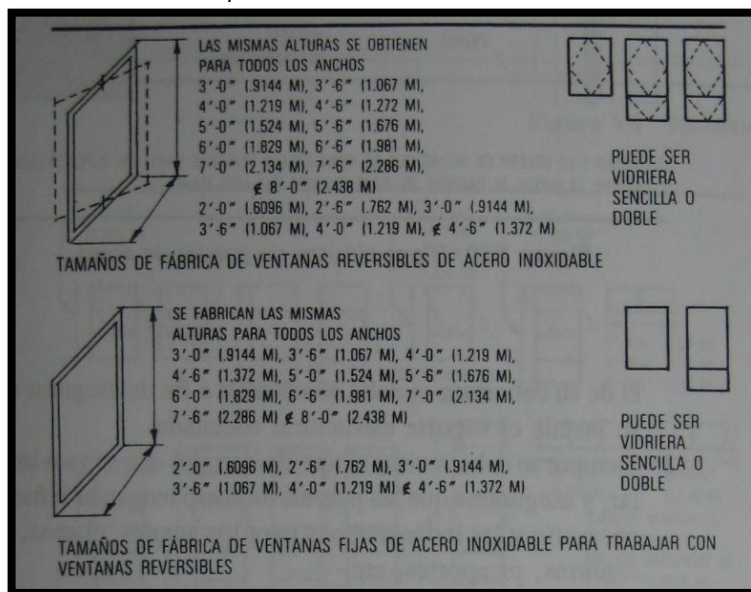
Ilustración 132. Tipos comunes de ventanería de acero inoxidable.



(Hornbostel, 1999)

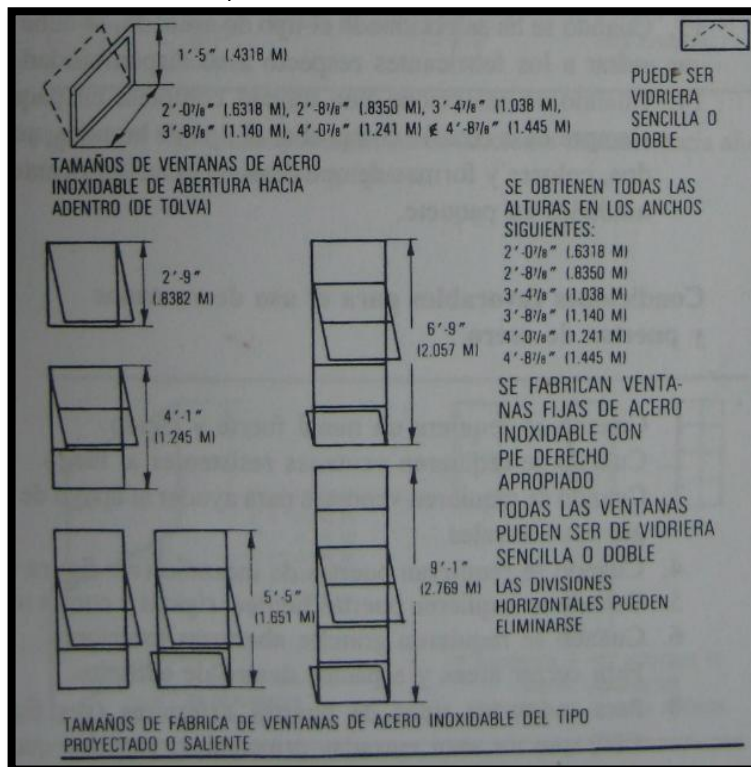
5.4.3.1. Historia. El desarrollo de lo que conocemos como acero inoxidable actualmente aconteció en el contexto de la Primera Guerra Mundial. Aunque se sabe de pequeñas fabricaciones, que datan de 1865, de aleaciones de aceros con níquel, los cuales presentaban buena resistencia a la acción de la humedad del aire, y algunos casos de fabricación de aleaciones de acero con cromo (1872, Woods y Clark) no tomamos estos casos como el nacimiento del acero inoxidable ya que para este entonces nunca se le dio especial atención a la resistencia a la oxidación y simplemente fueron pruebas que resultaron de una serie de aleaciones. (Hornbostel, 1999)

Ilustración 133. Tipos comunes de ventanería de acero inoxidable.



(Hornbostel, 1999)

Ilustración 134. Tipos comunes de ventanería de acero inoxidable.



(Hornbostel, 1999)

Es en forma independiente y casi simultánea fue cuando, en Inglaterra y en Alemania, se descubren los aceros inoxidables tal como los conocemos hoy en día. Por el lado inglés, el

metalúrgico Harry Brearly, buscando la manera de proteger los cilindros de los cañones, encuentra que agregando cromo a los aceros de bajo carbono, se podían obtener aceros resistentes a las manchas (*stainless*), léase resistentes a la oxidación. Casi al mismo tiempo los doctores alemanes Strauss y Maurer patentaron dos grupos de aceros inoxidables compuestos por aleaciones de cromo y níquel. (Hornbostel, 1999)

Las ventanas y puertas de acero inoxidable, como material de construcción manufacturado en fábrica, se produjeron en la década de 1950. En un principio parte del problema respecto al uso del acero inoxidable fue que no existía manera de sellar las juntas para evitar que el aire se colara, pero este problema se ve solucionado por la industria del plástico y el hule sintético, logrando sellar contra la intemperie las molduras y formas coladas de acero inoxidable, entre sí y con otros materiales. (Hornbostel, 1999)

5.4.3.2. Composición. El níquel y el manganeso son importantes que producen características especiales tales como resistencia, tenacidad y facilidad de fabricación en los aceros inoxidables. También se usan el columbio, molibdeno, fosforo, selenio, silicio, azufre, titanio y circonio para darles características especiales. (Hornbostel, 1999)

5.4.3.3. Proceso industrial. Los aceros inoxidables se endurecen mediante labrado en frío. También poseen baja conductividad de calor, pero tienen alta expansión térmica; estas dos características, sobre todo la última, son importantes cuando el acero inoxidable se usa en edificios. (Hornbostel, 1999)

5.4.3.4. Aplicaciones en la construcción. La ventanería de acero inoxidable es ideal para aquellas aéreas en las cuales se desee un tipo de ventana fuerte, permanente y sin necesidad de mantenimiento. El único posible factor en contra de la ventanería de acero inoxidable podría ser su precio, este tipo de ventanería no es necesariamente el más económico. (Hornbostel, 1999)

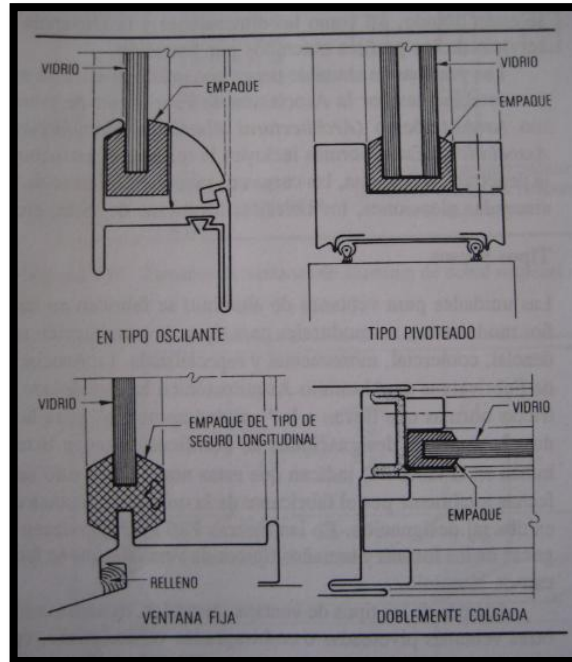
5.4.3.5. Medidas de precaución

- Siempre se debe comprobar que los materiales en que las ventanas de acero inoxidable se van a instalar sean compatibles, es decir, que no causen acción galvánica o afecten el acero inoxidable. Si los materiales son de mampostería, el acero inoxidable se debe proteger con una gruesa capa de asfalto a base de hule en las partes que queden en contacto con mortero. En el caso del aluminio, se debe

lograr un aislamiento completo de los materiales sujetadores. El acero inoxidable y el aluminio nunca deban estar en contacto directo.

- Siempre se deben especificar los planos de taller y en ellos se deben indicar todos los tipos de dispositivos de sujeción y los métodos de unión. (Hornbostel, 1999)

*Ilustración 135. Detalle de ventanas típicas de acero inoxidable*



(Hornbostel, 1999)

#### 5.4.4. Ventanas de acero

5.4.4.1. Definición. Las ventanas de acero se fabrican de barras corrugadas nuevas de acero de grado estructural, que se rolan en caliente hasta formar secciones solidas de un grosor de metal mínimo de  $\frac{1}{8}$ " (3.18 mm) y una altura mínima de  $1 \frac{3}{8}$ " (28.58mm). Se fabrican como unidades completas, incluyendo herrajes, burletes y mecanismos de operación y con un tratamiento previo para aplicación de pintura en la obra, con capa de imprimación en taller, recubiertas con capas de vinilo en varios colores, o acabados con esmalte horneado de color aplicado en taller. (Hornbostel, 1999)

5.4.4.2. Proceso industrial. Las unidades de ventanas de acero se hacen en tamaños modulares y no modulares, para construcciones residenciales, comerciales, institucionales, industriales, monumentales y tipos especiales. Además de los tipos más comunes de ventanas en acero, siempre hay que consultar a los proveedores de

nuevas tendencias y estilos, ya que éstos, conforme pasa el tiempo, van innovando y se mantienen en una constante actualización de productos. (Hornbostel, 1999)

5.4.4.3. Aplicaciones en la construcción. La ventanería de acero tiene sus ventajas sobre otro tipo de ventanería. Es muy útil bajo condiciones en las cuales se busca un material resistente al fuego, que sea fuerte y que sea rígido. También se usan muchas veces para brindar apoyo en cuanto a cargas estructurales. (Hornbostel, 1999)

El acero es muy útil en ventanas y puertas, cuando se quiere con un área máxima de vidrio y un grosor mínimo de marcos. (Hornbostel, 1999)

Sin embargo, la ventanería de acero necesita mantenimiento constante y, en la mayor parte de ocasiones, es necesario pintar la estructura con algún tipo de pintura anticorrosiva para evitar la oxidación. (Hornbostel, 1999)

#### 5.4.4.4. Medidas de precaución

- Es muy importante verificar que el producto ha recibido tratamiento previo o se le ha aplicado una capa de imprimación resistente a la corrosión.
- Cuando se utiliza vidrio doble, es necesario cerciorarse que el marco sea el más adecuado para este tipo de ventanería.
- Es necesario estar seguro de la compatibilidad de todos los metales con que posiblemente estarán las ventas de acero, a fin de que no se presente la acción galvánica.
- Los compuestos para colocación de vidrio y los empaques utilizados deben ser del tipo correcto para acero.
- Por lo general, todos los herrajes, en este tipo de ventanería, son de latón, acero inoxidable o son cromados; buscando que estos no provoquen acción galvánica. (Hornbostel, 1999)

#### 5.4.5. Ventanería de aluminio

5.4.5.1. Definición. Las ventanas fabricadas de aleaciones de aluminio son ligeras y sin embargo resistentes. No manchan a los materiales adyacentes. Por ser metálicas, están exentas de la putrefacción y el ataque de las termitas, y no se hinchan, ni se parten y tampoco se alabean. Además, debido que el aluminio se puede obtener por extrusión con facilidad, puede transformarse en formas pequeñas resistentes que pueden

hacerse tan complejas como sea necesario para cuidar de todos los requisitos especiales de condensación, protección contra intemperie y colocación de vidrios en la misma forma de la pieza obtenida por extrusión. (Hornbostel, 1999)

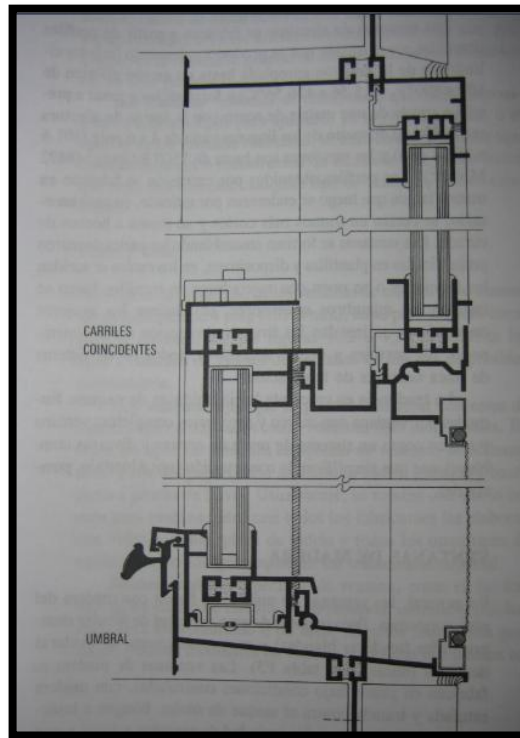
5.4.5.2. Historia. Aunque ya se fabricaban ventanas de aluminio antes de la segunda Guerra Mundial, no se generalizó su uso hasta 1945. Esto se debió en parte a los adelantos tecnológicos logrados durante los años de la guerra y en parte a la popularidad de las grandes áreas vidriadas para frentes de tiendas. Esta tendencia condujo al diseño de muchas partes especializadas para los bastidores y el anclaje de puertas y ventanas que eran utilizados en otros tipos de construcción. (Hornbostel, 1999)

5.4.5.3. Proceso industrial. Las ventanas de aluminio se fabrican a partir de perfiles obtenidos por extrusión que se producen calentando lingotes cilíndricos de la aleación apropiada hasta un estado plástico, en temperaturas desde 600°F a 800°F, y forzándolos a pasar a presión a través de una matriz de acero con la forma de abertura requerida. El diámetro de los lingotes varía de 4 a 6 pulgadas y las presiones son de hasta 5500 lbf/pulg<sup>2</sup>. Los perfiles obtenidos por extrusión se fabrican en tramos largos que luego se enderezan por estirado, en caso necesario, se cortan en tramos más cortos y se meten a hornos de curado. Las ventanas se forman ensamblando las partes de marco prefabricadas en plantillas y dispositivos, en los cuales se sueldan las secciones o se unen con sujetadores de tornillo: luego se instalan los miembros atiesadores, se taladran los agujeros necesarios, y se instalan las tiras de protección contra intemperie, los herrajes y demás accesorios, todos en un sistema del línea continua de fabricación. (Hornbostel, 1999)

5.4.5.4. Aplicaciones en la construcción. La ventanería de aluminio es ideal cuando se requiere para las ventanas un material resistente, ligero y resistente a la corrosión. Una gran ventaja que presenta el aluminio es que este no requiere de tanto mantenimiento, no es necesario aplicar una pintura inicial. Donde se desea tener, para fines de diseño, montantes intermedios, entreventanas y marcos angostos. (Hornbostel, 1999)

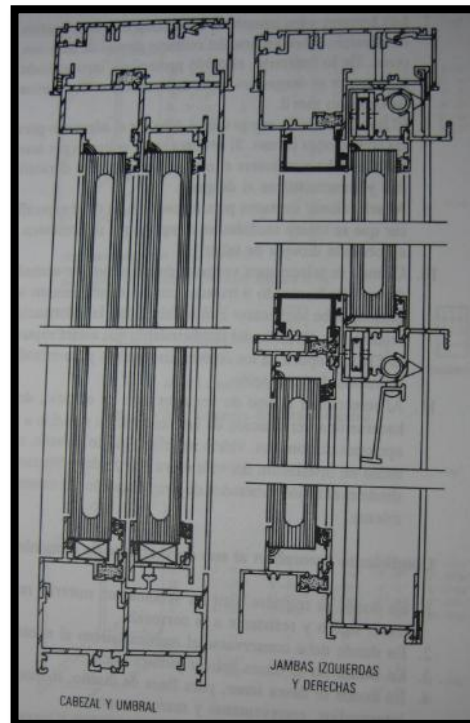
Sin embargo, el aluminio presenta problemas para soportar cargas, lo cual lo hace una mala elección cuando las ventanas deben ayudar a soportar cargas estructurales (eventualmente es posible lograr que el aluminio soporte cargas, pero con muchas mayores dificultades que con otros metales. Otra dificultad que presenta el aluminio es su falta de resistencia ante el fuego. (Hornbostel, 1999)

*Ilustración 136. Detalle de ventanas típicas de acero inoxidable*



*(Hornbostel, 1999)*

*Ilustración 137. Detalle de ventanas típicas de acero inoxidable*



*(Hornbostel, 1999)*

#### 5.4.5.5. Medidas de precaución

- Las ventanas seleccionadas deben ser de “calidad aprobada”.
- El tipo de aleación de aluminio que se utilice debe tener la resistencia mecánica y la resistencia a la corrosión necesarias.
- Al diseñar con ventanas de vidrio doble, debe verificarse el tipo de ventana para comprobar que puede aceptar el vidrio doble.
- Las ventanas de aluminio tienen que satisfacer estrictas normas establecidas por la Asociación de Fabricantes de Aluminio Arquitectónico. Estas normas incluyen la resistencia estructural, la penetración del agua, las cargas de viento, la infiltración del aire y las aleaciones, los herrajes, las piezas de vista, etc.
- Si el metal que está en contacto es cualquier otro diferente de acero inoxidable no magnético, cadmio, zinc o bronce al níquel, debe aislarse al aluminio para evitar acción galvánica.
- Los herrajes y los miembros de ventanas móviles hechas de aluminio deben aislarse del contacto directo de unos con otros. De lo contrario, el óxido protector u otro acabado que tengan se desgastara hasta desaparecer en los puntos de contacto móvil.
- Al seleccionar ventanas para reposición, se debe especificar que se tomen medidas en campo y que se presenten a aprobación dibujos de taller. (Hornbostel, 1999)

#### 5.4.6. Ventanas de madera

5.4.6.1. Definición. En general, las ventanas de madera se hacen con madera del pino selecta. Pero también de gran variedad de árboles de madera blanda, y muy escasamente de maderas deciduas (duras). Las ventanas de madera se fabrican en planta bajo condiciones controladas, con madera estufada y tratada contra el ataque de moho, hongos e insectos. Se obtienen en amplia variedad de tamaños y tipos, con marcos, bastidores, hermetización contra intemperie, molduras, herrería y vidrio como artículos separados, o bien, en diversas combinaciones o como unidad completa en paquete. (Hornbostel, 1999)

Actualmente, debido a los avances en el conocimiento de la pérdida de calor y la ganancia solar, dependiendo del ambiente y de la ubicación geográfica, todas las ventanas de madera están disponibles con encristalados de una sola hoja, vidrio aislante (sellos de metal

con vidrio o vidrio con vidrio) con un espacio de aire, o vidrio aislante con dos espacios de aire. Actualmente, la tendencia general es adquirir todos los elementos en un solo paquete.(Hornbostel, 1999)

Las llamadas ventanas de reemplazo, que están disponibles en muchos tipos para ajustarse ya sea en el exterior o el interior de las ventanas existentes, se usan en casi cualquier tipo de remodelación o restauración de edificios y se puede hacer que embonen con casi cualquier tipo de ventana y marco existentes.(Hornbostel, 1999)

5.4.6.2. Proceso industrial. Por lo general, el tamaño de las ventanas de madera tiene aumentos en múltiplos de 4", tanto para la altura como para la anchura. (Hornbostel, 1999)

Hay ventanas fijas que se pueden combinar con estos diferentes tipos o utilizadas como ventanas fijas individuales. En todos los tipos de unidades completas de ventana, se obtienen como parte del paquete tela de alambre contra insectos y bastidores a prueba de lluvia. Usualmente, se venden con vidrio sencillo para ventana, pero casi todos los fabricantes las elaboran con vidrio aislante, placa de vidrio y todos los otros tipos de vidrio excepto los que requieren un tratamiento especial.(Hornbostel, 1999)

Existen unidades especiales de ventana, como en las formas de cuarto de círculo, semi-redonda, circular y muchos tipos de arcos. Algunos fabricantes producen sistemas modulares de ventanas completos que pueden actuar como apoyo estructural. La tendencia general es hacia las unidades prefabricadas.(Hornbostel, 1999)

Todos los tipos de ventanas se obtienen ahora con recubrimientos vinílicos en una variedad de colores. Estos recubrimientos hacen que la ventana no necesite mantenimiento por largo tiempo.(Hornbostel, 1999)

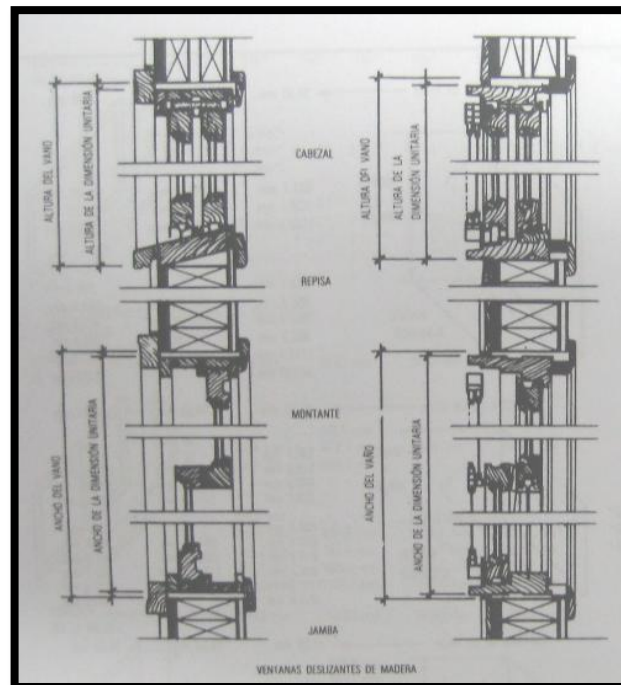
Actualmente, muchas ventanas de madera también se fabrican con cubiertas de aluminio en el exterior que robustecen a los marcos de madera. Estas cubiertas de aluminio tienen un acabado de esmalte horneado o un recubrimiento de vinilo para eliminar la necesidad de aplicación periódica de pintura. Todas están disponibles con vidrio aislante y en muchos casos la pantalla puede cambiarse en el invierno a un marco con cristal a prueba de lluvia. Esto permite que el interior de la ventana, su marco y la moldura retengan un acabado de madera natural.(Hornbostel, 1999)

5.4.6.3. Aplicaciones en la construcción. La ventanería de madera es muy útil cuando se requieren ventanas económicas, hermetizadas contra intemperie y aire, durables y fáciles de instalar. Sin embargo, presentan debilidad contra incendios (no soportan fuego), y en muchas ocasiones, si la ventanería no está adecuadamente protegida, el mantenimiento tiende a ser caro, tedioso, y muy constante. (Hornbostel, 1999)

#### 5.4.6.4. Medidas de precaución

- Las ventanas nunca deben soportar cargas estructurales, y los dinteles se deben calcular de manera que la deflexión no cause esfuerzos que se transmitan a las ventanas.
- Una vez terminada la instalación, todas las áreas alrededor de la ventana se deben hermetizar y revisar que no haya filtración de aire.
- Siempre se debe revisar el método de operación de las ventanas, cuando se van a instalar mosquiteros o marcos contra intemperie.
- La madera a utilizar debe de estar tratada contra enmohecimiento, hongo e insectos, especialmente si se van a instalar en una región o clima caliente y húmedo.
- Es necesario revisar las especies disponibles de madera de que se fabrican las ventanas. (Hornbostel, 1999)

*Ilustración 138. Ventanas deslizantes de madera.*

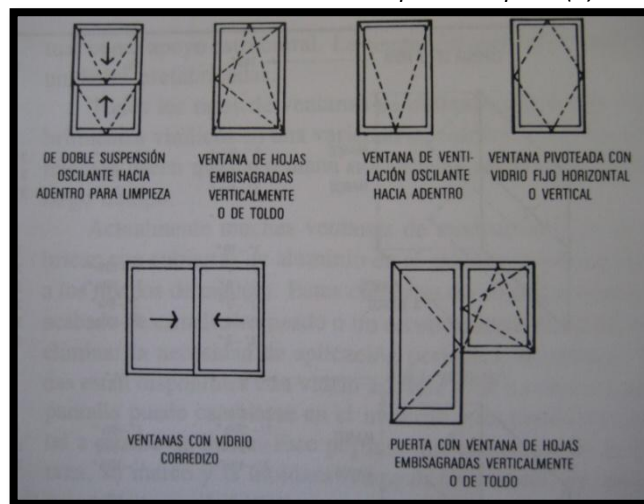


(Hornbostel, 1999)

## 5.4.7. Ventanas de PVC

5.4.7.1. Definición. Actualmente, se obtienen ventanas y puertas de plástico en una variedad de formas y estilos. Se hacen de PVC y fibras de vidrio con una resina de poliéster. Debido al valor aislante adicional del plástico y al método de manufactura de extrusión-calor-presión, los marcos de puertas y ventanas son mas herméticos a la intemperie, tienen un valor aislante más alto y permiten algunos diseños nuevos e imaginativos de ventanas y puertas, así como enfoques de ventilación totalmente diferentes. Estas ventanas y puertas de plástico tienen bolsas de aire de cámaras múltiples herméticamente selladas que agregan valores aislantes a los marcos. (Hornbostel, 1999)

Ilustración 139. Ventanas de plástico típicos (a)



(Hornbostel, 1999)

Ilustración 140. Ventanas de plástico típicos (b)



(Hornbostel, 1999)

*Ilustración 141. Ventanas de plástico típicos (b)*



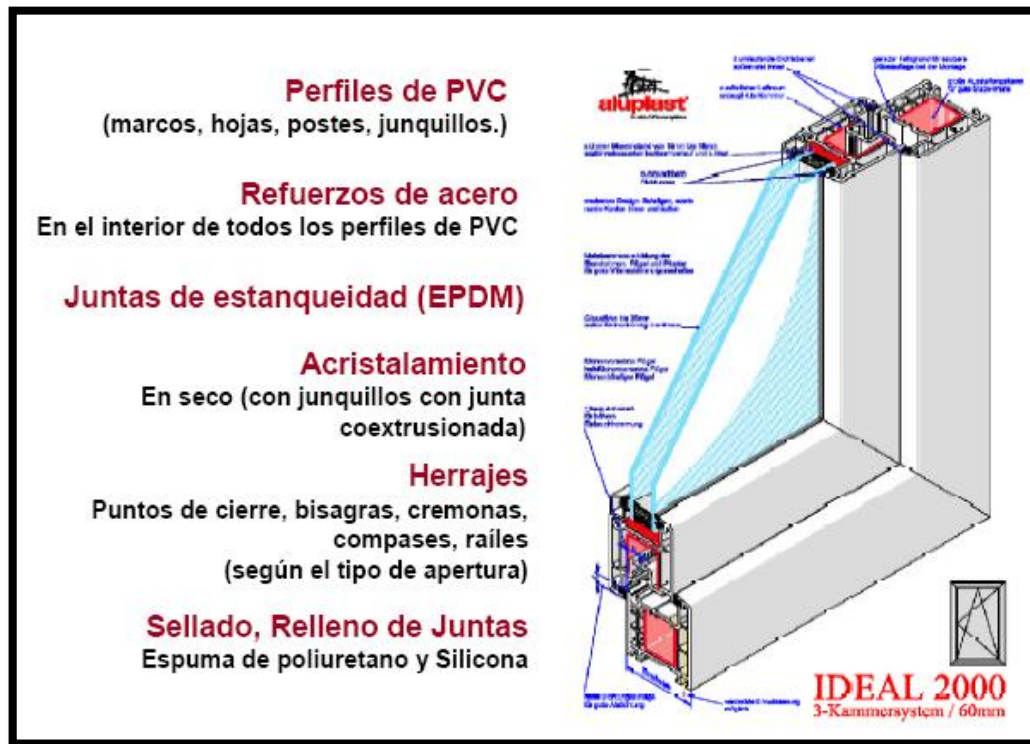
*(Hornbostel, 1999)*

5.4.7.2. Composición. El PVC (cloruro de polivinilo) es una combinación química de carbono, hidrógeno y cloro. Sus componentes provienen del petróleo (43%) y de la sal (57%). Se obtiene por polimerización del cloruro de vinilo, cuya fabricación se realiza a partir del cloro y etileno. Es un material termoplástico, es decir, bajo la acción del calor (140 a 250°C) se reblandece, pudiendo moldearse fácilmente; cuando se enfría recupera la consistencia inicial conservando la nueva forma. (Ventanas Alemanas)

5.4.7.3. Ventajas del PVC. En el campo de los materiales utilizados para la fabricación de puertas y ventanas ha surgido el PVC o cloruro de polivinilo como uno particularmente idóneo. Las características y ventajas de los perfiles de PVC para puertas y ventanas reforzados con acero galvanizado permiten garantizar los siguientes aspectos:

- Máxima resistencia eólica: debido a las excelentes propiedades del material, las puertas y ventanas de PVC son ideales para ser instaladas en edificios cercanos al mar donde están expuestos permanentemente a fuertes vientos, lluvias y aire salino.
- Larga vida útil: gracias a su tecnología, las puertas y ventanas alemanas de PVC duran prácticamente para siempre. Por este motivo son una excelente inversión ya que no causan ningún gasto extra de mantenimiento. No requieren ser pintadas periódicamente, no se pudren, no se deforman, no se corroen, ni siquiera en climas tropicales o costeros de alta salinidad. Su conservación se reduce a la simple limpieza sin causar gastos extras.

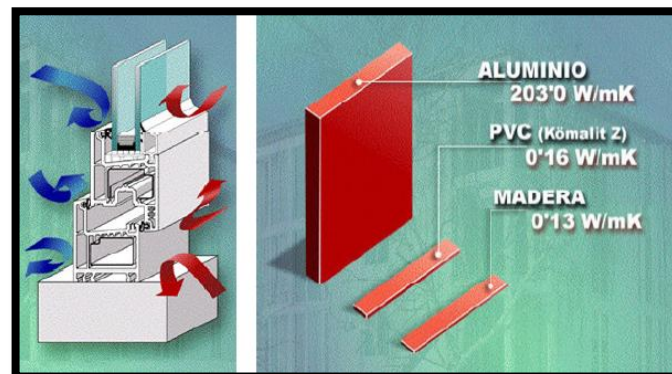
Ilustración 142. Ejemplo de ventanería PVC



(Ventanas Alemanas)

- Aislamiento térmico eficaz: no importa en qué clima se instalen, las ventanas y puertas de PVC contribuyen a crear un ambiente acogedor. El PVC es un material aislante y por ende ideal para el aislamiento térmico, esto combinado con las cámaras internas del marco y hoja de la puerta y ventana hacen que la eficacia de aislamiento térmico de la ventana terminada sea excepcionalmente buena. (Ventanas Alemanas)

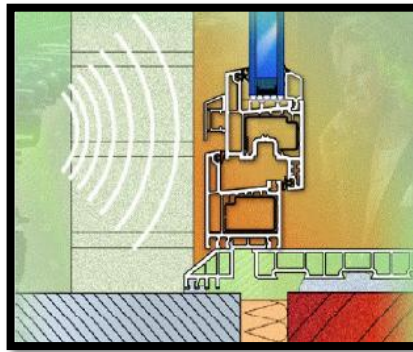
Ilustración 143. Conductividad térmica.



(Ventanas Alemanas)

- Aislamiento acústico: la protección contra el ruido es una característica esencial de la ventana moderna para asegurar el confort del ambiente. El aislamiento acústico que proporciona la configuración de los perfiles de PVC es inherentemente bueno. Los refuerzos de acero, la elección del vidrio apropiado, el sistema de herrajes y el sistema de instalación utilizando espuma de poliuretano en el perímetro de la puerta y ventana, aumentan más aún la insonorización. (Ventanas Alemanas)
- Resistencia al fuego: los ensayos de incendio prueban que los materiales de PVC tienen piroresistencia natural durante toda su vida útil y no provocan, alimentan ni favorecen la declaración de un incendio accidental. (Ventanas Alemanas)

*Ilustración 144. Conductividad térmica.*



*(Ventanas Alemanas)*

5.4.7.4. Proceso industrial. Las ventanas y puertas se obtienen en una gran variedad de colores; en muchos casos el color se aplica solo a las superficies interiores. Para todos los tipos de ventanas y puertas, los mosquiteros y las unidades contra tormenta en puertas y ventanas vienen como parte del paquete completo que incluye el vidrio de la ventana, el marco y la herrajería si se desea. (ASOVEN, 2006)

Existen diferentes formas especiales de ventanas tales como de un cuarto círculo, de medio círculo, circular y abovedada, incluyendo ventanas para mirador y en forma de arco. Tanto las ventanas como las puertas se pueden ordenar con doble o triple vidriado. El uso de recubrimientos de plástico sobre metal y marcos de puertas ha permitido la introducción del color y ha superado el manchado y la corrosión de los metales; estos recubrimientos tienen una vida muy larga. (ASOVEN, 2006)

*Ilustración 145. Acabados y colores en PVC.*



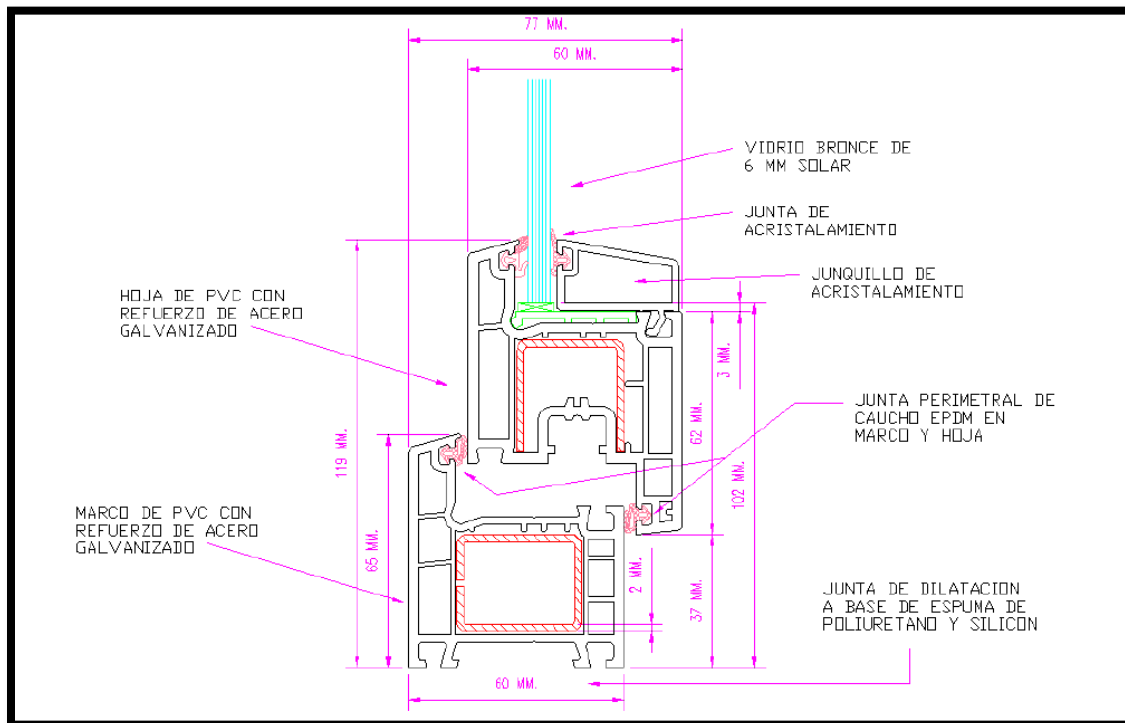
(ASOVEN, 2006)

*Ilustración 146. Imitación de madera en PVC.*



(ASOVEN, 2006)

Ilustración 147. Sección transversa: marco y hoja de ventana.



(Ventanas Alemanas)

5.4.8. Forma de la edificación y orientación. La orientación de una edificación, especialmente la de las partes de la superficie que son transparentes, influye en el consumo de energía, debido a las diferentes alturas a las que llega la radiación solar. Las ventanas son elementos del área envolvente de la edificación, los cuales ofrecen tanto aislamiento térmico como aumento pasivo de calor. La correcta orientación y dimensionamiento apropiado dependen del clima exterior y de su utilización. Para oficinas, se puede aprovechar más el sol que en condiciones residenciales. (Bauer, 2007)

Centros comerciales y edificios recreativos, que requieren más ventilación tomando en cuenta la densidad ocupacional, son posicionados cerca de carreteras altamente frecuentadas. Edificios residenciales y de oficinas, en contraste, son posicionados buscando maximizar el uso de ventilación natural. (Bauer, 2007)

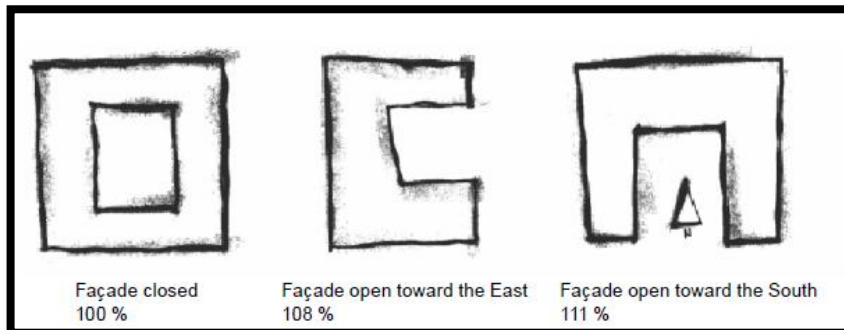
La ilustración subsiguiente muestra que formas de bloque de igual área, son más favorables. Estructuras cerradas constituyen la solución menos favorable, debido a que el aprovechamiento de la energía solar es menor debido a la sombra producida por la fachada. (Bauer, 2007)

Ilustración 148. Análisis energético de un desarrollo urbano.



(Bauer, 2007)

Ilustración 149. Aprovechamiento de la energía resultante en la fachada..



(Bauer, 2007)

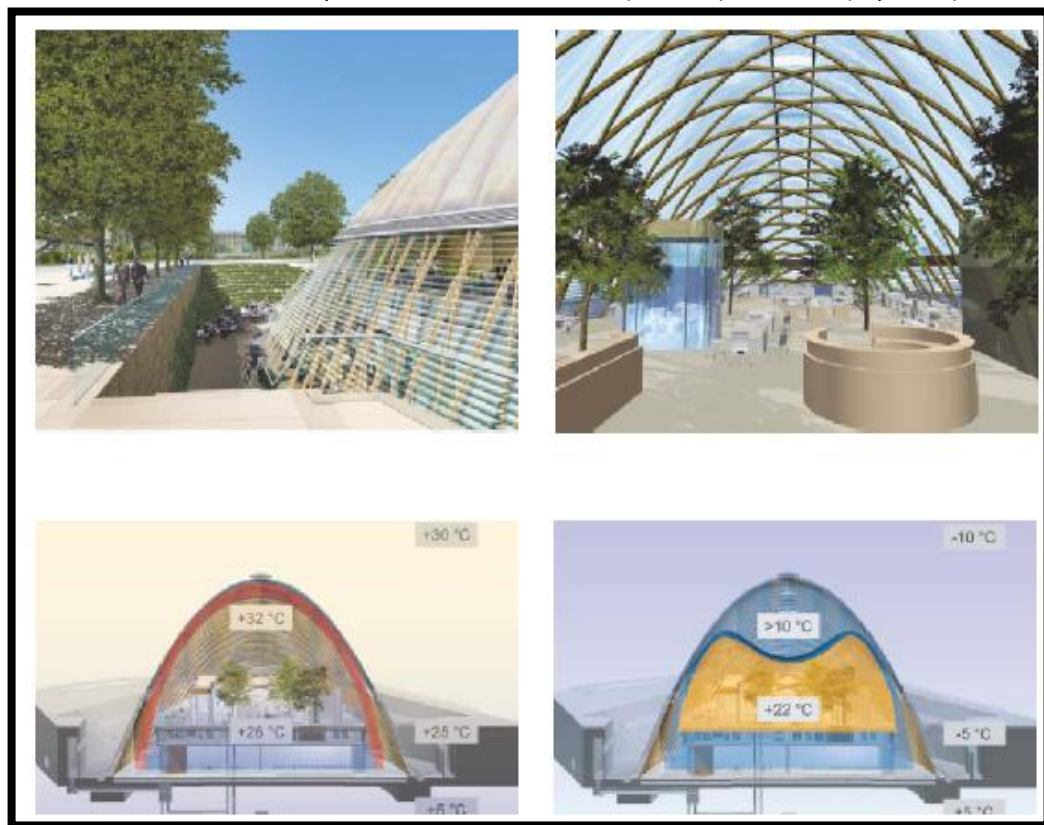
Una consecuencia de la sombra causada por la fachada es el aumento en la electricidad para suplir toda la iluminación artificial. Adicionalmente, la tasa de intercambio de aire en el parte central es menor, ya que depende de la altura de la edificación. Esto conduce a un periodo de ventilación mecánica mayor. Independiente del concepto del edificio, un arreglo óptimo es aquel que produce un ahorro de 10 a 20% del requerimiento energético, debido a los sistemas utilizados para condicionar la habitación. (Bauer, 2007)

5.4.9. Contorno del edificio. La fachada de una edificación constituye la interface entre el exterior y las condiciones climáticas interiores. Mientras el clima interior de una habitación ocupada tiende a fluctuar entre 4 a 8 K, la temperatura exterior puede

llegar a presentar una variación de hasta 80K, dependiendo de la locación de la estructura. (Bauer, 2007)

El diseño de un aislante térmico que sea de cierta manera ajustable sigue siendo un objetivo en la construcción eficiente en términos energéticos. En la década de los '90, fachadas con doble capa eran parcialmente equipadas con mecanismos de apertura motorizados, que permitían cerrar las entradas de aire de la edificación creando un efecto invernadero previendo una pérdida de calor durante períodos de radiación solar. Las ventanas pueden abrirse cuando la temperatura exterior es elevada, lo cual evita el sobrecalentamiento de los cuartos. Otra manera de ajustar el aislamiento térmico, es mediante la colocación de membranas transparentes, en forma de láminas, en la parte interna de la región sellada de tal manera que están colocadas una detrás de otra a diferentes separaciones. Esto da como resultado diferentes amortiguadores de aire entre las láminas, así mismo, provee buen aislamiento térmico. (Bauer, 2007)

*Ilustración 150. Temperatura interior en verano (derecha) e invierno (izquierda).*



(Bauer, 2007)

Como regla, es bueno disminuir la disipación de calor a través de un aislante y/o evitar la infiltración de calor de la misma manera. Para edificaciones con grandes fuentes de filtración de calor, el nivel de aislante puede ser ventajoso. Esto se debe a que para una gran área de irradiación solar con una baja tasa de área de contorno, el edificio necesitara climatización artificial casi constantemente. (Bauer, 2007)

5.4.10. Protección solar. Un nivel adecuado de protección solar es esencial para edificaciones verdes. El objetivo es alcanzar la suficiente protección solar para mantener el requerimiento de energía para la climatización lo más bajo posible. El arreglo de protección solar es de acuerdo a cierta manera o tipo de película y puede ser regulado adicionando elementos fijos o móviles. Debido a que la película y el sistema de protección solar influyen en la cantidad de iluminación natural que se infiltra en la habitación, se tiene un efecto directamente proporcional entre la energía requerida para el enfriamiento y la iluminación artificial. (Bauer, 2007)

*Ilustración 151. Bochum Century Hall.*



*(Bauer, 2007)*

Dependiendo de las condiciones climáticas de la región y los requerimientos de diseño, se tienen diferentes soluciones. Sin embargo, todas necesitan cumplir los mismos requisitos para una protección o sombra eficiente. Los valores objetivos para protección solar se miden como grado de permeabilidad de energía. Éste consiste en la porción de área de la fachada que está constituida por ventanas, multiplicado por el grado de aislante y protección solar combinadas. (Bauer, 2007)

Las regiones más cálidas se dan en latitudes donde el sol se pone muy rápidamente. Para estas regiones, se puede considerar un sistema de protección solar rígido, ya que éste puede ser útil casi durante todo del año. (Bauer, 2007)

*Ilustración 152. Parámetros del grado de permeabilidad de energía.*



(Bauer, 2007)

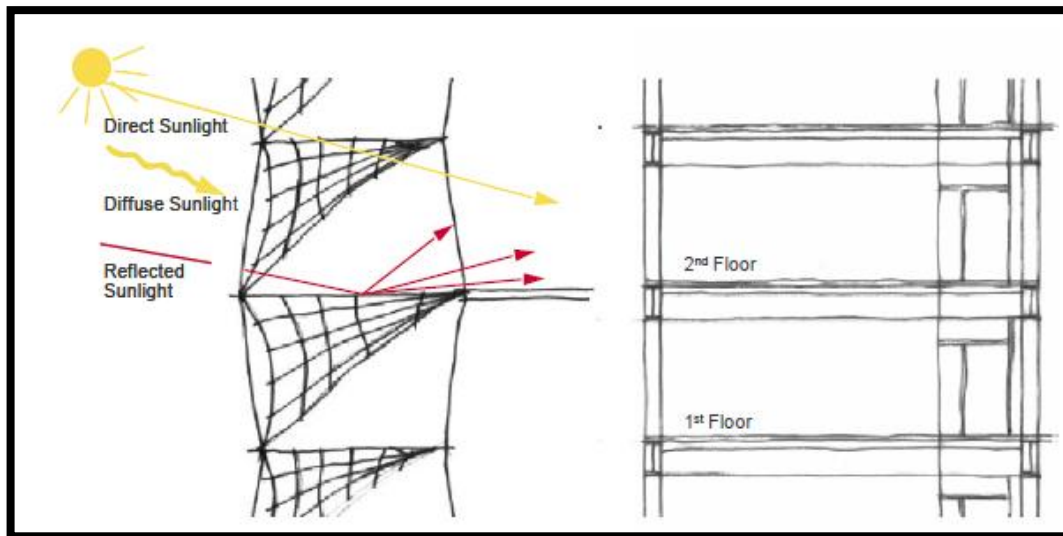
*Ilustración 153. King Fahad National Library in Raid, Saudi Arabia.*



(Bauer, 2007)

A través de un cálculo en tres dimensiones, se puede analizar la geometría de la estructura y optimizarla sin descuidar el aspecto de la misma. A parte de la radiación directa, la luz solar difusa, reflejada por la fachada como por la protección, debe ser tomada en cuenta. (Bauer, 2007)

Ilustración 154. Modelo de simulación para calcular el influjo solar.



(Bauer, 2007)

En regiones de mucho viento hay básicamente tres tipos de mecanismos de aislamiento térmico: el primero es un sistema de protección solar rígido, el segundo consisten en instalar un vidrio sobrepuesto en la construcción como una pantalla solar que protege del viento, la cual es típica para fachadas dobles. La tercera es un tipo de sistema que presenta resistencia al viento, puede ser de una gran variedad de materiales. (Bauer, 2007)

Cuando se revitaliza o renueva una fachada, se presenta frecuentemente un conflicto durante la concepción de la misma entre diseño y eficiencia. Debido a que los edificios son protegidos, no siempre es posible equiparlos con un sistema exterior de protección solar. Sin embargo, el clima interior debe presentar un confort térmico. A diferencia de los nuevos edificios, los edificios existentes presentan poca habilidad para el manejo de almacenamiento de calor, por lo que los requerimientos para el enfriamiento son rápidamente aumentados. (Bauer, 2007)

La fachada de la torre de oficinas *Kaiserhof*, en Hamburgo, fue reconstruida casi en su totalidad, con un agregado en la parte inferior. Detrás de las ventanas de la fachada, se encuentra un mecanismo móvil de protección solar, el cual a su vez es apropiado como

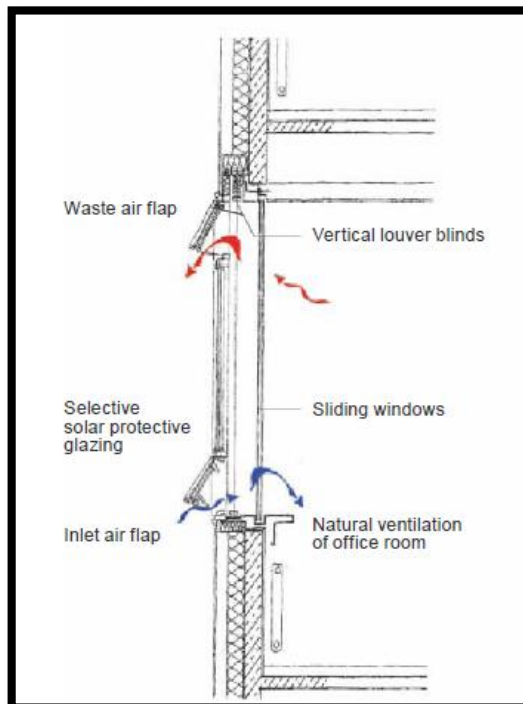
protección para el reflejo. A cierta separación, fueron colocadas ventanas corredizas, las cuales pueden ser operadas por los ocupantes en todo momento. (Bauer, 2007)

*Ilustración 155. Torre de oficinas Kaiserhof en Hamburgo.*



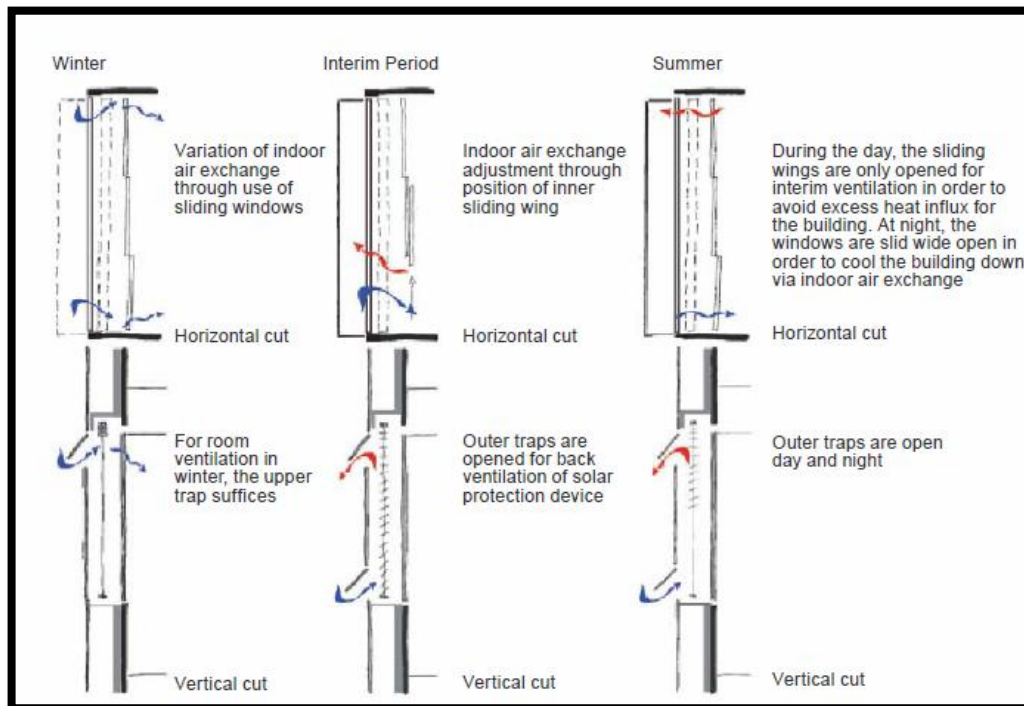
(Bauer, 2007)

*Ilustración 156. Fachada y conceptos de ventilación de la torre Kaiserhof (a).*



(Bauer, 2007)

Ilustración 157. Fachada y conceptos de ventilación de la torre Kaiserhof (b).



(Bauer, 2007)

Naturalmente, la protección solar siempre constituye un elemento de diseño de la fachada y consecuentemente del edificio. Por esta razón, la protección solar es un factor decisivo en la definición general del edificio. Sin embargo, un edificio verde no puede ser justificado por su diseño únicamente, tiene que proveer eficiencia energética. Por otro lado, el edificio tiene que ser capaz de ser vendido o rentado, lo cual tiene que ser considerado en el diseño. (Bauer, 2007)

Otra opción para la protección solar consiste en postigos de aluminio en forma de costilla que cuando están arriba, producen una generosa sombra o protección. Conforme el sol baja gradualmente, el postigo baja automáticamente. El espaciamiento y la inclinación de los perfiles son definidos por medio de técnicas de simulación de acuerdo a la energía y el rendimiento de la luz del día, así como la orientación. (Bauer, 2007)

Una de las formas más efectivas de protección solar son las persianas de louver verticales. Con pequeños cambios, la forma original puede llegar a ser altamente resistente al viento y permitir buena iluminación natural y vista hacia el exterior. Una ejemplificación son los louver perforados. (Bauer, 2007)

*Ilustración 158. Postigos plegables en edificación.*



*(Bauer, 2007)*

*Ilustración 159. Persianas horizontales simples.*

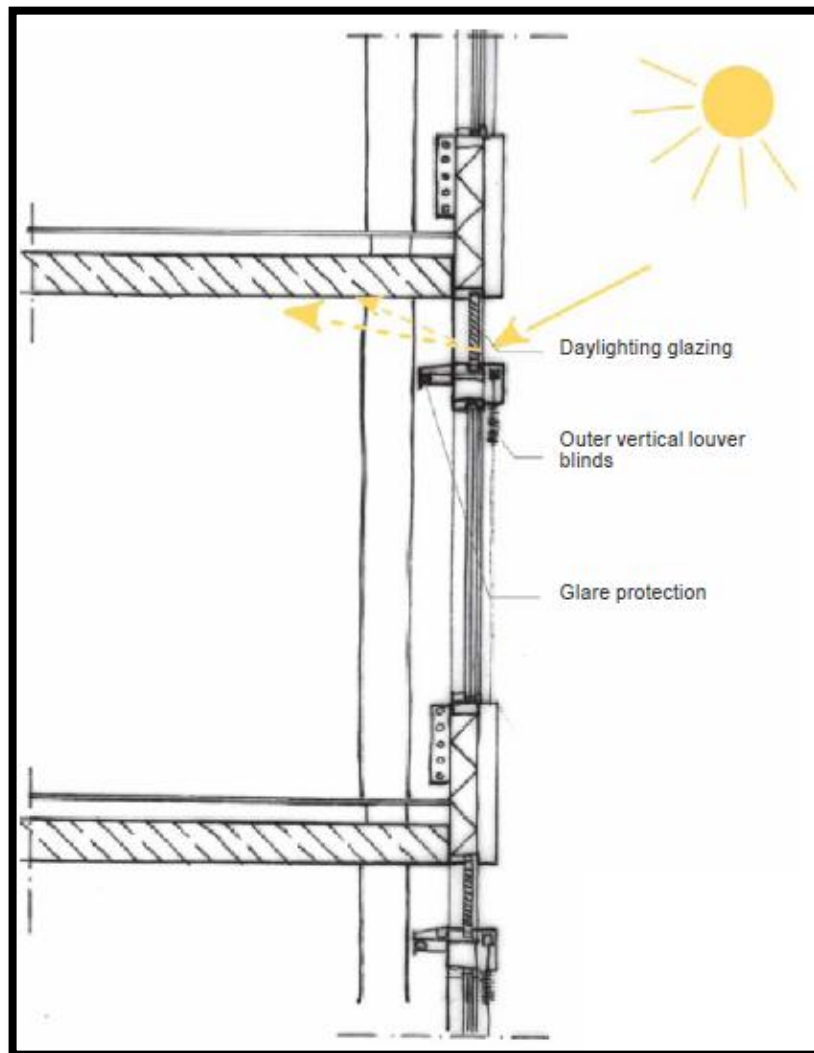


*(Bauer, 2007)*

En la Ilustración 81, la parte superior presenta un sistema de control de iluminación natural rígido, la parte baja es efectivamente protegida por un louver vertical.

**5.4.11. Protección contra reflejo.** Para cuartos con computadoras, se debe tener una protección contra el reflejo adecuada para limitar la luminosidad que proviene del exterior. Esto evita que los contrastes entre el monitor y el campo de visión sean demasiado prominentes. Para estas consideraciones se tiene que tomar en cuenta la luz solar que se refleja en el área de trabajado y su vecindad, la sección visible del cielo y también las diferencias en luminancia ocasionadas por agujeros o aberturas (factor de apertura). La tasa de transmisión de luz de la protección contra el reflejo, conjuntamente con el factor de apertura, definen la luminancia esperada para la habitación. La tasa de transmisión de luz se refiere esencialmente a la luminancia que pasa a través del área que se tiene de ventanas, por lo que consecuentemente define el confort térmico. (Bauer, 2007)

Ilustración 160. Sección de la fachada.



(Bauer, 2007)

Si la protección contra el reflejo presenta bajas tasa de transmisión de luz, prevé que se tengan contrastes muy altos, pero como regla, esto no restringirá únicamente la luz solar y el uso de la ventana, sino que también afectará psicológicamente la visión que se tiene con el contacto exterior. Para evitar esto se puede utilizar la protección solar exterior con la que se cuenta, para que la protección interior contra reflejo necesite utilizarse mínimamente. Dicha protección solar debe permitir que pase la suficiente cantidad de luz solar. (Bauer, 2007)

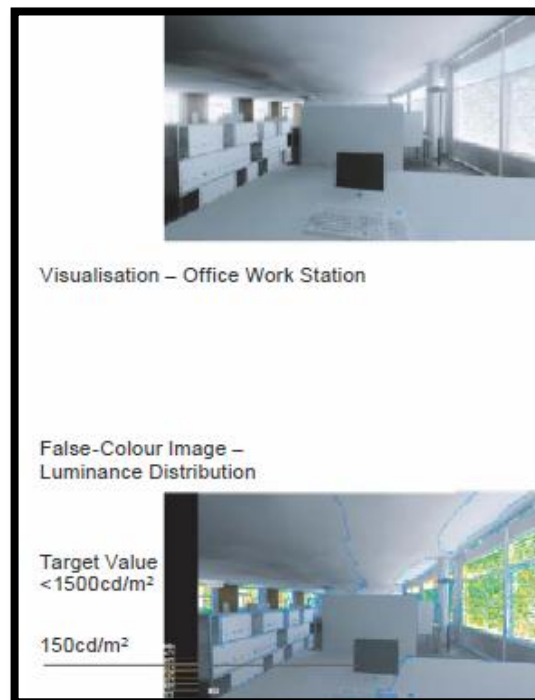
Ilustración 161. Parámetros de transmisión de luz.



(Bauer, 2007)

Si la protección es usada para otros propósitos que no sean evitar el reflejo en los monitores, se puede trabajar de manera más permanente. (Bauer, 2007)

Ilustración 162. Distribución de la luminosidad determinada.

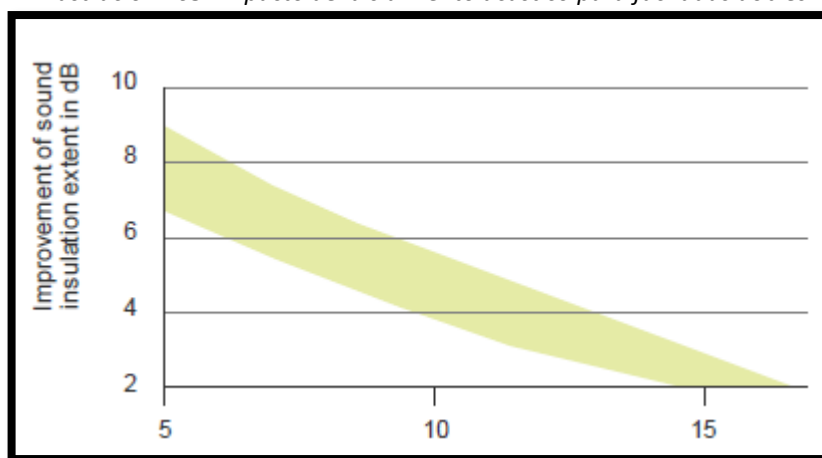


(Bauer, 2007)

5.4.12. **Aislamiento acústico.** El objetivo principal al diseñar un sistema de aislamiento acústico, es que los componentes del edificio tengan incorporados el mecanismo de aislamiento. Esto aplica para el contorno del edificio y las paredes y techos del mismo. Dentro de las estipulaciones de una construcción para lograr una eficiencia energética, los componentes deben ser capaces de manejar varias funciones a la vez: las fachadas, por ejemplo, deben funcionar como medio de absorción de sonido, aún cuando la ventilación de las habitaciones sea por medio de ventanas. (Bauer, 2007)

Para nuevas edificaciones, las fachadas dobles sólo ofrecen dos ventajas: disminución de influencia del viento en los sistemas de protección solar y ventanas de ventilación; y disminuir los niveles de penetración de sonido. (Bauer, 2007)

*Ilustración 163. Impacto del aislamiento acústico para fachadas dobles.*



(Bauer, 2007)

En términos constructivos, se buscó lograr una reducción del ruido de por lo menos 5dB en la fachada del *Neudorf Gateen Duisburg*, sin embargo, las fachadas dobles tradicionales frecuentemente generan excesos de temperatura, por lo que no pudieron ser utilizadas como tal. La solución fue la construcción de una fachada con dos componentes estructurales separados: la parte mayor de la fachada fue una fachada doble tradicional con un sistema de ventilación en la parte posterior y con protección solar en el espacio interior, sin posibilidad de apertura; en la otra pequeña parte se tiene un arreglo cíclico de costillas aislantes de sonido, de las cuales detrás de ellas se encuentran las ventanas que se pueden abrir. Estas costillas están perforadas en la parte inferior, y de manera más delicada en la parte superior para no permitir el paso de agua pluvial. Están colocadas de tal manera que verticalmente se traslapen, para proporcionar protección solar durante todo el año. Se ha demostrado que,

independientemente de la abertura de la ventana, siempre se tiene una reducción de 6dB. Esto representa otra ventaja para el ocupante: la ventana puede ser operada como de costumbre, ya que puede ser abierta parcialmente o totalmente.

*Ilustración 164. Acercamiento de la fachada de Neudorf Gateen Duisburg.*



*(Michael Bauer, 2007)*

### 5.4.13. Ventanería acústica

5.4.13.1. Definición. El sonido es una perturbación o excitación que se propaga a través de un medio elástico, como es el aire. Esta excitación sonora produce una presión dinámica (fuerza por unidad de superficie) sobre nuestro oído, particularmente en el tímpano, o sobre las superficies sobre las que incida, siendo esta presión variable en el tiempo. Cuando este sonido es un sonido no deseado, pasa a ser un ruido, que como ya sabemos, es un agente contaminante capaz de producir enfermedades de tipo psicosomático y fisiológico. Al ser el aire un medio elástico, de comportamiento similar a un muelle, las partículas excitadas sólo se desplazan pequeños trayectos elementales alrededor de su posición de equilibrio, transmitiendo de este modo la perturbación. En condiciones normales de presión y temperatura el sonido se trasmite una velocidad de 340m/s. (ASOVEN, 2006)

El sonido va a incidir sobre un elemento de separación de dos recintos, por ejemplo una pared, hará que dicho elemento vibre, desplazándose y deformándose, transmitiendo dicha perturbación al segundo recinto. En esta transmisión el sonido incidente sufre una

atenuación ya que se produce un gasto de energía al poner en vibración la pared. (ASOVEN, 2006)

La transmisión también podría hacerse por filtración y difracción, a través de orificios y aberturas en el elemento de separación de dos recintos. El aislamiento acústico nos cuantifica las pérdidas que se producen en la transmisión del sonido a través del elemento de separación, si el sonido incidente se ha transmitido a través del aire, el aislamiento a considerar será el aislamiento acústico a ruido aéreo. Se mide por la diferencia entre los niveles de intensidad acústica incidente y transmitida a través del elemento constructivo. (ASOVEN, 2006)

El aislamiento acústico se mide por la diferencia entre los niveles de intensidad acústica incidente y transmitida a través del elemento constructivo. La transmisión del sonido se produce fundamentalmente de dos formas:

- Por difracción: el sonido, al incidir sobre un elemento de separación de dos recintos, hace que dicho elemento vibre, transmitiendo dicha perturbación al interior del recinto.
- Por filtración: a través de orificios y aberturas. (ASOVEN, 2006)

Para el combatir la segunda forma de transmisión del sonido (filtración), es fundamental la clasificación de la ventana en función de la permeabilidad del aire. (ASOVEN, 2006)

Para evitar que el sonido se transmita por filtración a través de los orificios y juntas de la ventana, es indispensable que ésta tenga una baja permeabilidad al aire. La permeabilidad al aire define la cantidad de aire que pasa (por causa de la presión) a través de una ventana o una puerta cerrada. (ASOVEN, 2006)

5.4.13.2. Nivel sonoro. Es el nivel con que el sonido afecta a nuestro oído. Se mide en decibelios, dB(A), que es una unidad logarítmica. 10dB es un incremento por factor de 10 de la energía acústica, percibido por el oído humano como el doble del nivel sonoro anterior. (ASOVEN, 2006)

Tabla 24. Nivel sonoro.

DECIBELIOS	RUIDO	
20dB(A) -	TIC-TAC SUAVE DE UN RELOJ	<b>Nota:</b> Cada aumento de 10dB el oído lo percibe como duplicar el ruido. Igualmente cada disminución de 10dB el oído lo percibe como disminuir a la mitad del ruido anterior.
30dB(A) -	Susurros	
40dB(A) -	Sonidos normales en la vivienda	
50dB(A) -	Conversaciones	
60dB(A) -	Ruido de Oficina	
70dB(A) -	Ruido de camión a 5m.	
80dB(A) -	Ruido de tráfico intenso	
90dB(A) -	Máquinas, claxon	
100dB(A) -	Avión a 100m.	
120dB(A) -	Turbina avión a corta distancia	
> 120dB(A) -	Daños en el cerebro humano	

(ASOVEN, 2006)

5.4.14. Vidrio aislante. Puede definirse como dos o más hojas de vidrio de diversos tipos, separadas por un espacio de aire capturado, deshidratado a presión atmosférica y por lo general de  $\frac{1}{4}$ " ó  $\frac{1}{2}$ " de espesor. Los tipos de vidrios que se emplean en diversas combinaciones son los siguientes: flotado, en plancha o en hoja, con tinte. Para absorción de calor, o de reflexión, cuentan con tratamiento térmico templado, de baja emisividad y laminado; estos también se pueden combinar con películas plásticas, líquido y películas metálicas. En todos los tipos, el vidrio que se use para hojas múltiples debe ser del mismo espesor, con una variación máxima de  $\frac{1}{16}$ ". (Hornbostel, 1999)

5.4.14.1. Valores U. La característica importante del vidrio aislante es su valor como aislante térmico (U) expresado en  $\text{BTU}/\text{pie}^2 \text{ h } ^\circ\text{F}$ . (Hornbostel, 1999)

Con el incremento del acondicionamiento de aire y la necesidad de conservar la energía, ha surgido un problema doble: se necesitan mejores aislamientos y tuvieron que crearse métodos para controlar la ganancia de calor solar para el acondicionamiento del aire; para que la combinación de estos vidrios logren que el vidrio aislante proporcione aislamiento térmico en combinación con el control de la ganancia del calor solar. (Hornbostel, 1999)

5.4.14.2. Propiedades de condensación. El vidrio aislante permite la presencia de una humedad relativa interior mucho mayor, al superar el problema de condensación que, por lo general, ocurre con una hoja sencilla de vidrio. (Hornbostel, 1999)

5.4.14.3. Transmisión de luz. La transmisión de la luz varía con la combinación de los diferentes tipos de vidrio (transparente- transparente, transparente- con

tinte, de reflexión – transparente, etc.) y cada una de estas combinaciones no solo tiene diferente transmisión de luz, sino también diferente reflectancia, ganancia de calor y valor U, además de los coeficientes de sombra. Todas estas distintas características deben evaluarse cuidadosamente al seleccionar un tipo de vidrio aislante. (Hornbostel, 1999)

#### 5.4.14.4. Medidas de precaución.

- El espesor del vidrio requerido para un tamaño dado de abertura lo controlan las cargas de viento.
- Las aberturas en las que han de instalarse vidrio aislante deben ser cuadradas y estar a plomo. Es necesario verificar que tengan el tamaño correcto para que satisfagan las holguras necesarias para el tipo de vidrio aislante por instalar, porque no puede cambiarse el tamaño del vidrio aislante una vez que se ha fabricado.
- El vidrio aislante no debe tener área alguna cubierta con pintura ni papel, porque estas pueden producir trampas de calor que pueden ocasionar su rotura.
- No debe haber contacto directo entre el vidrio aislante y el marco en el que se instale.
- El vidrio con tinte, el vidrio de reflexión y sus diversas combinaciones deben siempre verificarse en cuanto al método correcto de instalación, en referencia a cuál de las caras del vidrio aislante ha de quedar hacia el exterior.
- La colocación de vidrios no debe hacerse nunca a temperaturas inferiores a 40°F (4.44°C) excepto que se tomen precauciones para impedir que se condense la humedad en los rebajos en los que ha de instalarse el vidrio. (Hornbostel, 1999)

### 5.4.15. Doble acristalamiento

5.4.15.1. Definición. El doble acristalamiento está formado por dos vidrios paralelos, separadas entre sí por una cámara de aire o un gas de alta densidad deshidratados, que le confieren unas mejores condiciones de aislamiento térmico. (Ventanas Alemanas)

La separación entre las lunas de cristal, la proporciona un perfil de aluminio, en cuyo interior se introduce el deshidratante, quedando unido a sendas lunas mediante un cordón de butilo que se constituye en la primera barrera de estanqueidad. (Ventanas Alemanas)

La segunda barrera se consigue en el sellado a presión mediante el uso de siliconas a lo largo de todo el perímetro. El conjunto delimita y garantiza un volumen de aire seco entre ambos vidrios. (Ventanas Alemanas)

La doble barrera de sellado permite que la cámara de aire se mantenga en perfectas condiciones con el transcurso del tiempo. El riesgo de una cámara mediocre, es que a los pocos meses de su instalación, se produzca en su interior condensación de vapor de agua, que no se puede limpiar, reduciendo con el tiempo sus efectos aislantes, hasta quedar prácticamente anulados. (Ventanas Alemanas)

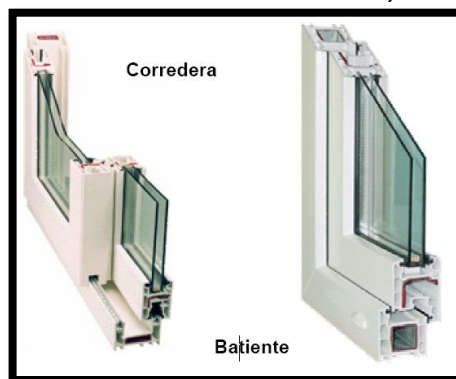
*Ilustración 165. Aluminio con deshidratante.*



*(Ventanas Alemanas)*

La combinación del doble acristalamiento con sistemas europeos residenciales de ventanas de PVC permite ahorros de energía de hasta el 75 % en relación a los sistemas tradicionales de aluminio que emplean vidrios sencillos. Entre los sistemas de apertura que más favorece la estanqueidad en una ventana y los niveles de aislamiento térmico y acústico se destaca el denominado batiente, ya sea con apertura interna o externa. (Ventanas Alemanas)

*Ilustración 166. Sistema de corrediza y batiente.*



*(Ventanas Alemanas)*

## 5.4.16. Comparativo de materiales

Tabla 25. Consumos energéticos de materiales.

Material	Consumo de energía (kWh kg <sup>-1</sup> )	Fuente
PVC	7,19	(Baldasano y Parra, 2005)
Acero	6,70	(EPA, 2004)
Vidrio	2,70	(EPA, 2004)
Aluminio	45,56	(WBG, 2004)
Madera	0,58	Base de datos Simapro5

(Baldasano, 2005)

Tabla 26. Coeficiente de conductividad térmica.

Tipo de ventana	W m <sup>-2</sup> °C <sup>-1</sup>
PVC con acristalamiento doble	0,65
Aluminio sin rotura con acristalamiento doble	0,89
Aluminio con rotura con acristalamiento doble	0,77
Madera con acristalamiento doble	0,68
Madera con acristalamiento simple	1,14

(Baldasano, 2005)

Tabla 27. Estimación de consumo de energía y emisiones CO<sub>2</sub>

	Consumo de energía		Emisión de CO <sub>2</sub>	
	kWh	%	kg	%
Ventana madera, acristalamiento simple	44,7	1,7	13,7	1,2
Ventana madera, acristalamiento doble	74,5	3,6	22,2	2,5
Ventana PVC, 30% PVC Reciclado	214,0	12,3	66,3	9,1
Ventana PVC, 0% PVC Reciclado	253,6	14,2	77,6	10,5
Ventana aluminio, sin rotura, 30% Al reciclado	1.406,5	36,6	613,5	36,5
Ventana aluminio, con rotura, 30% Al reciclado	1.406,5	43,4	613,5	43,3
Ventana aluminio, sin rotura, 0% Al reciclado	1.981,1	44,9	867,9	44,8
Ventana aluminio, con rotura, 0% Al reciclado	1.981,1	51,9	867,9	51,9

(Baldasano, 2005)

Tabla 28. Consumo eléctrico anual calefacción/climatización.

Zona	Tipo de perfil / ventana	Consumo eléctrico anual (kWh a <sup>-1</sup> )	Emisión de CO <sub>2</sub> (kg a <sup>-1</sup> )
El Prat de Llobregat, Barcelona	PVC con acristalamiento doble	28,5	13
	Aluminio con acristalamiento doble (sin rotura)	43,9	19
	Aluminio con acristalamiento doble (con rotura)	32,0	14
	Madera con acristalamiento doble	38,1	17
	Madera con acristalamiento simple	50,9	23
Madrid	PVC con acristalamiento doble	33,6	15
	Aluminio con acristalamiento doble (sin rotura)	51,6	23
	Aluminio con acristalamiento doble (con rotura)	37,6	17
	Madera con acristalamiento doble	44,8	20
	Madera con acristalamiento simple	59,9	27
Alicante	PVC con acristalamiento doble	20,1	9
	Aluminio con acristalamiento doble (sin rotura)	30,9	14
	Aluminio con acristalamiento doble (con rotura)	22,6	10
	Madera con acristalamiento doble	26,8	12
	Madera con acristalamiento simple	35,9	16

(Baldasano, 2005)

## 6. EFICIENCIA ENERGÉTICA

### 6.1. Iluminación artificial

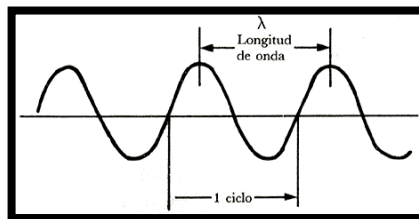
La iluminación es un factor determinante en el diseño de cualquier edificación ya que la misma afectara de manera directa a la productividad del ambiente de trabajo en la edificación. Además es algo indispensable para la funcionalidad de cualquier ambiente, no es lo mismo trabajar en un ambiente bien iluminado que en un ambiente con poca luz, tampoco es lo mismo descansar en un cuarto con mucha luz que en uno con poca luz, es por esta razón que el diseño de iluminación es indispensable para la comodidad de los usuarios de un ambiente.

#### 6.1.1. Color de luz

*«La luz es una forma de energía radiante que se evalúa en cuanto a su capacidad para producir la sensación de la visión» (Westinghouse Electric Corporation, 1985)*

La energía que se logra observar es una porción muy pequeña del espectro electromagnético, la principal diferencia de las ondas electromagnéticas es la frecuencia y la longitud de onda, ya que los demás parámetros como naturaleza y velocidad son muy similares. En la ilustración inferior se muestra la longitud de onda de una determinada onda de luz.

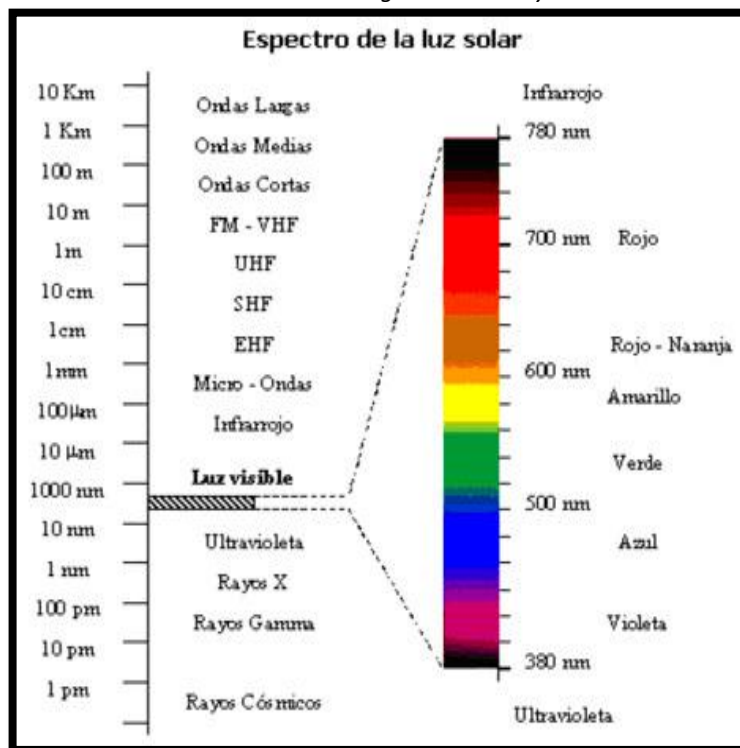
*Ilustración 167. Longitud de onda*



*(Westinghouse Electric Corporation, 1985)*

El color de la luz será determinado por la longitud de onda generada por la fuente de luz. A continuación se presenta la relación entre el color de luz y la longitud de onda:

Ilustración 168. Longitud de onda y color



(Universidad de Sevilla, 2007)

6.1.2. Temperatura de color. La temperatura del color es el parámetro que sirve para describir y medir los diferentes colores de la luz. La temperatura del color se obtiene comparando el color de una fuente luminosa con el de un cuerpo negro (Radiante perfecto). El procedimiento consiste en calentar un cuerpo negro, lo cual ocasiona un cambio de color en el mismo, poniéndose desde rojo claro, naranja, amarillo y finalmente blanco, blanco azulado y azul, la comparación de la luz que emite la fuente luminosa con la temperatura necesaria para llevar el objeto al mismo color de luz es lo que se conoce como la temperatura del color. (Westinghouse Electric Corporation, 1985)

De esta forma si un cuerpo negro hay que calentarlo 1200°K para lograr que tenga el mismo color que la fuente de luz, se dirá que esa luz tiene una temperatura de 1200°K. Es importante mencionar que este parámetro no es aplicable a todas las fuentes, pero en algunos casos se hace una aproximación a éste.

A continuación se presenta una tabla en donde se comparan las diferentes temperaturas del color con colores normalmente conocidos.

Tabla 29. Temperatura del color

<b>Color</b>	<b>Temperatura del color (Grados Kelvin, aproximados)</b>
<b>Cielo azul</b>	10,000 a 30,000
<b>Cielo cubierto</b>	7,000
<b>Luz solar al medio día</b>	5,250
<b>Lámparas fluorescentes:</b>	
- <b>Luz de día</b>	6500
- <b>Blanca fría</b>	4500
- <b>Blanca</b>	3500
- <b>Blanca caliente</b>	3000
<b>Lámpara incandescente “Luz de día”</b>	4000
<b>Lámpara fotográfica</b>	3400
<b>Lámparas incandescentes de servicio general</b>	2500 a 3050
<b>Llama de bujía</b>	1800

(Westinghouse Electric Corporation, 1985)

6.1.3. Eficiencia de la iluminación artificial. Los sistemas de iluminación artificial son uno de los principales consumidores de energía eléctrica, según en el reporte del 2006 de la IEA (International Energy Agency, “agencia internacional de energía”) indica que los consumos de energía debido a los sistemas de iluminación son alrededor del 19% del consumo de energía eléctrica.

Otras fuentes indican que, cuando se incluyen sistemas de calefacción y refrigeración este porcentaje se reduce hasta un 12%, (U.S. Environmental Protection Agency, U.S. Department of Energy). Además la eficiencia de este sistema usualmente no es tomado en cuenta en el diseño de las edificaciones, y es una de las opciones más baratas de modificar.

Un sistema eficiente de iluminación artificial debe ser conceptualizado como un complemento a la luz natural y no como el sistema base de iluminación de un área (siempre y cuando las condiciones lo permitan). Para el diseño de la iluminación artificial de un área se deben de tomar en cuenta los siguientes factores:

- La reflectancia de los materiales del área
- La cantidad y distribución de lámparas
- La eficiencia de los bombillos seleccionados
- Los sistemas de control

En este caso se estudiarán los 4 factores ya que la combinación de estos se verá reflejada en la mejora en la iluminación artificial de una habitación.

#### 6.1.4. Reflectancia de los materiales del área

6.1.4.1. Concepto. La reflectancia de un material es la cantidad de luz que es capaz de reflejar. De esta forma si se desea medir la reflectancia de un material, se debe medir la luz que incide sobre el material y la luz que este refleja y se saca un coeficiente de estos. De la siguiente manera.

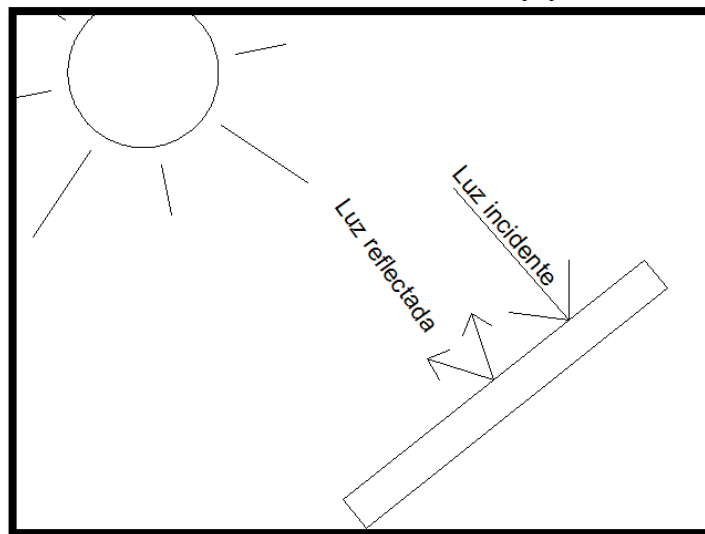
$$REC = \frac{\text{Luz\_reflejada}}{\text{Luz\_incidente}}$$

Donde:

Luz reflejada: Es la luz que refleja un objeto o superficie

Luz incidente: Es la luz que llega a un objeto o superficie

*Ilustración 169. Luz incidente, luz reflejada*



*(Elaboración propia, 2010)*

La luz incidente es la cantidad de luz que llega a la superficie de un objeto por una fuente de iluminación, ya sea natural o artificial, y la luz reflectada es la cantidad de luz que refleja el mismo.

6.1.4.2. Consideraciones de diseño. A continuación se presenta una tabla con los valores recomendados de reflectancia de los diferentes elementos en un área.

Los primeros valores recomendados se refieren a la reflectancia que deben de tener los elementos de una edificación (techo, paredes y piso) y el resto de tablas presentan los valores de reflectancia que se obtienen al utilizar determinados colores y materiales.

*Tabla 30. Valores recomendados de reflectancia*

<b>Elemento</b>	<b>Oficinas</b>	<b>Residencias</b>
<b>Techo</b>	>60%	60%-90%
<b>Paredes</b>	50%-70%	35%-60%
<b>Pisos</b>	20%-40%	15%-35%

*(Kwok & Grondzik, 2007)*

A continuación se presenta una tabla de valores de reflectancia de materiales la cual sirve de guía para su selección.

*Tabla 31. Valores de reflectancia de materiales*

<b>Material</b>	<b>Reflectancia</b>
<b>Aluminio</b>	85%
<b>Asfalto</b>	5%-10%
<b>Ladrillo</b>	10%-30%
<b>Concreto</b>	20%-30%
<b>Grava</b>	20%
<b>Agua</b>	30%-70%
<b>Vegetación</b>	5%-25%

*(Kwok & Grondzik, 2007)*

A continuación se presenta una tabla con valores de reflectancia de colores que sirve de guía para seleccionarlos.

*Tabla 32. Valores de reflectancia de colores*

<b>Color</b>	<b>Reflectancia</b>
<b>Blanco</b>	80%-90%
<b>Celeste</b>	80%
<b>Amarillo</b>	75%
<b>Blanco hueso</b>	60%
<b>Azul claro</b>	55%
<b>Verde claro</b>	50%
<b>Café claro</b>	50%
<b>Verde manzana</b>	40%
<b>Rojo-Anaranjado</b>	30%
<b>Rojo, Azul y gris oscuros</b>	15%
<b>Negro</b>	5%

*(Kwok & Grondzik, 2007)*

### 6.1.5. Cantidad y distribución de lámparas.

6.1.5.1. Concepto. A continuación se presenta el método de cálculo de los lúmenes, el cual presenta una serie de pasos sencillos para determinar la cantidad de lámparas necesarias para lograr la iluminación correcta de ambientes interiores. Se calculan ciertos valores preliminares antes de poder determinar en número de lámparas.

6.1.5.2. Consideraciones de diseño. A continuación se presentan los pasos que se deben de seguir para determinar la cantidad de lámparas.

1. Determinar el coeficiente de utilización: El coeficiente de utilización está definido como la cantidad de lúmenes que llegan al plano de trabajo (plano horizontal a 75cm del suelo). Este factor considera la eficacia y la distribución de las luminarias. Para obtenerlo se debe de calcular la relación de la cavidad del local, que considera la forma geométrica del local.

Para lámparas empotradas en el techo

$$RCL = \frac{5 * CL(Largo + Ancho)}{Largo * Ancho}$$

(Westinghouse Electric Corporation, 1985)

Donde

CL=Cavidad del local (Alto del local-Plano de trabajo)

Para lámparas que cuelgan

$$RCT = RCL \left( \frac{Ht}{H} \right)$$

(Westinghouse Electric Corporation, 1985)

Donde:

Ht= la altura del techo del local a la posición de las luminarias

H= la distancia del plano de trabajo a las luminarias.

Con esta información se debe de recurrir a las tablas provistas por los fabricantes para determinar el coeficiente de utilización.

2. Determinación del factor de pérdidas totales: Existen ciertos factores que ocasionan pérdida de luz, estos factores son normales en cualquier situación y son ocasionados por el uso normal de las lámparas. Este efecto se debe de evaluar ya que ocasiona una disminución en el nivel de luz. A continuación se presentan los valores de factores y el valor propuesto a utilizar. Estos valores pueden tener una pequeña variación dependiendo del mantenimiento que se le dé al sistema de iluminación.

*Tabla 33. Valores predeterminados de pérdidas totales*

<b>Factor</b>	<b>Valor</b>
<b>Rendimiento de reactancia</b>	0.95
<b>Factor de caída de tensión</b>	0.99
<b>Variación de la reflectancia en las luminarias</b>	0.98
<b>Por lámparas fundidas</b>	0.95
<b>Cambios por temperatura</b>	1.00
<b>Formar parte del sistema de ventilación</b>	1.00
<b>Disminución de la emisión luminosa</b>	0.93

<b>Degradación por suciedad</b>	0.90
<b>Factor de pérdidas totales</b>	0.732

(Westinghouse Electric Corporation, 1985)

El factor de pérdidas totales se obtiene multiplicando todos los factores considerados en la tabla. (Westinghouse Electric Corporation, 1985)

- Determinar el nivel de iluminación deseado: Cada ambiente adentro de una edificación tiene diferentes necesidades y diferentes usos, por lo que se deberá de utilizar un nivel de iluminación diferente, que responda a los mismos. A continuación se presenta un listado de diferentes ambientes y los niveles de iluminación recomendados que se deben de tener en ellos. (Se puede consultar otras fuentes como los diferentes manuales de iluminación que existen) (Lithonia Lighting, 2010).

Tabla 34. Niveles de iluminación deseados

Lugar	Nivel de iluminación (luxes)	Lugar	Nivel de iluminación (luxes)
Zonas de circulación	150	Oficinas normales, mecanografiado	500
Oficinas generales extensas	750	Salas de conferencia	300
Salas de dibujo	750	Dormitorios	50
Cabeceras de cama	200	Baños general	100
Baños, lavamanos	500	Cuartos de estar, salas, etc.	100
Lectura	500	Cocinas general	300
Cocinas, zonas de trabajo	500	Cuartos de trabajo o estudio	150
Pasillos	100	Parqueos	150

(Westinghouse Electric Corporation, 1985)

- Cálculo de la cantidad de luminarias: Para determinar la cantidad de luminarias se debe utilizar la siguiente fórmula:

$$N = \frac{E * S}{\Phi * L * Cu * FPT}$$

(Westinghouse Electric Corporation, 1985)

Donde:

E: Nivel de iluminación deseado

S: Área

$\Phi$ : Luminosidad de cada lámpara

L: Número de lámparas por luminaria

Cu: coeficiente de utilización

FPT: Factor de pérdidas totales

- Distribución de luminarias: Se debe lograr una distribución lo más uniformemente posible, para evitar puntos sin iluminación. La colocación de lámparas se puede realizar de acuerdo al criterio del diseñador.

### 6.1.6. Eficiencia de bombillos seleccionados

6.1.6.1. Concepto. Este ítem evaluará la eficiencia en la producción de lúmenes de un bombillo, se medirá determinando la relación que existe entre los watts de entrada al bombillo y los lúmenes producidos por el mismo. De acuerdo a *The green studio handbook* estos valores deben de estar entre 20 y 120 (lumens/watt) dependiendo del tipo de bombillo a analizar, entre más alto es el valor más eficiente es el bombillo.

6.1.6.2. Consideraciones de diseño. La eficiencia de un bombillo está en función de la cantidad de lúmenes que produce y la cantidad de energía (medida en watt) que consume por lo que:

$$EFB = \frac{\text{Lumenes}}{\text{Watt}}$$

Donde:

Lumen: la cantidad de lúmenes emitidos por un bombillo

Watt: la cantidad de lúmenes consumidos por un bombillo

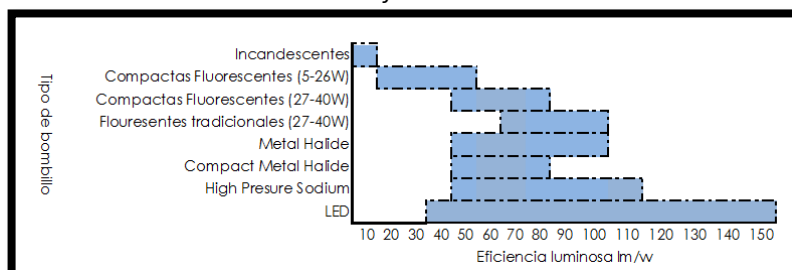
EFB=Eficiencia de bombillo

Por lo que para comprar la eficiencia de dos bombillos sin importar el tipo de tecnología que usen se deberá de guiar por este parámetro.

6.1.6.3. Tipos de bombillas. Las bombillas han sido clasificadas usualmente en incandescentes, halógenas, fluorescentes, de alta intensidad (Vapor de mercurio, Sodio, Metal Halide, etc.) y con el desarrollo de la tecnología se han generado un nuevo tipo de lámparas llamado LED.

A continuación se presenta una gráfica en donde se dan valores aproximados de las eficiencias obtenidas con diversos bombillos.

*Ilustración 170. Eficiencias de bombillos*



*(Elaboración propia, 2010)*

6.1.6.3.1. *Bombillas incandescentes.* Estas bombillas funcionan calentando delgados cables de tungsteno hasta que el mismo brilla. Este tipo de bombillas están hechas en vidrio sellado del cual el aire es extraído y se llena la bombilla con un gas inerte, para prevenir que el tungsteno se evapore (Ricketts, 2001).

*Ilustración 171. Bombilla incandescente*



*(General Electric, 2010)*

Estos bombillos generan luces entre el espectro amarillo y rojo, el color que se genera depende de la cantidad de voltios del bombillo, entre menos voltaje más amarilla la luz y entre más voltaje más roja la luz.

Los fabricantes de estos bombillos le dan tratamientos especiales a los mismos para lograr efectos y colores especiales, por ejemplo se aplica una textura similar al sandblast para

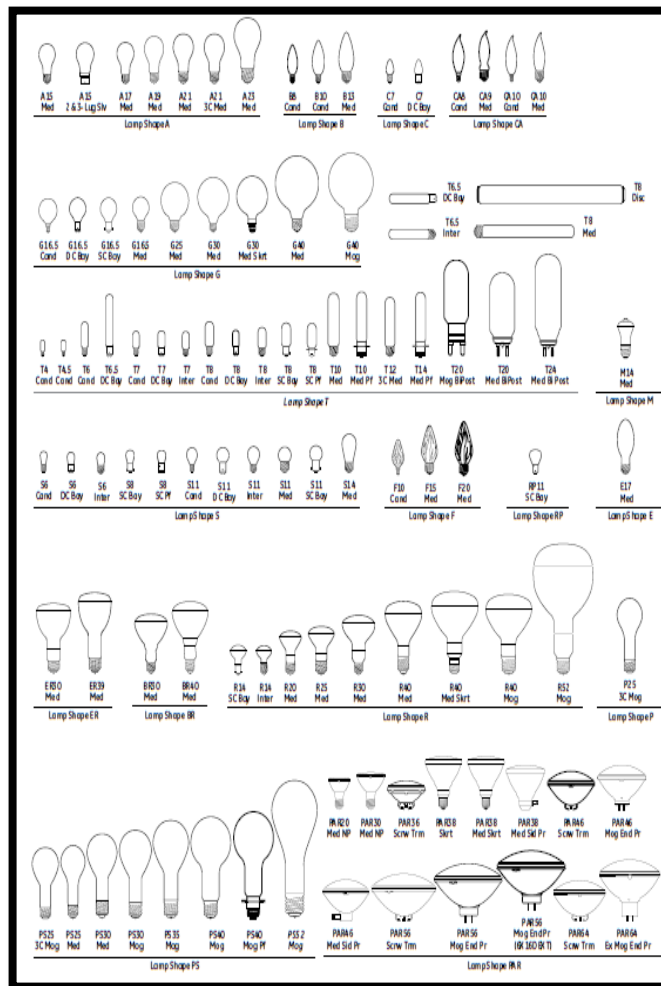
reducir el brillo de la lámpara o se aplica un filtro azul para lograr luz de color blanca, etc. (Ricketts, 2001)

En un bombillo incandescente la luz es generada al calentar el filamento, mientras más se calienta el filamento más eficiente es el bombillo para convertir la electricidad en luz.

Sin embargo entre más se caliente el filamento se disminuye la vida útil de la lámpara, entonces en el diseño de los mismos se debe crear un balance entre eficiencia y vida útil. Este tipo de bombillas es de los menos eficientes que existe ya que únicamente convierte el 10% de la electricidad en luz y el 90% restante lo convierte en calor. (General Electric, 2010)

A continuación se presenta una imagen con los diversos tipos de bombillos incandescentes.

Ilustración 172. Tipos de bombillas incandescentes



(General Electric, 2010)

6.1.6.3.2. *Bombillas fluorescentes.* Estas bombillas son tubos sellados rellenos con algún tipo de gas, por ejemplo Argón, Vapor de mercurio, neon, etc. Este tipo de bombillas están forradas en el interior con una capa de fósforo el cual, al ser bombardeado por la luz ultravioleta, genera luz visible al ser humano. Las mismas presentan grandes ventajas:

- Bajo costo de operación
- Larga vida útil
- Buena calidad de luz
- Adaptabilidad a las condiciones, se cuenta con una gran variedad de lámparas que usan este tipo de bombillos y el diseñador podrá seleccionar la que más se adecue.

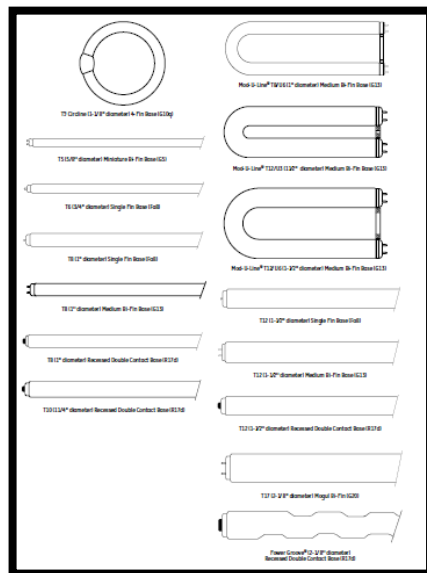
En la actualidad este tipo de bombillos son los más utilizados en oficinas y ambientes de trabajo. Es importante resaltar que para usar este tipo de bombillos existen dos posibilidades en la primera se debe de utilizar con un balastro, ya que la electricidad que consumen tiene un voltaje diferente al de la corriente normal, y en la segunda los bombillos fluorescentes compactos pueden sustituir directamente a un bombillo incandescente, sin la necesidad de un balastro.

Al utilizar estas bombillas se ahorra hasta un 77% de energía obteniendo la misma cantidad de luz que la de una bombilla incandescente, además tiene una vida útil 10 veces más larga que una bombilla incandescente. (General Electric, 2010)

A mediano plazo se espera que este tipo de bombillas sustituya a las incandescentes, ya que no es necesario cambiar las lámparas para que la iluminación sea más eficiente.

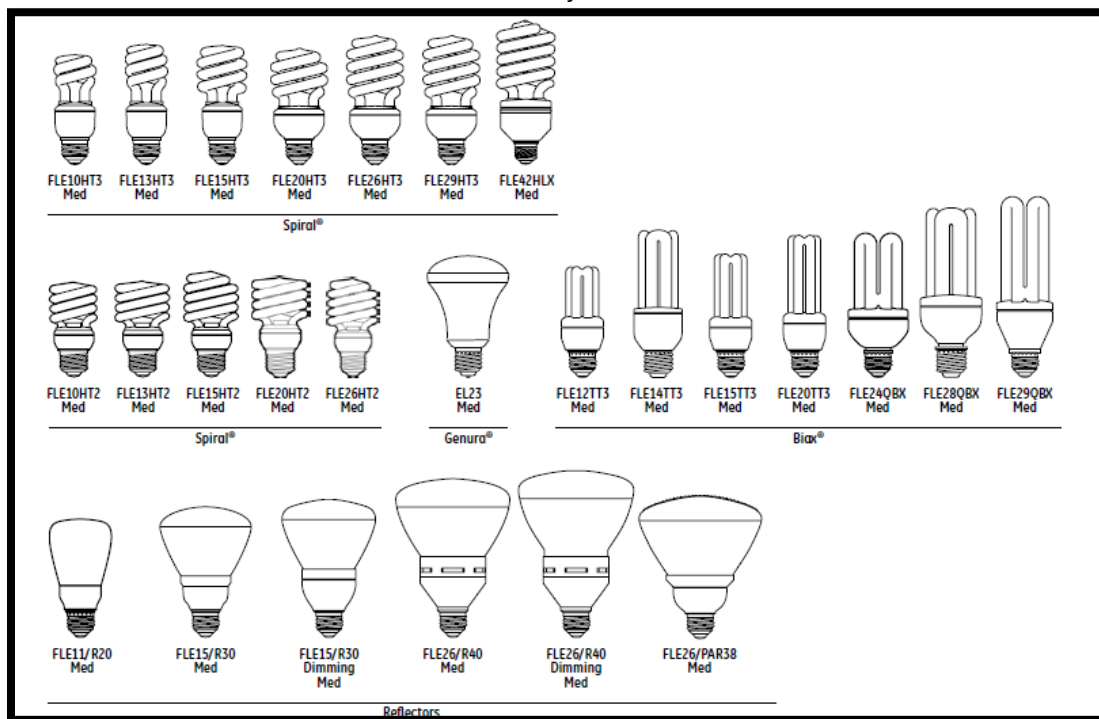
A continuación se presentan dos imágenes de bombillas fluorescentes, en la primera se observan bombillas fluorescentes que necesitan balastro y en las segundas se observan bombillas fluorescentes que no necesitan balastro.

Ilustración 173. Bombillas fluorescentes con balastro.



(General Electric, 2010)

Ilustración 174. Bombillas fluorescentes sin balastro.



(General Electric, 2010)

#### 6.1.6.3.3. *HID Lámparas de alta intensidad.* Este tipo

de bombillas generan energía cuando pasa corriente eléctrica a través de un vapor metálico el cual está contenido en un tubo sellado de vidrio o de material cerámico. Estas lámparas operan a diferentes presiones y corrientes eléctricas. Usualmente estos bombillos están disponibles en 3 variedades.

- Vapor de mercurio
- Metal – Halide
- Sodio a alta presión

Usualmente estos son los tipos de bombillas más eficientes ya que generan mayor cantidad de lúmenes consumiendo menos energía, tienen una vida útil similar a las lámparas fluorescentes, y que se obtiene una fuente de luz muy fuerte a partir de la utilización de un bombillo muy pequeño. En este caso existe una combinación de factores que vuelven más eficientes las bombillas por ejemplo no usan fósforo para generación de la luz, los electrodos están cerca y los gases que contiene las mismas están presurizadas. (Sylvania)

Vale la pena mencionar que una de las desventajas de las bombillas HID es que necesitan un tiempo para calentar y lograr su máxima capacidad de iluminación, incluso una pequeña variación en la potencia entregada a la lámpara puede ocasionar que se deba de reiniciar. Este tipo de bombilla es usualmente usada en campos deportivos y en lugares donde una alta intensidad de luz es deseada.

**Vapor de mercurio.** Ésta es la tecnología de HID más antigua. Se forma un arco de mercurio que produce una luz azulada, la cual provoca texturas y tintes de color no reales, por lo que usualmente están acompañadas de filtros de colores para mejorar este efecto. Estas se pueden usar en lugares donde la calidad del color no es indispensable.

**Metal Halide.** Ésta es una de las fuentes más eficientes de luz blanca, ya que tienen compuestos químicos que proveen la mayor cantidad de luces en la región del espectro, ofrecen una larga vida útil y proveen de excelente luz para ver los objetos tal y como son. Son recomendadas para el uso exterior y el interior en aplicaciones comerciales.

- **Sodio de alta presión.** Fueron desarrolladas por su eficiente consumo energético, además que tienen una larga vida de hasta 40,000 hrs. Éstas tienen la gran desventaja que no provocan una adecuada percepción de los colores, por lo que su uso se ha visto reducido a exteriores y a la industria en la cual la eficiencia energética y larga vida son prioridad.

#### 6.1.6.3.4. LED, diodo emisor de luz

«Un led es un dispositivo semiconductor (diodo) que emite luz incoherente de espectro reducido cuando se polariza de forma directa la unión PN del mismo y circula por él una corriente eléctrica.» (Novo led)

El color o temperatura del LED dependerá del material con que se construya. Este tipo de bombillos tienen la fama de ser los más eficientes, pero no siempre es así, por lo cual siempre se debe determinar la eficiencia del bombillo, en muchos casos tienen una eficiencia menor a la de una bombilla compacta fluorescentes y un costo mayor.

Existen muchísimos bombillos y lámparas LED, algunos de los cuales se presentan a continuación.

Ilustración 175. Lámparas LED



(Luxlite, 2010)

6.1.6.3.5. Comparación de bombillos. A continuación

se presenta una tabla tomada del BUILDING DESING AND CONSTRUCTION HANDBOOK la cual compara las principales características de los bombillos y su calificación.

Tabla 35. Comparación de bombillos.

Type of lamp	Lamp characteristics									
	Color rendering	Initial efficacy, lm/W	Lumen maintenance (mean lm)	Rated average life, hr	Degree of light control	Input power required for equal light	System operating cost for equal light	Initial equipment cost for equal light	Total owning and operating cost	
	Very important	High (80 up)	High (85% up)	Longest (15,000-25,000)	High	Lowest	Lowest	Lowest	Lowest	Lowest
Incandescent	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Tungsten-halogen	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Fluorescent	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Clear mercury	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Coated mercury	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Clear metal halide	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Coated metal halide	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Clear high-pressure sodium	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Coated high-pressure sodium	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•

(Ricketts, 2001)

En la tabla se observan los diferentes tipos de bombillas y se marca con un asterisco las características que muestra la bombilla en términos de calidad, de color, eficacia, vida útil, etc.

6.1.7. **Sistemas de control de iluminación.** Un sistema de control de iluminación, permite programar con autoridad para que se encienda, apaga, y atenúa, la iluminación de una edificación.

Existen varios tipos de sistemas de control de iluminación, entre los que destacan:

- Automáticos
- Programables

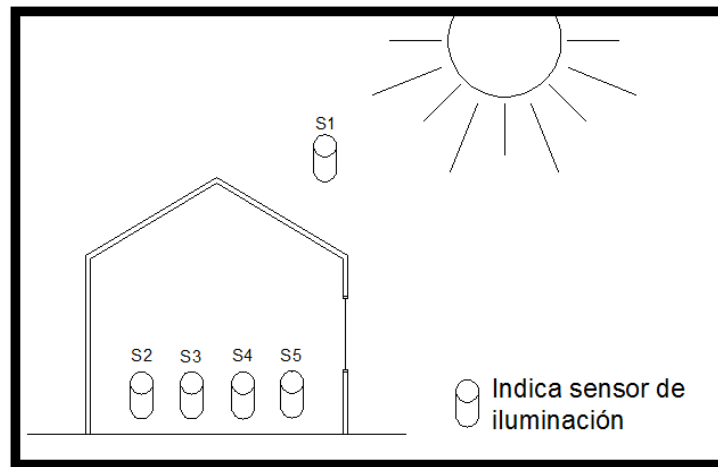
Los sistemas de control de iluminación automáticos son aquellos que toman decisiones acerca de la iluminación en función de la cantidad de luz que existe en la habitación y del uso que se le de dando a la misma. Por ejemplo si una habitación está vacía se deberán apagar por completo las luces, pero si tiene gente y no entra la suficiente luz para el valor de iluminación deseado, deberá ser capaz de proporcionar la luz complementaria para llegar al valor de iluminación deseado. Otra forma de explicarlo sería que el sistema de control de iluminación automático es aquel que mantiene constante la cantidad de luz adentro de una habitación en uso.

Los sistemas de control de iluminación programables son aquellos en los que se puede programar el uso de la iluminación dependiendo de los horarios de uso de las edificaciones, o dependiendo del uso que le quiera dar el usuario, pero que no toman en cuenta la iluminación natural.

## 6.2. Iluminación natural

6.2.1. **El factor de iluminación natural.** El factor de iluminación natural es la relación que existe entre la iluminación en cualquier punto adentro de la edificación con la iluminación existente en cualquier punto afuera de la edificación. Esta relación puede ser expresada tanto en un porcentaje o como un decimal. En esta guía se utiliza el porcentaje.

Ilustración 176. Factor de iluminación natural



(Elaboración propia, 2010)

En la ilustración para lograr medir el factor de iluminación natural, se deben de colocar sensores a lo largo de la edificación, en los diferentes puntos de interés, así como un sensor en la parte exterior. Posteriormente se calcula la relación existente entre la información obtenida por el sensor exterior y cada uno de los sensores ubicados en el interior.

Con la siguiente fórmula

$$FN = \frac{S_n}{S_1}$$

En donde:

FN= Factor de iluminación natural

Sn= los valores obtenidos de iluminación en los sensores del 2 al 5, (lúmenes)

S1= el valor obtenido en el sensor 1, (lúmenes)

6.2.2. Factores de iluminación natural recomendados. En la siguiente tabla se presenta una serie de valores sugeridos del factor de iluminación natural para residencias.

Tabla 36. Factores de iluminación natural recomendados

<b>Espacio</b>	<b>Promedio</b>	<b>Mínimo</b>
<b>Estudio, comedor, áreas de estar</b>	5%	0.6%
<b>Cocina</b>	2%	0.6%
<b>Sala</b>	1.5%	0.5%
<b>Cuarto</b>	1%	0.3%

(Kwok & Grondzik, 2007)

6.2.3. ¿Qué influye el factor de iluminación natural? Existe una gran variedad de factores que inciden en los resultados del factor de iluminación natural. La mayoría de ellos están relacionados con la facilidad con la cual ingresa la luz a las diferentes habitaciones de la edificación. Sin embargo, hay otros factores que son menos aparentes como los colores de las paredes y la ubicación de la habitación que son igual de importantes.

A continuación se presenta un listado de los factores que inciden en la iluminación natural con una serie de principios para mejorarlo.

- Tamaño y ubicación de ventanas y tragaluces. Entre más grande sea una ventana o un tragaluz más luz entrara mejorando la iluminación adentro de la habitación. Se debe considerar una ubicación inteligente para dejar entrar suficiente luz y a la vez evitar que entre mucho calor a una habitación. Por ejemplo se deben de evitar posiciones en sentido este u oeste y deben predominar norte y sur. Se debe tomar en cuenta la ubicación de las ventanas para permitir que entre suficiente luz y también evitar que entre mucho calor. Para una amplia descripción de diversos tipos de ventanas referirse al apartado de ventanas en el capítulo materiales *Greenspec*.

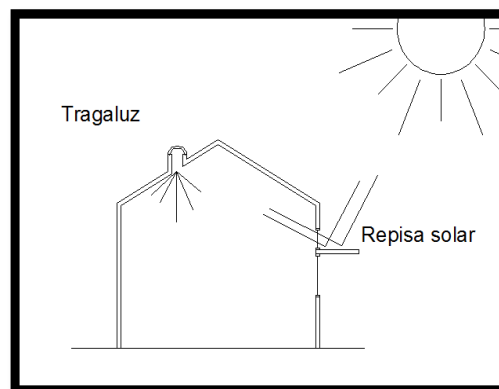
- Geometría del cuarto. El tamaño y configuración geométrica de un cuarto generara mejores o peores factores de iluminación. Por ejemplo un cuarto muy largo con ventanas en un solo lado no será la mejor opción ya que se deberán de colocar ventanas muy grandes para lograr un factor de iluminación natural adecuado. Otro factor importante es la altura del techo ya que un techo de gran altura permitirá el ingreso de luz al cuarto más fácilmente.

- Tipo de ventanas del cuarto. Existen ciertos recubrimientos que se pueden colocar para volver áreas públicas en privadas y aun así dejar pasar la luz, un ejemplo de esto es el sand blast. Esto será de gran ayuda ya que permitirá la obtención de áreas privadas y públicas en una edificación sin limitar la iluminación natural. Existe una gran variedad de opciones que son exploradas en el apartado de ventanas en el capítulo materiales *Greenspec*.

- Reflectancia de los materiales. El contar con paredes claras hace que la luz se aproveche de una mejor manera ya que los colores de las paredes hacen que la luz se refleje.

- Creación de elementos para mejorar la distribución de luz adentro de la edificación. Existen diversos elementos que pueden ayudar a mejorar la transmisión de la luz adentro de una edificación por ejemplo la creación de tragaluzes, librerías de sol, etc.

*Ilustración 177. Elementos para mejorar la distribución de luz*



*(Elaboración propia, 2010)*

- Creación de zonas con la misma iluminación. Al crear zonas que necesitan la misma iluminación, por ejemplo unir todos los cuartos en un lado del edificio, permite lograr un diseño más eficiente ya que se reúnen áreas con características similares y se pueden implementar mejoras en conjunto.

**6.2.4. Comentarios.** La iluminación natural es un factor muy importante por su impacto sobre el consumo energético en una vivienda o edificación. Por eso se utilizó este parámetro como el único para evaluar la iluminación natural adentro de una edificación.

A continuación se presentan una serie de estrategias de mejorar la iluminación natural, saber manejar, diseñar y administrar las diferentes estrategias conllevará a una mejora en la eficiencia energética. Es importante recalcar el hecho de que no se trata

únicamente de mejorar la entrada de luz a una edificación. Se debe mejorar la iluminación, sin aumentar la temperatura de la edificación.

Es importante saber que la combinación de técnicas para mejorar el factor de iluminación natural es posible ya que los valores logrados por una técnica son sumados a los usados por otras técnicas.

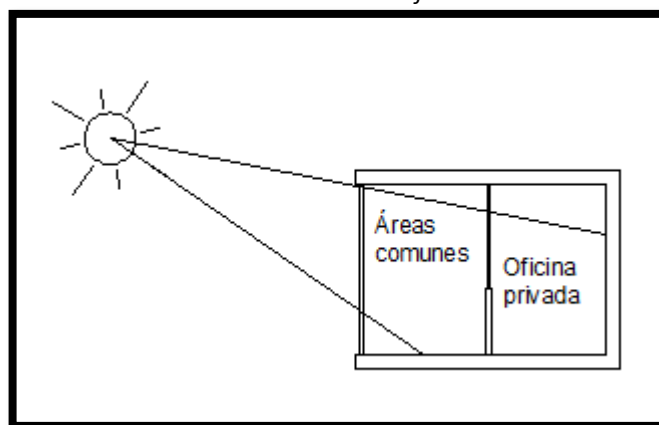
## 6.2.5. Técnicas para la mejora de la iluminación natural

6.2.5.1. Zonificación de acuerdo a las necesidades de iluminación. Este proceso consiste en analizar las necesidades lumínicas de las diferentes áreas que existirán en una edificación, y luego agrupar las áreas con necesidades similares para así poder optimizar los recursos de la iluminación natural en estas. Se deben considerar tres variables principales en cada área: la función, los horarios de uso y la localización. El objetivo es lograr tener áreas con necesidades lumínicas similares y agruparlas para optimizar el diseño de la iluminación.

6.2.5.2. Diseño por medio de la zonificación. Se debe seguir un proceso ordenado para la zonificación de la edificación, el cual debe incluir los siguientes puntos:

- Hacer un listado de todas las áreas de la edificación
- Anotar las características de la función y horarios de uso de cada una de ellas

Ilustración 178. Zonificación

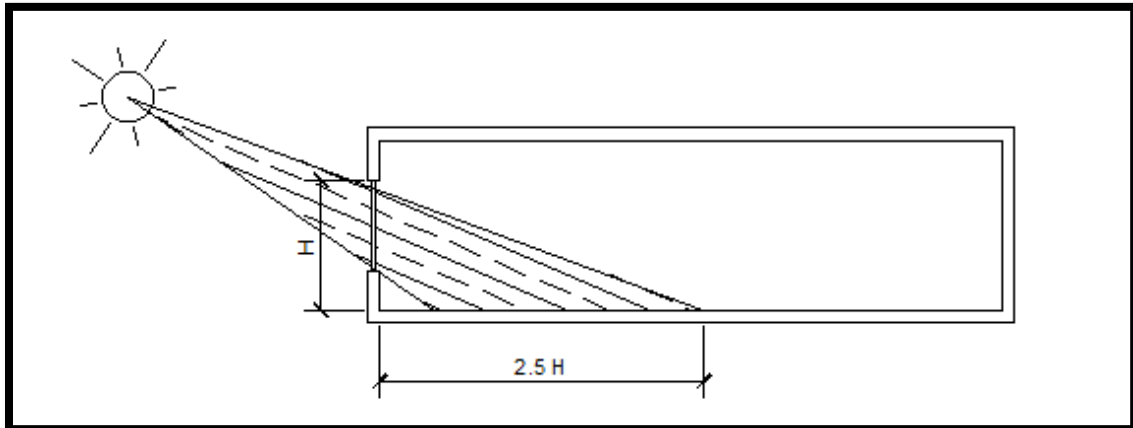


(Elaboración propia, 2010)

### 6.2.5.3. Reglas básicas para el diseño de ventanas

- Regla 2.5h. La luz entra una distancia igual a 2.5 veces la altura desde el suelo hasta la apertura de la ventana.

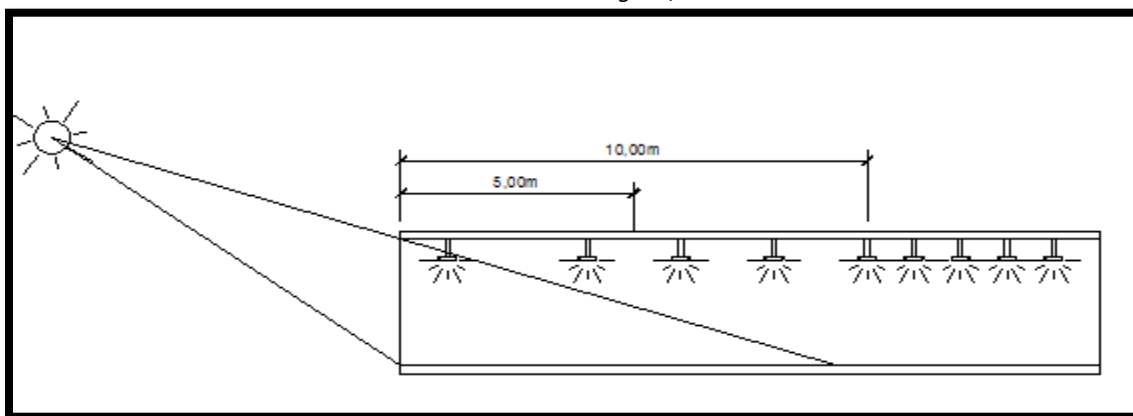
Ilustración 179. Regla 2.5H



(Elaboración propia, 2010)

- Regla 5/10. Los primeros 5m de luz que entran por una ventana no necesitan de ningún tipo de luz eléctrica, los 5m siguientes pueden contar con alguna luz complementaria, y más allá de 10m se deberá de iluminar de forma eléctrica, estas consideraciones sirven para ventanas de edificios y viviendas con techos alrededor de 3m.

Ilustración 180. Regla 5/10



(Elaboración propia, 2010)

6.2.5.4. Iluminación cenital. Consiste en la creación de aperturas en un plano superior al que interesa iluminar. Se debe de mantener un balance entre la cantidad de luz que está entrando a la habitación y la radiación solar que esta brinda, ya que se puede generar un lugar bien iluminado pero con un aumento a la temperatura que será contraproducente. Por lo tanto en este tipo de iluminación se debe considerar usar técnicas para la disipación de la luz directa. Una buena técnica consiste en la creación de entradas verticales que se reflejen sobre una superficie con alta reflectancia y así distribuir la luz de manera indirecta y no directa.

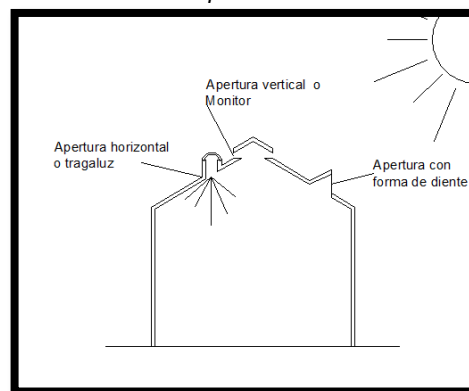
Este tipo de técnica facilita la utilización de varios espacios ya que provee una gran fuente de iluminación sin la necesidad de estar cerca de una fachada.

#### 6.2.5.4.1. Tipos de iluminación cenital

Existen tres tipos de iluminación cenital.

- Aperturas verticales
  - Son aperturas que se encuentran en un plano paralelo al que se desea iluminar, en donde la luz entrará de forma vertical.
- Aperturas horizontales
  - Son aperturas que se encuentran perpendiculares al plano que se desea iluminar, en donde la luz entrará de forma horizontal.
- Aperturas con forma de diente
  - Son aperturas que varían su forma y ubicación es una combinación entre las dos anteriores.

*Ilustración 181. Tipos de iluminación cenital*



*(Elaboración propia, 2010)*

### Método de diseño

- Determinar los requerimientos de luz natural
- Determinar el tipo de ventana a utilizar
  - Apertura horizontal o tragaluz
  - Apertura vertical o monitor
  - Aperturas con forma de diente
- Determinar el tamaño de la apertura necesaria con la siguiente formula

$$A = \frac{FN * Ap}{AE} \text{ (Kwok \& Grondzik, 2007)}$$

Donde:

A= Área de la ventana necesaria

FN= factor de iluminación natural deseado

Ap= Área de lugar con la iluminación deseada

AE= efectividad de apertura de acuerdo a la siguiente tabla

*Tabla 37. Efectividad de aperturas*

Tipo de apertura	Efectividad de apertura
Monitores verticales	0.20
Aperturas con forma de diente	0.33
Aperturas horizontales	0.50

*(Kwok & Grondzik, 2007)*

La iluminación cenital es una herramienta para cualquier edificación pero debe de controlarse muy bien, ya que puede ayudar mucho a la iluminación, pero también traer mucho calor a la misma, por lo que se recomienda utilizar monitores verticales, o elementos con algún tipo de protección para evitar el ingreso de la luz directa.

6.2.6. Iluminación lateral. La iluminación lateral es un aspecto básico por lo que es importante diseñarla de manera adecuada. Se debe de buscar crear aperturas orientadas al norte y al sur ya que en estas direcciones se limita el acceso de iluminación directa que puede aumentar la temperatura de la habitación. Otro paso importante es definir el tipo de ventana que se desea utilizar, se puede tomar de guía lo planteado en el apartado de ventanas del capítulo materiales *Greenspec*.

#### 6.2.6.1. Método de diseño

- Seguir los criterios de zonificación
- Determinar la longitud necesaria de iluminación
  - Por medio de la regla de 2.5h determinar la altura necesaria de la ventana. Si la altura es mayor que la altura del piso, se deberá de considerar alguna otra estrategia de iluminación
- Determinar el ancho de la ventana con la siguiente formula

$$Ancho = \frac{FN * Ap}{ALTO * F} \quad (\text{Adaptación de Millet and Bedrick, 1980})$$

Donde:

Ancho= ancho de la ventana necesaria

FN= factor de iluminación natural deseado

Ap= Área de lugar con la iluminación deseada

Alto=Alto de la ventana determinado en el paso anterior

F= 0.2 si el FN es para un área normal ó 0.1 si el FN es el mínimo

- Verificar que las dimensiones seleccionadas de la apertura son aptas de acuerdo a la arquitectura planteada.
- Eliminar obstáculos que impidan la propagación de la luz en el área iluminada.

6.2.7. Diseño de ventanas de acuerdo a los requerimientos del FHA. El instituto de fomento de hipotecas aseguradas en el documento “*normas de planificación y construcción para casos proyectados*” presenta una forma para el cálculo del área mínima de las ventanas mediante la fórmula:

$$\text{Área de ventanas} = \text{SAP} * \text{Área del cuarto}$$

SAP=Relación planteada por FHA

El factor SAP relaciona el área del cuarto con el área en las ventanas de acuerdo a la necesidad de cada área, en donde el FHA propone ciertos valores mínimos dependiendo del área a iluminar.

Tabla 38. Valores de SAP

Área	SAP
Dormitorio	12%
Sala-Comedor	15%
Cocina	20%
Baños	10%
Lavandería	20%
Estudio, biblioteca, sala de juegos	20%
Estacionamientos	10%

(Instituto de fomento de hipotecas aseguradas)

6.2.8. **Comentarios.** El factor de iluminación natural evalúa la eficiencia del diseño de una edificación en cuanto al ingreso de la iluminación natural. Como se mencionó con anterioridad, este factor puede ser mejorado por una gran variedad de técnicas que dependerán del criterio e imaginación del diseñador. Todas las técnicas enfocadas en la mejora de la iluminación natural se verán reflejadas en el factor de iluminación natural.

Se debe tener especial precaución en el tamaño, forma y orientación de las aperturas, ya que de no diseñarse de forma correcta pueden provocar áreas muy calientes o con resplandores muy grandes, por lo que se debe evitar el ingreso de luz directa en al no ser posible se debe utilizar técnicas para volverla en luz indirecta.

## 6.3. Equipo con bajo consumo energético

6.3.1. **Concepto.** A nivel mundial existe un sello que distingue a los productos amigables con el ambiente, el sello Energy Star®. Los productos Energy Star® son productos iguales o mejores que los tradicionales con la única diferencia que usan menos energía. Para obtener esta categoría deben cumplir con estrictas normas de eficiencia energética impuestas por la agencia de protección ambiental de Estados Unidos de Norteamérica. Ya que estos productos usan menos energía esto se verá reflejado en el consumo energético de la edificación.

6.3.2. **¿Por qué este método de medición?** La mayoría de productos comprados en Guatemala vienen de marcas internacionales las cuales se regulan por normativas extranjeras. Por la cercanía a Estados Unidos de Norteamérica se escogió utilizar el sello Energy Star®, estos productos presentan una gama de características para la protección del medio ambiente, que son regulados y actualizados por el departamento de energía y la agencia de protección del medio ambiente de (EPA).

Es importante mencionar que este punto es de menor importancia para el constructor y el desarrollador, pero de mayor importancia para el usuario final ya que al final el constructor y/o desarrollador normalmente no son los encargados de equipar una edificación, pero pueden y deben presentar estas opciones como las mejores opciones en el momento de la compra de equipos para la edificación.

## 6.4. Ventilación

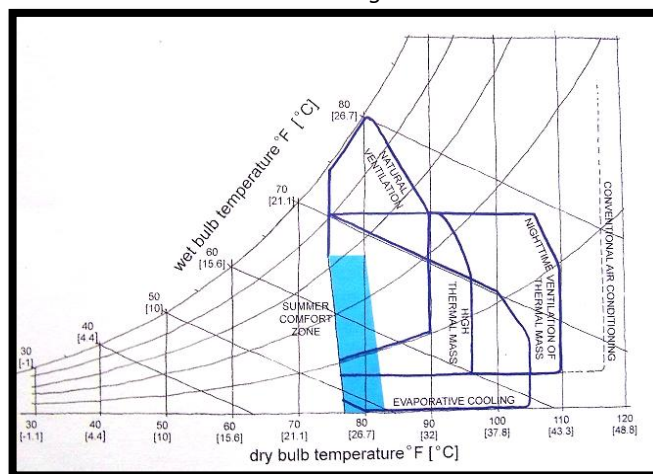
6.4.1. **Concepto.** La mejor manera de reducir el consumo de energía eléctrica por la utilización de equipos de ventilación se logra optimizando los recursos de ventilación natural. No en todos los casos es posible eliminar la ventilación mecánica (aire acondicionado / calefacción) pero se debe tratar de aplicar siempre la ventilación natural ya que al utilizarla se reducirá el consumo de energía eléctrica.

Para determinar la mejor forma de ventilación de una edificación se deben de realizar una serie de pasos para poder determinar las estrategias de ventilación a utilizar, estos son:

- Determinar el tipo de edificación que se va a construir desde el punto de vista térmico

- Generador de calor interno. Construcciones con un alto índice de ocupación, oficinas, o edificios con grandes equipos
- No generador de calor interno. Construcciones con bajos índices de ocupación, Casas, u oficinas pequeñas.
- Determinar los puntos máximos y mínimos de temperatura en el lugar de la edificación, determinar la temperatura de bulbo seco y de bulbo húmedo.
  - **Bulbo seco:** Es la temperatura medida por un termómetro convencional. Se usa para determinar el calor en el aire. (Merrit & Ricketts, 2001)
  - **Bulbo húmedo:** Temperatura del aire indicada por un termómetro con un bulbo húmedo. Esta temperatura es menor que la de bulbo seco, excepto cuando el aire está saturado con vapor de agua, o cuando se está 100% de humedad relativa en donde las dos temperaturas serán iguales. (Merrit & Ricketts, 2001)
- Determinar las necesidades de la edificación. Horarios de uso, temperaturas deseadas y periodos de uso. Esto es importante para compararlo con las temperaturas sobre las cuales se debe diseñar, ya que una edificación que no se usa todo el año no tendrá las mismas características o requisitos que una que si se usa todo el año. (Kwok & Grondzik, 2007)
- Determinar las estrategias de ventilación a utilizar dependiendo de las características climáticas del lugar y el tipo de edificio. Se propone la siguiente ilustración adaptada de *ENERGY CONSERVATION THROUGH BUILDING DESIGN*

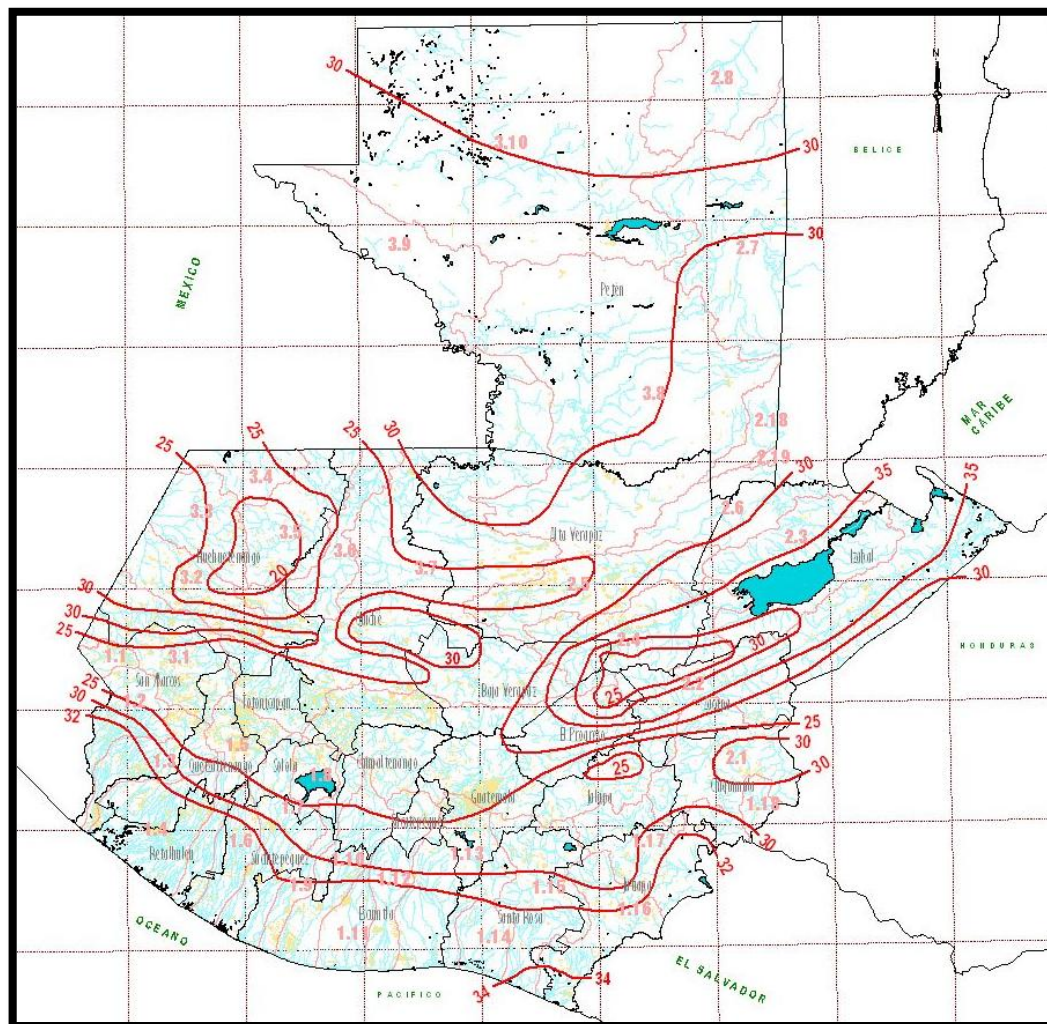
Ilustración 182. Estrategias de ventilación



(Kwok & Grondzik, 2007)

6.4.2. Selección de la estrategia de ventilación para Guatemala. En la parte inferior se presenta el mapa de iso líneas de temperatura máximas absolutas para el país. El cual sirve para determinar las temperaturas máximas en la región donde se esté diseñando, esta información será utilizada para la determinación de la estrategia de ventilación.

Ilustración 183. Mapa de iso líneas de temperatura máxima



*(Insivumeh, Departamento de investigación y servicios meteorológicos)*

Como se puede observar las máximas temperaturas en el país rondan alrededor de los 35°C, en la ciudad las temperaturas máximas se mantienen entre 25°C a 30°C. Esta información debe ser complementada con la información de la temperatura de bulbo húmedo para poder seleccionar la estrategia adecuada de ventilación. Para obtener la temperatura de bulbo húmedo se debe acudir a la unidad de meteorología del

INSIVUMEH, en donde manejan el registro diario de la misma y dependerá de la ubicación y hora deseada, normalmente las temperaturas extremas se dan alrededor de las dos de la tarde.

Es importante mencionar que para la mayor parte del país el uso de aire acondicionado no es necesario, siempre y cuando se trate de una edificación que no genera calor y se cuenten con estrategias de ventilación adecuadas.

### 6.4.3. Estrategias de ventilación

6.4.3.1. Cálculo de la demanda calorífica. Para el cálculo del requerimiento calorífico de una edificación se recomienda utilizar el manual presentado por ASHRAE (The American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) el cual provee un método completo para el cálculo de la demanda calorífica.

Por aparte existen otros métodos basados en tablas bases para el cálculo de los mismos. Es importante que al utilizar esta guía el cálculo se base en métodos científicos comprobables y no en meras aproximaciones empíricas.

6.4.3.2. Ventilación cruzada. Consiste en la creación de un flujo de aire más frío a través de un espacio. La forma de funcionamiento es que el aire que entra al espacio está más frío que el aire que existe en el lugar, entonces el aire caliente se ve desplazado hacia afuera del espacio.

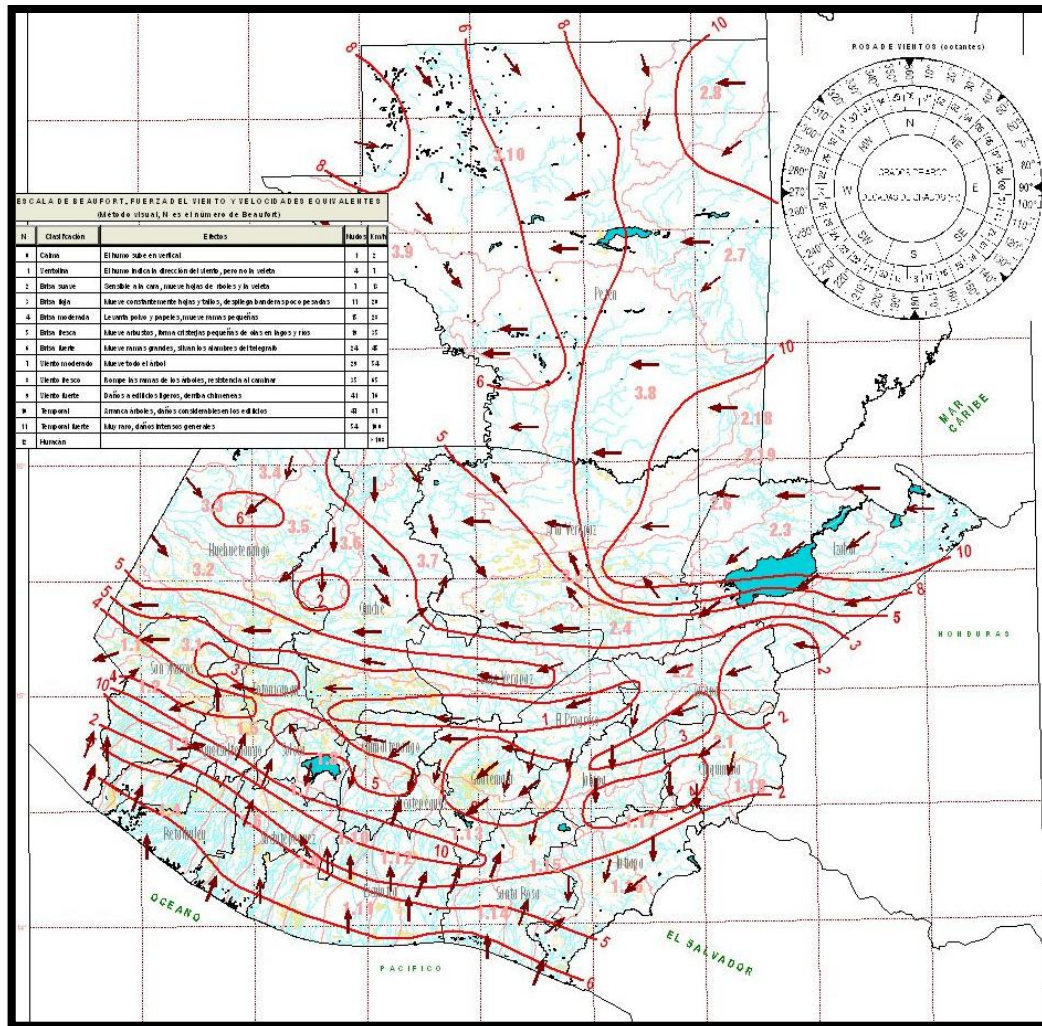
La efectividad de este sistema depende de:

- Tamaño de ventanas a utilizar tanto de entrada y salida de aire
- Ubicación de ventanas
- Temperatura interna del aire
- Temperatura externa del aire
- Velocidad del viento

Es importante considerar que el sistema será capaz de brindar confort cuando exista una diferencia de temperatura entre 3°F o 1.7° C entre la temperatura del aire externa y la interna.

Para poder utilizar esta estrategia de ventilación es importante conocer la velocidad y dirección predominante de vientos en la región a continuación se presenta el mapa de velocidad media y dirección en Guatemala de acuerdo al INSIVUMEH 2008.

Ilustración 184. Velocidad y dirección de viento en Guatemala \*unidades en km/H,



(Insivumeh, Departamento de investigación y servicios meteorológicos)

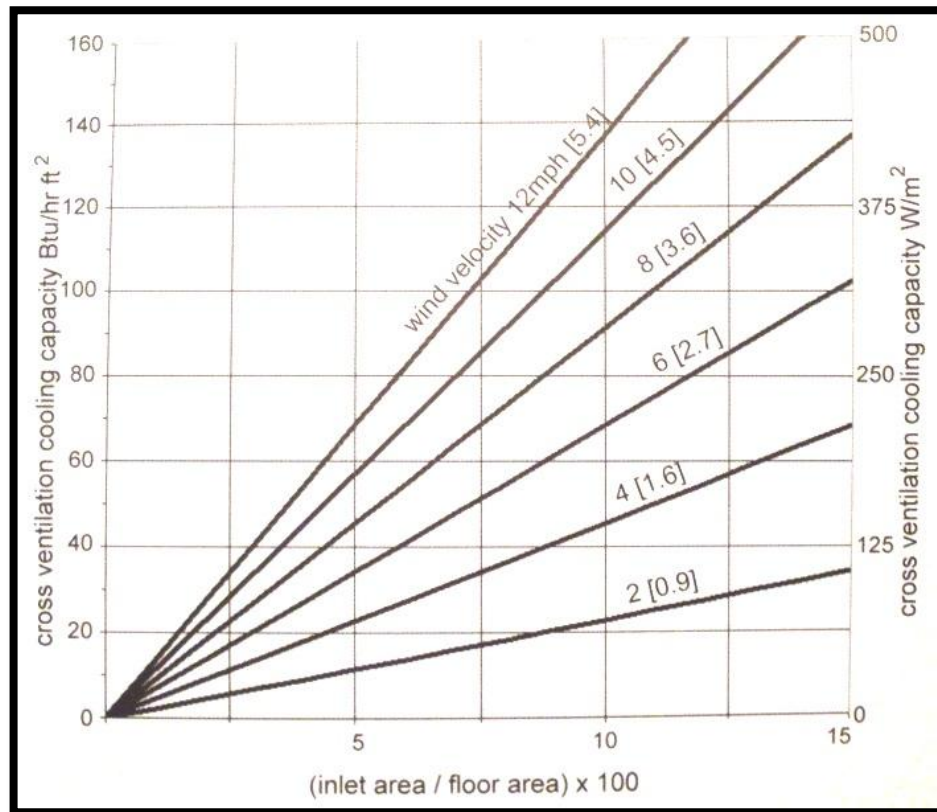
Se deben tomar en cuenta las siguientes consideraciones para la utilización de las mismas

- La velocidad urbana es  $\frac{1}{3}$  de la velocidad medida en el aeropuerto
- La velocidad suburbana es  $\frac{1}{2}$  de la velocidad medida en el aeropuerto

Esto es importante de considerar ya que dependiendo del lugar que se analice se ubicará la estación meteorológica en la cual se realizan las mediciones, para encontrar esta información se debe buscar las ubicaciones de las estaciones en la página del INSIVUMEH

A continuación se presenta una gráfica en la cual se puede determinar la capacidad de enfriamiento dependiendo del tamaño de las ventanas, se toma como base una diferencia de temperatura de de 3° Fahrenheit o su equivalente de 1.7° Celsius

Ilustración 185. Capacidad de enfriamiento ventilación cruzada



(Kwok & Grondzik, 2007)

Para su utilización se deben de seguir los siguientes pasos:

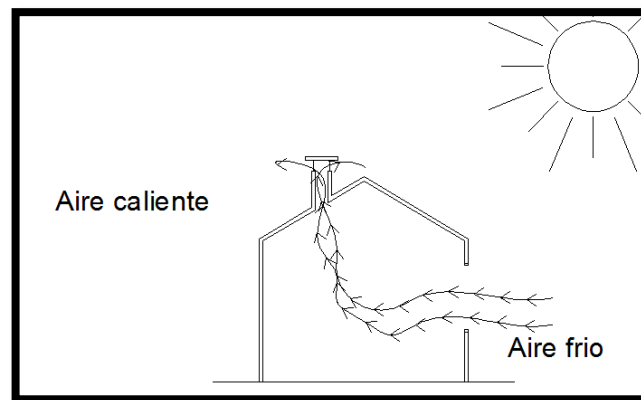
- Determinar BTU/ht ft<sup>2</sup> o W/m<sup>2</sup> deseados
- Determinación de la velocidad de viento
- Determinar la relación área de ventanas / área de piso \*100
- Utilizar la gráfica para determinar la cantidad de BTU/ht ft<sup>2</sup> o W/m<sup>2</sup> capaces de lograr enfriar de acuerdo a la gráfica.

6.4.3.3. Extracción superior. Esta forma de refrigeración se basa en el principio básico que el aire caliente es menos denso que el aire frío y que en los puntos superiores de una edificación/cuarto se concentrará la mayor cantidad de aire. Por lo tanto se busca darle salida al aire caliente por la parte superior de la edificación/cuarto. Al salir el aire caliente, aire nuevo lo reemplazará y se creará una corriente de aire. Es importante resaltar que debe haber espacio de entrada y salida de aire. (Kwok & Grondzik, 2007)

Existen dos tipos principales de utilizar esta forma de ventilación:

6.4.3.3.1. *Tradicional*. Consiste en crear aperturas en las partes más altas de las edificaciones. A continuación se presentan esquemas y fotos de esta forma.

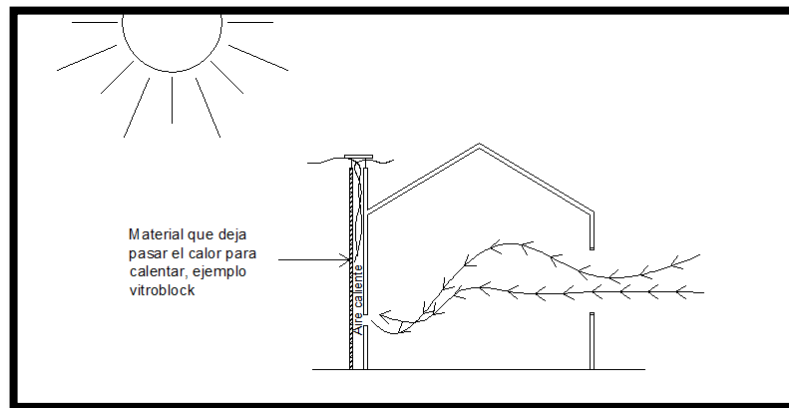
Ilustración 186. Ventilación tradicional



(Elaboración propia, 2010)

6.4.3.3.2. *Torres de ventilación solar*. Consiste en la creación de torres con entradas de aire en pisos inferiores y con salida de aire en la parte superior. Esta estrategia busca calentar un ducto de aire lo más posible para que todo el aire que entre a este se caliente rápidamente para generar un flujo de aire. Este flujo de aire se crea porque el aire caliente buscará salir por la parte superior del ducto y esto creará una presión negativa en los ambientes a los cuales esté conectado creando así un efecto de succión de aire nuevo.

Ilustración 187. Torres de ventilación solar



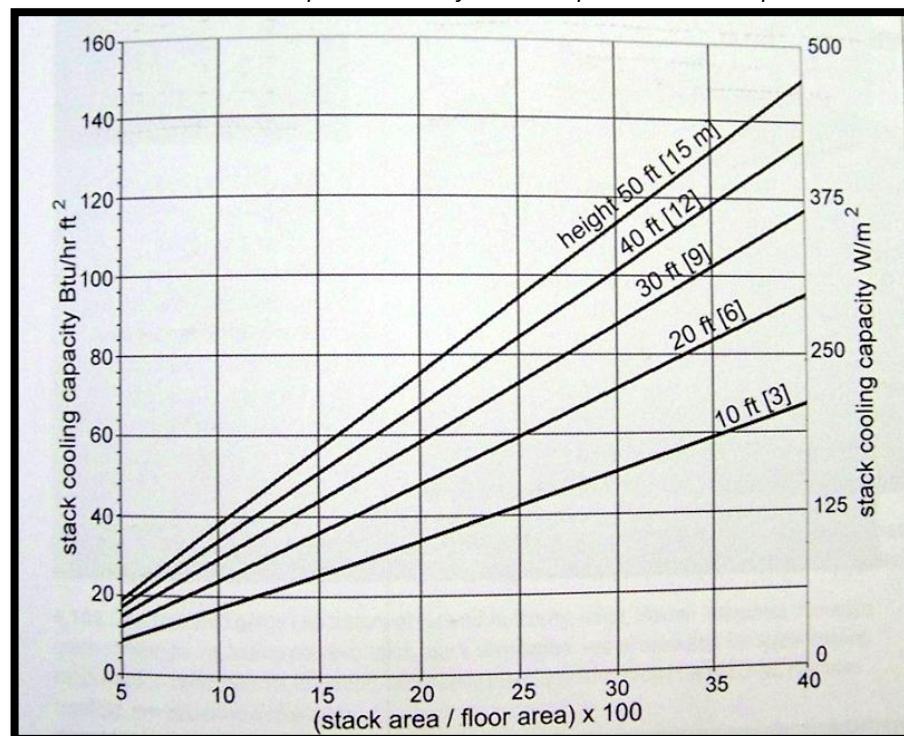
(Elaboración propia, 2010)

Esta estrategia es interesante ya que se puede combinar con técnicas de iluminación y como parte de la arquitectura para contar con un elemento más de diseño.

#### 6.4.3.3. Cálculos de técnicas de extracción superior.

A continuación se presenta una gráfica en la cual se puede determinar la capacidad de enfriamiento dependiendo del tamaño de las entradas, se toma como base una diferencia de temperatura de 3°F ó 1.7°C entre el aire exterior y el aire interior.

Ilustración 188. Capacidad de enfriamiento por extracción superior.



(Kwok & Grondzik, 2007)

Para su utilización se deben seguir los siguientes pasos:

- Determinación de BTU/ht ft<sup>2</sup> o W/m<sup>2</sup> deseados
- Determinar la geometría de la estrategia a utilizar, ya sea altura de la columna y tamaño o únicamente tamaño de apertura
- Utilizar la gráfica para determinar la cantidad de BTU/ht ft<sup>2</sup> o W/m<sup>2</sup> capaces de lograr enfriar de acuerdo a la gráfica.

Es importante resaltar que el primer método sirve mayormente para espacios muy grandes y tiene la desventaja que únicamente funciona en un nivel de altura en cambio el segundo método se puede adaptar para que funcione a lo largo de varios niveles

6.4.3.3.4. *Comentarios.* En el tema de ventilación se debe resaltar el hecho de que para la mayoría de condiciones del país no se debe utilizar el aire acondicionado, ya que las condiciones de temperatura no ameritan el uso de éste, a menos que la edificación sea una edificación que genera calor. Para la selección del tipo de ventanas se puede acudir al apartado de ventanas en el capítulo de materiales Greenspec.

## 6.5. Generación de energía eléctrica

6.5.1. *Concepto.* El objetivo final de una construcción sostenible es tener un impacto ambiental neutro, o ser beneficiosos para el ambiente. Esto se logra al realizar acciones a favor del medio ambiente, los primeros pasos deben de estar enfocados en lograr un diseño eficiente, lograr reducir el consumo de energía al mínimo y el último paso debe lograr la generación de la propia energía a consumir en la edificación. La idea debe ser la creación de un edificación “*Zero-net-energy*” (Yudelson, 2007), que es una edificación que genera la energía eléctrica que consume, de manera renovable.

En los últimos años los proyectos de generación energética en edificaciones han bajado de costo y se han vuelto mucho más accesibles a la población, para efectos de esta guía desarrollaremos los parámetros para la selección de un sistema de generación de energía en la edificación, pero se debe acudir a expertos en el tema para el diseño de uno de estos sistemas.

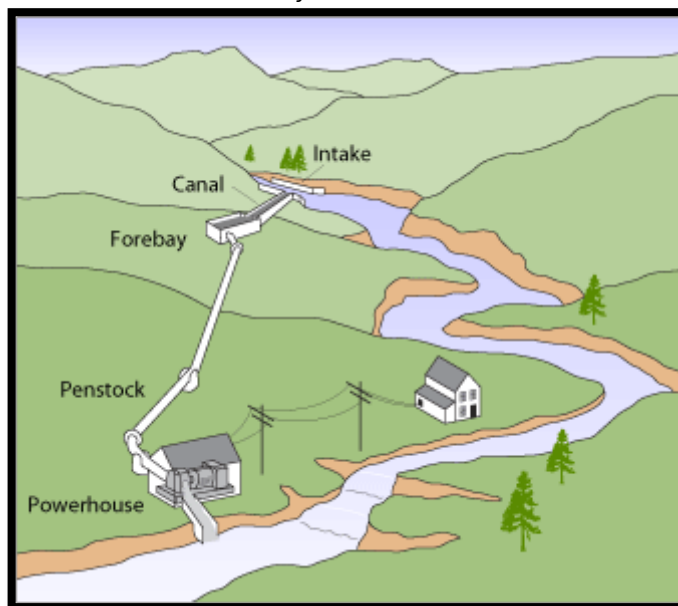
## 6.5.2. Métodos de generación de energía eléctrica en una edificación

6.5.2.1. Micro hidroeléctricas. Los sistemas de generación de energía eléctrica por medio de hidroeléctricas funcionan por la transformación de la energía cinética que lleva un fluido a energía eléctrica. Este proceso se logra por la captación del fluido en un punto y el encause del mismo hacia una central hidroeléctrica en donde se conduce a una turbina que es movida por acción del fluido y esta a su vez está conectada a un generador que produce energía.

Las micro hidroeléctricas permiten el aprovechamiento de energía eléctrica de una forma eficiente sin causar un daño al ambiente, por el tipo de hidroeléctrica planteada se deben de buscar hidroeléctricas de agua fluyente, en las cuales no se crea ninguna obra de retención de agua, (UVG, 2008) de igual forma se podrían crear obras de desvío y retención de agua muy pequeñas que no interrumpan el ecosistema natural (Kwok & Grondzik, 2007).

A continuación se presenta un diagrama de funcionamiento de estas hidroeléctricas.

*Ilustración 189. Forma de funcionamiento de una hidroeléctrica*



(U.S. Department of energy, 2010)

### 6.5.2.1.1. Consideraciones de diseño

- Obtener información de la topografía del lugar, y caudal del fluido a interceptar, se debe de contar con una diferencia de altura de por lo menos 1m para poder entregar el agua de manera correcta. Entre mayor pendiente tenga el río y mayor diferencia

de altura pueda existir entre la toma de agua y el cuarto de generación mejor ya que se generara más energía.

- Determinar el caudal promedio del río. Existen varias formas de determinar el caudal promedio. La más confiable será la contratación de un ingeniero para la determinación del caudal, pero se pueden obtener aproximaciones de la siguiente forma: 1. Encausando la parte del río necesaria y tomando el tiempo en que se tarda en llenar un recipiente de un volumen determinado. 2. Calcular el área transversal del encause y calcular la velocidad colocando un material flotante y tomar el tiempo en que se tarda desplazar cierta distancia.
- Determinar el potencial de generación. El departamento de energía de U.S.A. nos presenta la siguiente ecuación para obtener un aproximado de la capacidad de generación.

$$W = (\Delta alt * Q) / F \text{ (Kwok \& Grondzik, 2007)}$$

En donde:

W= Generación aproximada en W

$\Delta alt$ = La diferencia de altura entre la toma y el generador (ft)[m]

Q= Caudal (GPM)[L/s]

F=Factor de conversión que incluye la eficiencia típica de una turbina, (10)[0.192]

- Realizar una comparación entre la generación aproximada y el consumo general de la edificación para determinar si lo obtenido será rentable. Realizar un estudio económico para determinar la viabilidad del proyecto.
- Tomar en cuenta las consideraciones del diseño eléctrico ya que dependiendo de la forma en que se monte el sistema se deberán realizar las conexiones, normalmente las turbinas dan corriente directa y para obtener corriente alterna deberá de contarse con un transformador.

De esta forma se puede plantear un panorama claro sobre el potencial de utilización de una micro hidroeléctrica en un proyecto.

6.5.2.2. Energía fotovoltaica. Los generadores de energía eléctrica fotovoltaica generan energía a través de la radiación solar, estos se obtiene a partir de módulos y existen dos tipos principales:

- Paneles de cobertura delgada
- Paneles cristalinos

Los primeros en aparecer en el mercado fueron los paneles cristalinos, que se observaban como una serie de círculos montados en un marco, los paneles de cobertura delgada se observan como granosos y no contienen vidrio por lo que son prácticamente irrompibles, a pesar de ser menos eficientes que los cristalinos tienen la ventaja que no pierden energía a altas temperaturas.

Se debe tomar en cuenta que los paneles solares únicamente brindaran energía en las horas que la luz solar tenga contacto con ellos, por lo que de necesitarse energía en horarios nocturnos (lo usual en las edificaciones) se debe contar con una serie de baterías para el almacenaje de la energía.

En el caso de las edificaciones la ubicación más común para su instalación es en el techo pero se pueden dar otras aplicaciones por ejemplo existen casos en donde los paneles solares se han colocado con fachada de un edificio, lo cual permite la utilización de este material como un tapasol, además de la generación de la energía eléctrica.

*Ilustración 190. Instalación de paneles solares en el techo.*



*(Micropower, 2009)*

Se debe tomar en cuenta que este tipo de equipo únicamente genera corriente directa para usar un equipo de corriente alterna se debe de contar con un invertidor, estos usualmente tienen una eficiencia del 75% (Kwok & Grondzik, 2007)

6.5.2.2.1. *Consideraciones de diseño.* Por medio de los siguientes pasos se obtiene un aproximado de la capacidad de generación de energía eléctrica por medio de este sistema.

- Estimación del área de paneles solares

$$A=C/0.33$$

Donde:

A= Área de paneles solares en m<sup>2</sup>

C= Generación de energía por medio del sistema fotovoltaico.

Esta fórmula es aplicable para paneles con un 4% de eficiencia, para paneles solares con una eficiencia del 8% el área se debe de dividir en dos y para paneles con una eficiencia del 16% el área se debe de dividir en cuatro.

6.5.2.3. *Calentadores de agua solares.* Los calentadores de agua solares son otra forma de ahorrar energía, para términos de evaluación se maneja de la misma manera que cualquier método de generación de energía, comparando cuanta energía se ahorra contra métodos tradicionales.

6.5.2.3.1. *Concepto.* Los calentadores solares están compuestos por dos componentes básicos. (U.S. Department of Energy, 2010)

- Tanques de almacenamiento
- Colectores solares

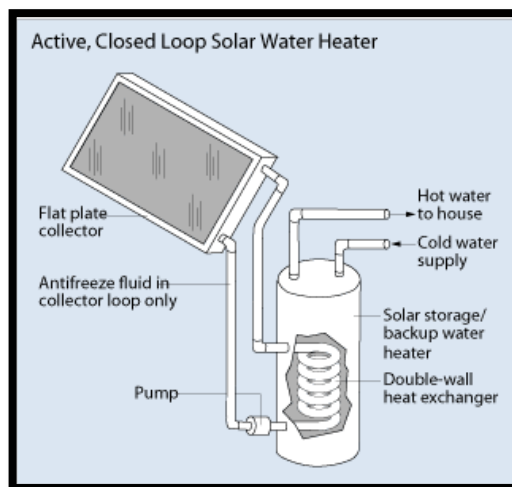
Existen dos tipos principales de sistemas pasivos y activos, los sistemas activos utilizan bombas y controles para mantener el agua en circulación mientras que los pasivos utilizan la gravedad. Los calentadores solares requieren de tanques de almacenamiento aislados, estos tienen dos salidas y entradas una que se comunica con el sistema de colectores solares y otra que se comunica al sistema de aguas. Existen calentadores solares de un solo tanque en los cuales el agua es calentada por medio de los colectores solares y se tiene un calentador eléctrico como respaldo, también existen calentadores solares que se componen de dos tanques, en el primer tanque el agua se calienta por medio de los colectores solares y el segundo tanque es un calentador eléctrico.

Existen tres sistemas de colectores solares para aplicaciones residenciales. (U.S. Department of Energy, 2010)

- **Colectores de placa plana.** Son cajas negras que contienen una placa negra absorbente de calor debajo de varias capas de vidrio o plástico. (U.S. Department of Energy, 2010)
- **Sistema integral de calentamiento y recolección.** Estos cuentan con uno o varios tanques negros, o tubos en una caja aislada. El agua inicia el proceso atravesando el colector solar el cual precalienta el agua y posteriormente continua a un sistema convencional de calentamiento para garantizar una fuente de agua caliente confiable. Estos deben de ser instalados únicamente en climas de temperatura media ya que temperaturas extremas (bajas) pueden ocasionar que las tuberías se congelen. (U.S. Department of Energy, 2010)
- **Sistema tubular de calentamiento solar.** Están compuestos por una serie de tubos paralelos de vidrio transparente, cada tubo contiene un tubo exterior de vidrio y uno interno de metal para absorber el calor, el mismo tiene una película que permite que el tubo absorba el calor pero que no lo pierda. (U.S. Department of Energy, 2010)

Existen dos tipos diferentes de calentadores solares, los de circulación directa, bombean agua a travez de los colectores (exteriores) y hacia la edificación, estos se utilizan en los climas que no serán extremos, y los de circulación indirecta, circulan un líquido no congelable a través de las tuberías y posteriormente se hace una transferencia de calor entre el líquido caliente y el agua.

*Ilustración 191. Calentadores solares activos*

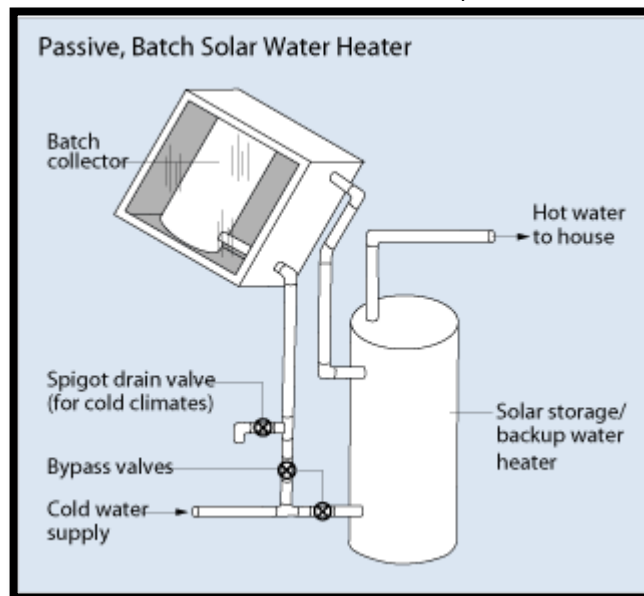


(U.S. Department of Energy, 2010)

Los sistemas de calentamiento pasivo normalmente son menos costosos que los sistemas de calentamiento activo, pero no son tan eficientes como los de calentamiento activo. Sin embargo, los sistemas pasivos son más confiables y tienen un tiempo de vida más largo.

- **Sistemas integral de calentamiento y recolección.** Estos funcionan muy bien en áreas en donde la temperatura no baja más allá del punto de congelación.
- **Sistemas térmicos.** En estos el agua fluye a través del sistema por el principio de que el agua caliente sube y el agua fría baja. Por lo que el colector solar debe estar instalado abajo del tanque de almacenamiento. Así el agua que se calienta en el colector subirá hacia el tanque de almacenamiento. Este sistema es muy confiable, pero debe tenerse especial precaución en la instalación ya que involucra la presencia de elementos muy pesados en la parte superior de la estructura.

*Ilustración 192. Calentadores pasivos*



*(U.S. Department of Energy, 2010)*

Prácticamente todos los calentadores solares necesitan un sistema de respaldo ya que habrá ciertas condiciones climáticas (nubes, lluvia, etc) que no les permitan funcionar.

6.5.2.3.2. *Comentarios.* Está es una de las mejores alternativas para iniciar a generar energía en una edificación, ya que es un sistema integral que no requiere de gran mantenimiento por lo cual se convierte en una de las mejores opciones para iniciar a generar energía.

6.5.2.4. Turbinas de viento. Una turbina de viento funciona bajo el mismo concepto que una central hidroeléctrica, en donde un fluido, en este caso aire, hace girar aspas que hacen funcionar un generador el cual convierte la energía mecánica a energía eléctrica. En otras palabras convierten la energía cinética del viento en energía eléctrica. Desde el punto de vista ambiental se utiliza un recurso inagotable ya que las corrientes de viento son generadas por los cambios de temperatura en el ambiente. Las corrientes de viento se generan cuando el aire cercano a la superficie es calentado por los rayos del sol reflejados en esta, se ven reemplazados por aires más fríos.

En el caso de una turbina de viento la velocidad del viento determina el potencial de generación y el tamaño de la turbina determina la cantidad de esta energía que será generada.

6.5.2.4.1. *Clasificación de turbinas de acuerdo a su tamaño y uso*

*Tabla 39. Clasificación de turbinas*

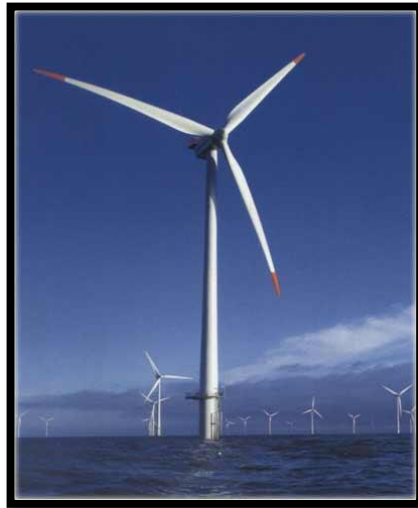
Tamaño	Categoría	Uso
20W-500W	Micro	Carga de baterías.
500W-10kW	Pequeñas aplicaciones	Bombeo de agua
10kW-100kW	Pequeñas	Generación de energía eléctrica para residencias y usos comerciales pequeños
100kW-Más	Industriales	Para el uso en aplicaciones de generación a gran escala

*(Elaboración propia,2010)*

6.5.2.4.2. *Clasificación e implicaciones de diseño de turbinas de acuerdo a su forma de aprovechamiento de energía.* Existen dos tipos de turbinas de acuerdo a la forma en que aprovechan la energía eólica.

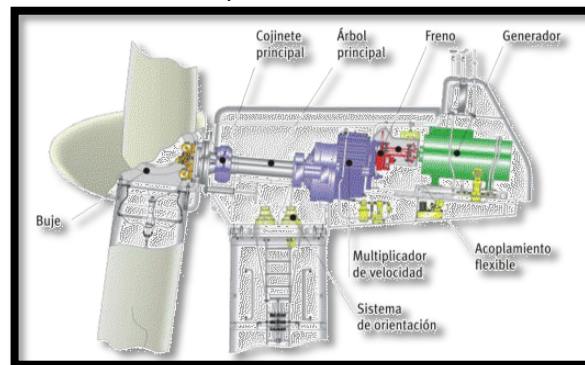
- *Con turbina horizontal:* las aspas se colocan como el rotor de un avión, estas tienen la ventaja que son muy eficientes para aprovechar el viento, pero únicamente aprovechan el viento cuando este es perpendicular a las aspas y es constante en su dirección, en otras palabras no se aprovechan los flujos turbulentos.

*Ilustración 193. Generadores con turbina horizontal.*



*(Figueredo)*

*Ilustración 194. Componentes de una turbina horizontal.*



*(Figueredo)*

- *Con turbina vertical:* Las aspas tienen diversas formas geométricas con las cuales se pretende aprovechar las corrientes de aire sin importar la orientación de las mismas, estas

presentan una gran ventaja cuando se desea utilizar este tipo de energía en ciudades, ya que en una ciudad no se generan corrientes de aire constantes.

Como se observa en la ilustración la turbina tiene una forma única en la cual se procura aprovechar los vientos de todas las direcciones, en el mercado existen diversas formas geométricas para estas turbinas, pero todas se basan en el concepto de aprovechar los vientos turbulentos.

*Ilustración 195. Turbina eólica.*



*(Helix Wind, 2009)*

6.5.2.4.3. *Consideraciones de diseño.* A continuación se presenta una tabla en donde se especifica qué tipo de turbina se debe utilizar para cada condición.

*Tabla 40. Comparación de turbinas*

<b>Con turbina horizontal (Kwok &amp; Grondzik, 2007)</b>	<b>Con turbina Vertical (Helix Wind, 2009)</b>
Vientos de alrededor de 9mph [4m/s]	Vientos de alrededor de 14mph [6.25m/s]
1 acre [4,046 m <sup>2</sup> ] de espacio libre	Instalación a cualquier altura
Corrientes de viento estables, no turbulentas	Vientos con cambios de dirección constantes
La turbina puede producir suficiente energía como para justificar la inversión	Vientos de grandes velocidades
$AEO=0.01328 D^2V^3$	

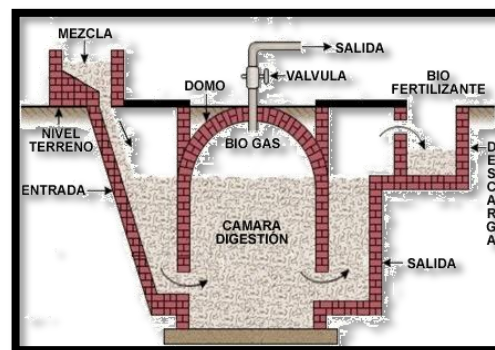
Tabla 40. Comparación de turbinas (continuación)

Donde:	<b>Vientos de grandes velocidades</b>
AEO=Generación anual aproximada kWh/Year	
D= Diámetro rotor	
V=Velocidad en mph	

6.5.2.5. Biodigestores. Un biodigestor consiste en un sistema sellado en el cual la materia prima, estiércol y materia orgánica, sufren un proceso de digestión anaerobia en el cual las bacterias que lo realizan producen biogás.

Este sistema de generación de energía presenta una gran versatilidad, ya que puede su primer producto es biogás, pero también se obtiene abono, y el mismo biogás puede servir para alimentar una cocina, o a su vez un motor para generar energía eléctrica.

Ilustración 196. Biodigestores



(Herrero, 2008)

El presentado es un biodigestor elaborado con materiales de construcción tradicionales, pero los mismos también se pueden realizar por medio de materiales más sencillos como el plástico o cualquier otro material que permita el funcionamiento de un sistema de esta índole.

Un biodigestor es un sistema natural que aprovecha la digestión anaerobia (en ausencia de oxígeno) de las bacterias que ya habitan en el estiércol, para transformar el mismo en gas y fertilizante. El biogás puede ser empleado como combustible en las cocinas, calefacción o iluminación, y en grandes instalaciones se puede utilizar para alimentar un motor que genere electricidad (Herrero, 2008).

6.5.2.5.1. *Consideraciones de diseño.* Para lograr diseñar un biodigestor eficiente se deben tener en cuenta varios factores, entre los cuales destaca, la materia prima que se tenga (que tanto estiércol o desechos orgánicos se tengan para poder realizar el proceso), la temperatura promedio en donde se vaya a desarrollar el proyecto, y la necesidad y el uso que se le vaya a dar al biogás. Es importante resaltar el hecho de que las aguas negras de una comunidad también pueden ser utilizadas en el biodigestor, pero el fertilizante que salga de éste no debe de ser usado, ya que puede presentar altos riesgos a la salud.

La digestión anaerobia es el proceso mediante el cual una serie de bacterias digiere al estiércol fresco, al realizar esta digestión liberan gases entre los cuales se encuentra el biogás. El tiempo en que las bacterias se tardan en realizar esta digestión es conocido como tiempo de retención, el mismo está en función de la temperatura ambiente ya que la velocidad de digestión de las bacterias depende de la temperatura a la que se encuentran. A continuación se muestra una tabla en donde se da una relación entre la temperatura promedio y el tiempo de retención aproximado.

*Tabla 41. Tiempo de retención*

<b>Región características</b>	<b>Temperatura media (°C)</b>	<b>Tiempo de retención (Días)</b>
Trópico	30	20
Valle	20	30
Altiplano	10	60

*(Herrero, 2008)*

Con esta tabla se puede hacer una interpolación y extrapolación, no lineal, para lograr determinar el tiempo de retención en el lugar donde se realizaría el proyecto. La cantidad de estiércol disponible dependerá de la cantidad de animales o personas que estén al alcance. Para poder determinar la cantidad de estiércol producido se puede utilizar la siguiente tabla:

Tabla 42. Producción de estiércol

<b>Animal</b>	<b>Kg de estiércol fresco producido por cada 100Kg de peso del animal</b>
Cerdo	4
Bovino	8
Caprino	4
Conejos	3
Equino	7
Humano adulto	0.4Kg por adulto
Humano niño	0.2kg por Niño

(Herrero, 2008)

También se debe analizar la facilidad con la que se puede recoger el estiércol ya que si el ganado está esparcido por una finca, difícilmente se podrá recoger el 100% del ganado, pero si está en un corral o en un espacio controlado, se podrá recoger una mayor cantidad.

Para poder determinar cuánto biogás se puede llegar a producir existen varias formas y métodos para determinarlo. Pero para poder dar una aproximación se puede dar un “Número Mágico” el cual es un aproximado a la realidad que se basa en las experiencias recogidas en la bibliografía recopilada.

Tabla 43. Número mágico.

<b>Ganado</b>	<b>“Número Mágico”, Litros de biogás producido por un día por kilo de estiércol fresco cargado diariamente.</b>
Cerdo	51
Bovino	35.3

(Herrero, 2008)

El biogás tiene una gran variedad de aplicaciones, las cuales pueden ir desde la iluminación, hasta servir como combustible para la alimentación de un motor, hasta su uso como gas natural para alimentar una cocina.

A continuación se adjunta una tabla en la cual se detallan varias aplicaciones y el consumo de biogás de las mismas. La cual servirá para determinar la cantidad de biogás que será necesaria producir dependiendo del uso que se le quiera dar.

Tabla 44. Consumo de Biogás

Aplicación	Consumo
Cocina normal	130 a 170lts por hora
Iluminación de lámparas de gas	90 a 130lts por hora
Calentador de biogás	26lts/ducha de 10min
Electricidad	300lts por hora en un generador de 0.5kwh

(Adaptación de Herrero, 2008)

6.5.2.5.2. *Comentarios.* Al analizar estos datos los biodigestores se vuelven en una alternativa atractiva en regiones remotas, ya que los mismos generaran una gran variedad de beneficios a parte del biogás. Entre los cuales se debe de destacar el tratamiento de estiércol, la creación de fertilizante, la creación de gas para cocinar, etc.

6.5.3. *Comentarios acerca de la generación.* Se busca que la guía sirva como un instrumento para determinar qué tipo de generación de energía es la más factible dependiendo de cada proyecto, en ningún momento se pretende que se tome como un instrumento de diseño ya que las formulas provistas en la misma son aproximaciones, y las mismas variaran grandemente dependiendo de la calidad de equipos que se pretendan comprar.

Es importante resaltar que **siempre** es más barato ahorrar energía que generarla por lo cual se recomienda agotar todos los métodos posibles del ahorro de energía antes de optar por la generación de energía.

## 7.MANEJO DE AGUAS RESIDUALES

A pesar de la gran cantidad de agua que se tiene disponible en el planeta,  $1.36 \times 10^{18} \text{ m}^3$ , no toda está disponible para el consumo humano. El 97.2% se encuentra en los océanos, el 2.8% restante es agua dulce, pero el 75% de la misma se encuentra encerrada en los bancos de hielo polares, en el suelo y en formaciones rocosas; dejando un 25% del 2.8% disponible como agua superficial y subterránea. Además de esto, llegar a obtener el 99% del agua superficial y subterránea se necesitan muchos proyectos y muchos procesos sumamente difíciles. Se calcula que solo se depende del 0.6% del agua disponible siendo igual al 0.004% de la cantidad de agua global. Es por esto que se tiene que comenzar a tener una conciencia sobre el consumo de agua doméstico e industrial, y lograr su disminución y su reutilización. (J.Glynn Henry, 1999)

Los proyectos de construcción como: pequeñas comunidades, residenciales, edificaciones e industrias, deben de tener un manejo adecuado del agua residual y deben de considerar un espacio adecuado para dicho tratamiento con el fin que durante su tiempo de vida se gestione y los efluentes se descarguen a un cuerpo receptor o un alcantarillado con un impacto ambiental mínimo o nulo.

El manejo adecuado de las aguas residuales no solo involucra un tratamiento, se tiene que tener un monitoreo que comience desde la recolección y el transporte, hasta que sean descargadas hacia su destino final. Este trayecto parece sencillo, pero para poder realizarse de la mejor manera posible se debe conocer las regulaciones que se tienen en el país, y los procedimientos y dispositivos que se necesitan; esto asegurará un tratamiento de aguas monitoreado. Además, con el objetivo de ahorrar el recurso hídrico, se deben evaluar los tratamientos para la reutilización de las aguas residuales y de las aguas pluviales.

A continuación se presenta todo lo que involucra un tratamiento de agua residual y los puntos críticos que se deben considerar, con el fin de asegurar el cumplimiento del Acuerdo Gubernativo 236-2006 “Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y disposición de lodos” (que de ahora en adelante se referirá al mismo como el Reglamento), y que se tenga un proceso adecuado, para asegurarse que las descargas de las aguas residuales lleven los tratamientos correspondientes y cumplan aún más que con lo que exige el Reglamento.

## 7.1. Caracterización de aguas residuales

El agua residual es el agua de descarga que contiene una mezcla de contaminantes orgánicos e inorgánicos disueltos o en suspensión. Estos contaminantes se generan por usos industriales, domésticos y domiciliarios. Las aguas residuales se pueden diferenciar de acuerdo al tipo de agua que descarguen. Cuando las descargas son debido a usos en servicios sanitarios, lavandería, cocina, se les llama aguas domésticas o de tipo ordinario, cuando son generadas por servicios públicos municipales y actividades de servicios industriales, agrícolas, pecuarios, hospitalarios y todas aquellas que no son de uso doméstico se les llaman aguas residuales de tipo especial. Las aguas descargadas en actividades de riego, duchas, pilas y lavadoras son denominadas aguas grises, y las aguas descargadas por la lluvia se denominan pluviales.

Las aguas residuales tienen un amplia gama de componentes y contaminantes. Es importante conocer los contaminantes del agua residual para saber de qué están compuestos o cómo influyen en el tratamiento, y determinar la mejor manera de eliminarlos. A continuación se presenta una tabla con los contaminantes más importantes que se pueden encontrar en el agua residual.

*Tabla 45. Componentes del agua residual*

<b>Componente</b>	<b>Descripción</b>
<b>Sólidos en suspensión</b>	Todos los sólidos que se encuentran en el agua residual en suspensión. Partículas de 1micra que son tratados por los proceso de floculación y sedimentación.
<b>Sólidos sedimentables</b>	Son los sólidos que se encuentran en las aguas residuales que con un tiempo de retención se sedimentan.
<b>Nitrógeno</b>	La forma de medición en el agua residual es por medio de Nitrógeno Total. Los componentes nitrogenados que se pueden encontrar en las aguas residuales son: Amoníaco, nitritos y nitratos.

(Continuación Tabla 45)

Componente	Descripción
<b>Fósforo</b>	Se encuentra en las aguas residuales debido al desecho de abonos inorgánicos, pesticidas y detergentes. Son fuente de la eutrofización de los lagos.
<b>Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)</b>	Es la cantidad medida de oxígeno que requieren los microorganismos para degradar biológicamente la materia orgánica de las aguas residuales.
<b>Demanda Bioquímica de Oxígeno (DQO)</b>	Es la cantidad medida de oxígeno que requieren los microorganismos para degradar biológicamente la materia orgánica de las aguas residuales. La relación de DBO/DQO debe estar entre 1.5 a 2.5 para que el agua residual cumpla con el índice de biodegradabilidad.
<b>Oxígeno disuelto</b>	Es la medida de oxígeno disuelta en el agua. Los niveles típicos de oxígeno disuelto en agua están entre 0-18 mg/L.
<b>Sulfuro de hidrógeno</b>	Es el gas más importante y el más significativo en cuanto a olores se refiere. Este gas se forma durante la descomposición anaerobia de la materia orgánica.
<b>Metano</b>	Gas de gran potencial energético que se produce en las digestiones anaerobias.
<b>pH</b>	Es el potencial de hidrógeno que tiene el agua residual. Deben estar en un rango de 6-9, para que los microorganismos realicen las digestiones sin problema.

(Continuación Tabla 45)

Componente	Descripción
<b>Metales pesados</b>	Entre los más importantes, Níquel, manganeso, plomo, cromo, cadmio, cinc, cobre, hierro y mercurio.
<b>Grasas y aceites</b>	Por lo general se encuentran en aguas residuales de plantas de producción y preparación de alimentos, y aguas residuales de origen doméstico.
<b>Microorganismos</b>	En su mayoría son agentes que ayudan a la descomposición de la materia orgánica y son muy utilizados en las plantas de tratamiento para mejorar la calidad del agua.
<b>Microorganismos patógenos</b>	Se encuentran en las aguas residuales y son orígenes de desechos humanos que están infectados o que sean portadores de una enfermedad

*Fuente: (Metcalf & Eddy, 1996), (J.Glynn Henry, 1999)*

## 7.2. Composición típica del agua residual

Para dimensionar las plantas de tratamiento de aguas residuales, y saber qué tratamientos son los adecuados, se necesita conocer los fines para la cual se utiliza el agua en el proyecto y como se va a descargar a la planta de tratamiento. En proyectos ya existentes que no cuentan con una planta de tratamiento de aguas, se puede realizar un análisis físico-químico, microbiológico y metales pesados, este resultado dará las concentraciones de los contaminantes que se descargan. Además, se debe de realizar un aforo de caudal para determinar el volumen descargado diariamente. En proyectos nuevos no se cuenta con esta posibilidad, por lo que se tiene que realizar una estimación de ingeniería para poder dimensionar el tamaño de planta a implementar. Para realizar la estimación se pueden

utilizar tablas que contienen composiciones típicas de las aguas residuales y los caudales aproximados según el uso que se le va a utilizar.

Tabla 46. Factores de descarga unitarios

Contaminantes	Factor de carga (g/hab*día)	Valor		
		Unidad	Intervalo	Típico
DBO	81.5	mg/L	216-540	392
Sólidos en suspensión	100	mg/L	240-600	436
Amoníaco como nitrógeno	3.20	mg/L	7-20	14
Nitrógeno orgánico	0.05	mg/L	24-60	43
Grasas		mg/L	45-100	70
Coliformes fecales		Núm./100 ml	$10^7$ - $10^{10}$	$10^8$

(Metcalf & Eddy, 1996)

Tabla 47. Composición de agua residual sin tratamiento

Contaminantes	Unidades	Concentración		
		Débil	Media	Fuerte
Sólidos totales	mg/L	350	720	1200
Sólidos disueltos totales	mg/L	250	500	850
Sólidos en suspensión	mg/L	100	220	350
Sólidos sedimentables	ml/L	5	10	20

(Continuación Tabla 47)

Contaminantes	Unidades	Concentración		
		Débil	Media	Fuente
DBO <sub>5</sub>	mg/L	110	220	400
COT	mg/L	80	160	290
DQO	mg/L	250	500	1000
Nitrógeno total	mg/L	20	40	85
Fósforo total	mg/L	4	8	15
Cloruros	mg/L	30	50	100
Sulfatos	mg/L	20	30	50
Alcalinidad	mg/L	50	100	150
Grasas	mg/L	50	100	150
Coliformes totales	No./100 ml	10 <sup>6</sup> -10 <sup>7</sup>	10 <sup>7</sup> -10 <sup>8</sup>	10 <sup>7</sup> -10 <sup>9</sup>
Compuestos orgánicos volátiles (COVs)	µg/L	< 100	100-400	>400

*(Metcalf & Eddy, 1996)*

Tabla 48. Valores representativos de contaminantes de aguas residuales

Parámetro	Unidad	Pequeña	Mediana	Grande
Volumen	L/cápita/día	400	500	600
DBO <sub>5</sub>	mg/L	190	240	300
DQO	mg/L	320	400	500
COT	mg/L	135	170	215
Sólidos en suspensión	mg/L	225	300	350
Sólidos disueltos	mg/L	450	600	700
Nitrógeno total	mg/L	40	30	25
Fósforo total	mg/L	10	8	7

(Continuación Tabla 48)

Parámetro	Unidad	Pequeña	Mediana	Grande
pH	Unidades	7	7	7
Cobre	mg/L	0.14	0.17	0.27
Cadmio	mg/L	0.003	0.010	0.016
Cromo	mg/L	0.04	0.08	0.16
Níquel	mg/L	0.01	0.06	0.11
Plomo	mg/L	0.05	0.1	0.2
Zinc	mg/L	0.19	0.29	0.38

\*Pequeña: Comunidad residencial

\*Mediana: Municipalidad diversificada de tamaño mediano, áreas residenciales.

\*Grande: Ciudad grande industrializada.

(J.Glynn Henry, 1999)

### 7.3. Aforo de caudal

Es muy importante poder medir la cantidad de agua que se descarga de los diferentes procesos de la planta de tratamiento de aguas residuales. Este valor nos permite tener un control en cuanto a volumen de agua se refiere, sirviendo para determinar las cargas de DBO, DQO, SST o grasas expresada en kg/día descargadas.

Para determinar las cargas de DBO, DQO y SST se utiliza la siguiente ecuación:

$$\frac{\text{Concentración de DBO, DQO y SST} \times \text{Caudal}}{1000} = \text{Carga orgánica} \quad \text{Ecuación 2}$$

La carga orgánica se define como la masa de DBO, DQO o SST que se descarga en un tiempo determinado.

Para aforar un caudal, lo único que se necesita es tener una caída de agua en una caja de registro o en un pozo de visita, en donde el agua sea recolectada por una cubeta, y con ayuda de un cronómetro se hace la medición de volumen tiempo.

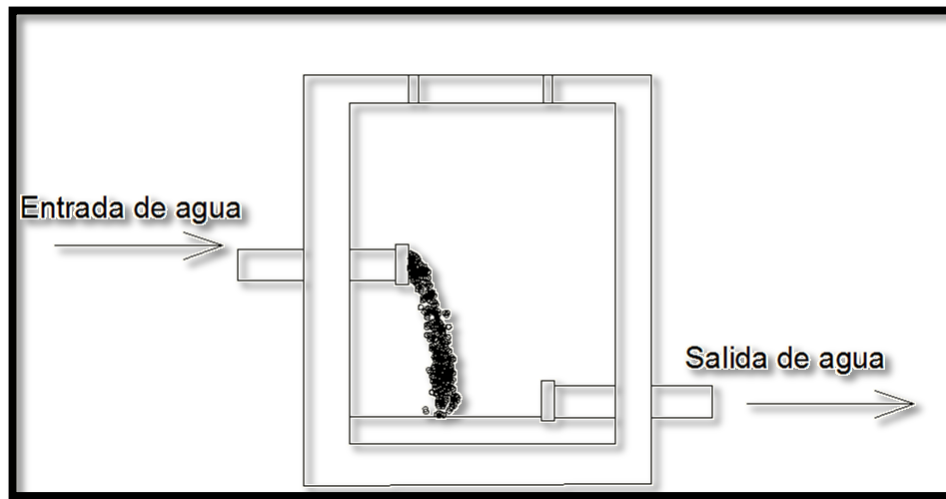
El problema de este tipo de medición es que, como se trabaja con aguas residuales, se puede tener contacto directo, poniendo en problemas la salud del personal que toma la muestra; este tipo de medición no es considerado el mejor método ya que hay dispositivos más avanzados y más exactos que determinan los caudales.

Por lo general, estos dispositivos se colocan en canales abiertos que permita la medición de caudal de forma más fácil. En el tratamiento de aguas residuales se utilizan:

- Vertederos.
- Canal Parshall.
- Canal Palmer-Bowlus.

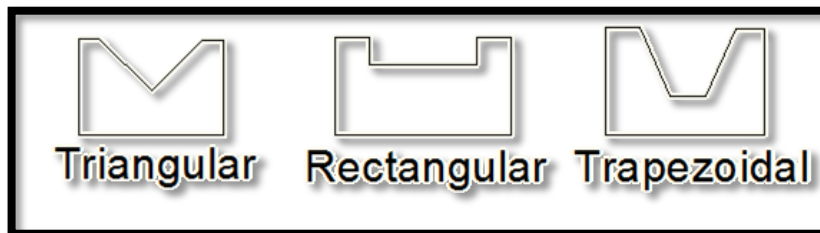
Con la utilización de vertederos, se pueden llegar a tener resultados muy exactos en el aforo de caudal. Estos vertederos pueden ser rectangulares, verticales, trapezoidales.

*Ilustración 197. Caída de agua para medición de caudal*



*Elaboración Propia*

*Ilustración 198. Vertederos*



*Elaboración Propia*

El aforador Parshall es un dispositivo de medición de caudal de canal abierto, tiene las ventajas de tener poca pérdida de carga cuando el agua pasa por él y permite pasar con facilidad sedimentos o desechos. Está constituido por una sección de convergencia con un piso nivelado, una garganta con una pendiente hacia aguas abajo y una sección de divergencia con una pendiente hacia aguas arriba. Cuando el agua pasa a través de estos diferentes canales se forma una altura entre el suelo del aforador y la tensión superficial del agua, denominada ( $H_a$ ). Con esta altura se puede determinar el flujo volumétrico de agua mediante la siguiente ecuación. (Metcalf & Eddy, 1996)

$$Q = 2.27W(H_a)^{1.5}$$

*Ecuación 3*

Donde:

$Q$  = Caudal ( $m^3/s$ )

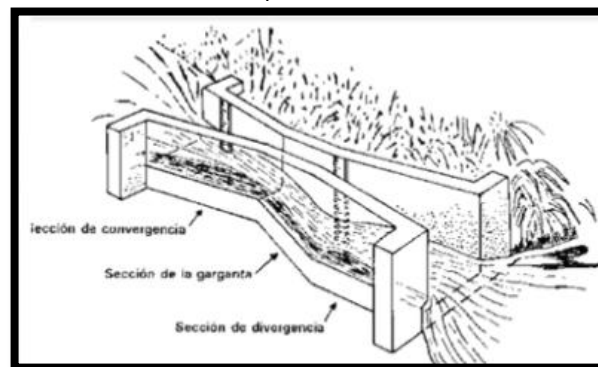
$W$  = ancho de la garganta del medidor (m)

$H_a$  = profundidad de agua a punto A medida desde la base de la canaleta Parshall

Los canales Parshall se pueden fabricar de forma barata y sencilla, se pueden hacer de láminas de metal o madera, con concreto, ladrillo argamasa, etc. Sin embargo, se recomienda comprar prefabricados ya que estos vienen con una ingeniería de diseño y debidamente calibrado que garantiza una buena precisión y exactitud en los aforos de caudales. Una desventaja de este tipo de dispositivos es que se tiene que instalar de forma fija ya que tiene que ir asegurado con concreto. (Metcalf & Eddy, 1996), (FAO, 1997).

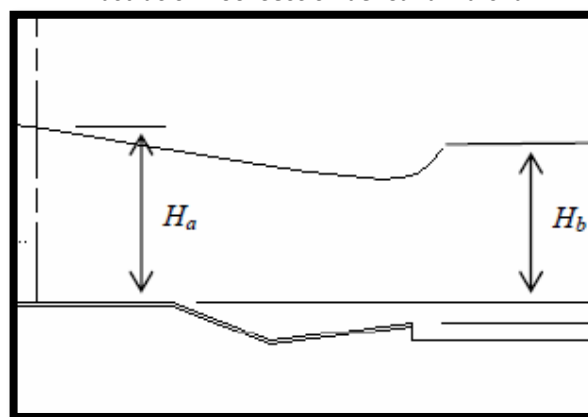
Para una medición más exacta, a este tipo de aforadores se les puede colocar un medidor por ultra sonidos para registrar los datos del caudal en cada instante y almacenarlos en una base de datos.

*Ilustración 199. Dispositivo de medición Parshall*



Fuente: (FAO, 1997)

*Ilustración 200. Sección del Canal Parshall*



(Oakley, 2005)

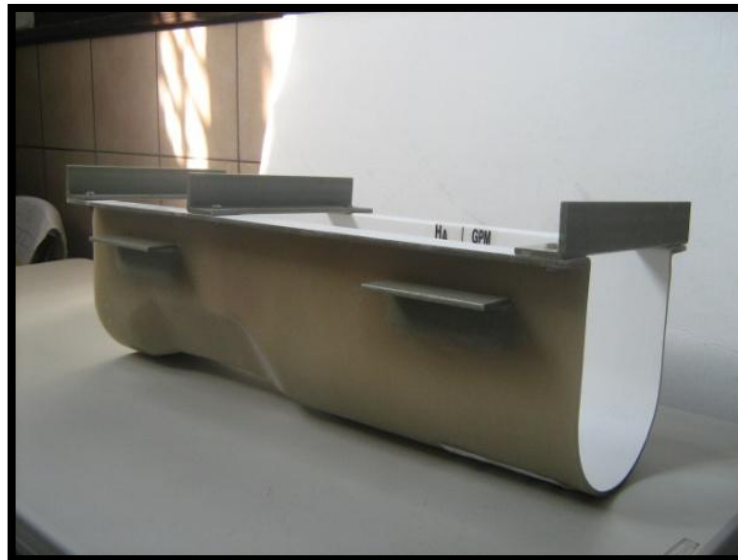
*Ilustración 201. Medidor de caudal Parshall fabricado de concreto*



*(Oakley, 2005)*

El funcionamiento del Palmer Bowlus es muy parecido al Parshall. Por lo general, estos aforadores se colocan en los pozos de registros de un alcantarillado, tienen la ventaja de poder adaptarse a las tuberías, son muy utilizados para sistemas ya existentes y las pérdidas de descarga son relativamente pequeños. (Metcalf & Eddy, 1996)

*Ilustración 202. Palmer Bowlus*

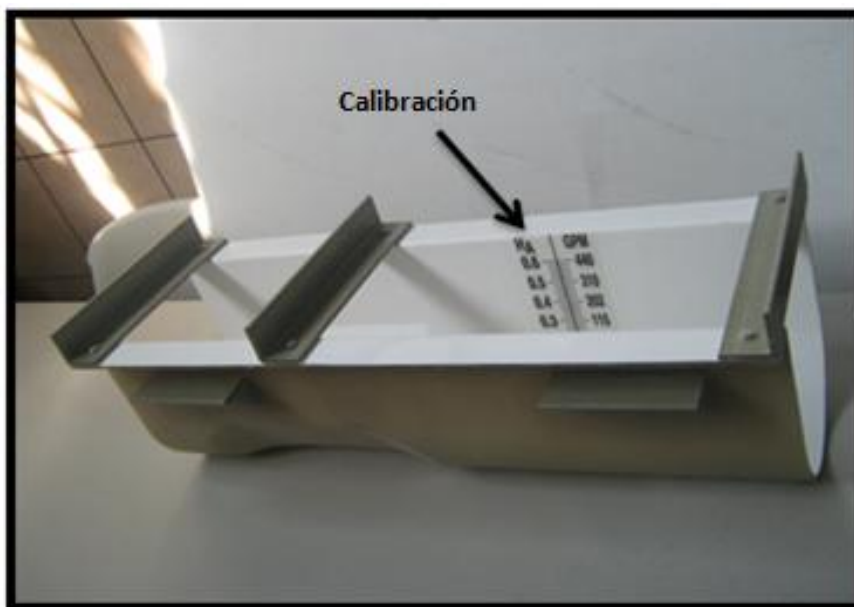


*Elaboración Propia*

Tanto los aforadores Palmer Bowlus como los Parshall pueden estar debidamente calibrados con el fin de facilitar la medición de caudal y asegurar una buena precisión en la

medición. Por lo general, esta calibración compara la altura  $H_a$  de la garganta con un flujo volumétrico.

*Ilustración 203. Palmer Bowlus Calibrado*



*Elaboración Propia*

#### 7.4. Análisis necesarios para la caracterización de aguas residuales

Las aguas residuales deben ser analizadas con el fin de determinar la concentración de los componentes que éstas presentan. Los parámetros que se tienen que medir según el Reglamento son: Temperatura, potencial de hidrógeno, grasas y aceites, materia flotante, sólidos en suspensión, DBO<sub>5</sub>, DQO, nitrógeno total, fósforo total, cianuro, arsénico, cadmio, cobre, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plomo, coliformes fecales, color y lodos residuales. (MARN, 2005)

Es muy importante determinar hacia donde se descargan las aguas residuales. Se pueden descargar a un cuerpo receptor (ríos, lagos, campos de infiltración, etc.) o a un alcantarillado público. Dependiendo hacia dónde se descarguen las aguas residuales, así será el nivel de tratamiento que se debe de efectuar. Si las aguas se descargan a un cuerpo receptor, éstas deben de descargarse con menos concentración de contaminantes que en un cuando se descargan a un colector municipal.

Para realizar un análisis, se debe cumplir con regulaciones y métodos de muestreo. El Reglamento exige que se realicen por lo menos dos análisis de caracterización de aguas residuales anuales. Estos análisis se tienen que efectuar en el dispositivo de toma de muestras y medición de caudal del proyecto. Este dispositivo debe encontrarse antes que las aguas se descarguen al cuerpo receptor o se conecten al alcantarillado público. Tiene que estar ubicado en un punto donde se descarguen todas las aguas residuales pertenecientes al proyecto. Si se cuentan dos lugares de descarga separados, se tiene que efectuar la medición de cada uno.

Según el Reglamento, los entes generadores deben llevar un registro de los resultados de los análisis y conservarlos durante un plazo de cinco años posteriores a su realización. El número de muestras simples requeridas para conformar una muestra compuesta varía de las horas en que se descargue agua residual.

Como se mencionó anteriormente, la concentración de contaminantes del efluente de aguas residuales que se tiene que descargar variará dependiendo hacia donde se sea el destino final (cuerpo receptor o alcantarillado municipal). Los límites máximos de concentración permitidos por el Reglamento se describen a continuación. Como se puede observar, los límites se dividen en Cuatro Etapas. A medida que pasan los años, los límites se van reduciendo con el objetivo de que en el 2024 todos los generadores de aguas residuales cumplan con los valores máximos permitidos para dicho año. Los entes generadores nuevos tienen que cumplir con la Etapa Cuatro del Reglamento para poder realizar sus operaciones. (MARN, 2005)

*Tabla 49. Muestreo*

<b>Número de muestras simples para conformar una muestra compuesta e intervalos de muestreo</b>		
<b>Horas por día que se descargan aguas residuales</b>	<b>Número de muestras simples para conformar una muestra compuesta</b>	<b>Intervalo mínimo en horas entre toma de muestras simples.</b>
<b>Menor que 8</b>	2	2
<b>Entre 8 y 12</b>	3	3
<b>Mayor que 12</b>	4	3

(MARN, 2005)

Tabla 50. Periodicidad de toma de muestras de lodos

Peso promedio de lodos producidos	Periodicidad
Entre 0 a 1500 kilogramos diarios.	Trimestral
Entre 1501 a 3000 kilogramos diarios.	Bimensual
Más de 3000 kilogramos diarios.	Mensual

(MARN, 2005)

Tabla 51. Límites máximos permisibles de descarga aguas residuales.

Parámetros	Dimensionales	Valores iniciales	Fecha máxima de cumplimiento			
			Dos de mayo de dos mil once	Dos de mayo de dos mil quince	Dos de mayo de dos mil veinte	Dos de mayo de dos mil veinticuatro
			Etapa			
			Uno	Dos	Tres	Cuatro
Temperatura	Grados Celsius	TRC±7	TRC±7	TRC±7	TRC±7	TRC±7
Grasas y aceites	mg/L	1500	100	50	25	10
Materia flotante	Ausencia/presencia	Presente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Sólidos suspendidos	mg/L	3500	600	400	150	100
Nitrógeno total	mg/L	1400	100	50	25	20
Fósforo total	mg/L	700	75	30	15	10
Potencial de hidrógeno	U pH	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9
Coliformes fecales	NMP 100 ml.	$< 1 \times 10^8$	$< 1 \times 10^6$	$< 1 \times 10^5$	$< 1 \times 10^4$	$< 1 \times 10^4$
Arsénico	mg/L	1	0.5	0.1	0.1	0.1
Cadmio	mg/L	1	0.4	0.1	0.1	0.1
Cianuro Total	mg/L	6	3	1	1	1
Cobre	mg/L	4	4	3	3	3
Cromo hexavalente	mg/L	1	0.5	0.1	0.1	0.1
Mercurio	mg/L	0.1	0.1	0.02	0.02	0.01
Níquel	mg/L	6	4	2	2	2
Plomo	mg/L	4	1	0.4	0.4	0.4

(Continuación Tabla 51)

Parámetros	Dimensionales	Valores iniciales	Fecha máxima de cumplimiento			
			Dos de mayo de dos mil once	Dos de mayo de dos mil quince	Dos de mayo de dos mil veinte	Dos de mayo de dos mil veinticuat ro
			Etapa			
			Uno	Dos	Tres	Cuatro
Zinc	mg/L	10	10	10	10	10
Color	UPC	1500	1300	1000	750	500

(MARN, 2005)

Tabla 52. Límites máximos permisibles para descargas en esteros

Parámetros	Dimensionales	Valores iniciales	Fecha máxima de cumplimiento			
			Dos de mayo de dos mil once	Dos de mayo de dos mil quince	Dos de mayo de dos mil veinte	Dos de mayo de dos mil veinticuat ro
			Etapa			
			Uno	Dos	Tres	Cuatro
Demanda bioquímica de oxígeno	Grados Celsius	500	300	250	150	100

(MARN, 2005)

Tabla 53. Límites máximos permisibles de descarga a la Cuenca de Lago de Atitlán.

Parámetros	Dimensionales	Fecha máxima de cumplimiento			
		Ríos, Riachuelos, Quebradas, Zanjones.	Lagos	Descargas en el suelo	Alcantarill ado público
Temperatura	Grados Celsius	TRC±7	TRC±3	Menor de 25	Menor de 40
Grasas y aceites	mg/L	10	10	10	30
Materia flotante	Ausencia/ presencia	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Demanda Bioquímica de oxígeno	mg/L	50	30	50	100
Demanda química de oxígeno	mg/L	100	60	100	200

Continuación Tabla 53

Parámetros	Dimensionales	Fecha máxima de cumplimiento			
		Ríos, Riachuelo, Quebradas , Zanjones.	Lagos	Descargas en el suelo	Alcantarill ado público
Sólidos suspendidos	mg/L	60	40	60	125
Nitrógeno total	mg/L	1	1	5	10
Fósforo total	mg/L	1	1	10	2
Potencial de hidrógeno	U pH	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9
Coliformes fecales	NMP 100 ml.	400	400	10,000	10,000
Arsénico	mg/L	0.1	0.1	0.1	0.1
Cadmio	mg/L	0.1	0.1	0.1	0.1
Cianuro Total	mg/L	1.0	1.0	1.0	1.0
Cobre	mg/L	0.5	0.5	0.5	0.5
Cromo hexavalente	mg/L	0.1	0.1	0.1	0.1
Mercurio	mg/L	0.01	0.01	0.01	0.01
Níquel	mg/L	0.5	0.5	0.5	0.5
Plomo	mg/L	0.1	0.1	0.1	0.1
Zinc	mg/L	1.0	1.0	1.0	1.0
Color	UPC	30	30	30	30

(MARN, 2005)

Tabla 54. Límites máximos permisibles de descarga urbanizaciones.

Parámetros	Dimensionales	Valores iniciales	Fecha máxima de cumplimiento			
			Dos de mayo de dos mil once	Dos de mayo de dos mil quince	Dos de mayo de dos mil veinte	Dos de mayo de dos mil veinticuatro
			Etapa			
			Uno	Dos	Tres	Cuatro
Temperatura	Grados Celsius	TRC±7	TRC±7	TRC±7	TRC±7	TRC±7
Grasas y aceites	mg/L	100	50	10	10	10
Materia flotante	Ausencia/Presencia	Presente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Sólidos suspendidos	mg/L	700	250	100	100	100
Nitrógeno total	mg/L	300	275	200	100	100
Fósforo total	mg/L	50	40	20	10	10

Continuación Tabla 54

Parámetros	Dimensionales	Valores iniciales	Fecha máxima de cumplimiento			
			Dos de mayo de dos mil once	Dos de mayo de dos mil quince	Dos de mayo de dos mil veinte	Dos de mayo de dos mil veinticuatro
			Etapa			
			Uno	Dos	Tres	Cuatro
Potencial de hidrógeno	U pH	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9
Coliformes fecales	NMP 100 ml.	< 1x10 <sup>8</sup>	< 1x10 <sup>7</sup>	< 1x10 <sup>5</sup>	< 1x10 <sup>4</sup>	< 1x10 <sup>4</sup>
Arsénico	mg/L	1	0.1	0.1	0.1	0.1
Cadmio	mg/L	1	0.1	0.1	0.1	0.1
Cianuro total	mg/L	6	1	1	1	1
Cobre	mg/L	4	3	3	3	3
Cromo hexavalente	mg/L	1	0.1	0.1	0.1	0.1
Mercurio	mg/L	0.1	0.02	0.02	0.01	0.01
Níquel	mg/L	6	2	2	2	2
Plomo	mg/L	4	0.4	0.4	0.4	0.4
Zinc	mg/L	10	10	10	10	10
Color	UPC	1500	1000	750	500	500

(MARN, 2005)

Tabla 55. Límites máximos permisibles de descarga al alcantarillado público

Parámetros	Dimensionales	Valores iniciales	Fecha máxima de cumplimiento			
			Dos de mayo de dos mil once	Dos de mayo de dos mil quince	Dos de mayo de dos mil veinte	Dos de mayo de dos mil veinticuatro
			Etapa			
			Uno	Dos	Tres	Cuatro
Temperatura	Grados Celsius	<40	<40	<40	<40	<40
Grasas y aceites	mg/L	1500	200	100	60	60
Materia flotante	Ausencia/presencia	Presente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Sólidos suspendidos	mg/L	3500	1500	700	400	200
Nitrógeno total	mg/L	1400	180	150	80	40
Fósforo total	mg/L	700	75	40	20	10

Continuación Tabla 55

Parámetros	Dimensionales	Valores iniciales	Fecha máxima de cumplimiento			
			Dos de mayo de dos mil once	Dos de mayo de dos mil quince	Dos de mayo de dos mil veinte	Dos de mayo de dos mil veinticuatro
			Etapa			
			Uno	Dos	Tres	Cuatro
Potencial de hidrógeno	U pH	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9
Coliformes fecales	NMP 100 ml.	$< 1 \times 10^8$	$< 1 \times 10^6$	$< 1 \times 10^5$	$< 1 \times 10^4$	$< 1 \times 10^4$
Arsénico	mg/L	1	0.5	0.1	0.1	0.1
Cadmio	mg/L	1	0.4	0.1	0.1	0.1
Cianuro total	mg/L	6	3	1	1	1
Cobre	mg/L	4	4	3	3	3
Cromo hexavalente	mg/L	1	0.5	0.1	0.1	0.1
Mercurio	mg/L	0.1	0.1	0.02	0.02	0.01
Níquel	mg/L	6	4	2	2	2
Plomo	mg/L	4	1	0.4	0.4	0.4
Zinc	mg/L	10	10	10	10	10
Color	UPC	1500	1300	1000	750	500

(MARN, 2005)

En las tablas anteriores, no se muestran los valores máximos permisibles para el DBO y DQO. Esto se debe a que el DBO debe ser regulado según un modelo de reducción progresiva de cargas, en donde se va reduciendo la carga orgánica de DBO expresada en kg/día por etapas. En la etapa uno se debe de reducir un 10%, en la etapa dos otro 10%, en la etapa tres un 50% y en la etapa cuatro un 40%. La meta de cumplimiento es que se la carga orgánica debe de tener un valor menor o igual a 3000 kg/día y una concentración menor o igual a 200 mg/L de DBO. Se debe de analizar el DQO para determinar su relación con el DBO y verificar la biodegradabilidad del agua. Para cumplir esto, la relación de DBO y de DQO debe de estar entre 1.5 y 2.5. Por ejemplo, si después del tratamiento el DBO presenta una concentración de 150 mg/L, el DQO debería de estar entre 225 mg/L a 375 mg/L.

## 7.5. Recolección de aguas residuales

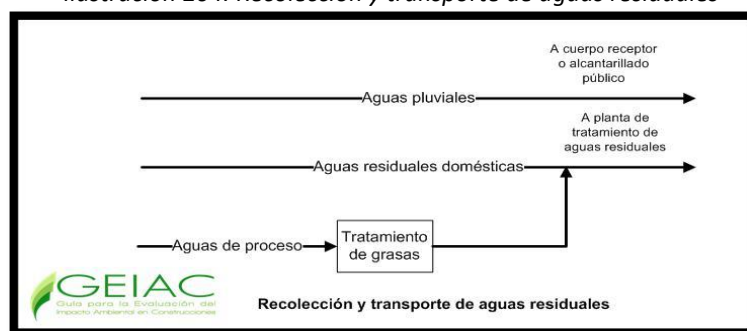
Las alcantarillas sanitarias son todas aquellas que recolectan las aguas negras y las transportan hacia un colector o un cuerpo receptor. Por lo general se encuentran aguas domésticas, residuos líquidos comerciales e industriales, infiltraciones y aguas pluviales. Hay que tomar en cuenta que el diseño de las alcantarillas sanitarias debe de permitir el máximo caudal estimado, con el fin de eliminar o evitar con frecuencia, taponamientos en las tuberías. (Metcalf & Eddy, 1996)

En los proyectos de aguas residuales se debe de separar las aguas pluviales y las aguas negras con el fin de evitar una contaminación y no tener que realizar un tratamiento para las aguas pluviales, éstas pueden descargarse sin ningún problema a un cuerpo receptor a un alcantarillado.

El problema de la mezcla de aguas residuales y pluviales es que no se tendrá una descarga de aguas residuales constante. Por ejemplo, en épocas de invierno, las aguas de lluvia harán que los contaminantes de las aguas residuales se diluyan haciendo que las descargas puedan tener concentraciones bajas, concluyendo que el tratamiento de agua se está realizando de manera eficiente. En épocas de verano, el agua residual estará concentrada y los valores de descarga pueden no cumplir con el reglamento, haciendo que se tengan que hacer modificaciones, generando más costos en separación de tuberías o expansión de la planta de tratamiento.

Cuando se descarguen aguas de tipo especial y aguas domésticas, como por ejemplo en una procesadora de alimentos, se recomienda que las tuberías de recolección de drenaje se separen. Por ejemplo en un establecimiento que se procesen alimentos ricos en grasas, se recomienda implementar una trampa de grasa y descargar todas las aguas de proceso a este tratamiento.

*Ilustración 204. Recolección y transporte de aguas residuales*



*Elaboración Propia*

## 7.6. Tratamiento de aguas residuales

El objetivo del tratamiento de aguas residuales es reducir la concentración de los contaminantes y disminuir el impacto con el medio ambiente a la hora de descargarlas. Para tener un tratamiento de aguas residuales eficiente se tienen que tomar en cuenta los siguientes parámetros:

- Tipo de agua que descarga el ente generador.
- Caudal a descargar.
- Niveles de concentración a descargar.

El tipo de agua residual a descargar tiene mucha influencia sobre los tratamientos a utilizar. Por ejemplo, si el tratamiento es para una procesadora de comida se necesitará la implementación de trampas de grasa para eliminar la descarga. Si el agua se va utilizar para reutilización, se deberá implementar tratamientos terciarios para poder cumplir con las características necesarias y asegurar un tratamiento completo y evitar problemas de contaminación en las reutilizaciones.

Antes de plantear y diseñar un sistema de tratamiento de aguas residuales, se debe tener una idea del caudal generado o que se generará.

En proyectos ya existentes lo que se tiene que hacer es una medición de caudal total que se alimentará a la planta de tratamiento. (Metcalf & Eddy, 1996)

En proyectos nuevos la única forma de determinar el caudal a generar es utilizando tablas de estimación. En los casos en donde los datos sobre caudales sean escasos o inexistentes, es preciso estimarlos partiendo del consumo de agua utilizado por el proyecto.

*Tabla 56. Caudales de agua residual típicos*

<b>Fuente</b>	<b>Unidad</b>	<b>Intervalo (L/unidad día)</b>	<b>Valor típico (L/unidad día)</b>
<b>Apartamento alto standing</b>	Persona	132-280	190
<b>Apartamento nivel medio</b>	Persona	198-300	245
<b>Apartamento zona turística</b>	Persona	190-265	225

(Continuación Tabla 56)

<b>Fuente</b>	<b>Unidad</b>	<b>Intervalo (L/unidad día)</b>	<b>Valor típico (L/unidad día)</b>
<b>Refugio zona turística</b>	Persona	30-190	150
<b>Hotel</b>	Cliente	115-210	170
	Empleado	25-50	40
<b>Hotel zona turística</b>	Cliente	150-225	190
<b>Vivienda media</b>	Persona	170-340	265
<b>Vivienda clase alta</b>	Persona	225-380	300
<b>Vivienda de lujo</b>	Persona	280-570	360
<b>Vivienda antigua</b>	Persona	115-225	170
<b>Segunda residencia</b>	Persona	95-190	150
<b>Motel con cocina</b>	Unidad	340-680	380
<b>Motel sin cocina</b>	Unidad	285-570	360
<b>Dormitorio, barracón</b>	Persona	75-190	150
<b>Zona caravaning</b>	Persona	115-190	150
<b>Zona acampada, desarrollada</b>	Persona	75-150	115
<b>Club de campo</b>	Socio presente	225-490	380
	Empleado	40-55	50
<b>Campamento de día sin comidas</b>	Persona	40-55	50
<b>Aeropuerto</b>	Pasajero	8-15	11

(Continuación Tabla 56)

<b>Fuente</b>	<b>Unidad</b>	<b>Intervalo (L/unidad día)</b>	<b>Valor típico (L/unidad día)</b>
<b>Tienda zona turística</b>	Cliente	4-15	11
	Empleado	30-45	40
<b>Estación de servicio</b>	Carro servido	25-50	40
	Empleado	35-55	45
<b>Bar</b>	Cliente	5-20	10
	Empleado	40-60	50
	Asiento	45-95	75
<b>Cafetería</b>	Cliente	4-10	8
	Empleado	30-45	40
<b>Comedor</b>	Por comida	15-40	26
<b>Grandes almacenes</b>	Lavabo	1500-2250	1900
	Empleado	30-45	40
	Cliente	150-210	180
<b>Edificio industrial (aguas sanitarias)</b>	Empleado	25-60	50
<b>Lavanderías (self-service)</b>	Lavadora	1700-2500	2100
	Lavado	170-210	190
	Empleado	25-60	50
<b>Oficina</b>	Empleado	25-60	50
<b>Restaurante</b>	Comida	8-15	10
<b>Centro comercial</b>	Aparcamiento	4-8	8
	Empleado	25-50	40
<b>Hospital Médico</b>	Cama	470-900	625
	Empleado	20-50	40
<b>Hospital psiquiátrico</b>	Cama	285-530	380
	Empleado	20-55	40
<b>Prisión</b>	Recluso	285-570	435
	Empleado	20-55	40

(Continuación Tabla 56)

<b>Fuente</b>	<b>Unidad</b>	<b>Intervalo (L/unidad día)</b>	<b>Valor típico (L/unidad día)</b>
<b>Asilo</b>	Residente	190-455	320
<b>Colegio con cafetería, gimnasio y duchas.</b>	Estudiante	55-115	95
<b>Colegio con cafetería</b>	Estudiante	40-75	55
<b>Colegio sin cafetería ni gimnasio</b>	Estudiante	20-65	40
<b>Colegio, internado</b>	Estudiante	190-380	285
<b>Piscina</b>	Usuario	20-45	40
	Empleado	30-45	40
<b>Cine</b>	Butaca	8-15	10
<b>Centro de visitas</b>	Visitante	15-30	20

*(Metcalf & Eddy, 1996)*

Con la estimación del valor del caudal, la concentración de contaminantes y la carga orgánica se puede estimar el dimensionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales. El dimensionamiento dependerá de la caracterización del afluente y de los tratamientos que se tengan que realizar para garantizar un efluente que no perjudique al cuerpo receptor o que esté demasiado contaminando para descargarlo a un alcantarillado público. (WEF, 2003)

Los tratamientos de aguas se dividen en procesos físicos, químicos y biológicos. Los procesos físicos son todos aquellos que se realizan con una fuerza mecánica o utilizando la gravedad como fuente de energía. Los procesos químicos son todos aquellos que utilizan químicos para realizar algún tipo de tratamiento; por ejemplo la floculación con polímeros, la desinfección con hipoclorito de sodio o la eliminación de olor con carbón activado. Los procesos biológicos son todos aquellos que utilizan microorganismos para la digestión de desechos. (WEF, 2003)

Estos tres tipos de tratamientos pueden ser utilizados en conjunto para realizar un proceso de tratamiento de aguas residuales que por lo general se divide en cuatro etapas.

- Pre-tratamiento.
- Tratamiento primario.
- Tratamiento secundario.
- Tratamiento terciario.

**7.6.1. Pre-tratamiento.** El pre-tratamiento es el primer proceso de una planta de tratamiento de aguas residuales. Se puede decir que es un tratamiento preliminar que tiene como objetivo retirar todos los sólidos mayores, arenillas y regular caudales muy variables que puedan ocasionar problemas en los equipos de la planta. El pre-tratamiento busca estabilizar y regular todas las características del agua para que los tratamientos posteriores se puedan hacer de la mejor manera posible. (WEF, 2003)

Dentro de lo sólidos que son muy comúnmente retirados por el pre-tratamiento se pueden mencionar: bolsas, troncos, plásticos, animales muertos, etc. Las características que se esperan en el efluente del pre-tratamiento son: Un agua libre de sólidos mayores, homogenizada, con pH neutro y libre de grasas.

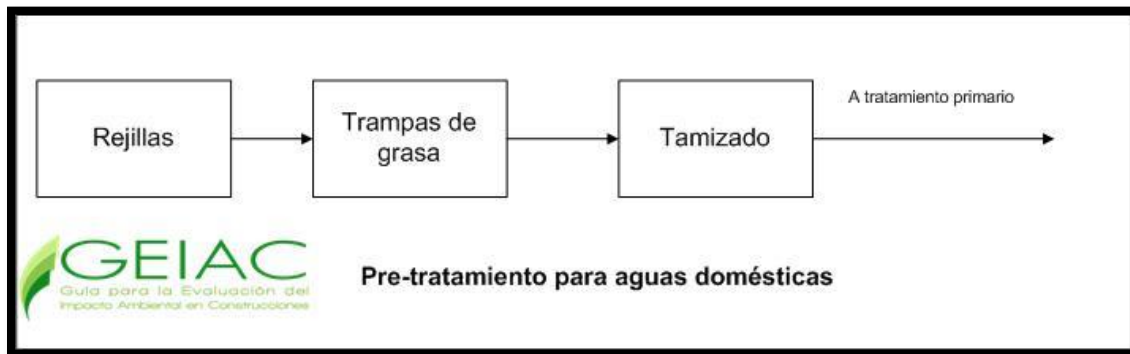
Para realizar estos procesos, se suelen utilizar los equipos mostrados a continuación:

- Sistema de rejillas.
- Desarenadores.
- Tamices.
- Trampas de grasa.
- Regulador de pH.
- Homogenizadores.

Hay que tomar en cuenta que no es necesario que se utilicen todos los procesos mencionados anteriormente. Hay veces que con un sistema de rejillas y una trampa de grasa se llegan a tener las características del agua para poder ser tratada por el tratamiento primario, todo dependerá de los procesos que realice el proyecto y de la caracterización del agua del afluente.

A continuación se presenta un esquema de un posible pre-tratamiento para aguas residuales de una procesadora de alimentos que tenga un alto contenido de grasas, desechos de comida y materia flotante.

Ilustración 205. Pre-tratamiento para aguas residuales domésticas



Elaboración Propia

7.6.1.1. Rejas. Las rejas son el primer tratamiento que tiene que tener el agua residual. Separan los residuos grandes como piedras, ramas, trozos de chatarra, papel, trapos, raíces, etc. Las rejas tienen separaciones entre barros de 15 mm o superiores.

Hay dos tipos de rejas que se pueden utilizar en el tratamiento. Las rejas de limpieza manual (Ilustración No. 206), que no son más que parrillas con aberturas de 15 mm o mayores. Su longitud no excede de los tres metros. Las barras que la conforman tienen un dimensionamiento de 10 milímetros de ancho y 50 milímetros de profundidad. Para su fácil mantenimiento y limpieza, las rejas tienen una placa perforada en la parte superior, esto con el objetivo de recoger toda la basura que se recolectó; se coloca en la placa, drenan los lixiviados y se recolecta la basura para su desecho. (WEF, 2003)

Para que la separación de desechos mayores sea satisfactoria, es importante que la velocidad de aproximación sea de 0.45 m/s a un caudal medio. Si en algunos proyectos, la velocidad del agua es muy alta, ésta se puede disminuir ensanchando los canales y colocar la reja con una inclinación más suave para aumentar la superficie sumergida. (WEF, 2003)

Uno de los parámetros más importantes a la hora de escoger la utilización de rejillas es la apertura que se tiene entre barras. Las rejas que se colocan para recoger los sólidos más grandes son de 38 a 150 milímetros de apertura, las rejillas manuales pueden estar en un rango de apertura entre 25 y 50 milímetros y las rejillas mecánicas pueden estar entre 6.30 milímetros. (WEF, 2003)

Normalmente la cantidad de residuos separados por barras varía entre 0.0035 a 0.0375 m<sup>3</sup>/1000 m<sup>3</sup> de agua residual. Para tamices, el rango está en 0.0375 a 0.225 m<sup>3</sup>/1000m<sup>3</sup>. Si no se quiere utilizar esta aproximación, se puede utilizar la Ilustración No. 11.

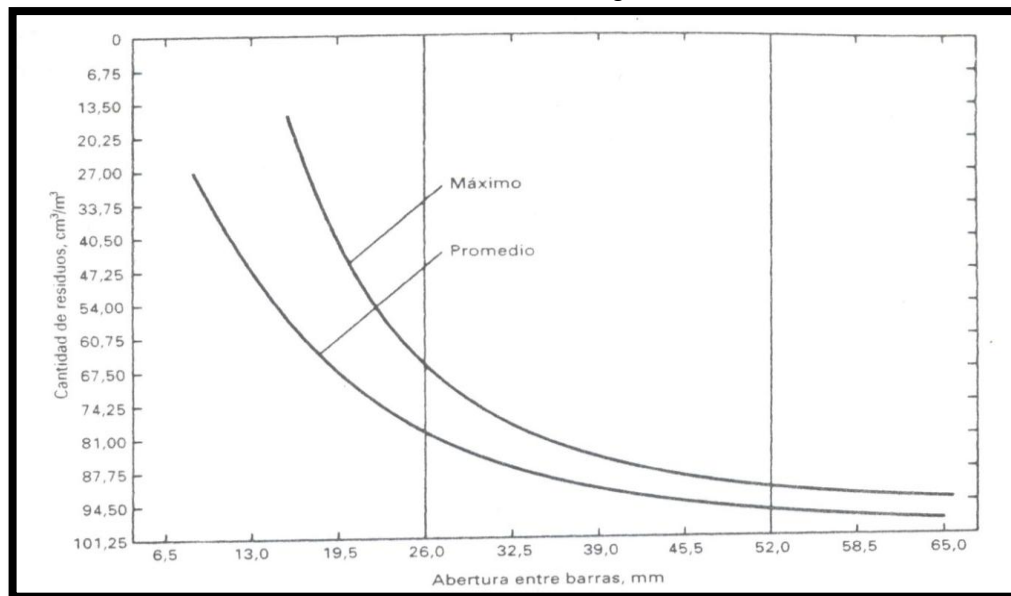
Según la abertura de barras escogida para el diseño, se puede determinar la cantidad de ml por metro cúbico de residuos. Con el valor del caudal se puede obtener el volumen de residuos diarios.

*Ilustración 206. Reja manual*



*Elaboración Propia*

*Ilustración 207. Cantidad de residuos según abertura de barras*



*(Metcalf & Eddy, 1996)*

7.6.1.2. Tamices. A diferencia de las rejas, los tamices tienen orificios más pequeños. Es un sistema de filtrado sobre un soporte delgado. Cuando los tamices poseen aberturas mayores a 0.2 milímetros se dice que es un proceso de macro-

tamizado. Por lo general se utiliza para retener sólidos en suspensión, flotantes, residuos. Cuando los tamices poseen aberturas inferiores a 100 micras se dice que es un proceso de micro-tamizado. Se utiliza para la eliminación de materias en suspensión muy pequeñas.

*Ilustración 208. Tamiz*



*(Bioscience, 2005)*

7.6.1.3. Homogenización. El proceso de homogenización consiste en regular el caudal y la carga que transportan las aguas residuales. El objetivo de este proceso es regular estos dos parámetros mencionados para no saturar los siguientes procesos unitarios del tratamiento y conseguir un caudal y una carga constante. Las principales ventajas de la homogenización son: Mejorar el tratamiento de biodigestión y el pH mejorando la calidad del efluente para procesos de sedimentación. (WEF, 2003)

La metodología del diseño de un homogenizador se debe de realizar determinando el volumen necesario de mezcla y la aireación requerida para producir un caudal homogéneo. Debido a que el caudal a homogenizar puede variar en diferentes épocas del año, se debe de sobre dimensionar el tanque para asegurar que se pueda tratar todo el afluente sin tener sobresaturación. (WEF, 2003)

*Ilustración 209. Homogenizador*



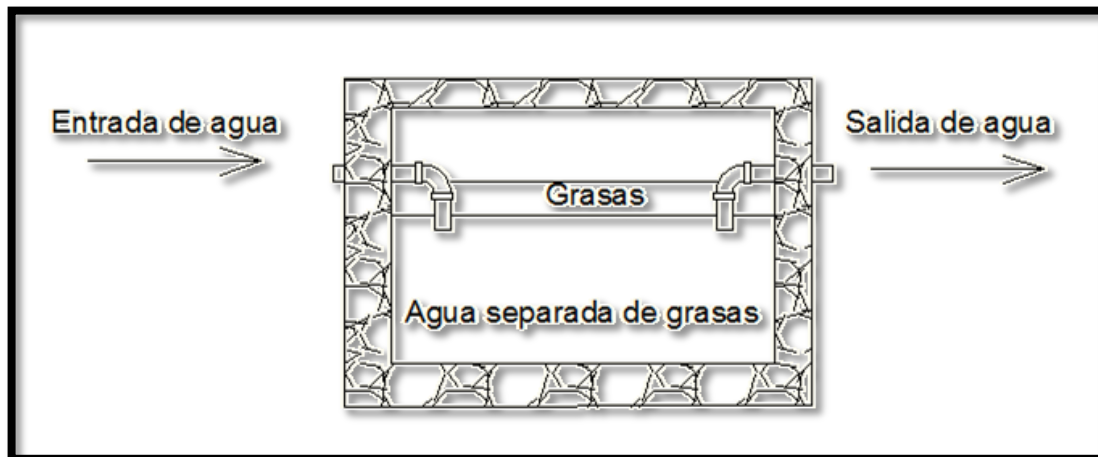
*(Bioscience, 2005)*

7.6.1.4. Trampa de grasa. Hay modificaciones de las trampas de grasa en las que se colocan pestañas o deflectores para obligar a que el agua tenga cierto movimiento, haciendo que tenga más tiempo de retención y mejore la separación, son cuestiones de diseño. Lo que sí es importante es que tengan los codos mencionados con anterioridad, y que la tubería de entrada sea superior a la tubería de salida con el fin de producir un flujo de agua.

Las bases de diseño para las trampas de grasa son las siguientes. Se debe de determinar el caudal cargado con grasas que se quiere tratar por medio de la trama. Luego, estimar un tiempo de retención para calcular el volumen necesario. El tiempo de retención hidráulico mínimo para que la grasa se pueda separar en una trampa de grasa de manera eficiente es de 30 minutos. Se recomienda que la relación entre largo y ancho de la trampa de grasa sea de 1.8. (Metcalf & Eddy, 1996)

Muchas veces, en los tratamientos de aguas residuales no se coloca un pre-tratamiento. Es necesario tomar en cuenta que se pueden tener muchos sólidos como bolsas, troncos, grasas, plásticos y grasas que se descargan por las tuberías. Estos materiales pueden perjudicar a que en los siguientes tratamientos se tengan problemas con taponamientos en las tuberías o con acumulación de desechos mayores. Es por esto que se debe considerar los procesos antes mencionados para garantizar que el agua descargada hacia el siguiente tratamiento esté con las condiciones adecuadas.

Ilustración 210. Trampa de grasa



Elaboración Propia

7.6.2. Tratamiento primario. El principal objetivo del tratamiento primario es preparar el agua residual para entrar al tratamiento secundario con las óptimas condiciones de temperatura, pH, sólidos en suspensión, materia flotante, grasas y aceites, etc. En este tratamiento se elimina una fracción de sólidos en suspensión y de la materia orgánica. Al finalizar el proceso debe quedarse todos los sólidos mayores que no pudieron ser retenidos en el pre-tratamiento. En la mayoría de los casos está formado por procesos físicos.

En esta etapa se utilizan con bastante frecuencia los sedimentadores y los filtros. Con un buen tratamiento primario se puede llegar a reducir los sólidos en suspensión hasta un 60% y la demanda bioquímica de oxígeno hasta un 30%, obtener una buena separación de materia flotante y una homogenización de caudales y de carga orgánica. (J.Glynn Henry, 1999), (Metcalf & Eddy, 1996), (Hammenken Arana & Romero García, 2005)

Ilustración 211. Tratamiento primario



Elaboración Propia

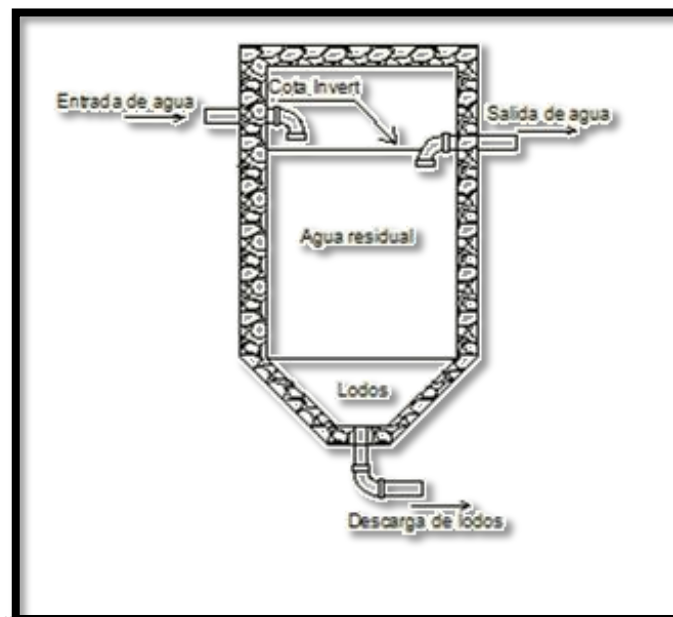
7.6.2.1. Sedimentación. Es uno de los procesos más utilizados en el tratamiento de las aguas residuales. Consiste en separar por acción de la gravedad, partículas suspendidas en las que su peso específico es mayor que el del agua. La sedimentación más sencilla es descargar el agua residual en un tanque en donde este quede sin movimiento alguno y con un tiempo de retención mínimo, con el fin de dejar que las partículas más pesadas que el agua se clarifiquen y se almacenen en el fondo del tanque.

Este proceso sirve para:

- Separar la arenilla.
- Clarificar las aguas del alcantarillado.
- Clasificar suspensión biológica.
- Clarificación.
- Espesar por gravedad los lodos primarios y secundarios.

(Metcalf & Eddy, 1996), (Lapeña, 1990)

*Ilustración 212. Sedimentador*



*Elaboración Propia*

7.6.2.2. Sedimentador primario. En procesos de aguas residuales con volúmenes grandes se utilizan los sedimentadores primarios. Como se mencionó anteriormente, la finalidad de un sedimentador es separar los sólidos sedimentables y la materia flotante, reduciendo además los sólidos en suspensión. Hay veces que se utilizan como único tratamiento, el cuál cumple como objetivo principal: Separar los sólidos

sedimentables con el objetivo de evitar que se generen lodos en los cuerpos receptores, separación de grasas y materia flotante, y retirar un porcentaje de la carga orgánica que contiene el agua residual. Un buen sedimentador primario puede llegar a reducir los sólidos en suspensión entre 50-70% y la demanda bioquímica de oxígeno entre 25-40%. (WEF, 2003)

Estos tanques de sedimentación primaria pueden ser rectangulares o circulares como la Ilustración 17. A continuación se presentan los valores típicos para su dimensionamiento.

*Ilustración 213. Sedimentador primario*



*(Bioscience, 2005)*

*Tabla 57. Dimensionamiento de un sedimentador primario*

Tipo de tanque	Valor	
	Intervalo	Típico
	<b>Rectangular</b>	
<b>Profundidad (m)</b>	3-4.5	3.6
<b>Longitud (m)</b>	15-90	25-40
<b>Anchura (m)</b>	3-25	5-10
<b>Velocidad de los sacadores (m/min)</b>	0.6-1.2	0.9

(Continuación Tabla 57)

Tipo de tanque	Valor	
	Intervalo	Típico
	<b>Rectangular</b>	
Tiempo de detención (h)	1.5-2.5	
Tiempo de detención para tratamiento secundario posterior. (h)	0.5-1	
	<b>Circular</b>	
Profundidad (m)	3-4.5	3.6
Diámetro (m)	3-60	12-45
Pendiente de la solera (mm/m)	6.25-16	8
Velocidad de rascadores	0.002-0.05	0.03
Tiempo de detención (h)	1.5-2.5	
Tiempo de detención para tratamiento secundario posterior (h)	0.5-1	

(Metcalf &amp; Eddy, 1996)

7.6.3. Tratamiento secundario. En el tratamiento secundario se busca utilizar un sistema de biodigestión para degradar y convertir la materia orgánica en lodos. Está principalmente realizado para eliminar la mayor cantidad de materia orgánica y de sólidos en suspensión. Dentro de los tratamientos para aguas residuales con caudales grandes se pueden utilizar proceso de lodos activados, de lecho fijo, sedimentaciones, lagunas. En plantas de tratamiento con caudales pequeño se pueden utilizar tanques sépticos, tanques imhoff, tanques aerobios, etc. (WEF, 2003)

El efluente de esta etapa de tratamiento debe salir lo más clarificada, con parámetros de contaminación bajos. Es por eso que en algunos procesos de biodigestión, se utiliza un clarificador para sedimentar todos los lodos y sólidos. Un buen tratamiento secundario

puede llegar a eliminar hasta un 90% los sólidos en suspensión y la demanda bioquímica de oxígeno. (Metcalf & Eddy, 1996), (J.Glynn Henry, 1999).

Un tratamiento secundario en las aguas residuales es indispensable si se quiere reducir un gran porcentaje la demanda biológica de oxígeno. El objetivo del tratamiento secundario es disminuir el DBO, eliminar los sólidos en suspensión y los no sedimentables, y estabilizar la materia orgánica. Este objetivo se logra por medio de microorganismos que convierten la materia orgánica en diferentes gases y tejidos celulares (lodos). (Metcalf & Eddy, 1996)

Para poder reproducirse y realizar la función que se quiere, un microorganismo necesita:

- Una fuente de energía.
- Carbono para la síntesis de materia celular nueva.
- Nutrientes.

Estos microorganismos se pueden clasificar de acuerdo a sus necesidades nutritivas para su crecimiento. Los microorganismos que utilizan el carbono orgánico para la formación de tejido celular se llaman heterótrofos. Los organismos que obtienen el carbono celular a partir de dióxido de carbono se llaman autótrofos. Debido a la conversión de dióxido de carbono a carbono celular se necesita mucha energía, estos organismos se comportan en tasas de crecimiento menores que los heterótrofos. (Metcalf & Eddy, 1996)

Los organismos capaces de obtener su energía de la luz solar se llaman fotótrofos. Los que obtienen su energía a base de reacciones químicas se llaman quimiótrofos. Los organismos quimiauótrofos consiguen la energía por medio de la oxidación de compuestos inorgánicos tales como el amoníaco, nitrito y el sulfuro. (Metcalf & Eddy, 1996), (WEF, 2003)

Los tratamientos secundarios se pueden dividir en dos tipos. Pueden ser aerobios y anaerobios. Como su nombre lo indica, los tratamientos que utilizan aire se llaman aerobios y los tratamientos que no utilizan aire se llaman anaerobios. En comparación con el tratamiento aerobio, en el anaerobio los tiempos de biodigestión son más altos debido al lento crecimiento de las bacterias metanogénicas y a la ausencia de oxígeno. Disminuir la demanda química de oxígeno sin aire es más difícil ya que el proceso depende únicamente de los microorganismos que degradan la materia orgánica, a diferencia del tratamiento aerobio que utiliza aire y el proceso de lo aprovecha facilitando la degradación. Si se va a utilizar un tratamiento anaerobio, éste deberá estar muy bien dimensionado y debidamente sellado para evitar que se fuguen los malos olores generados por los gases producidos (ácido

sulfhídrico). Para la descarga de estos gases, se puede utilizar un extractor de gases. En ausencia de espacio, el tratamiento anaerobio puede ser una mejor alternativa ya que éste puede estar enterrado, aprovechando el espacio superficial para otras implementaciones. Las plantas anaerobios bien dimensionadas pueden estar ubicadas en jardines, plazuelas, parques, etc. (Metcalf & Eddy, 1996)

### 7.6.3.1. Tratamiento de lodos activados

Ilustración 214. Tratamiento de lodos activados



*Elaboración Propia*

Este es uno de los procesos más utilizados en el tratamiento de aguas residuales. El funcionamiento es el siguiente: El agua residual entra a un reactor en donde se encuentran microorganismos, aireación y se realiza la biodigestión. (Hammenken Arana & Romero García, 2005), (Metcalf & Eddy, 1996).

Después de pasar por este reactor, el efluente es transportado a un sedimentador con el fin de separar el agua de los lodos producidos. Parte de estos lodos son retornados al reactor ya que estos están ricos en materia orgánica y microorganismos, mejorando el tratamiento biológico. Para mantener la aireación en el reactor, por lo general se utilizan aireadores mecánicos o difusores. (Metcalf & Eddy, 1996).

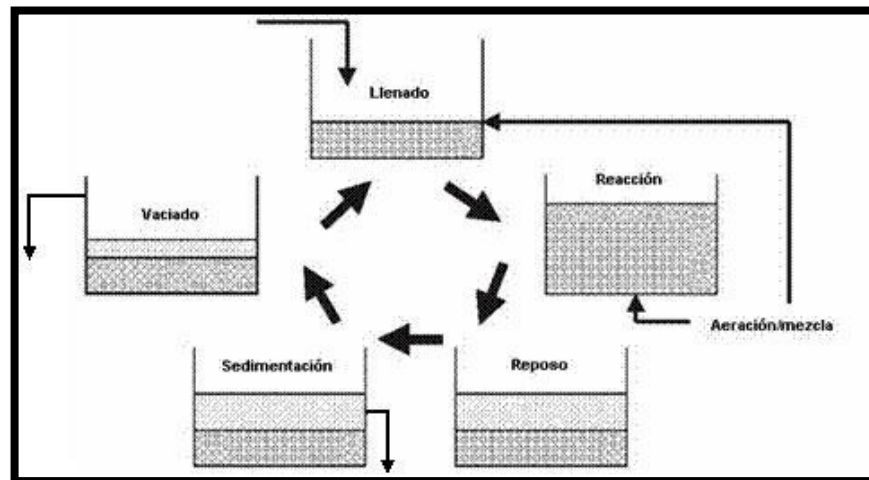
Uno de los factores que hay que tomar en cuenta en este tipo de proceso es el flóculo que forman las bacterias con las aguas residuales. El flóculo debe ser de tal tamaño y masa, que sea fácilmente sedimentable. Esto se logrará con mantener el agua en contacto con los

microorganismos. Se ha observado que al aumentar el tiempo de retención, se mejora las características de sedimentación del floculo biológico. Para aguas residuales domésticas, el tiempo de retención celular debe de estar entre 3 y 4 días, mientras que el tiempo de retención hídrica puede variar entre 4 y 8 horas (Metcalf & Eddy, 1996), (WEF, 2003)

7.6.3.2. Reactor discontinuo secuencial. Este reactor tiene la misma funcionalidad que el de lodos activados, con la diferencia de que todo sucede en un mismo tanque. Su funcionamiento se basa en la secuencia de ciclos de llenado y vaciados.

Los reactores discontinuos secuenciales constan de cinco etapas:

*Ilustración 215. Etapas de un ciclo de operación de un reactor discontinuo secuencial*



*(Aguado Alonso, 2006)*

- Llenado: En esta fase se agrega el agua residual cruda al reactor. Se hace que el nivel del líquido en el depósito ascienda del 25% al 100%. Por lo general, esta fase corresponde al 25% de tiempo del proceso. (Metcalf & Eddy, 1996)
- Reacción: En esta fase se produce la biodigestión. Ocupa el 35% de tiempo del proceso.
- Sedimentación: En esta etapa se permite la sedimentación de los lodos producidos en la reacción para obtener un agua clarificada. (Metcalf & Eddy, 1996)
- Vaciado: En esta fase se separa el agua clarificada de los lodos producidos. Por lo general se utilizan vertederos flotantes. Esta fase representa un 20 a 50% de tiempo del proceso. (Metcalf & Eddy, 1996)
- Fase inactiva: En esta fase, si es necesario se extraen los lodos producidos. El objetivo es que en un sistema de muchos tanques, permitir que un reactor termine su fase de llenado antes de conectar con otra unidad. (Metcalf & Eddy, 1996)

7.6.3.3. Filtros percoladores. En estos filtros, el agua residual es introducida por medio de dispensadores rotatorios. Entran en contacto con un lecho formado por estructuras permeables en donde están adheridos los microorganismos que realizan la biodigestión. Este medio filtrante puede estar formado por piedras de 2.5 a 10 centímetros o por estructuras plásticas. La profundidad del lecho varía del diseño del filtro pero por lo general están entre 0.5 a 2.5 metros, con una profundidad de 1.8 metros. Después de que el agua pasa por el filtro, es recogida y distribuida al siguiente proceso o a su disposición final. (Metcalf & Eddy, 1996)

*Ilustración 216. Filtro percolador*



*(Bioscience, 2005)*

*Ilustración 217 Piedras como filtro para percoladores*

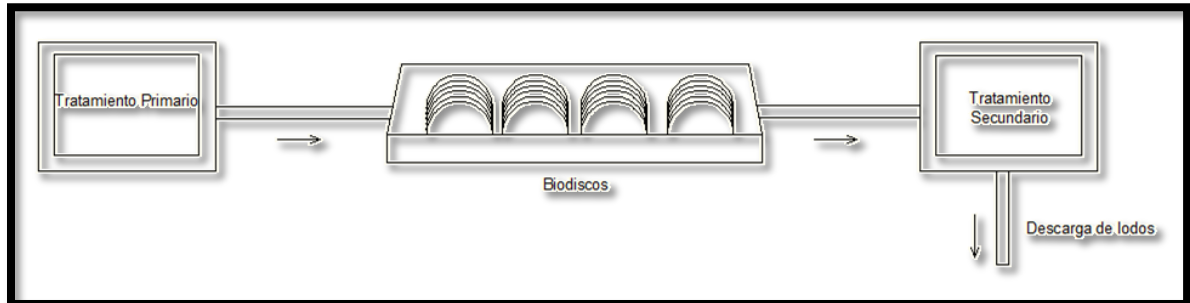


*(Bioscience, 2005)*

La degradación de la materia orgánica se da por medio de los microorganismos que están adheridos al medio filtrante.

7.6.3.4. Biodiscos. El sistema cuenta con discos rotatorios que están ubicados en la superficie del agua residual, parte de estos discos se sumergen. Los discos se encuentran a corta distancia unos de otros. La velocidad con la que giran es lenta, por lo que estos discos se cubren de una capa de microorganismos que realizan la digestión. Debido al movimiento de los discos, se transfiere oxígeno al agua residual realizándose un tratamiento aerobio. La rotación también ayuda a la eliminación del exceso de sólidos en los discos por medio de los esfuerzos cortantes que origina, manteniendo en suspensión los sólidos arrastrados, transportándolos desde el reactor hasta el clarificado. (Metcalf & Eddy, 1996)

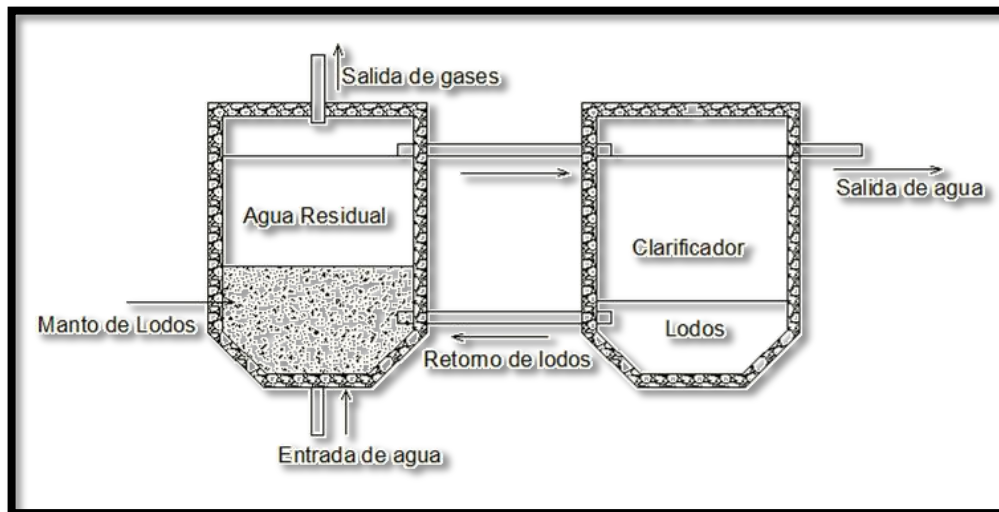
*Ilustración 218. Esquema de proceso de tratamiento con biodiscos*



*Elaboración Propia.*

7.6.3.5. Manto de fango de flujo ascendente. El proceso de manto de fango de flujo ascendente el agua residual entra a un digestor por la parte inferior. El agua comienza a subir de nivel en el reactor y se encuentra con un manto de fango constituido por partículas formadas biológicamente. El contacto de agua residual con el manto produce la biodigestión. Esto produce gases que son liberados almacenados en una bóveda de gases instalada en la parte superior del reactor. El efluente del reactor se introduce a un clarificador con el fin de separar los sólidos que quedaron en el agua. Este proceso funciona a temperaturas muy bajas ya que si no, se barrería el manto de fango y no se realizaría el proceso de forma adecuada. Para que funcione de forma efectiva, la velocidad del flujo ascendente tiene que estar entre 0.6 y 0.9 m/h. (Metcalf & Eddy, 1996)

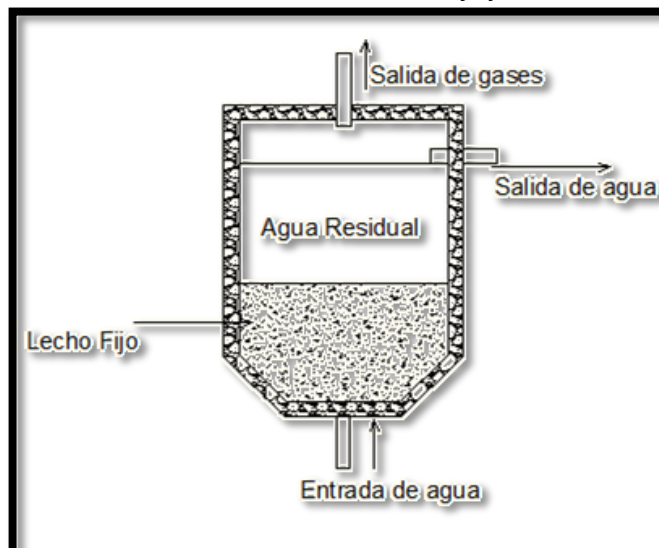
Ilustración 219. Tanque de manto de fango de flujo ascendente con retorno de lodos



Elaboración propia

7.6.3.6. Reactor anaerobio de flujo ascendente. Es muy parecido al proceso anaerobio de manto de fango de flujo ascendente, la única diferencia es que en lugar de contar con un manto de fango, se utiliza un lecho formado por piedras o por materiales plásticos de diferentes formas para que los microorganismos se adhieran a ellos. El contacto que se forma entre el agua residual y el lecho con los microorganismos, produce la biodigestión. (Metcalf & Eddy, 1996)

Ilustración 220. Reactor anaerobio de flujo ascendente



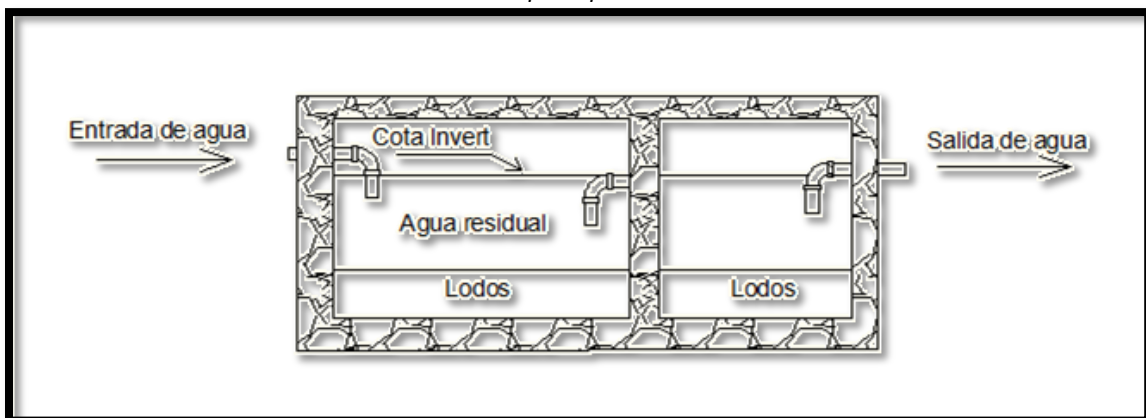
Elaboración Propia

7.6.3.7. Tanque séptico. Son tanques fabricados o prefabricados que tienen como propósito, la sedimentación y eliminación de flotantes. Entre los materiales más

utilizados para la fabricación de fosas sépticas están: fibra de vidrio, acero y polietileno. Deben ser estancas y de estructuras resistentes. (J.Glynn Henry, 1999), (Metcalf & Eddy, 1996)

El funcionamiento es el siguiente: El agua residual entra a la fosa séptica, la cuál es una cámara en donde el agua permanece en retenida por un tiempo, Ilustración No. 25. Aproximadamente el tiempo de retención necesario para el tratamiento en una fosa séptica es de 1 a 3 días. Durante este tiempo, se realiza una digestión anaerobia y se forman lodos que se acumulan en el fondo del tanque. En cuanto a las grasas y aceites, estas se acumulan en la parte superior, dando lugar a una capa de espumas. El agua residual abandona la fosa después de cierto tiempo, separada de las grasas y de los lodos. La materia orgánica que queda retenida en la parte inferior del tanque sufre un proceso de descomposición anaerobia, y se producen compuestos y gases más estables como dióxido de carbono, metano y sulfuro de hidrógeno. Por lo general, el sulfuro de hidrógeno reacciona con metales presentes en los sólidos sedimentados dando lugar a sulfuros metálicos insolubles, es por esto que las fosas sépticas no deberían de generar malos olores. Sin embargo, siempre puede quedar algo de sulfuro de hidrógeno libre, por lo que es muy importante que estén bien hechas, selladas y sin fugas para evitar la generación de estos malos olores. (Organización, 2005), (Metcalf & Eddy, 1996), (J.Glynn Henry, 1999).

*Ilustración 221. Tanque séptico de dos cámaras*



*Elaboración Propia*

A pesar que se realiza una descomposición anaerobia que reduce el volumen de materia sólida acumulada en el fondo, siempre va a existir una acumulación que con el tiempo hay que remover. (Metcalf & Eddy, 1996), (J.Glynn Henry, 1999).

Hay muchos diseños de fosas sépticas, en donde unas son más eficientes que otras. La forma típica es un tanque, con una alimentación de agua y una salida a un nivel establecido. Por lo general alto, en comparación con la profundidad del tanque. Sin embargo, hay diseñadores que colocan unos codos en los tubos de alimentación y descarga, y una tubería conectada a los codos, haciendo que las grasas y los aceites no se descarguen en la salida y sean separadas del agua tratada.

Una de las mejores formas de mejorar la eficiencia de remoción de las fosas es separarla por cámaras (Ilustración 26) esto hace que el agua residual tenga un tiempo de retención en cada una de ellas, haciendo que los microorganismos puedan digerir los contaminantes con mayor eficiencia.

7.6.3.7.1. *Diseño. Se utilizó la guía de tanques sépticos, tanques imhoff y lagunas de estabilización de la organización panamericana de la salud. Lima 2005. (OPS, 2005)*

Para poder diseñar un tanque séptico se utilizan los siguientes cálculos:

El período de retención hidráulica (PR h)

$$PR = 1.5 - 0.3 \log(P \times Q) \quad \text{Ecuación 4}$$

En donde:

P: El número de personas que están en el proyecto.

Q: es el caudal de aguas residuales separado o descargado.

El volumen requerido de sedimentación (Vs m<sup>3</sup>)

$$V_s = \frac{P \times Q \times PR}{1000} \quad \text{Ecuación 5}$$

Volumen de digestión y almacenamiento de lodos (Vd m<sup>3</sup>)

$$V_d = \frac{(70 \times P \times N)}{1000} \quad \text{Ecuación 6}$$

N: Intervalo deseado en años, entre operaciones sucesivas de remoción.

Volumen de lodos producidos

Los valores pueden estar entre:

40 Litros/persona x año.

50 Litros/persona x año

En el caso donde se descarguen aguas de cocina, en donde se tienen piletas y se descarga mucha grasa, se le debe de agregar 20 Litros/persona x año de más.

El volumen de natas

Tiene un valor mínimo de  $0.7\text{m}^3$ .

Profundidad máxima de espuma sumergida (He)

$$He = \text{Volumen de } \frac{\text{natas}}{A} \quad \text{Ecuación 7}$$

En donde:

A = al área superficial del tanque séptico ( $\text{m}^2$ ).

Distancia entre la superficie inferior de la capa de espuma y el nivel inferior de la Te de salida

Valor mínimo de 0.10 metros.

Profundidad libre de lodo (Ho)

$$Ho = 0.82 - 0.26 \times A \quad \text{Ecuación 8}$$

Profundidad mínima requerida de sedimentación (Hs)

$$Hs = \frac{Vs}{A} \quad \text{Ecuación 9}$$

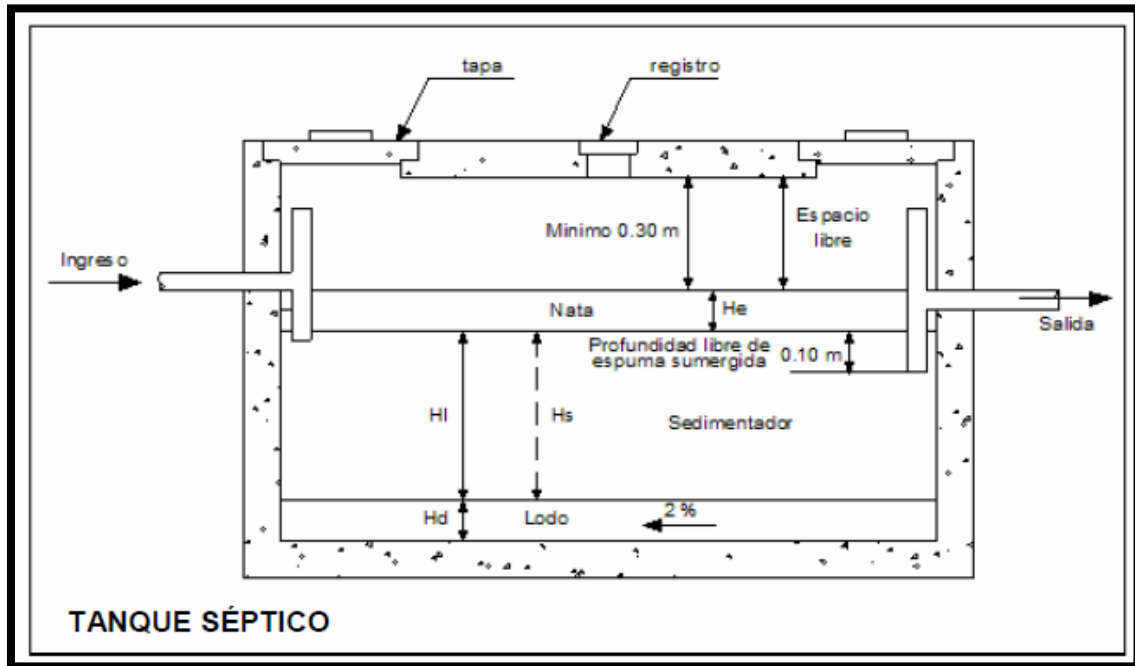
Profundidad de espacio libre

Comprende la superficie libre de espuma sumergida y la profundidad de lodos. Se debe de seleccionar el mayor valor, comparando la profundidad del espacio libre mínimo total ( $0.1+H_0$ ) con la profundidad mínima requerida para la sedimentación (Hs).

### Profundidad neta del tanque

Es la suma de las profundidades de natas, sedimentación, almacenamiento de lodos y la profundidad libre de natas sumergidas.

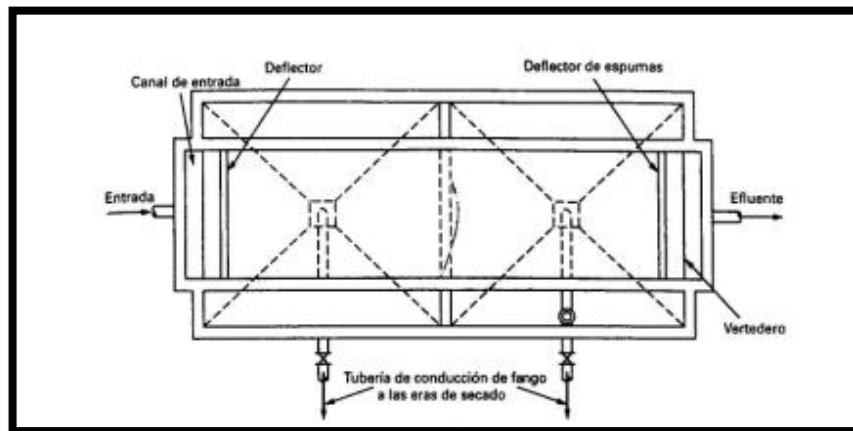
Ilustración 222. Partes señalizadas de un tanque séptico para su diseño



(OPS, 2005)

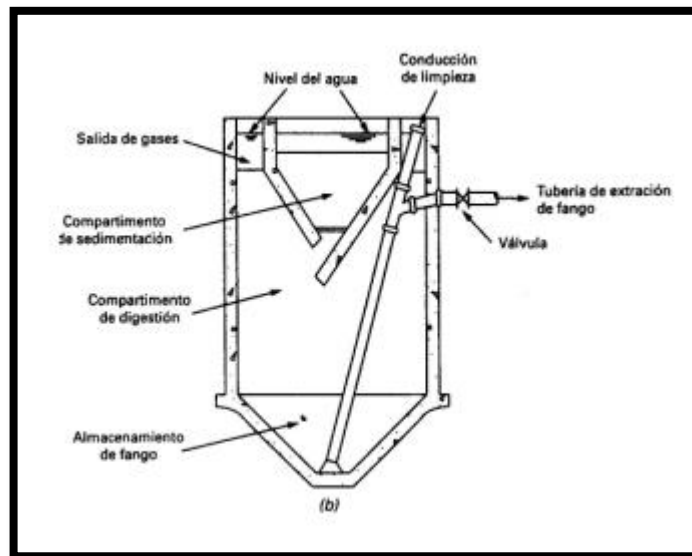
7.6.3.8. Tanque Imhoff. El tanque Imhoff es un sistema de tratamiento anaerobio parecido a la fosa séptica, con la diferencia que posee dos fases de tratamiento. Como se puede observar en la Ilustración 27, el agua residual entra a la parte alta del tanque en donde se somete a una sedimentación, luego el agua cae y permanece retenida un tiempo produciendo una digestión anaerobia. Esta digestión produce lodos que se sedimentan en el fondo del tanque y gases que son almacenados en la parte superior del tanque y son extraídos por la parte baja se produce una digestión anaerobia. (Metcalf & Eddy, 1996)

Ilustración 223. Vista de planta de un tanque imhoff



(Metcalf & Eddy, 1996)

Ilustración 224. Vista de sección transversal de un tanque imhoff.



(Metcalf & Eddy, 1996)

Las ventajas de utilizar los tanques imhoff son los siguientes:

- Además de tener un proceso de sedimentación, tiene un proceso de biodigestión anaerobia.
- Almacenamiento de lodos en el fondo del tanque.
- El único pre-tratamiento que se puede llegar a necesitar son rejillas con el fin de asegurarse que no se alimente a la planta sólidos mayores.
- Tiene bajo costo de construcción y de operación ya que no necesitan sistema de bombeo.

- Se necesita poco terreno de construcción.
- Pueden ser utilizadas para poblaciones menores de 5000 personas.
- El tanque imhoff puede llegar a reducir un 40-50% de sólidos en suspensión y un 30%-50% del DBO, por lo que en se puede llegar a utilizar en lugares en donde la carga y la concentración de contaminantes no sea muy grande.

(OPS, 2005)

Las desventajas son que:

- Pueden generar malos olores debido a la biodigestión anaerobia.
- Necesidad de extracción de lodos debido a la digestión.

#### 7.6.3.8.1. Diseño

Se utilizó la guía de tanques sépticos, tanques imhoff y lagunas de estabilización de la organización panamericana de la salud. Lima 2005. (OPS, 2005)

Diseño del sedimentador

Caudal de diseño ( $m^3/h$ )

$$Qp = \frac{Px D}{1000} \times \% \text{ de contribución} \quad \text{Ecuación 10}$$

Área del sedimentador ( $As, m^2$ )

$$As = \frac{Qp}{Cs} \quad \text{Ecuación 11}$$

$Cs =$  carga superficial ( $1 m^3/m^2 * \text{hora}$ )

Volumen del sedimentador ( $Vs m^3$ )

$$Vs = Qp \times PR \quad \text{Ecuación 12}$$

PR : Período de retención hidráulica (h)

- El fondo del tanque tendrá una sección transversal en V y la pendiente de los lados será de 50 a 60°.

- La abertura del sedimentador para el paso hacia el digestor debe de ser de: 1.5 a 0.20 metros. Se recomienda prolongar uno de los lados unos 15 a 20 centímetros.

#### Longitud mínima del vertedero de salida (Lv m)

$$Lv = \frac{Q_{max}}{Chv}$$

*Ecuación 13*

Q max= Caudal máximo diario de diseño (m<sup>3</sup>/día).

Chv = Carga hidráulica sobre el vertedero (125 a 500 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup> \* día) El valor recomendado es 250.

#### Diseño del digestor (Vd m<sup>3</sup>)

Se asumirá un factor de capacidad relativa (fcr) de 0.7.

$$Vd = \frac{70 \times P \times fcr}{1000}$$

*Ecuación 14*

P = personas que descargan aguas hacia la planta de tratamiento.

- La tolva de lodos tendrá una forma de tronco de pirámide invertida con el fin de facilidad de almacenamiento y retiro de lodos.
- La altura máxima de lodos será de 0.5 metros del sedimentador.

#### Tiempo de digestión de lodos

EL tiempo de digestión de lodos se tomará como 40 días.

#### Extracción de lodos

- La tubería de remoción del extractor de lodos será por lo menos de 200 milímetros, y deberá de estar ubicada 15 centímetros por encima del fondo del tanque.

#### Área de ventilación

Para el diseño de la superficie libre entre las paredes del digestor y el sedimentador será de:

- Espacio libre recomendado de 1 metro.

#### Carga orgánica de Sólidos en Suspensión

$$CSST = Q * SST * 0.0864 \quad \text{Ecuación 15}$$

#### Masas de sólidos que conforman los lodos

$$Msd = (0.175 * C) + (0.15 * C) \quad \text{Ecuación 16}$$

#### Volumen diario de lodos

$$Vld = \frac{Msd}{\rho_{lodos} \times \left( \frac{\% \text{ sólidos}}{100} \right)} \quad \text{Ecuación 17}$$

$$\rho = 1.04 \text{ kg/L}$$

% sólidos = Porcentaje de sólidos contenidos en el lodo (8% a 12%).

Volumen de lodos a extraer del tanque

$$Vel = \frac{Vld \times Td}{1000} \quad \text{Ecuación 18}$$

Td: Tiempo de digestión en días.

7.6.3.9. Proceso de lagunas. En las lagunas aerobias, lo que se quiere es mantener el agua oxigenada por medio de algas y de la difusión del aire. Existen dos tipos de estanques aerobios. En el primero se busca maximizar la producción de algas, para esto se hacen los estanques con una profundidad de 15 a 50 centímetros. En la segunda se busca maximizar la cantidad de oxígeno producido, por lo que se emplea profundidades de 1.5 metros. Hay veces que para maximizar la aireación en el estanque es necesario la implementación de bombas o aireadores. (Metcalf & Eddy, 1996)

El proceso biológico comienza con la producción de oxígeno de las algas en el proceso de fotosíntesis. Este oxígeno liberado es utilizado por las bacterias para la degradación de la materia orgánica. La biodigestión produce nutrientes y dióxido de carbono lo usan las algas. El sistema y la eficiencia de éste dependerá de las condiciones a las que se someta, depende mucho de la carga orgánica, mezclado del estanque, pH, temperatura, luz solar, nutrientes. (Metcalf & Eddy, 1996)

*Ilustración 225. Estanque aerobio*

*Elaboración Propia.*

Los estanques aerobios son sistemas muy eficientes ya que pueden llegar a eliminar la demanda bioquímica de oxígeno hasta en un 95%. Sin embargo, se necesita el espacio suficiente para la construcción de los estanques.

Los estanques facultativos son una mezcla de proceso aerobio con anaerobio. Son estanques que se alimentan de agua residual procedente de un proceso previo de desbaste o de un tratamiento primario. Son estanques más profundos que los aerobios y este se divide en tres zonas. La zona de la superficie es la aerobia. Está constituida por algas y bacterias que realizan una relación simbiótica antes mencionada en el estanque de aireación, para degradar la materia orgánica.

El oxígeno es producido por las algas por medio de la fotosíntesis o por aireadores de superficie. Al utilizar estos aireadores, se mejora la eficiencia del estanque, pero hay que tomar en cuenta que la carga orgánica aplicada no debe de exceder de la cantidad de oxígeno que pueda ser suministrada por lo aireadores sin que se produzca un mezclado completo del contenido del estanque. (Metcalf & Eddy, 1996)

En la zona inferior es la zona anaerobia. Aquí se realizan la digestión anaerobia de los sólidos acumulados. La descomposición anaerobia de los sólidos acumulados produce compuestos disueltos y gases como dióxido de carbono, metano, sulfuro de hidrógeno, que se oxidan con las bacterias aerobias o se liberan a la superficie. En la zona intermedia hay una

mezcla de procesos anaerobios y aerobios, aquí se descomponen los residuos orgánicos por las bacterias facultativas. (Metcalf & Eddy, 1996)

Al igual que en los estanques aerobios, las características del agua residual a tratar son un factor muy importante para su dimensionamiento y para su eficiencia.

Los estanques anaerobios son utilizados cuando se tienen aguas residuales con alta carga orgánica y con una alta concentración de sólidos. A diferencia de los otros estanques antes mencionados, éste es más profundo debido a que se quiere obtener un sistema completamente anaerobio o la mayor parte posible, y para conservar la energía calorífica. Se han construido estanques de profundidades de hasta, 9.1 metros. Por lo general, el efluente de este tipo de tratamiento es transportado para un posterior tratamiento. La eficiencia es de un 70% de reducción de DBO, pero se pueden llegar a tener hasta un 85%. (Metcalf & Eddy, 1996)

**7.6.4. Tratamiento terciario y tratamientos avanzados.** El tratamiento terciario tiene como objetivo la desinfección del agua antes que se descargue al cuerpo receptor. Esto quiere decir que el propósito del proceso es eliminar la mayor cantidad de microorganismos que están contenidas en las aguas residuales. La desinfección se puede hacer por tratamientos químicos o físicos.

Los tratamientos químicos en el tratamiento terciario son utilizados para la desinfección del agua antes de ser descargada. El químico más barato y con un buen rendimiento de desinfección utilizado en las aguas residuales es el cloro.

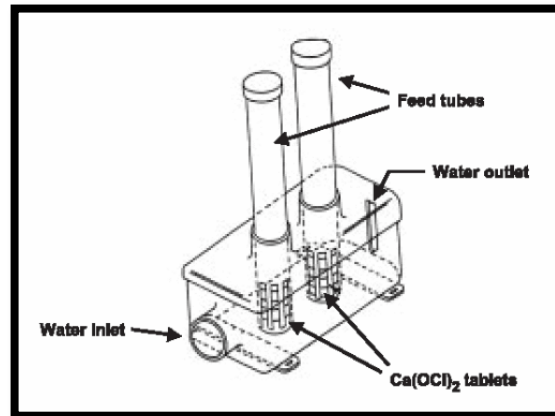
La cloración es el proceso de utilizar cloro para la desinfección de las aguas residuales. El objetivo principal de este proceso es eliminar todos los microorganismos que puedan causar daño a los cuerpos de agua. Los compuestos clorados que más se utilizan para la desinfección de aguas residuales son:

- Cloro molecular.
- Dióxido de cloro
- Hipoclorito de sodio
- Hipoclorito de calcio.

En la cloración de aguas residuales pequeñas, lo más recomendable de utilizar es el hipoclorito de calcio. En la aplicación se suele utilizar en tabletas o en polvo con un

porcentaje de cloro disponible de 70%. La forma de aplicar el hipoclorito de calcio en tabletas es por medio de cloradores. Los cloradores son unas cajas que se conectan a la tubería o a la red del agua residual proveniente del tratamiento secundario. El agua residual entra a la caja y tiene contacto con el hipoclorito de calcio que está almacenado en unos tubos portadores de hipoclorito de calcio. Las pastillas se colocan en estos tubos y se van disolviendo poco a poco con forme el agua residual es alimentada.

*Ilustración 226. Clorador de hipoclorito de sodio*



[http://www.inspectapedia.com/septic/Effluent\\_Disinfection\\_Septic.htm](http://www.inspectapedia.com/septic/Effluent_Disinfection_Septic.htm)

El contacto del agua residual con las pastillas de hipoclorito de calcio hace que estas se desinfecten, eliminando todos los microorganismos patógenos que puedan causar daños al ambiente. Con este tipo de tratamientos se garantiza que haya una desinfección del agua, lo único que se tiene que considerar es estar colocando las pastillas de hipoclorito de calcio cuando estas se disuelvan para no evitar que se descargue agua sin desinfección.

**7.6.5. Disposición de lodos.** Uno de los mayores subproductos de las plantas de tratamiento de aguas residuales son los lodos o fangos. Estos se producen debido a las sedimentaciones y digestiones que se realizan en el tratamiento de las aguas. El lodo producido en las operaciones y procesos de tratamiento suele ser líquido y semilíquido. El contenido de sólidos varía según el tipo de lodo y de las operaciones y procesos de tratamiento. Aproximadamente, el contenido de sólidos está entre 0.25 y 12 % en peso. Las características que poseen dependen de la composición del agua residual que se haya sedimentado y/o digerido. Para agua residual de una urbanización, estos tendrán un contenido alto de nutrientes, microorganismos y en algunos casos metales pesados, estos dos últimos representan los problemas más grandes en el manejo de lodos. Al igual que la

caracterización del agua residual, a los lodos se les debe de analizar para determinar sus contaminantes y saber la forma de tratarlos y descargarlos con un rango de contaminación que no afecte el ambiente. Los problemas más grandes derivados del manejo de sólidos son:

- Los lodos están formados por sustancias responsables de carácter desagradable de las aguas residuales no tratadas.
- La fracción del lodo a evacuar, generada en el tratamiento biológico del agua residual, está compuesta principalmente por la materia orgánica presente en ella, que también está sujeta a procesos de descomposición que la pueden hacer indeseable.
- Solo una pequeña parte del lodo está compuesta por materia sólida.

(Metcalf & Eddy, 1996), (Torres Carranza, 2008)

7.6.5.1. Procedencia de los lodos. Una de la información más importante del manejo de lodos es determinar de donde proceden. Esto dependerá del tipo de tratamiento de aguas que se realice. Es muy importante saber de dónde y cuántos lodos se produce en cada operación del tratamiento de aguas residuales.

A continuación se describe la posible procedencia de lodos en las aguas residuales así como las características físicas de estos.

7.6.5.1.1. *Desbaste*. En el proceso de desbaste lo que se recolectan son sólidos gruesos. Esto incluye todo tipo de materiales orgánicos e inorgánicos de diferentes tamaños. Son lo suficientemente grandes como para ser eliminados por rejillas manuales o mecánicas. (Metcalf & Eddy, 1996)

7.6.5.1.2. *Desarenado y pre aireación*. En el proceso de desarenado, se recolectan las arenas y las espumas. Las arenas están constituidas principalmente por sólidos inorgánicos más pesados que sedimentan con velocidades relativamente altas. Ésta también puede tener cantidades de aceites y grasas significativas. Generalmente, las plantas de tratamiento no poseen tratamientos para las arenas y las espumas, estas se recolectan en contenedores para que sean recogidos por alguien responsable. (Metcalf & Eddy, 1996)

7.6.5.1.3. *Tratamientos anaerobios*. En los tratamientos anaerobios se separan los lodos producidos. Estos lodos tienen la característica de poseer cantidades de gases significativas debido a la biodigestión que se realiza. Los lodos de las fosas sépticas son de color negro. Por lo general poseen olores desagradables debido a

los gases que contiene, principalmente por el sulfuro de hidrógeno. Cuando se hacen digestiones anaerobias, el lodo producido es de color marrón oscuro-negro. Este contiene una gran cantidad de gases, que pueden provocar malos olores. Sin embargo, cuando está totalmente digerido, no es molesto, teniendo un olor relativamente débil.

7.6.5.1.4. *Compostaje.* Los lodos de compostaje suelen ser de color marrón oscuro o negro. El color puede variar si el lodo de las plantas de tratamiento se mezcla con materiales como madera, astillas, ramas, etc. Si el proceso se lleva a cabo de forma adecuada, los olores de estos no son desagradables, se parecen a los abonos de jardín. (Metcalf & Eddy, 1996)

7.6.5.1.5. *Decantación primaria.* En las decantaciones primarias se separan los lodos primarios y espumas. Las características de estos dependerán del tipo de agua residual que se trató. Los lodos primarios por lo general son de color gris y producen un olor extremadamente molesto. (Metcalf & Eddy, 1996)

7.6.5.1.6. *Tanques de aireación.* En los tanques de aireación se pretende separar los sólidos suspendidos. Para poder tratarlos, por lo general se agrega algún tipo de espesador, coagulador o floculador. Los lodos procedentes de las precipitaciones químicas son por lo general de color oscuro. Si contiene mucho hierro puede ser de color rojo. El lodo con cal es de color gris marrón. En cuanto al olor, es desagradable, pero no tanto como el de la decantación primaria. (Metcalf & Eddy, 1996)

Los lodos de los filtros percoladores contiene una característica de pardusco, floculento e inodoro cuando está fresco. Cuando se hace una digestión aerobia, el lodo que se separa es de color marrón a marrón oscuro, y con una apariencia floculenta. Si el tratamiento aerobio es adecuado, el lodo no da molestias en cuanto a olores. En cuanto a sus tratamientos posteriores son fáciles de manejar. (Metcalf & Eddy, 1996)

7.6.5.1.7. *Sedimentación secundaria.* En los sedimentadores secundarios se separan espumas y lodos secundarios. Los lodos activados tienen una apariencia de color marrón. El color es un punto muy importante para este tipo de lodo, dependiendo del color se determina si el tratamiento fue efectivo o no. Si el color del lodo es muy oscuro significa que está próximo a volverse séptico. Si el color es muy claro, significa que no fue lo suficientemente aireado, los sólidos tendrán tendencia a sedimentar lentamente. (Metcalf & Eddy, 1996)

Otro factor que hay que tomar en cuenta es la caracterización de los lodos. Muchos de los constituyentes químicos, incluidos los nutrientes, son de gran importancia a la hora de considerar la evacuación final del fango tratado y del líquido extraído del lodo durante el tratamiento.

La caracterización también ayuda a determinar los tratamientos adecuados de los lodos. Para el control del proceso de digestión anaerobia del lodos, es importante llevar a cabo mediciones del pH, alcalinidad y del contenido de ácidos orgánicos. Cuando se quiere realizar los procesos de aplicación al terreno o incineración, es necesario determinar la cantidad de metales pesados e hidrocarburos y contenido energético.

Los elementos de trazas contenidos en los lodos son los compuestos inorgánicos que en pequeñas cantidades, pueden ser esenciales o perjudiciales para el ambiente. Por lo general, estas trazas son metales pesados. La concentración de los mismos en los lodos limitará la aplicación de estos en interacción con el ambiente. (Metcalf & Eddy, 1996)

*Tabla 58. Contenido típico de metales en el lodo residual*

Metal	Lodo seco (mg/kg)	
	Intervalo	Mediana
<b>Arsénico</b>	1.1-230	10
<b>Cadmio</b>	1-3410	10
<b>Cromo</b>	10-99000	500
<b>Cobalto</b>	1.3-2490	30
<b>Cobre</b>	84-17000	800
<b>Hierro</b>	1000-154000	17000
<b>Plomo</b>	13-26000	500
<b>Manganeso</b>	32-9870	260
<b>Mercurio</b>	0.6-56	6
<b>Molibdeno</b>	0.1-214	4
<b>Níquel</b>	2-5300	80
<b>Selenio</b>	1.7-17.2	5
<b>Estaño</b>	2.6-329	14
<b>Cinc</b>	101-49000	1700

*(Metcalf & Eddy, 1996)*

Cuando se quiere utilizar los lodos como abono o como recuperación de tierra, se debe de saber la concentración de nutrientes que estos tienen. Las características de los lodos que afectan a su aptitud para la aplicación al terreno son:

- Materia orgánica.
- Nutrientes.
- Patógenos.
- Metales.
- Compuestos orgánicos tóxicos.

(Metcalf & Eddy, 1996)

El valor del lodo como fertilizantes se basa prácticamente en la cantidad de nitrógeno, fósforo y potasio. Para poder aplicarlos, es necesaria la determinación de estos.

A continuación se presenta una tabla con la comparación del porcentaje de nutrientes de fertilizantes típicos y de los lodos del agua residual estabilizados.

*Tabla 59. Comparación entre los niveles de nutrientes.*

	Nutrientes (%)		
	Nitrógeno	Fósforo	Potasio
<b>Fertilizantes para usos agrícolas típicos</b>	5	10	10
<b>Valores típicos para fangos de agua residual estabilizados</b>	3.3	2.3	0.3

(Metcalf & Eddy, 1996)

Según el Reglamento, todos los entes que produzcan lodos debido al tratamiento de aguas residuales, deberán de cumplir con el Artículo 42. Los lodos analizados y dentro de los valores permisibles se podrán descargar de la siguiente manera:

- Aplicación al suelo.
- Disposición hacia rellenos sanitarios.
- Confinamiento y aislamiento
- Comercialización.

Tabla 60. Parámetros y límites máximos permisibles para lodos

Disposición Final	Dimensionales	Aplicación al suelo	Disposición en rellenos sanitarios	Confinamiento o aislamiento
<b>Arsénico</b>	Miligramos de kilogramo de materia seca a ciento cuatro grados Celsius	50	100	>100
<b>Cadmio</b>	Miligramos de kilogramo de materia seca a ciento cuatro grados Celsius	50	100	>100
<b>Cromo</b>	Miligramos de kilogramo de materia seca a ciento cuatro grados Celsius	1500	3000	>3000
<b>Mercurio</b>	Miligramos de kilogramo de materia seca a ciento cuatro grados Celsius	25	50	>50
<b>Plomo</b>	Miligramos de kilogramo de materia seca a ciento cuatro grados Celsius	500	1000	>1000

(MARN, 2005)

7.6.5.2. Procesos para el tratamiento de lodos. El tratamiento de lodos constituye una parte fundamental en el tratamiento de aguas residuales. Aproximadamente se estima que es el 50% de la inversión de la depuradora de aguas residuales. (Metcalf & Eddy, 1996)

Con un tratamiento adecuado de lodos se puede lograr:

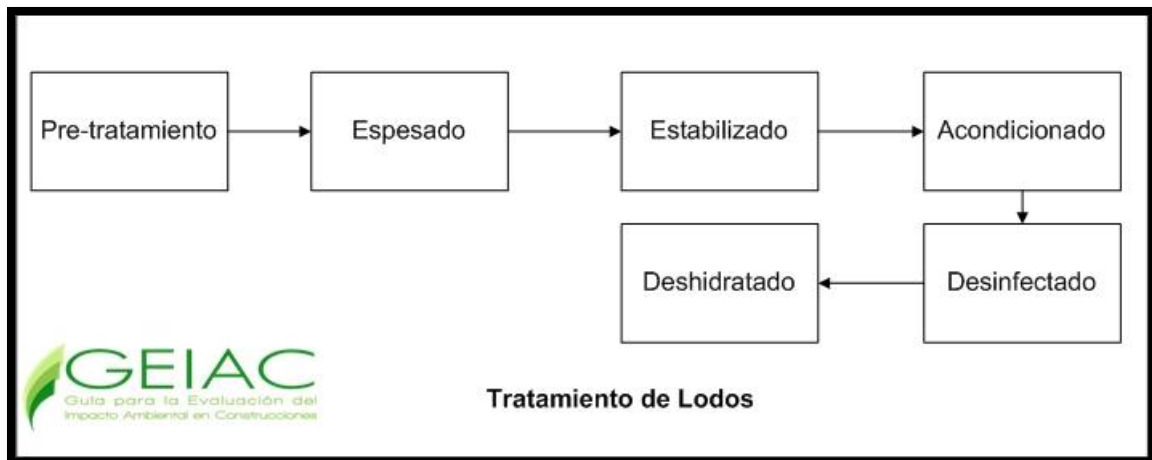
- Disminuir sus materiales volátiles.
- Mineralizar la materia orgánica.
- Eliminar la composición de metales pesados.

- Desinfectarlos.
- Concentrarlos.

(Metcalf & Eddy, 1996)

Hay que mencionar que no en todos los casos se utilizarán todos los tratamientos que se mencionarán a continuación. Todo dependerá de las características de los lodos y de localidad de tratamiento que se le quiera dar. A continuación se presentan los procesos más utilizados para el tratamiento de los lodos residuales. (Metcalf & Eddy, 1996)

Ilustración 227. Tratamiento de lodos



Elaboración Propia

7.6.5.2.1. *Pre-tratamiento.* Para conseguir una alimentación de lodo a los tratamientos, constantes y homogénea, es necesario dilacerar, desarenar, mezclar y almacenar el lodo. (Metcalf & Eddy, 1996)

En el proceso de dilaceración, los sólidos de gran tamaño contenidos en el fango, son cortados o desmenuzados en partículas pequeñas para evitar obturaciones y la formación de madejas en los equipos rotatorios. (Metcalf & Eddy, 1996)

El proceso de desarenado se realiza en plantas de tratamiento que carecen de desarenadores en el pre-tratamiento. Lo que se hace es retirarle las arenas a los lodos para posteriormente ser tratados en el proceso de espesamiento. La separación de las arenas, por lo general se lleva a cabo con hidrociclones. Estos hidrocilcones lo que hacen es que aplican una fuerza centrífuga en el fango, separando las arenas del lodo residual. La eficiencia del desarenador de ciclón dependerá de la presión y de la concentración de materia orgánica del lodo. Para conseguir un mejor desarenado, el lodo debe ser relativamente diluido. (Metcalf & Eddy, 1996)

Otro pre-tratamiento que se utiliza es el mezclado. Debido a que se producen lodos en los tratamientos primarios, secundarios y avanzados, se procede a mezclarlos para tener un material uniforme. La alimentación de un lodo bien mezclado y con características uniformes favorece, en gran medida el funcionamiento y rendimiento de las plantas. (Metcalf & Eddy, 1996)

El mezclado se puede hacer en:

- Los tanques de decantación primaria.
- Tuberías.
- Instalaciones de lodos avanzados.
- Tanques de mezcla independientes.

(Metcalf & Eddy, 1996)

Los más utilizados en plantas pequeñas es la primera opción. Lo que se hace es retornar los lodos secundarios y avanzados al tanque de decantación primaria. En este tanque se mezclan y se descargan para ser tratados en conjunto. (Metcalf & Eddy, 1996)

*7.6.5.2.2. Espesado.* El objetivo de este proceso es eliminar porcentaje de agua de los lodos. Es un procedimiento que se emplea para aumentar la concentración de sólidos. Se suele llevar a cabo por procedimientos físicos como:

- Espesado por gravedad.
- Flotación.
- Centrifugación.
- Filtros de banda por gravedad.

(Metcalf & Eddy, 1996)

El espesado por gravedad es un proceso muy parecido al proceso de sedimentación. El lodo diluido se conduce a una cámara de alimentación en donde permanece un tiempo en retención y éstos se sedimentan en el fondo del tanque. El sobrenadante de este proceso se recircula al tratamiento primario de la planta de tratamiento de aguas. El lodo espesado se transporta al proceso de secado o de digestión según sea el caso. (Metcalf & Eddy, 1996)

En el proceso por flotación, los lodos son introducidos a un tanque. Este tanque es alimentado por aire ocasionando un burbujeo. Los lodos ascienden a la superficie del tanque y éstos son recolectados por un rascador. Este proceso es muy eficiente en lodos provenientes de tratamientos de cultivo biológico en suspensión como el de los lodos

activados. Parte de los lodos sedimentan y son recolectados en el fondo del tanque. (Metcalf & Eddy, 1996)

El proceso de centrifugado se utiliza prácticamente para los lodos provenientes del proceso de lodos activados. El lodo es sometido a una fuerza centrífuga y los lodos se separan del agua. (Metcalf & Eddy, 1996)

El proceso por filtros de banda por gravedad es un sistema de espesado. El lodo puede ser mezclado con polímeros para formar flocos y facilitar el espesado. En este tipo de filtros, el lodo se distribuye uniformemente en todo el ancho de la banda móvil, el agua escurre a través de la misma y el lodo se conduce hacia el otro extremo del filtro. (Metcalf & Eddy, 1996)

La reducción del volumen del lodo resulta de beneficio para los siguientes tratamientos desde los siguientes puntos de vista:

- Capacidad de tanques y equipos necesarios.
- Cantidad de reactivos químicos necesarios para la estabilización.
- Cantidad de calor necesario para la digestión.

(Metcalf & Eddy, 1996)

#### 7.6.5.2.3. *Estabilización.* La estabilización del lodo se

lleva a cabo para:

- Reducir la presencia de patógenos.
- Eliminar los olores desagradables.
- Inhibir, reducir o eliminar su potencial de putrefacción.

(Metcalf & Eddy, 1996)

Los medios de estabilización disponibles para eliminar el desarrollo de proliferación de olores, supervivencia de patógenos y putrefacción son:

- Reducción biológica del contenido de materia volátil.
- Oxidación química de la materia volátil.
- Adición de agentes químicos para hacer el lodo inadecuado para la supervivencia de microorganismos.
- Aplicación de calor para desinfectarlo esterilizar.

(Metcalf & Eddy, 1996)

Las tecnologías disponibles para la estabilización de lodos son:

- Estabilización con cal.
- Tratamiento térmico
- Digestión anaerobia.
- Digestión aerobia.
- Compostaje.

El proceso de estabilización con cal tiene el objetivo de desfavorecer la supervivencia de los microorganismos. Hay dos maneras de hacerlo, antes del proceso de deshidratación de los lodos, pre-tratamiento con cal, o después de la deshidratación, post-tratamiento con cal. Lo que se hace es que se agrega cal al lodo con el fin de aumentar el pH por encima de 12. A estas condiciones, no se desarrollan los microorganismos. Como consecuencia que el lodo no se pudrirá, no creará malos olores y no provocará riesgos a la salud pública. (Metcalf & Eddy, 1996)

Para la estabilización del lodos se puede utilizar cal hidratada  $\text{Ca(OH)}_2$  o cal viva  $\text{CaO}$ .

Este tratamiento se basa en calentar el lodo en un depósito a una temperatura de  $260^\circ\text{C}$  y presiones de  $2.760 \text{ kN/m}^2$ , durante un intervalo de tiempo de 30 minutos. Las ventajas de este tratamiento son:

- Es un proceso de estabilización y acondicionamiento.
- Permite que los sólidos sean aptos para la deshidratación sin necesidad de emplear reactivos químicos.
- Se libera el agua ligada a los sólidos, provocando coagulación de los mismos.
- Se produce hidrólisis de la materia proteica.

(Metcalf & Eddy, 1996)

La digestión aerobia es la que se hace en presencia de aire. Los lodos se disminuyen por acción de los microorganismos existentes en el biodigestor, produciendo una mineralización de la materia orgánica. Los productos finales de este proceso son: anhídridos carbónicos, agua y compuestos solubles inorgánicos. (Torres Carranza, 2008)

Es la que se hace en ausencia de oxígeno. Se considera el método más adecuado para obtener un producto final ascético. La digestión pasa por procesos de: Licuefacción, gasificación y mineralización. (Metcalf & Eddy, 1996)

Los parámetros que hay que tomar en cuenta son:

- Temperatura (Rango de  $29^\circ\text{C}$  a  $33^\circ\text{C}$ )
- Concentración de sólidos.
- Mezcla de lodos

- pH (Entre 6 y 9)
- Ácidos volátiles.

(Torres Carranza, 2008)

El compostaje es un proceso en el que la materia orgánica surge una degradación biológica hasta alcanzar un producto final estable. (Metcalf & Eddy, 1996)

7.6.5.2.4. *Acondicionamiento.* El proceso de acondicionamiento tiene el objetivo de mejorar las características de los lodos para su deshidratación. Los dos métodos más utilizados son:

- Acondicionamiento químico.
  - Permite reducir la humedad del lodo desde 90-99% a 65-85%.
  - Coagula los sólidos y da liberación del agua absorbida.

Entre los químicos más utilizados son: Cloruro férrico, cal, alúmina y polímeros orgánicos.

(Metcalf & Eddy, 1996)

- Acondicionamiento térmico (Explicado con anterioridad en estabilización).

7.6.5.2.5. *Desinfección.* La desinfección es un proceso que se realiza debido a las normas requeridas en cada lugar para la descarga y tratamiento de lodos. En la aplicación de lodos al suelo, la protección de la salud pública obliga a controlar el posible contacto con organismos patógenos. (Metcalf & Eddy, 1996)

Existen muchos medios para la eliminación de los patógenos presentes en los lodos líquidos y en los deshidratados, a continuación se presentan los más utilizados.

- Acondicionamiento térmico, secado térmico, incineración, pirolisis.
- Tratamientos de pH elevados.
- Almacenamiento a largo plazo del lodo líquido digerido.
- Compostaje completo a temperaturas superiores a 55°C.
- Adición de cloro para la desinfección.
- Radiación.

El almacenamiento a largo plazo y el compostaje son, los métodos más efectivos en la desinfección de lodos digeridos, aerobia y anaerobiamente, y deshidratados. (Metcalf & Eddy, 1996)

7.6.5.2.6. *Deshidratación.* El objetivo de la deshidratación es reducir el contenido de humedad del lodo. La reducción hace más económico y fácil el tratamiento y el vertido de los lodos. A continuación se presentan algunos incentivos para la deshidratación de lodos.

- Los costos de transporte del lodo son menores cuando se reduce el volumen de estos.
- El lodo deshidratado es más fácil de manipular que el líquido o espesado.
- La deshidratación suele ser necesaria antes de la incineración para aumentar su poder calorífico por eliminación de exceso de humedad.
- La eliminación de humedad hace que se reduzcan los malos olores y que el lodo se pudra.
- La deshidratación de lodos es necesaria antes de la evacuación a vertederos controlados con el fin de evitar lixiviados.

(Metcalf & Eddy, 1996)

Entre los procesos de deshidratación más utilizados están:

- Evaporación.
- Percolación.
- Filtración.
- Prensado.
- Acción capilar.
- Extracción por vacío.
- Separación y compactación por centrifugación.
- Camas de secado.

Hay veces que no se tiene el espacio o el capital necesario para el manejo de los lodos residuales. En plantas de tratamiento de aguas residuales pequeñas se contratan empresas para extraerlos de la planta de tratamiento, transportarlos y tratarlos para su disposición final. Para evitar que la planta de tratamiento se colapse de lodos y disminuya su eficiencia, se deberá de tener programada una extracción de lodos según la cantidad de lodos que genere la planta de tratamiento.

## 7.7. Reutilización de aguas residuales

En la reutilización del agua residual, el punto que determina la tecnología a utilizar es el uso que se le va a dar al agua. Es muy importante hacer un proceso de planificación del proyecto y evaluar la fiabilidad de las operaciones y procesos de tratamientos existentes o propuestos, ya que la recuperación del agua obliga a tener un suministro continuo de una determinada calidad. Otro aspecto a considerar en el proceso de planificación es el capital que se tiene y la viabilidad de la aplicación de la reutilización. (Metcalf & Eddy, 1996)

Para proteger a la salud pública se ha catalogado el tratamiento necesario para la reutilización del agua según el contacto en que las personas tengan con ella y en el destino en que los cultivos o siembras tengan. A continuación se presenta una tabla con criterios del estado de California de tratamientos necesarios del agua residual para su reutilización.

*Tabla 61. Criterios del Estado de California para la aplicación de agua residual recuperada*

Uso del agua residual recuperada	Descripción del tratamiento mínimo exigido			
	Primario	Secundario y desinfección	Secundario, coagulación, filtración y desinfección	Mediana de la presencia de coliformes NMP/100 ml (muestreo diario)
<b>Cultivos de forraje</b>	X			No se exige valor alguno
<b>Fibras</b>	X			No se exige valor alguno
<b>Cultivos de siembra</b>	X			No se exige valor alguno
<b>Productos de consumo directo; riego superficial</b>		X		2.2
<b>Producto de consumo directo; riego con rociadores</b>			X	2.2

(Continuación Tabla 61)

Descripción del tratamiento mínimo exigido				
<b>Productos procesados riego superficial</b>	X			No se exige valor alguno
Uso del agua residual recuperada	<b>Primario</b>	<b>Secundario y desinfección</b>	<b>Secundario, coagulación, filtración y desinfección</b>	<b>Mediana de la presencia de coliformes NMP/100 ml (muestreo diario)</b>
<b>Espacios verdes, campos de golf, cementerios, medianas</b>		X		23
<b>Embalses recreacionales de contacto directo (baño)</b>			X	2.2

(Metcalf & Eddy, 1996)

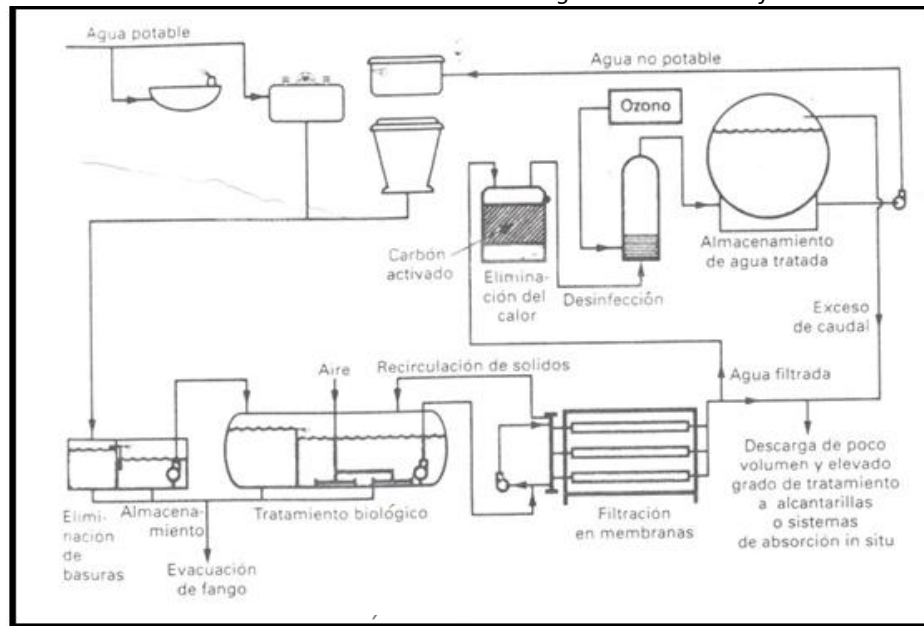
Una manera de aprovechamiento del agua en edificaciones es someterlas a un tratamiento avanzado para que parte de ésta la puedan implementar como agua no potable en cisternas de inodoros y urinarios. El proceso consta de lo siguiente:

El agua se recolecta y transporta a un proceso de tratamiento aerobio para la digestión de los desechos organismos y contaminantes. Luego, se somete a un tratamiento de filtración por medio de membranas, en donde se termina de eliminar la materia orgánica y los sólidos en suspensión, esto ayudará a que no se tapen las tuberías que re-circulan el agua hacia las cisternas. Se puede tener un retorno de lodos recolectados en la filtración por membranas para mejorar la eficiencia del reactor biológico. Luego, el agua puede ser sometida a un proceso de carbón activado para eliminar el color o se puede transportar a un proceso de cloración por medio de hipoclorito de sodio u ozono. Después de esto, el agua se retorna a las cisternas de mingitorios y lavamanos o utilizada para riego.

Debido a que el tratamiento utilizado para poder reutilizar el agua residual en agua para cisternas y riego necesita de equipo muy avanzado como filtración de membranas, adsorción

por medio de carbón activado y una desinfección, muy pocos proyectos lo implementan ya que la inversión es muy grande.

Ilustración 228. Proceso de reutilización de agua residual en edificaciones



(Metcalf & Eddy, 1996)

Otra de las aplicaciones es separar las aguas grises generadas por duchas, lavamanos. A pesar que estas aguas están menos contaminadas que las aguas negras, deben de someterse a un tratamiento para asegurar la eliminación de nutrientes debido al uso de jabones en regaderas y lavamanos. El tratamiento puede ser el mismo que el de las aguas negras: Un tratamiento aeróbico, un tratamiento filtración y un tanque de almacenamiento para retornarlas los depósitos de inodoros y mingitorios.

## 7.8. Aprovechamiento de agua pluvial en edificaciones

El proceso o procedimiento que se tiene que seguir para reutilizar el agua pluvial o agua de lluvia es muy parecido al de la reutilización del agua gris. El agua pluvial se recolecta mediante canaletas y estas las conducen hacia un tanque de almacenamiento. Cuando se necesite, se abren las válvulas para liberar el agua pluvial y esta se utiliza para las cisternas de los inodoros, lavandería, riego, etc. Se trata de utilizarla en todas las actividades en las que las personas no van a tener contacto directo. El equipo necesario para la reutilización del agua pluvial es:

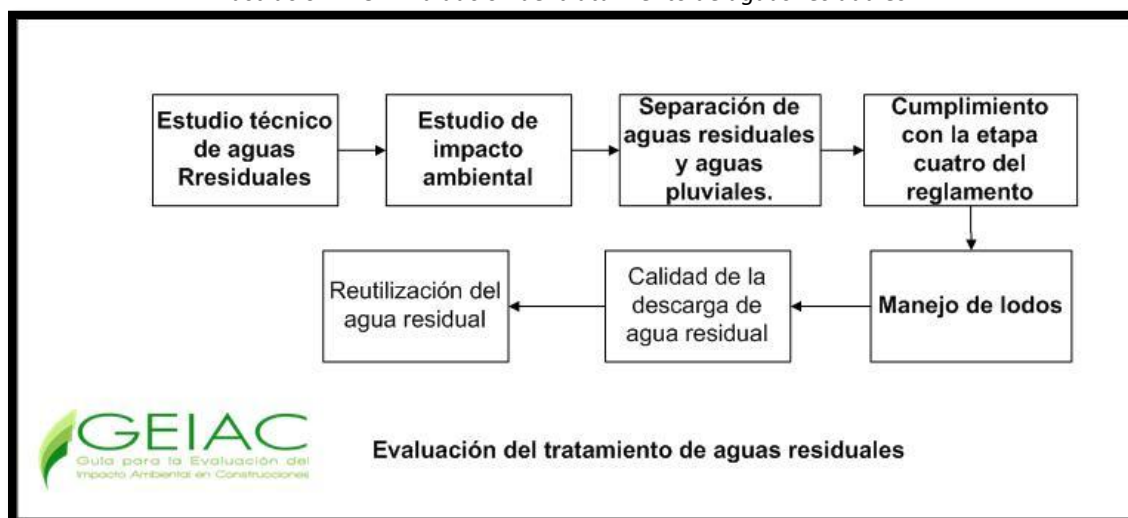
- Sistema de recolección de agua pluvial.
- Tanque de almacenamiento de agua pluvial.
- Sistema de filtración y desinfección.
- Tubería de distribución del agua pluvial hacia los puntos para reutilizar.

El aprovechamiento del agua pluvial se utiliza mucho en casas particulares, ya que solo se tiene que instalar el equipo antes mencionado individualmente. En edificios también los implementan ya que recolectan el agua de igual manera que una casa particular y la distribuyen para riego o para reuso en cisternas de inodoros.

### 7.9. Evaluación de un tratamiento de aguas residuales

Para evaluar un tratamiento de aguas residuales, se tiene que hacer un análisis completo de todo el proceso, comenzando desde los estudios legales necesarios para el tratamiento y manejo de aguas residuales hasta su reuso o descarga hacia un alcantarillado o cuerpo receptor. Con la información de las actividades del proyecto, se tendrá una idea de los posibles tipos y concentraciones de contaminantes que se puedan tener. El conocimiento de la cantidad de agua residual utilizada y descargada dará una idea del tamaño y la capacidad que tiene que tener la planta de tratamiento de aguas residuales. A continuación se presentan los puntos que se deben considerar para la evaluación de un tratamiento de aguas residuales.

*Ilustración 229. Evaluación del tratamiento de aguas residuales.*



*Elaboración Propia*

Hay una serie de requisitos obligatorios que se tienen que tener un establecimiento para poder determinar si se tiene un control sobre el tratamiento de aguas y si está haciendo

algún esfuerzo por descargar sus aguas lo menos contaminante posible. Muchos de estos requisitos son obligatorios por el Reglamento, por lo que no tendría sentido hacer una evaluación de la eficiencia del tratamiento si el proyecto no cumple con los artículos del reglamento. Los requisitos obligatorios son los puntos que se encuentran resaltados en la Ilustración 32.

Primero que nada, el generador de aguas residuales debe de tener su Estudio Técnico. El Estudio Técnico de Aguas Residuales es el documento que muestra todo el proceso de aguas residuales que se llevará a cabo en el proyecto. Este estudio debe estar en el lugar del proyecto y debe ser renovado cada cinco años. Dicho estudio debe tener la siguiente información:

- Nombre, razón social o denominación social.
- Persona de contacto con el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.
- Descripción de las actividades que realiza el proyecto.
- Horarios de descarga de aguas residuales.
- Descripción del tratamiento de aguas residuales.
- Caracterización del efluente de aguas residuales, incluyendo sólidos sedimentables.
- Caracterización de aguas de reuso.
- Caracterización de lodos a disponer.
- Caracterización del afluente,
- Identificación del cuerpo receptor al que se descargan las aguas residuales.
- Identificación del alcantarillado público al cual se van a descargar las aguas residuales.
- Enumeración de parámetros exentos de medición.

Se deberá contar con la siguiente información:

- Plano de localización, ubicación, con coordenadas geográficas.
- Plano de localización y ubicación de los planos finales.
- Plan de gestión de aguas residuales.
- Plan de tratamiento de aguas residuales.
- Informes de resultados.

El estudio técnico lo deben realizar todos los proyectos, con excepción de los que cumplan con el Artículo 61 del Reglamento.

*«Artículo 61: Se exceptúan de la preparación de Estudio Técnico contemplado en el artículo 5 como ente generador toda vivienda unifamiliar, y edificios públicos o privados que generen únicamente aguas residuales de tipo ordinario y que cuenten con acometida autorizada hacia el alcantarillado público o de entes administradores de servicios de tratamiento de aguas residuales.*

*Esta excepción no aplica para las municipalidades ni empresas que tienen concesionados los servicios de recolección, transporte, manejo y disposición de aguas residuales; porque de conformidad con lo estipulado en el Artículo 5 del Reglamento, son generadores de aguas residuales». (MARN, 2005).*

El próximo requisito es que el proyecto tenga su estudio de Impacto Ambiental o diagnóstico ambiental. Esto se determinó como un requisito para que el proyecto tenga documentado todos los impactos ambientales que las actividades de operación pueden ocasionar.

El proyecto debe separar los drenajes de aguas residuales y aguas pluviales para poder ser evaluado. El objetivo de no mezclar las aguas pluviales con las aguas negras es evitar que se tengan variaciones en la concentración de los contaminantes de las aguas en diferentes épocas de año, garantizado que la caracterización cumpla todo el tiempo con lo establecido en la memoria de cálculo de la planta de tratamiento y con el reglamento. El problema es que si se hace un análisis en invierno, cuando llueve constantemente, el resultado de caracterización puede salir bajo en concentraciones de los contaminantes ya que se diluyen los residuos de las aguas residuales con las aguas pluviales, este mismo análisis se realiza en verano y los resultados pueden salir altos en contaminantes debido a que no se cuenta con la dilución que se tenía por las lluvias en invierno. Estos resultados pueden ser valores más altos que los permitidos en la Etapa Cuatro del Reglamento. Las aguas residuales y pluviales se pueden juntar posteriormente al tratamiento de aguas para descargarse a un cuerpo receptor o un alcantarillado público. Se debe contar con un dispositivo de toma de muestras y medición de caudal en cada salida de las descargas de las aguas residuales, estos dispositivos deben de estar localizados en las descargas de las aguas residuales localizadas en los planos de dispositivos de toma de muestras presentados en el Estudio Técnico de Aguas Residuales. Para facilitar la toma de muestras y la medición de caudal, se recomienda la implementación de un dispositivo de caudal abierto debidamente calibrado. Esto ayudará a verificar el volumen de agua descargado en tiempo determinado con mayor facilidad.

Para ser sujeto a una evaluación, el proyecto deberá cumplir con los límites máximos permitidos de la Etapa Cuatro del Reglamento según la disposición final (cuerpo receptor o alcantarillado público), esto con el objetivo de asegurar que por lo menos el proyecto cumple con el Reglamento en su totalidad en cuanto a parámetros de descarga. La forma de determinar este requisito es verificar los resultados de los análisis realizados según la calendarización establecida por el Estudio Técnico de Aguas Residuales.

Se debe contar con el registro de los análisis de aguas residuales realizados con anterioridad según la calendarización establecida en el Estudio Técnico. Además del análisis del afluente de la planta de tratamiento, exigido por el Reglamento 236-2006, se debe de realizar un análisis en el afluente para determinar la cantidad de remoción de la planta de tratamiento de aguas residuales. Este cálculo permite conocer la eficiencia del tratamiento y determinar el porcentaje de remoción de todos los desechos que contiene el agua residual y que son medidos en el análisis. Es importante que la muestra sea recolectada por el laboratorio, tal y como lo determina el Reglamento 236-2006, con el fin de asegurarse que la muestra sea considerada como compuesta. En el reporte del análisis realizado se especifica que la muestra fue tomada por el laboratorio. Si los análisis no son realizados por un laboratorio aprobado o la muestra es tomada por el personal del proyecto y llevada al laboratorio para su análisis, este reporte no será aceptado y no se cumplirá con el pre-requisito.

Debido a que el proceso de aguas residuales produce lodos residuales, estos deben ser extraídos de la planta y realizar los procesos de tratamientos explicados anteriormente para evitar que contaminen los cuerpos de agua o cuerpos de tierra a los cuales se descargan. Es por esto que el proyecto debe de cumplir con las condiciones de manejo de lodos del Reglamento. Si se tiene a una empresa que extrae los lodos de la planta de tratamiento, se deberá tener una constancia del destino final de los mismos.

**7.9.1. Descarga del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales.** La eficiencia de la planta de tratamiento es muy importante para que las descargas realizadas por el proyecto sean menos contaminantes para el cuerpo receptor o sean descargadas al alcantarillado público de mejor forma. Es por esto de la importancia

de los tratamientos primarios, secundarios y terciarios explicados con anterioridad. Estas operaciones ayudarán a tener descargas incluso por debajo de los límites máximos del Reglamento. Debido a los parámetros de descarga exigidos en la Etapa Cuatro, lo más seguro es que el proyecto necesite de un tratamiento de aguas residuales que contenga los siguientes procesos:

Pre-tratamiento: Dependiendo de los orígenes de las descargas, pero se necesitará para separar del agua residual todos los sólidos grandes como bolsas, plásticos, toallas, las grasas y aceite. El tratamiento más sencillo para la remoción de sólidos mayores es la implementación de rejillas, Ilustración 10. Si en los proyectos se generará grasas debido a procesos de cocina o manipulación de alimentos, se recomienda la implementación de una trampa de grasa, Ilustración 14, que esté dimensionada de forma adecuada para separar las grasas de las aguas residuales y evitar taponamientos en las tuberías o acumulación de éstos en los tratamientos posteriores.

Tratamiento primario: El tratamiento primario tiene como objetivo de reducir los sólidos en suspensión y la demanda bioquímica de oxígeno de las aguas residuales. Un buen pre-tratamiento puede llegar a reducir hasta un 60% los sólidos en suspensión y un 30% el DBO. (J.Glynn Henry, 1999), (Metcalf & Eddy, 1996), (Hammenken Arana & Romero García, 2005). El tratamiento primario más utilizado es un sedimentador en donde el agua permanece un tiempo de retención sin movimiento y los sólidos comienzan a sedimentarse. También se puede implementar filtros para reducir la cantidad de sólidos que entran al tratamiento secundario. Este tratamiento, terminará de separar las grasas y aceites que no se removieron en las trampas de grasas. Este proceso ayudará a ser más efectivo el tratamiento secundario.

Tratamiento secundario, es donde se realiza la biodigestión de las aguas residuales para degradar la materia orgánica y los contaminantes. Este tratamiento puede ser aerobio y anaerobio, dependerá del espacio disponible para el tratamiento y la calidad del efluente que se requiere. Como se mencionó anteriormente, un tratamiento aerobio es más efectivo que un anaerobio. Con el tratamiento secundario se reducirá la concentración de sólidos en suspensión, DBO, DQO y demás contaminantes.

Debido a que el Reglamento exige un valor  $1 \times 10^4$  como número más probable en 100 ml, el tratamiento de aguas residuales tendrá que contar con un tratamiento terciario de desinfección, con el objetivo de matar los microorganismos patógenos contenidos en las coliformes fecales. En plantas de tratamiento de pequeño tamaño como para residenciales, edificaciones se recomienda la implementación de cloradores a base de pastillas de hipoclorito de calcio, Ilustración 30, o alguna otra forma de desinfección.

Un buen diseño con todos los tratamientos antes mencionados para aguas residuales domésticas, puede asegurar cumplir con los límites máximos de descarga de la Etapa Cuatro del Reglamento, o incluso estar por debajo de estos límites, descargando las aguas residuales con un grado de contaminación menor que el exigido por el Reglamento. Se puede evaluar si el ente generador, además de cumplir con la Etapa Cuatro del Reglamento, descarga menos carga orgánica de DBO y sólidos en suspensión. Esto puede incentivar a que los entes generadores tengan una conciencia ambiental y quieran descargar sus aguas residuales con parámetros más bajos que los de la Etapa Cuatro. Para cumplir con esto, la planta de tratamiento debe de estar dimensionada para que el efluente contenga la descarga de contaminantes requeridas.

**7.9.2. Reutilización de agua residual y aprovechamiento de agua pluvial.** La reutilización del agua residual genera un ahorro del recurso de agua en las actividades del proyecto. Es por eso que se debe de evaluar la implementación de un proceso que lo permita. Se necesitará un tratamiento primario, secundario, y un sistema de membranas y desinfección para asegurar de no tener problemas en el retorno del agua hacia las cisternas de los inodoros o uriniales. El agua con este tratamiento también puede ser utilizada para riego de jardines o descargada en campos de infiltración. La complejidad del sistema de reutilización dependerá de la calidad de agua que se quiera reutilizar y del capital económico disponible para el tratamiento.

La reutilización de aguas residuales se puede utilizar para riego de jardines o para las cisternas de inodoros y uriniales. Lo que se pretende con este proceso es utilizar menos agua, ya que parte de esta se procesará y se reutilizará en actividades en las que las personas no tengan contacto directo. Para poder evaluar este proceso, el proyecto debe de tener los planos de drenajes o colectores en donde se indique la disposición del agua reutilizada. Es importante mencionar que el agua residual a reutilizar debe de contar con un tratamiento

aerobio, filtros y desinfección. Lo que se pretende es que el efluente del tratamiento tenga un nivel de contaminantes bajo, el agua no tenga olores desagradables y esté desinfectada.

Una segunda opción de reutilización de agua es separar las aguas grises de las aguas residuales. Las aguas grises pueden ser sometidas a un tratamiento de clarificación, luego a un tratamiento aerobio y de filtración por membranas. Con esto se asegurará de eliminar los contaminantes del agua y poder reutilizarla en actividades en donde no se tenga contacto directo con las personas como en cisternas de inodoros y mingitorios o utilizarla para riego.

El agua de lluvia puede aprovecharse para ser un sustituto del agua que se utiliza para diferentes actividades como riego, cisternas de inodoros y mingitorios. Lo único que se tiene que hacer es implementar un sistema de recolección de agua y almacenarla para cuando vaya ser utilizada. Esto puede generar un ahorro del recurso hídrico y utilizar menos agua para las actividades antes mencionadas. Para poder evaluar la implementación del aprovechamiento, se debe de tener los planos de dicho proceso en donde se señale hacia donde se aprovecha el agua pluvial.

Para aprovechar el agua pluvial y la reutilización de aguas residuales, se debe separar las tuberías de aguas negras y aguas grises, e implementar sistemas de tuberías para retornar el agua tratada o recolectada para su uso. Las aguas reutilizadas no deben de tener malos olores, las tuberías de reutilización deben estar identificadas y el uso de la misma debe de ser únicamente para actividades en donde las personas no tengan contacto directo. Se recomienda que únicamente se utilicen para riego y cisternas de inodoros y mingitorios.

## 8. MANEJO DE DESECHOS SÓLIDOS

El manejo de desechos sólidos es un proceso estratégico de sólidos residuales provenientes de la actividad de un establecimiento o industria. Su finalidad es evitar dañar al medio ambiente y aprovecharlos de una forma u otra para beneficios de una sociedad. Esta estrategia tiene que incluir una clasificación, recolección y procesamiento, que varía según el ente generador y las condiciones en las que se encuentre. Se pueden llegar a tener muchas opciones para el manejo, éstas dependerán del material que se va a separar.

El manejo de los desechos sólidos se hace desde el generador más pequeño como un hogar, hasta una urbanización completa. El objetivo principal del manejo de desechos sólidos es recuperar parte de los desechos sólidos, evitando que la mayoría sean descargados a un basurero en donde no se tenga un control de los desechos. (Medina, Isabel, Izabel, Antonio, Rogelio, & María, 2001)

Para que una gestión integrada de manejo de desechos sólidos sea eficaz y ordenada, se debe seguir cierto orden y ciertos pasos. Se pueden considerar seis elementos esenciales implicados en la gestión de manejo de sólidos.

- Generación de residuos.
- Manipulación y separación de residuos, almacenamiento y procesamiento en origen.
- Recogida.
- Separación, procesamiento y transformación de los residuos sólidos.
- Transferencia y transporte.
- Evacuación.

(Medina, Isabel, Izabel, Antonio, Rogelio, & María, 2001)

La acción más importante en el manejo de desechos sólidos es la prevención y la minimización de los residuos sólidos. Se encuentra en el rango más alto de la jerarquía debido a que es la forma más eficaz de reducir la cantidad de residuos, el costo de transporte y los impactos ambientales. Para reducir los residuos desde el origen, se debe tener un plan de diseño, fabricación y envasado del producto que se está produciendo o del que se consume. Prevenir la generación de residuos también puede ser reutilizando los materiales. El ejemplo más común son las botellas de agua, éstas pueden ser utilizadas por las personas muchas veces. La reducción de residuos también se puede hacer en la vivienda y en un establecimiento comercial, lo único que se debe hacer es hacer compras selectivas y

reutilización de productos y materiales. En el sector comercial, es recomendable hacer un estudio de la situación actual, y determinar posibles soluciones para producir menos desechos sólidos (Tchobanoglous, Theisen, & Vigil, 1994), (Kreith, 1994)

Siguiendo el objetivo principal del manejo de desechos sólidos, se obtendrá una maximización del aprovechamiento de los recursos y la prevención o reducción de los impactos adversos al ambiente. Hay que tener claro que es difícil minimizar los costos e impactos ambientales de forma simultánea. Por lo que se recomienda que siempre se haga un estudio sobre la gestión de los sólidos residuales, así se podrán tomar las mejores decisiones. Para que un sistema de manejo de desechos sólidos sea económica y ambientalmente viable debe ser integral, orientado al ente generador y capaz de manejar todo tipo de residuos sólidos. (Medina, Isabel, Izabel, Antonio, Rogelio, & María, 2001)

*Ilustración 230. Gestión de manejo de desechos sólidos*



*Elaboración Propia*

Una gestión integrada del manejo de desechos sólidos debe incluir:

- Prevención.
- Análisis de residuos sólidos.
- Cuantificación de residuos sólidos.
- Diseño de rutas de descarga.
- Clasificación y almacenamiento.
- Separación, procesamiento y transformación.

## 8.1. Análisis de residuos en actividades domésticas

8.1.1. Desechos sólidos domésticos. Los desechos domésticos son todos los residuos sólidos orgánicos e inorgánicos de zonas residenciales y de establecimientos comerciales. Los residuos orgánicos están formados por residuos de comida, papel, cartón, plásticos, textiles, goma, cuero, madera y residuos de jardín. Los residuos inorgánicos están formados por vidrio, cerámica, latas, aluminio, metales féreos, suciedad. (Tchobanoglous, Theisen, & Vigil, 1994)

También se hace una clasificación con los residuos que se descomponen rápidamente. Por lo general, estos residuos son por la preparación de comidas. Son llamados residuos putrefractibles y tiene la característica de que generan malos olores y atraen moscas. Este tipo de residuo genera problemas para el diseño y operación del sistema de recolección de residuos en los proyectos. (Tchobanoglous, Theisen, & Vigil, 1994)

Cuando se dice que se descarga papel dentro de los residuos sólidos domésticos y comerciales, se refiere a todos los tipos que existen. Existen más de 40 clasificaciones. Los encontrados comúnmente son: periódicos, libros, revistas, impresos comerciales, papel de oficina, cartón, embalajes de papel, etc. (Tchobanoglous, Theisen, & Vigil, 1994)

Cuando se utiliza el término de descarga de plástico, al igual que con el papel, se refiere a los materiales plásticos más encontrados en los residuos sólidos urbanos. Estos son:

- Polietileno tereftalato (PET/1)
- Polietileno de alta densidad (PE-HD/2)
- Policloruro de vinilo (PVC/3)
- Polietileno de baja densidad (PE-LD/4)
- Polipropileno (PP/5)
- Poliestireno (PS/6)
- Otros materiales plásticos laminados. (7)

Los artículos voluminosos son artículos domésticos, comerciales e industriales grandes, gastados y rotos, tales como televisiones, muebles radio, etc. Dentro de estos artículos también están los llamados línea blanca y los electrodomésticos, que por lo general estos artículos se desmontan para la recuperación de materiales como cobre, aluminio, etc.

Las pilas y baterías encontradas en el comercio y en las viviendas son las denominadas domésticas y las de los automóviles. Hay una gran variedad de baterías que son consideradas domésticas, entre ellas están las alcalinas, de mercurio, plata, cinc, níquel y cadmio. El

problema con las baterías es que los metales que se encuentran dentro de estas pueden causar contaminación de las aguas subterráneas debido al lixiviado. También pueden contaminar las emisiones aéreas a la hora de incinerarlas. Las baterías de los automóviles están compuestas de plomo y ácido sulfúrico. Estos dos materiales son altamente contaminantes. (Tchobanoglous, Theisen, & Vigil, 1994)

*Ilustración 231. Clasificación de plásticos*



*Elaboración Propia*

**8.1.2. Desechos institucionales.** Los residuos institucionales son los generados por centros gubernamentales, escuelas, cárceles y hospitales. A excepción de los residuos de cárceles y los hospitalarios, los residuos institucionales son los mismos que los domésticos y los comerciales.

En todos los hospitales, los residuos sanitarios son manipulados y procesados separadamente de otros residuos sólidos.

## 8.2. Importancia de la separación de desechos

**8.2.1. Aluminio.** El reciclaje de aluminio se conforma de dos sectores: las latas de aluminio y el aluminio secundario.

El aluminio es uno de los desechos más fáciles de separar para su reciclaje. Esto se debe a que su forma y apariencia es bastante sencilla de diferenciar y su manipulación es sencilla en comparación con los demás. El aluminio puede estar presente en muchos desechos sólidos industriales y domésticos, el 80% del aluminio en los desechos municipales es debido

a las latas de bebida. El otro 20% consiste en papel de aluminio, mobiliario, aparatos electrodomésticos, etc. (Lund, 2001)

Debido a la cantidad de latas de aluminio que se desechan en los basureros, es muy importante que se separen en el proceso de clasificación de basura para su reciclaje. El aluminio recuperado es enviado a procesos de reciclaje en donde se someten a altas temperaturas para derretirlo. Este aluminio se mezcla con otros metales para formar aleaciones. A esta mezcla también se le agrega una pequeña parte de aluminio virgen para homogeneizarla. Este material ya lo procesan para hacer materiales de aluminio. Manufacturar nuevas latas de aluminio con aluminio reciclado puede llegar a utilizar 95% menos de energía que utilizando aluminio virgen. (Lund, 2001)

La ventaja del aluminio es que se puede identificar fácilmente en los desechos. Los programas de separación se pueden hacer a nivel residencial, comercial, institucional, industrial, etc. Se necesita de una persona encargada de todo el proceso para recolectar el aluminio y mandarlo a un centro de acopio para llevar el aluminio recuperado.

**8.2.2. Papel y cartón.** En porcentaje de peso, el papel es el componente mayor de los residuos sólidos, es por esto que es muy importante su reciclaje. El propósito del reciclaje de papel no es utilizarlo completamente como materia prima para la producción de papel nuevo, mezclándolo con la pulpa virgen.

Al utilizar papel o cartón reciclado, se evita que la materia prima sea celulosa procedente de los árboles.

Los usos más importantes para el papel reciclado son:

- Sustitutos de pulpa.
- Calidad de destintamiento.
- Calidades brutas.
- Productos de construcción.
- Combustible derivado de residuos.

Como se mencionó anteriormente, uno de los mejores usos del reciclaje del papel es para la sustitución de pulpa. Esto hace que se disminuya la cantidad de pulpa virgen para la elaboración de papel, reduciendo la tala de árboles. El papel más utilizado para la sustitución de pulpa es el papel de impresión. (Lund, 2001)

En el proceso de destintamiento se refiere a todos los papeles reciclados que se tratan para elaborar pulpa. Para realizarlo, estos tienen que pasar por el proceso de destintamiento químico y de blanqueo antes de introducirse a la masa de la pulpa. Los mejores tipos de papel reciclado a utilizar en este proceso son el papel periódico destintado y papeles de mejor calidad pero no aptos para ser sustitutos directos de la pulpa como papel blanco y coloreado. En calidades brutas son papeles reciclados que se utilizan sin destintarse para la elaboración de cartones, lámina y medio para cajas de cartón ondulado, cartón comprimido y productos de construcción como papel fieltro y tabla de fibra prensada. En los productos de construcción, el papel periódico y el papel mezclado se utilizan para la fabricación de cartón de yeso, material suelto de aislamiento y aislamiento espolvoreado, y papel saturado de fieltro para tejados.

Es muy importante determinar qué tipos de papeles son los que se pueden reciclar. Los tipos de papeles que actualmente se reciclan son: papel periódico, cartón ondulatorio, papel de alta calidad y papel mezclado. El papel periódico se recicla para producir nuevamente papel periódico, papel higiénico, pañuelos de papel y papel de más alta calidad. También se utiliza para la producción de cartón y productos de construcción. El cartón ondulado, que es la fuente individual más grande del papel residual y es utilizado para procesar nuevamente cartón. (Lund, 2001)

El papel de alta calidad puede ser un sustituyente directo de la pulpa de madera o puede ser utilizado para la elaboración de papel higiénico o papeles de hilo de alta calidad. Dentro del papel de alta calidad está: el papel de informática, el papel de cuentas de banco y coloreado, libros guillotados. El papel mezclado se utiliza para producir cartón para cajas de cartón y otros productos procesados misceláneos. Este papel está formado por periódicos, revistas y otros papeles con fibras largas. (Lund, 2001)

Los fabricantes de papel compran el residuo de papel para ahorrarse en materia prima. Esto lo compran en centros de acopio o directamente de los lugares que separen el papel. (Lund, 2001)

**8.2.3. Plásticos.** Al igual que en el reciclaje para papel, los fabricantes de envases plásticos reciclan los residuos para utilizar menos materia prima en la fabricación. (Lund, 2001)

El Polietileno tereftalato (PET) se recicla principalmente en fibras de poliéster para fabricar sacos de dormir, almohadas, edredones y ropa de invierno. El PET se reduce de tamaño para poder ser reutilizado en proporción con la materia prima para la elaboración de nuevas botellas. El Polietileno de alta densidad (PE-HD) también es reutilizado, para disminuir la proporción de materia prima virgen utilizada en el proceso. (Lund, 2001)

Aproximadamente, por un envase de PE-HD se puede utilizar hasta un 25% de material reciclado. (Lund, 2001)

El policloruro de vinilo (PVC) se recicla para la elaboración de recipientes que no se utilizan para comida, cortinas de duchas, alfombras de plástico, tuberías, etc. (Lund, 2001)

EL polietileno de baja densidad (PE-LD) se utiliza para la elaboración de bolsas. En el reciclado del PE-LD lo que hacen es que seleccionan manualmente las bolsas para separar contaminantes, se someten a un proceso de granulación, lavado y peletización. (Lund, 2001)

El producto de reciclaje es de color oscuro debido a las tintas que se utilizaron en los usos anteriores. Por lo que se ha utilizado para la elaboración de bolsas para basura y recolección de desechos. (Lund, 2001)

El polipropileno (PP) se utiliza para productos de bajas especificaciones como tablas de plásticos, muebles de jardín, vallas, etc. (Lund, 2001)

El poliestireno reciclado se utiliza para la fabricación de tablas de espuma aislante de cimentación, accesorios de oficina, bandejas para servir comida, juguetes, recipientes para basura. (Lund, 2001)

Debido a que el PET y el PE-HD son los productos que más se reciclan en los plásticos, se explicará de forma breve el proceso que se lleva a cabo. (Lund, 2001)

El PET y el PE-HD recuperados son llevados al proceso de selección. Aquí se rompe el embalado y se selecciona bien el material que puede ser reciclado. EL PET se separa por color y se separan los plásticos no deseados. Luego, el material a reciclar se somete a una granulación y un lavado. Las botellas se transforman en pequeños pedazos de polímero, y son sometidos a agua caliente y detergentes para su lavado. En el proceso de lavado se pretende separar etiquetas, adhesivos, suciedad, etc. Después del proceso de lavado, los copos se someten a una separación en un proceso de asentamiento. En este proceso, el PET se hunde en el fondo y el PE-HD flota. Después de la separación, los copos se someten a un proceso de secado por medio de un secador centrífugo, y luego con aire caliente con el fin de reducir la humedad hasta 0.5%. Para asegurar una mejor clasificación y separación, los copos se

someten a un separador neumático en donde se separan las piezas ligeras de polipropileno. Debido a que los envases pueden contener aluminio y debido a las tapas, se utiliza un separador electrostático para asegurarse de no tener aluminio en el producto reciclado. El PET termina su proceso de reciclaje en esta etapa, en donde luego es mezclado a la materia prima para volver producir envases. El polipropileno se somete al proceso de extrusión y peletización. (Lund, 2001)

**8.2.4. Vidrio.** El vidrio constituye el 8% de los desechos sólidos urbanos. El reciclaje del vidrio sirve para reutilizarlo y generar vidrio nuevo. Las ventajas de reciclar vidrio son: la reutilización del material, disminución de energía, reducción de espacio en los vertederos. (Lund, 2001)

Los vidrios que se pueden reciclar son: botellas de gaseosas, botellas de cerveza, botellas de jugos, botellas de salsas, botellas de vino y recipientes de comidas. Los vidrios no reciclables son: espejos, vidrios de carros, copas de cristal, floreros de cristal, vidrio de lámparas, ventanas, vasos. (Tchobanoglous, Theisen, & Vigil, 1994)

Los principales compradores de vidrio separado de los desechos para su reciclaje son los productores de vidrio, que lo utilizan triturado mezclado con arena, ceniza de soda y cal. Para el reciclaje de vidrio se debe de supervisar que no entre sin contaminantes que puedan alterar el color y el proceso del producto. Dentro de los principales contaminantes de los vidrios a reciclar se puede mencionar: metales férreos, metales no férreos, material orgánico, material refractario, etc.

Para evitar esto, las procesadoras de vidrio pagan un poco más de acuerdo a la clasificación que se haga en el proyecto. Lo mejor es separar vidrio blanco, vidrio ámbar y vidrio verde. (Lund, 2001)

**8.2.5. Metales.** Los metales férreos y no férreos se pueden reciclar si están bien separados libres de gomas, plásticos y telas. Lo que se busca es hacer una buena separación de los desechos, separarlos por metales como: acero, hierro, cobre, aluminio, etc., y tratarlos por separado. El reciclaje de metales se obtiene por medio de latas, electrodomésticos, línea blanca y chatarra. Las entidades que recolectan estos materiales son: comerciantes de chatarra, compañías de demolición, comerciantes de electrodomésticos, fabricantes de metal, estos lo venden a compradores industriales para su

procesamiento. Los procesos de reciclaje son separación, selección, compactación, trituración, separación magnética, separación por y empacamiento. (Lund, 2001)

**8.2.6. Baterías.** Las baterías contienen un alto contenido de materiales peligrosos para el ambiente como el plomo y el ácido sulfúrico. Es por esto que se deben separar y llevar a un centro en donde les den el tratamiento que se necesita para recuperar el plomo y el ácido. En un proceso típico lo que se hace es que aplastan los cargamentos de baterías y se separa el plomo, el plástico y el ácido sulfúrico. Luego, se colocan los componentes en un horno con el fin de reducir los óxidos y los sulfatos a plomo metálico. Luego, los residuos son enviados a otro proceso de horneado con el fin de reducir la cantidad de plomo de la escoria. A ésta se le hacen análisis de concentración, y si es mayor a 5 ppm, la escoria debe guardarse en un vertedero de residuos peligrosos. (Lund, 2001)

Las baterías domésticas presentan un mayor problema debido a su contenido de mercurio, cadmio, plomo y otros metales, que se convierten en contaminantes peligrosos en los rellenos sanitarios o basureros ya que se lixivian y derraman líquidos con alto contenido de contaminantes al suelo. Es por esto que las baterías domésticas deben ser separadas de los desechos y no deben de descargarse hacia los vertederos. Lo que hay que hacer es buscar entidades que se dediquen a la recolección para exportarlas a los lugares especiales para su procesamiento. Tanto las baterías alcalinas y las de zinc-plomo no son reciclables. Debido al contenido de mercurio deben evacuarse en vertederos de residuos peligrosos. Las baterías reciclables son las de óxido de mercurio, óxido de plata y las pilas de níquel-cadmio. (Lund, 2001)

**8.2.7. Llantas.** Los neumáticos usados representan un volumen alto de desechos sólidos urbanos. Las principales posibilidades de reutilización para las llantas de goma son el reucanchamiento y reparación, combustible derivado de neumáticos y los aglomerantes. (Lund, 2001)

**8.2.8. Residuos de Jardín.** Los residuos de jardín son muy utilizados para hacer compostaje. Los residuos utilizados son: hojas, césped, arbustos. Incluso palos de madera, que tienen que ser triturados con el fin de tenerlos en un tamaño más pequeño y

uniforme. (Tchobanoglous, Theisen, & Vigil, 1994)

**8.2.9. Desechos orgánicos.** En fracción orgánica de los desechos sólidos se puede mencionar: el papel, cartón, plásticos, textiles, gomas, cuero, residuos de comida, residuos de jardín. Estos materiales se pueden reciclar en conjunto o mediante una clasificación y procesamiento explicado anteriormente. La separación de materiales desde el origen hace que los posibles tratamientos de los residuos sólidos tengan mejor resultado. Se recomienda separar los textiles, gomas, cueros, y dejar los desechos que contengan mayor valor nutritivo como los desechos de jardín y residuos alimenticios. Dentro de las aplicaciones que se le pueden dar a los residuos orgánicos se pueden mencionar:

- Compostaje.
- Producción de metano.
- Producción de combustible.

EL compostaje es un proceso de transformar la materia orgánica mediante un proceso aerobio en un material estable, sin olor, y con propiedades nutritivas para los suelos. A pesar que sus mayores aplicaciones están en el sector agrícola, el compost puede ser aplicado en las jardinerías o ser empaquetado para su comercialización. El proceso del compostaje se explicará con mayor detalle más adelante.

Para la producción de metano, la materia orgánica se puede colocar en trincheras o pilas tapadas evitando que se oxigene. El tratamiento anaerobio hace que por medio de una biodigestión se produzca metano. El metano se puede utilizar en la producción de energía y calor. (Tchobanoglous, Theisen, & Vigil, 1994)

La producción de combustible derivado de residuos se refiere a la utilización de los residuos para la alimentación de calderas y utilizarlo para producir energía.

### 8.3. Recolección y clasificación de residuos sólidos

La recolección involucra todas las actividades que se necesitan para que los desechos sólidos sean transportados hacia los contenedores finales. Se puede decir que este proceso inicia desde que el usuario decide donde dosificar el residuo o desecho. Para recolectar los desechos se utilizan:

- Equipo para la recolección de desechos como palas, escobas, rastrillos, etc. Los operarios deben de contar con todo el equipamiento para recolectar los desechos sin ningún problema.

- Diferentes tipos de basureros. Basureros con clasificación según el tipo de desecho: papel, aluminio, vidrio, orgánico. Basureros para áreas especiales como baños, papeleras, basureros de bandeja, depósitos de basura para residuos de alimentos, depósitos de basura para residuos peligrosos.
- Carretillas contenedoras y transportadoras de desechos para el interior del establecimiento.
- Camiones para recolección de desechos en extensiones de terreno grandes.

La clasificación primaria de los desechos sólidos se entiende por la separación de los diferentes desechos que se tienen en la actividad del ente generador. Ésta se da por el tipo de desecho que se descarga, papel, cartón, vidrio, aluminio, etc. Entre más detallada esté la clasificación, mejor será el procesamiento de los desechos. La clasificación primaria de los desechos sólidos se tienen que hacer con recipientes debidamente rotulados, mejor si se tiene una nomenclatura de color para cada tipo de desecho; esto con el objetivo de ayudar al operario y a las personas que participen en la clasificación. Estos recipientes deben ser resistentes y de un volumen que tenga la capacidad de almacenar la carga máxima de desechos producidos por el proyecto, con el fin de evitar lixiviados y sobresaturación. Si hay algún desecho que no puede ser reutilizado o reciclado, debe estar rotulado e igualmente separado para que el encargado de su recogida se lo lleve.

A continuación se presenta la manera en que se debe clasificar los desechos sólidos. Como se mencionó anteriormente, entre más clasificados estén los desechos, mejor será la manipulación.

- Papel
  - Papel de alto grado.
  - Cartón.
  - Papel periódico.
  - Papel de mezclado.
- Aluminio
- Plástico
  - PET/1
  - PET HD/2
- Vidrio
  - Vidrio blanco.
  - Vidrio verde.
  - Vidrio ámbar.
- Metales férreos.
- Metales no férreos.

- Materia orgánica.
- Desechos de jardín.
- Desechos peligrosos.

Para facilitar la selección de los desechos, se debe de tener recipientes desechos rotulados según el tipo de basura a depositar en lugares críticos en donde se pueda almacenar gran cantidad de desechos sólidos. A continuación se presenta un sistema de clasificación por colores que puede utilizarse para la implementación en proyectos. Los colores para cada tipo de basura son los recomendados.

*Ilustración 232. Colectores de desechos sólidos clasificados*



*Elaboración Propia*

Hay que tomar en cuenta que dependiendo de las actividades del proyecto, no se podrá colocar basureros clasificados en todas las áreas. Por ejemplo, controlar que residenciales grandes, centros comerciales, industrias y edificaciones clasifiquen sus desechos puede ser una tarea muy complicada. Se necesita de capacitación y de mucha concientización ambiental para promover esto. Por esto, muchas veces se tendrán que colocar papeleras o basureros comunes en donde se deposite todo tipo de desechos, como papel, plásticos, botellas de vidrio, etc. Al igual que los contenedores clasificados, estos deben de contar con los volúmenes adecuados para evitar saturaciones y derrames dentro de las instalaciones.

Los efectos que pueden afectar el almacenamiento de los desechos sólidos son la rápida descomposición, absorción de fluidos y la contaminación cruzada. Cuando se tienen residuos de alimentos, estos se descomponen muy fácilmente, proceso que se conoce como putrefacción. Si se dejan los residuos mucho tiempo, además del mal olor generado se dará lugar al crecimiento de moscas. Los desechos tienen la facilidad de absorber la humedad del ambiente, esto da lugar a que se produzcan lixiviados que pueden ocasionar contaminación al suelo en donde se almacenan los desechos. (Tchobanoglous, Theisen, & Vigil, 1994), (Kreith, 1994)

#### 8.4. Cuantificación de residuos

Las cantidades generadas de desechos sólidos sirven para poder realizar el plan de gestión. Con esta información, se puede determinar la mano de obra necesitada, el área de almacenamiento de desechos, los tipos de contenedores y camiones para su recogida, su forma aprovechamiento, así como el espacio necesitado, etc.

El peso específico se define como la masa del material por unidad de volumen. El peso específico de los residuos sólidos varía de acuerdo a como se encuentre. Puede estar suelto, en contenedores, no compactado o compactado. A continuación se muestra una tabla que muestra los pesos específicos de los residuos típicos domésticos, comerciales, industriales y agrícolas.

*Tabla 62. Peso específico y contenido de humedad de los residuos sólidos*

Tipo de residuo	Peso específico kg/m <sup>3</sup>		Contenido en humedad, porcentaje en peso	
	Rango	Típico	Rango	Típico
<b>Residuos Domésticos</b>				
<b>Residuos de comida</b>	31-481	291	50-80	70
<b>Papel</b>	42-131	89	4-10	6
<b>Cartón</b>	42-80	50	4-8	5
<b>Plásticos</b>	42-131	65	1-4	2
<b>Textiles</b>	42-101	65	6-15	10
<b>Goma</b>	101-202	131	1-4	2
<b>Cuero</b>	101-261	160	8-12	10

(Continuación Tabla 62)

Tipo de residuo	Peso específico kg/m <sup>3</sup>		Contenido en humedad, porcentaje en peso	
	Rango	Típico	Rango	Típico
Residuos Domésticos				
<b>Residuos de jardín</b>	59-225	101	30-80	60
<b>Madera</b>	131-320	237	15-40	20
<b>Vidrio</b>	160-481	196	1-4	2
<b>Latas de hojalata</b>	50-160	89	2-4	3
<b>Aluminio</b>	65-240	160	2-4	2
<b>Otros metales</b>	131-1151	320	2-4	3
<b>Suciedad, cenizas</b>	320-1000	481	6-12	8
<b>Cenizas</b>	650-831	745	6-12	6
<b>Basura</b>	89-181	131	5-20	15
Residuos de jardín				
<b>Hojas (sueltas y secas)</b>	30-148	59	20-40	30
<b>Hierba verde (suelta y humedad)</b>	208-297	237	40-80	60
<b>Hierba verde (húmeda y compactada)</b>	593-831	593	50-90	80
<b>Residuos de jardín (tritutados)</b>	267-356	297	20-70	50
<b>Residuos de jardín (compactados)</b>	267-386	326	40-60	50

(Tchobanoglous, Theisen, & Vigil, 1994)

Las medidas de peso y volumen se hacen obteniendo las medidas de volumen o peso de los desechos generados por un período de tiempo establecido. Hay que almacenarlos y cuantificarlos. Entre la medida volumétrica y la medida másica, se utiliza más la másica ya que la medida volumétrica puede variar mucho, todo depende la forma en que se recolecte el desecho. El volumen de un desecho comprimido no es exactamente el de uno no comprimido, pero pueden tener la misma masa. Si se van a utilizar las mediciones

volumétricas, se recomienda medir los volúmenes relacionando con el grado de captación de los residuos o con el peso específico de los residuos bajo sus condiciones de almacenamiento. Si se utiliza la medición másica, se puede realizar por medio de básculas lo suficientemente grandes para medir fácilmente la cantidad de desechos. (Tchobanoglous, Theisen, & Vigil, 1994)

## 8.5. Rutas y horarios de descarga

La planificación de rutas de descarga de residuos sólidos sirve para minimizar el tiempo de recogida de estos dentro de las actividades, no molestar al personal que elabore o esté presente, mantener las instalaciones limpias y ordenadas, etc.

El ente generador debe contar con rutas para la descarga los desechos sólidos a la zona de almacenamiento. Esta ruta debe estar realizada de la manera en que no afecte las actividades principales del ente generador, como malos olores, producción de moscas, almacenamiento de desechos en lugares innecesarios, fácil acceso para el personal de mantenimiento, etc. Los malos olores en los residuos sólidos se generan cuando se almacenan los residuos durante varios períodos de tiempo entre recogidas. Estos olores son de mayor intensidad en climas cálidos. (Tchobanoglous, Theisen, & Vigil, 1994)

Dependiendo la infraestructura del proyecto, se pueden facilitar las rutas de recolecta de desechos sólidos.

Si los proyectos tienen edificios se pueden utilizar colectores verticales desde el nivel más alto hasta el más bajo. En el nivel más bajo se recolecta los desechos por carros recolectores y ya se transportan, por medio de las rutas establecidas.

En residenciales grandes, en industrias, o en proyectos con extensiones grandes de terreno, lo mejor es tener camiones que recolecten los desechos ya sea sin clasificar o lo más clasificado posible y los transporten hacia el área de desechos. Estas rutas de desechos deben de ir con horarios de recogida, estos horarios dependerán de las actividades del proyecto.

## 8.6. Clasificación final y almacenamiento de desechos. se

deberá contar con operarios para la clasificación final de los desechos sólidos. Dependiendo la magnitud del proyecto de recolección y reciclaje, éste puede ser en un cuarto de almacenamiento de desechos sólidos o ya en un centro de acopio en donde se realizan procesos primarios de reciclaje.

Si se tiene una buena clasificación primaria en el proyecto, la clasificación final no debería de tener problema alguno. Simplemente de inspeccionar que en los contenedores finales de almacenamiento se descarguen los desechos adecuados.

El dimensionamiento para el almacenamiento de los desechos sólidos debe de calcularse después de cuantificar los desechos producidos diariamente en el proyecto. Es muy recomendable hacer la cuantificación clasificada dependiendo qué tanto se va a separar dentro de las instalaciones del proyecto para su reciclaje. Los cuartos de almacenamiento de desechos pueden estar separados por áreas según el tipo de desecho, por ejemplo: cuarto de desechos orgánicos, cuarto de papel, cuarto de cartón, o puede haber un área en común en donde estén clasificados todos los desechos. Los desechos pueden estar almacenados de dos formas; La primera forma es por almacenamiento convencional, en donde los desechos se depositan y se almacenan en los pisos de los cuartos, descargados por carros contenedores. La ventaja de este tipo de almacenamiento es que los espacios son más reducidos, no se necesita tanta área en el cuarto de desechos. Sin embargo, estos tienden a ser desordenados, a generar lixiviados y derrames que generan malos olores y dan un aspecto desagradable, por lo que necesitan mantenimientos y limpieza con mucha frecuencia.

La segunda opción es por almacenamiento con contenedores. Consiste en depositar todos los desechos clasificados en contenedores rotulados. Este tipo de almacenamiento tiene la desventaja de que necesita más espacio que el almacenamiento convencional, ya que los contenedores requieren un espacio suficiente para poder manipularlos, cargarlos de desechos y descargarlos cuando se necesite. La ventaja es que son más ordenados, teniendo un aspecto más limpio y agradable, se reducen los derrames y los lixiviados dentro del cuarto de desechos, los mantenimientos y tareas de limpieza son menores. Sin embargo, es indispensable estar monitoreando los contenedores con el fin de determinar que no estén rotos o tengan golpes que pueda provocar derrames y malos olores.

Si se opta por la segunda opción, el cuarto de desechos debe ser amplio y tener rótulos según la clasificación de desechos, contar con contenedores en buen estado para evitar lixiviados o derrames.

**8.6.1. Orden y mantenimiento.** Es importante que los cuartos de desechos estén bien señalizados y rotulados, para evitar confusiones y hacer que el proceso de clasificación sea más fácil y menos tedioso para los trabajadores. Los contenedores deben

detener un mantenimiento adecuado para que no se tengan malos olores ni se dé oportunidad para la producción de enfermedades. Si no se hace mantenimiento, se puede llegar a sufrir de plagas. También se tiene que tener estética en cuanto a su lugar del almacenamiento y su estado. Para almacenarlos, en una edificación por ejemplo, se puede hacer en el sótano o en un área específica para que sea fácil su recogida. Por eso es de suma importancia elaborar un estudio de evacuación de desechos. (Tchobanoglous, Theisen, & Vigil, 1994)

El personal operativo debe ser cuidadoso con las bolsas y contenedores de desecho, con el fin de evitar los derrames y lixiviados en el área de almacenamiento. Las carretas transportadoras deben de ser colocadas de forma ordenada para evitar problemas y facilidad en la recolección y transporte de desechos.

Los dispositivos de almacenamiento deben de tener un mantenimiento constante para evitar riesgos y problemas en el futuro. El mal olor y la contaminación de organismos patógenos son problemas que se dan por falta de limpieza y mantenimiento. Esto se puede solucionar con la capacitación de los operarios para realizar procesos de limpieza y desinfección en los cuartos de almacenamiento de desechos.

## 8.7. Compostaje

El proceso de compostaje es el tratamiento de descomposición de los desechos orgánicos para convertirlos en un producto sin olor, estable, y con las propiedades para mejorar las propiedades del suelo. Este proceso se hace desde casas particulares, hasta en grandes rellenos sanitarios en donde manejan toneladas de desechos. El proceso consiste en una digestión biológica que con ayuda de nutrientes, humedad, oxígeno y temperatura, transforman la fracción orgánica compuesta de proteínas, aminoácidos, lípidos, hidratos de carbono, celulosa, lignina y ceniza, en un compuesto denominado compost, muy utilizado como abono orgánico.

El compostaje comenzó a realizarse en la India bajo el nombre de Indore a principios de los años 30. Lo que hacían era que hacían zanjas en el suelo de 60 a 90 centímetros de profundidad e introducían todo tipo de desechos orgánicos como: desechos de jardín, estiércol, tierra, paja, etc. Estos desechos los volteaban dos veces durante el proceso de fermentación el cual tenía una duración de 6 meses o más. Los lixiviados que se producían del proceso eran retornados a la materia que tenía menos tiempo de fermentación, ya que

estos, ricos en materia microbiológica, aceleraba la etapa inicial del proceso. (Tchobanoglous, Theisen, & Vigil, 1994)

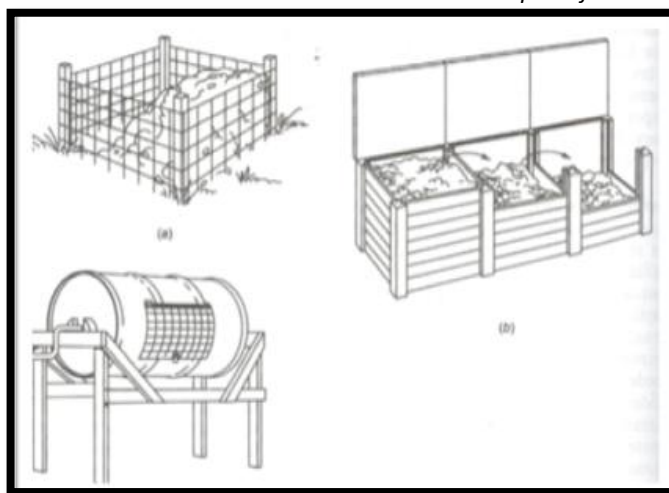
*Ilustración 233. Compostaje industrial y doméstico*



*(García Ormachea, 2010)*

Actualmente hay muchas formas de producir compostaje. A diferencia del Indore, ahora airean más la materia orgánica ya sea dándole vueltas o introduciéndole aire forzado. Esto con el propósito de evitar un proceso facultativo y hacer que sea lo más aerobio posible. (Tchobanoglous, Theisen, & Vigil, 1994)

*Ilustración 234. Formas de realizar compostaje*



*(Tchobanoglous, Theisen, & Vigil, 1994)*

La materia prima para el proceso de compostaje son desechos orgánicos. Dentro de estos desechos se pueden clasificar en: materia que supe energía, materia que supe de volumen y materia que supe de volumen y energía. Los materiales que suplen energía son

ricos en nitrógeno y carbono que sirven como alimento para el crecimiento microbiano. Por lo general, esta materia tiene un alto grado de humedad y densidad, y poca porosidad, por lo que si sólo se realiza el proceso con este tipo, la oxigenación por medio del aire sería muy poca o nula, retardando el proceso y generando malos olores debido a los ambientes facultativos. (Cogger, Sullivan, & Kropf, 2001)

Dentro de los materiales con alto grado energético para el compostaje se pueden mencionar:

- Grama.
- Estiércol.
- Desperdicios y cáscaras de frutas y legumbres.
- Pedazos de plantas verdes.

Los materiales que suplen de volumen, por lo contrario, carecen de nitrógeno y carbono. La ventaja que tienen que es que son muy secos y porosos, y ocupan gran espacio unos con otros. Esto hace que el oxígeno pueda entrar con facilidad dentro de toda la materia con la que se está realizando el compostaje. El problema es que debido a que carecen de nutrientes, un exceso de estos retardaría el proceso. (Cogger, Sullivan, & Kropf, 2001)

Dentro de los materiales con alto grado de volumen y bajo contenido de nutrientes se pueden mencionar:

- Hojas secas.
- Tallos secos.
- Astillas de madera.
- Heno de hierbas.
- Paja.

También están los compuestos equilibrados que, además de poseer nutrientes y humedad, también tienen la característica de ser porosos y hacer que el oxígeno del aire entre con facilidad. Los compuestos equilibrados no es más que la mezcla de los compuestos ricos en nutrientes y en volumen. Para realizar el compost, se recomienda la utilización de compuestos equilibrados ya que hace que el proceso se dé en un tiempo más corto, y no se tengan problemas de malos olores. La relación entre material energético y voluminoso es de 2:1. (Cogger, Sullivan, & Kropf, 2001)

Una de las recomendaciones en la elaboración de compost, es reducir el tamaño de la materia prima. Al hacer esto, se aumenta la superficie de contacto entre el microorganismo y

los compuestos orgánicos, se puede decir que haciendo esto, se les facilita digerir todos los nutrientes y producir el compost. Este proceso se puede hacer con molinos para cortar ramas, tallos, hojas, y demás desechos de jardín. Al hacer este proceso, se tiene la ventaja de que se puede apilar más desechos en menos espacio, reduciendo las áreas de proceso y haciendo que tenga un aspecto más ordenado y estético. Para que el compostaje se haga de forma rápida, se recomienda que el diámetro de las partículas sea de 3 a 12 milímetros. Cuando se realiza el proceso con ramas, hojas, tallos, y residuos de comida muy grandes el compostaje se realizará pero con un tiempo más lento. Los molinos para la preparación de la materia prima procesar pueden ser para usos domésticos como para usos industriales. (Cogger, Sullivan, & Kropf, 2001)

Las variables que controlan y afectan el proceso de compostaje son: Oxígeno, temperatura, tiempo, humedad, nutrientes y pH. Al estar ausente o alteradas alguna de estas variables, debe de ser recompensada por las demás. Por ejemplo, en ausencia de aire para oxigenar el compostaje, se necesitará de mayor tiempo para que el producto se madure y se cure, o en ausencia de tiempo, se necesitará de una buena aireación y una buena relación de carbono/nitrógeno del material a procesar para compostaje. (Cogger, Sullivan, & Kropf, 2001)

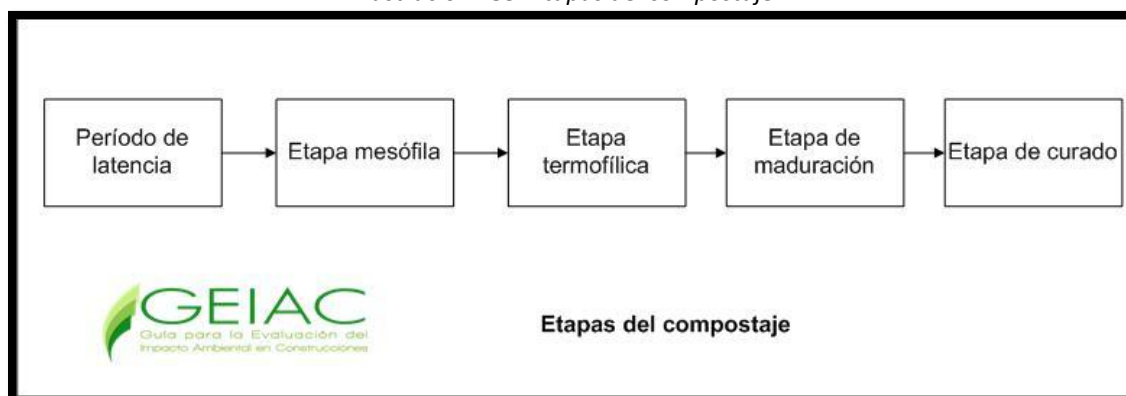
Los microorganismos necesitan oxígeno para realizar el proceso de compostaje. Este aire puede alimentarse por medio de inyección con compresores, ventilación, mezclados, porosidad de la materia. El más utilizado debido a su facilidad y economía es el de mezclado. Lo que se hace es que cada cierto tiempo, con ayuda de un rastrillo, paletas, tractores (depende el tamaño del proceso) se mueve la materia orgánica, estos movimientos hacen que el aire entre por la porosidad y oxigene la materia. Otra técnica es colocar tubos de PVC con hoyos e insertarlos dentro del volumen de materia orgánica, esto hace que el aire pueda penetrar y oxigenar. Sin embargo, esta técnica necesita que de cada cierto tiempo se mezcle un poco para asegurarse una buena oxigenación. Como se mencionó anteriormente, entre más oxigenación haya, más rápido se realizará el compostaje. Por ejemplo: Un proyecto de compostaje por medio de hileras, las cuales sólo las voltean una vez al año, el proceso puede llegar a durar de 18 a 36 meses, generando malos olores. El mismo proceso, pero con las hileras de menor tamaño y con un volteo un poco más frecuente, hará que se disminuyan los olores. El proceso estaría durando aproximadamente de 10 a 11 meses más cuatro semanas de curado. Un nivel intermedio, las hileras son pequeñas, al igual que el nivel bajo, con la

diferencia que se hace un volteo semanal, el proceso puede llegar a tardarse dos meses. (Cogger, Sullivan, & Kropf, 2001)

El nivel de humedad es otro parámetro muy importante en el proceso de compostaje ya que con esto los microorganismos tienen la facilidad de absorber los nutrientes. Se recomienda un porcentaje de humedad de 40 a 60%. Valores menores a 40% pueden provocar que disminuya el desarrollo microbiano, y porcentajes de humedad mayores a 60%, comienza la dificultad de la distribución del oxígeno del aire dentro de la materia orgánica, formándose un proceso anaerobio, generando malos olores y retardando el compostaje. Además del contenido de humedad de la materia con la que se hace el compostaje, ésta también depende de la exposición al sol y de la frecuencia de los volteos. (Cogger, Sullivan, & Kropf, 2001)

Las etapas del compostaje se pueden observar en la Ilustración 235. Las temperaturas van variando según el grado de convertibilidad de la materia orgánica en el producto. La primera fase del proceso, período de latencia, que es en donde los microorganismos comienzan a adaptarse al ambiente, se aclimatan y comienzan a colonizarse. Luego viene la parte mesófila en el cuál se da un incremento exponencial de los microorganismos, llegando a temperaturas de 15 a 45°C. Luego, el proceso entra a la etapa termófila, que es en donde se destruyen la mayoría de los microorganismos patógenos debido a que las temperaturas alcanzan de 45°C a 70°C. Luego se da la fase de maduración que es en donde las temperaturas disminuyen a las condiciones mesófilas y se da un proceso de humidificación en el producto. Hay que tomar en cuenta que la temperatura está muy ligada al tamaño de las pilas y a los volteos u oxigenados del proceso.

Ilustración 235. Etapas del compostaje



Elaboración Propia

La cantidad de nutrientes que tenga el compostaje, especialmente nitrógeno y carbono, establecerá la eficiencia con el tratamiento para los suelos. La cantidad de carbono debe de ser mayor a la cantidad de nitrógeno, ya que los microorganismos utilizan el carbono como fuente de energía, produciendo dióxido de carbono. Los compuestos nitrogenados proporcionan las condiciones para que los microorganismos se desarrollen. A continuación se presenta una tabla con la relación carbono/nitrógeno de varios compuestos orgánicos.

*Tabla 63. Relación carbono/nitrógeno de compuestos orgánicos*

<b>Material</b>	<b>Relación C/N</b>
<b>Orina</b>	0.8:1
<b>Sangre</b>	3:1
<b>Lodos Residuales</b>	11:1
<b>Gallinaza</b>	15:1
<b>Estiércol de vaca</b>	18:1
<b>Mezclado de pastos</b>	19:1
<b>Pasto verde</b>	20:1
<b>Restos de comida</b>	15-20:1
<b>Estiércol de caballo</b>	25:1
<b>Cáscaras de papa</b>	25:1
<b>Podas</b>	50-100:1
<b>Paja</b>	60:100-1
<b>Papel</b>	350:1
<b>Aserrín</b>	500:1

*(Moreno Casco & Moral Herrero, 2007)*

La relación carbono/nitrógeno ideal que debe de tener la materia orgánica a procesar para compostaje es de 30:1. Se puede trabajar sin ningún problema en un rango de 25 a 35. Valores más elevados significaría exceso de carbono, retardando la descomposición de la materia, y valores más bajos representaría exceso de nitrógeno, haciendo que este se pierda como amoníaco, produciendo malos olores y desperdiciando nutrientes. Ésta es otra de las razones porque la mezcla inicial orgánica debe ir variada con materiales ricos en carbono como residuos de jardín (grama, vegetales secos, hojas) y ricos en nitrógeno (Estiércol y residuos vegetales). El compostaje ya madurado debe tener una relación de C/N de 10.

Valores menores a 20 indican que el compostaje ya maduró. (Moreno Casco & Moral Herrero, 2007)

Después del carbono y el nitrógeno, el fósforo es el siguiente nutriente más importante en el proceso de compostaje. La relación óptima de carbono/fósforo para la elaboración de compostaje es de 75-150, y la relación de nitrógeno/carbono está entre 5-20. Una relación entre los principales nutrientes dentro del proceso de compostaje hace que se prolifere con mayor facilidad los microorganismos, haciendo que el proceso se haga más eficiente. (Moreno Casco & Moral Herrero, 2007)

De la misma manera que la temperatura, el pH tiene una curva típica en el proceso del compostaje en función de la etapa que se encuentre el proceso. Las unidades de pH dependerán de las materias primas con las que se elabora el compostaje y de la actividad microbiológica que se desarrolle. Independientemente de esto, las bacterias prefieren valores de pH entre 6 y 7.5, mientras que los hongos toleran un rango más amplio, de 5.5 a 8. Cuando el pH desciende de 6, los procesos de descomposición, en especial el de las bacterias se detiene. Cuando el pH sube más de 9, se favorece la conversión de nitrógeno a amonio, produciendo malos olores y afectando de manera negativa el crecimiento y la proliferación de microorganismos. (Moreno Casco & Moral Herrero, 2007)

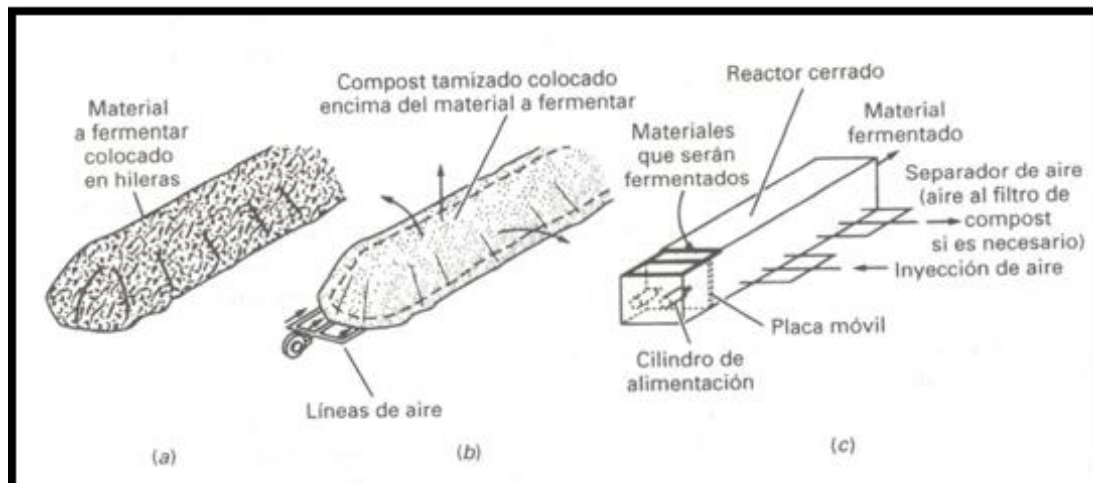
Al comienzo de la digestión de los microorganismos, se forman gran cantidad de ácidos orgánicos, que descienden el pH en valores de 5. En esta etapa, los hongos realizan el trabajo de descomposición debido a su soporte de ambientes ácidos. Al inicio de la fase termofílica, los microorganismos utilizan estos ácidos orgánicos, la proteólisis y la mineralización de nitrógeno con liberación de amoníaco, hace que el pH aumente a alores de 8.5. Luego, en la etapa de estabilización, los niveles de pH se neutralizan cercanos a 7. (Moreno Casco & Moral Herrero, 2007)

Para que se dé la descomposición de la fracción orgánica, se han elaborado muchas técnicas como: hileras, pilas estáticas, reactores, etc. Con cualquiera de las técnicas utilizadas, el proceso biológico es el mismo; la porción biodegradable de los residuos orgánicos se fermenta mediante diversos microorganismos que utilizan la materia orgánica como fuente de alimento (carbono).

*8.7.1.1.1. Compostaje por hileras.* Es el tipo de compostaje más antiguo que existe. Una forma sencilla de hacerlo, es hacer hileras de 2.5 a 3 metros de área transversal por 7 a 9 metros de ancho. Utilizar una pala para voltear el

contenido de la hilera una vez al año. Este proceso puede durar de 3 a 5 años para obtener un compostaje estabilizado. (Tchobanoglous, Theisen, & Vigil, 1994)

Ilustración 236. Compostaje en hileras



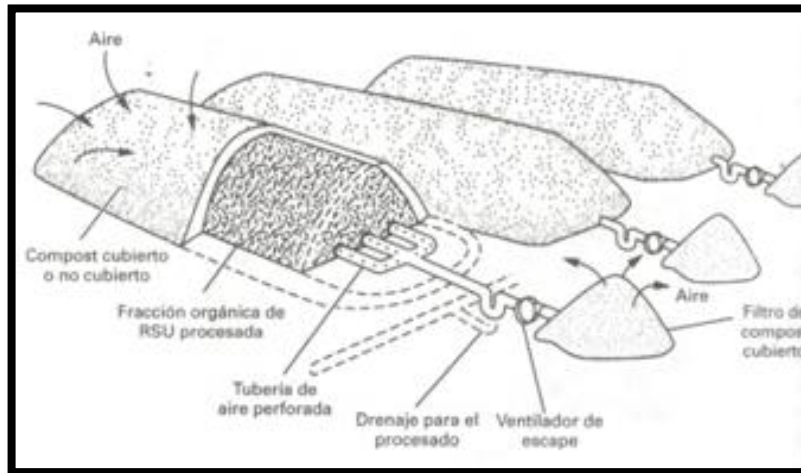
(Tchobanoglous, Theisen, & Vigil, 1994)

Para mejorar este proceso, se pueden hacer hileras más pequeñas, 2 a 2,4 metros de altura de sección transversal por 4,5 5 metros de ancho, y airearlo con más frecuencia. La aireación ayudaría a acelerar el proceso de fermentación y disminuir los malos olores ocasionados por las reacciones anaerobias. Otra cosa que ayuda a agilizar este proceso es aumentando la superficie de contacto del residuo con el microorganismo. Esto se hace mediante la trituración y cribación para obtener un tamaño entre 2.5 a 7.5 cm, un contenido de humedad entre 50 y 60%. En sistemas eficientes es común voltear la materia 2 veces a la semana manteniendo una temperatura de 55°C. La fermentación se puede obtener entre tres o cuatro semanas. Como se mencionó anteriormente, después de la fermentación es necesario un tiempo de curación. En este tipo de compostaje, el tiempo de curación es entre tres o cuatro semanas. (Tchobanoglous, Theisen, & Vigil, 1994)

8.7.1.1.2. *Compostaje en pila estática aireada.* Este proceso es muy utilizado para tratar los lodos de las plantas de tratamiento de las aguas residuales. El sistema consiste en una red de tuberías de escape o aireación sobre la cual se coloca la fracción orgánica procesada. Las alturas de estas pilas pueden ser de 2 a 2.5 metros. Normalmente se proporciona a cada pila un inyector de aire individual para un control más eficaz en la aireación. Para la alimentación del la aireación por lo general se utiliza una tubería de plástico perforada. Ésta puede llegar a ser tan compleja que puede tener un rotor haciendo que no solo se introduzca aire sino que también se dé cierto movimiento a los

desechos orgánicos. El proceso de fermentación es aproximadamente de tres a cuatro semanas y un tiempo de curación de cuatro semanas. Después de este proceso, es muy común que se procesa a triturar y cribar el compost para mejorar la calidad. (Tchobanoglous, Theisen, & Vigil, 1994)

Ilustración 237. Compostaje en pila estática aireada



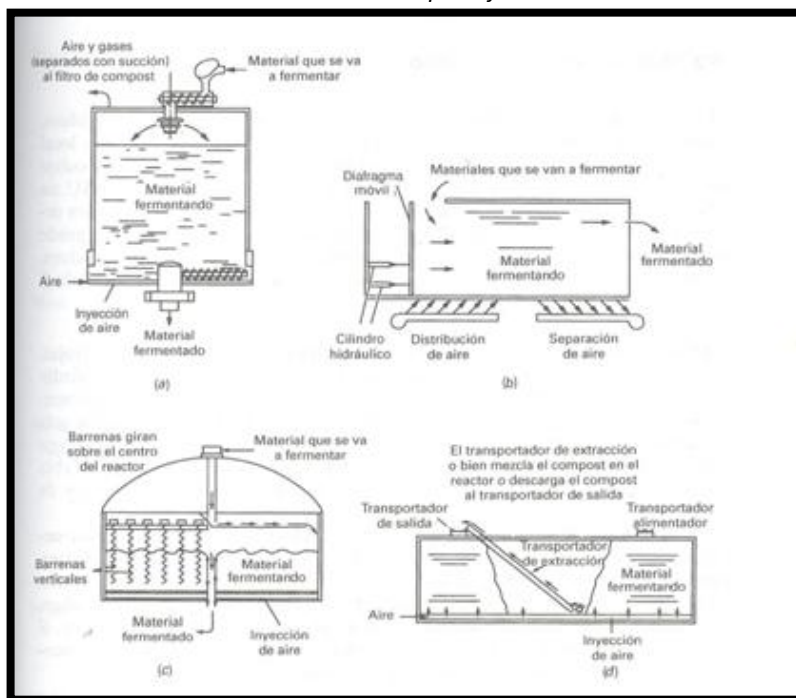
(Tchobanoglous, Theisen, & Vigil, 1994)

#### 8.7.1.1.3. Sistemas de compostaje en reactor.

El proceso de fermentación se lleva a cabo en un tanque o recipiente cerrado. Se han desarrollado muchos tipos de tanques para la producción de compostaje: verticales, horizontales, rectangulares, circulares. Por lo general, se diseñan sistemas mecanizados para minimizar olores y el tiempo de elaboración del compostaje mediante control de las condiciones del proceso como: temperatura y concentración de oxígeno. El proceso de compostaje en un reactor puede ser de 1 a 2 semanas y un período de curación de 4 semanas. (Tchobanoglous, Theisen, & Vigil, 1994)

El proceso de compostajes se puede aplicar en todos los desechos que contengan partes orgánicas. Se pueden tratar los residuos de jardín como hojas, recortes de césped, podas de plantas, matorrales, incluso los troncos de madera de los árboles, pero se recomienda disminuir su volumen para que el proceso de compostaje sea rápido y eficiente. Los residuos de alimentos como cáscaras de frutas y verduras o residuos de estos también se pueden llevar a un proceso de compostaje. Hay que tomar en cuenta que el proceso es más eficiente si se airea y se voltea los residuos. De esto dependerá el tiempo de fermentación. (Tchobanoglous, Theisen, & Vigil, 1994)

Ilustración 238. Compostaje en reactor



(Tchobanoglous, Theisen, & Vigil, 1994)

**8.7.2. Plan de compostaje.** La aplicación del compostaje hace que se aprovechen los desechos sólidos orgánicos en abonos o acondicionadores de los suelos. El compost ya curado, puede ser aplicado a los jardines o siembras, y debido a su alto porcentaje nutritivo ayuda a las plantas a su crecimiento y mantenimiento. Se puede decir que aplicando el proceso de compostaje se puede producir un abono orgánico. Esta parte de la guía tiene como objetivo enseñar paso por paso la forma de comenzar un proyecto de compostaje, además de mencionar las recomendaciones más importantes para no tener problemas en el transcurso del proceso con: la calidad del producto producido, el mantenimiento y las personas que viven, trabajan y/o visitan las instalaciones. Después de la guía para la elaboración del compostaje se detalla los factores que más afectan este proceso y las formas de solucionarlos. Por último se encuentra la ponderación de acuerdo al porcentaje de residuos sólidos orgánicos procesados para compostaje.

Los desechos orgánicos que se pueden utilizar para compostaje son: Residuos de vegetales y frutas, grama, hojas, tallos, hojas secas, paja, estiércol de diferentes animales como: animales domésticos, vacas, caballos, etc. Es muy importante señalar que si se va a realizar compostaje con estiércol, se debe asegurar que el producto llegue a las temperaturas termofílicas para asegurar la desinfección de los patógenos que se encuentran

en las eses. Cabe mencionar que algunos microorganismos de las eses de los animales soportan las temperaturas altas, por lo que no se recomienda aplicar el producto del compostaje a hortalizas como: la zanahoria, rábano, ajo, cebolla ya que pueden contaminar al consumidor final. Si el compost se utilizará para la jardinería no hay problema utilizar eses como materia prima.

El proyecto de compostaje se debe hacer de manera formal y estricta para que tenga seguimiento y se den resultados satisfactorios, es por eso que la serie de pasos presentados a continuación son de suma importancia para el éxito del proyecto.

### 8.7.3. Pasos para la elaboración de compost

- Elegir a personal encargado.
- Cuantificar los desechos orgánicos a utilizar para el compost.
- Dimensionar el tamaño y el área para el proceso del compostaje.
- Separar los desechos orgánicos de los desechos inorgánicos.
- Minimización del tamaño de los desechos orgánicos.
- Comenzar el proceso alimentando los desechos orgánicos al sistema de compostaje.
- Estar removiendo los desechos tres veces a la semana con el fin de bajar la temperatura, producir aireación y evitar un ambiente facultativo que provoque malos olores.
- Revisar una vez a la semana que el compost esté húmedo.
- Esperar cuatro meses a que el compostaje se realice.
- Recolectar el compostaje y utilizarlo para la jardinería del establecimiento o para su venta.

Para iniciar un plan de compostaje, lo primero que se tiene que hacer es elegir a un personal encargado. Esta persona debe de ser la responsable de que el proceso se realice de forma efectiva. Para esto debe de tener un compromiso en revisar los parámetros críticos del proceso: humedad, temperatura, tiempo, aireación. Si tiene personal de apoyo, es muy recomendable que se le capacite para llevar a cabo las tareas de remover y revolver la materia orgánica para producir la aireación, agregarle agua si no hay mucha humedad, revisar las temperaturas y el tiempo que lleva el proceso. Cuantificar los productos de compostaje es una herramienta para llevar un registro de que al proyecto se le está dando seguimiento y que está siendo beneficioso para el establecimiento. Lo que se pretende con esta persona es que el proyecto no se abandone y tenga el seguimiento para tener un proceso eficiente.

El siguiente paso es cuantificar los desechos orgánicos que se producen en el establecimiento. Este valor servirá para determinar el volumen y la capacidad del espacio y los contenedores para llevar a cabo el proceso de biodegradación. Si el proyecto ya existe, lo recomendable es cuantificar los desechos durante un mes, con el fin de tener un valor exacto que permita dimensionar de buena manera el proceso.

Cuando ya se tiene cuantificado la cantidad de desechos a utilizar para el compostaje, se debe de construir o comprar los contenedores para realizar el proceso. Estos pueden ser de madera o plásticos, o incluso, los desechos pueden estar en el suelo sin contenedor. El área de compostaje y los contenedores se debe de hacer lejos de los lugares en donde se hagan actividades del proyecto. Por ejemplo, en el residencial de 200 personas, no se debe de colocar el sistema de compostaje al lado del salón recreacional, o a la par de la zona deportiva. Estos se deberán colocar lejos de las instalaciones residenciales y sociales para que los malos olores producidos y la proliferación de moscas no molesten ni afecten a las personas. Es recomendable que el área de compostaje tenga un aspecto agradable, para esto se recomienda colocar rótulos, evitar derrame de lixiviados y evitar que los contenedores estén saturados de materia orgánica o rotos.

Como se explicó anteriormente, un método para mejorar el proceso del compost es tener un balance entre los desechos energéticos y los desechos voluminosos en la mezcla. Esto hará que se tengan los nutrientes necesarios para un buen compostaje, y el volumen para que el aire entre y oxigene el proceso durante el compostaje. Se recomienda mezclar desechos de jardines como tallos secos, hojas secas, paja, etc., con residuos de los vegetales y frutas, grama, residuos verdes de jardín, etc. Esto hará que se tenga una mezcla con mucha porosidad, haciendo que el aire entre de forma fácil dentro de la materia orgánica y que haya suficiente material energético para que los microorganismos puedan realizar el proceso de compostaje.

La reducción de tamaño los desechos orgánicos favorece la eficiencia del proceso. Al disminuir el tamaño de los desechos, se hace que haya más superficie de contacto entre los desechos orgánicos y los microorganismos, facilitando a estos la biodigestión más eficiente. Para esto se pueden utilizar trituradores que disminuyen el tamaño de los desechos sólidos, dependiendo el tamaño de la instalación que está haciendo el compostaje, así deberá de ser el tamaño del molino a utilizar.

Como se explicó anteriormente, lo más recomendable es utilizar como materia prima desechos de jardín (ramas, grama, tallos, etc.) ya que estos no atraen moscas y por lo general no generan malos olores. Si se quiere realizar compostaje con desechos de cocina, es muy importante que se realice el proceso de aireación para evitar malos olores y acumulación de moscas. Debido a que no se podrá eliminar por completo el problema de las moscas, un lugar alejado a las instalaciones ayudará a que el proceso de compostaje no sea un problema para las personas que viven, trabajan o visitan el establecimiento.

Uno de los métodos que mejor se llevan a cabo para el compostaje de hoteles y pequeños residenciales es el de sistema de cubos mostrado en la Ilustración No. 234. La idea es que cada semana se llene un cubo con los desechos orgánicos, trasladándose el de la semana anterior al siguiente. El objetivo es que cuando el desecho colocado la primera semana del proceso llegue al último cubo, el compostaje se haya realizado. Dependiendo de cuantas semanas tarde el compostaje, así será el número de cubos a utilizar. Estos cubos deben de estar diseñados con el volumen semanal que genera el establecimiento.

Para proyectos de compostaje industriales, se recomienda utilizar los procesos de pilas estáticas aireadas, compostaje por hileras o compostaje por reactores. Es más eficiente utilizar estos procesos que los procesos convencionales para residenciales y edificaciones.

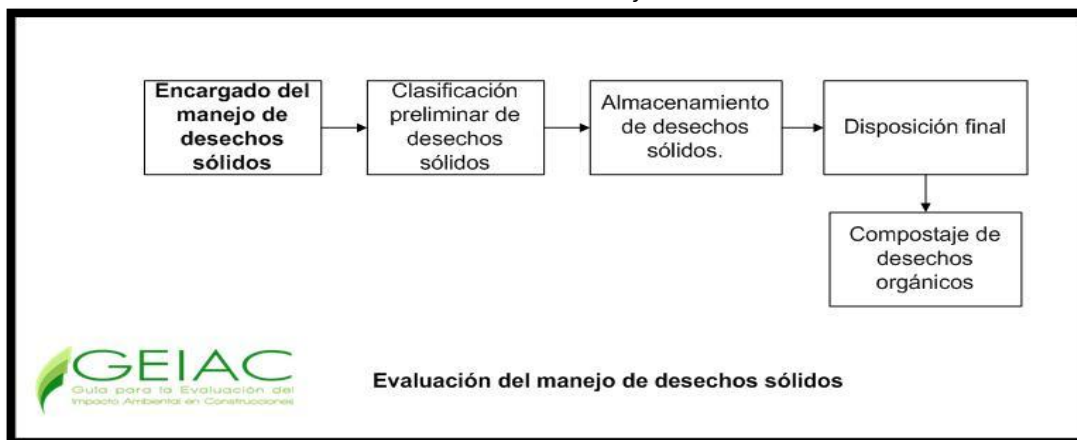
El producto final, característico por su color oscuro, puede ser utilizado como abono para la jardinería o siembras del establecimiento.

El proceso del compostaje hace que menos desechos se descarguen a los botaderos y rellenos sanitarios, así como se produce un producto que puede ser utilizado para el aprovechamiento dentro de las instalaciones o para su comercialización. Es muy importante la capacitación a todo el personal que esté involucrado con el proyecto, y crear esa conciencia ambiental para que se preocupen por el seguimiento y reduzca la cantidad de desechos sólidos descargados a los basureros.

## 8.8. Evaluación del manejo de desechos sólidos

Como se pudo determinar, el manejo de los desechos sólidos no es más que contar con un orden y organización para que se clasifiquen y se almacenen para su disposición final. La evaluación del manejo de desechos sólidos consistirá en determinar si el proyecto cuenta con una clasificación y disposición final de los desechos. La Ilustración 239 muestra los parámetros a evaluar.

Ilustración 239. Evaluación del manejo de desechos sólidos



*Elaboración Propia*

El mayor problema del manejo de desechos sólidos es que muchas veces no depende de los encargados del proyecto, ya que los que tienen que pre clasificar la basura son personas que visitan o viven en el proyecto. Por ejemplo, en un residencial, se pueden colocar basureros diferenciados por color para clasificar los desechos, con rótulos identificando qué depositar en cada uno de ellos, pero si las personas que viven en el residencial no lo hacen correctamente, el proyecto fracasa. Para solucionar este problema, es de suma importancia que los proyectos que quieran manejar los desechos transmitan el proyecto del manejo de desechos y motiven a su colaboración a todas las personas que generen basura en el proyecto y que tengan a una persona que se encargue de controlar todo el manejo de desechos sólidos.

Para la evaluación del manejo de desechos de un proyecto, se debe contar con una persona que se encargue de verificar que todos los procesos de clasificación, almacenamiento y disposición final este en correctas condiciones. Esta persona debe ser el encargado de verificar que los desechos se estén clasificando y almacenando de forma adecuada para ser desechados adecuadamente para que otras entidades los reutilicen.

El proyecto que desee implementar un proceso de manejo de desechos tiene que tener contenedores de almacenamiento preliminar, en donde las personas o los operarios del proyecto puedan introducir el desecho a separar en el contenedor correspondiente. Entre más contenedores clasificados se tengan, mejor serán los resultados. Es por esto que se debe de analizar los desechos a producir por el proyecto e implementarlos basureros correspondientes para su separación.

*Ilustración 240. Nomenclatura de colores para la clasificación de desechos*



*Elaboración Propia*

El proyecto debe contar con un lugar de almacenamiento de desechos previamente clasificados, e implementar otros contenedores para materiales como: electrónicos, metales, llantas, que no se descargan todos los días pero que existe la posibilidad de poder separarlos para llevarlos a un lugar adecuado para su tratamiento. El almacenamiento de los residuos se tiene que realizar en contenedores con un volumen determinado para poder almacenar todos los desechos que descarga el proyecto. Además, deben estar en un lugar separado, señalizado y ordenado, con el fin de poder monitorear y controlar que los residuos se estén almacenando de manera adecuada.

Por último, pero lo más importante, es que el proyecto que clasifique sus desechos debe de contar con entidades o empresas que recolecten los desechos clasificados para su exportación o para su reciclaje. Esto con el fin de evitar que dentro del proyecto se haga todo el proceso de separado y clasificado, para que pase un camión de basura y se lleve los residuos sin saber si éstos reutilizaron los desechos o lo juntaron con la demás basura. En Guatemala se cuenta hay varios lugares en donde se compra el desecho ya clasificado para su exportación, incluso, las fábricas que producen PET o vidrio compran el desecho ya clasificado para su reutilización.

Los proyectos que tengan el espacio adecuado pueden implementar un sistema de compostaje para aprovechar todos los desechos sólidos orgánicos y utilizarlos como nutrientes para los suelos. El compost ya curado, puede ser aplicado a los jardines o siembras, y debido a su alto porcentaje nutritivo ayuda a las plantas a su crecimiento y mantenimiento. Se puede decir que aplicando el proceso de compostaje se puede producir

un abono orgánico. Para evaluar este tratamiento, el proyecto debe de contar con su proceso de compostaje en donde se aprovechen los desechos orgánicos. Es indispensable que este proceso sea evaluado por el personal encargado del manejo de desechos sólidos tal y como se explicó en la sección 5.5.3, en la sección de plan de compostaje.

## 9. EVALUACIÓN DE PROYECTO

### 9.1. Urbanismo sostenible

Para la evaluación del impacto ambiental de una urbanización, se escogieron 23 parámetros que engloban la teoría antes expuesta. Algunas secciones mencionadas no se tomaron en cuenta debido a la dificultad que presentaba su evaluación, lo cual, deja al juicio del desarrollador su implementación. Eso sí, es altamente recomendada, ya que presentan las bases para los puntos que sí serán evaluados. La ecología del paisaje, por ejemplo, no es evaluada directamente en estos parámetros, pero su conocimiento e implementación es esencial para poder ubicar el terreno, punto que sí es evaluado. Por lo tanto, es imperativo que el que se someta a esta evaluación y aquel que llevará acabo el desarrollo lean la guía, ya que esta ayudará a crear un criterio más amplio de la sostenibilidad y un mejor diseño de un desarrollo sostenible.

Los puntos a evaluar se escogieron con base al beneficio que aportan a:

- El beneficio, o cambio en su defecto, que produzca en el valor ecológico del terreno alrededores su implementación.
- La capacidad de mantener, devolver o superar la calidad ecológica del terreno y alrededores.
- El aporte a la conservación del consumo de terreno nuevo.
- La capacidad de reducir el impacto de la intervención en el ciclo natural del agua, tomando en cuenta:
  - Permeabilidad
  - Escorrentía
  - Limpieza
  - Captación
- La progresiva reducción en el uso de combustibles fósiles, aprovechando condiciones locales, fomentando la eficiencia energética y reducción de transporte dependiente al combustible fósil.
- La comodidad y seguridad de las personas.

La ponderación de los puntos a evaluar no es considerada en el alcance de este documento, debido a que requiere de experimentación extensiva para encontrar el valor ecológico de los diferentes puntos de evaluación. Por lo cual, todos los puntos están ponderados en 1 punto, 1 significando un 100% de los puntos posibles, 0.9 el 90% y así sucesivamente.

Los puntos a evaluar y la manera en que se evaluarán son los siguientes:

### 9.1.1. Ubicación del terreno

*Tabla 64. Puntos posibles de ubicación del terreno.*

PUNTOS POSIBLES	6.00
PUNTOS OBTENIDOS	4.86

#### 9.1.1.1. Ubicación inteligente

**Aporte:** Evita la expansión urbana, conservando áreas agrícolas y naturales. A su vez, reduce los costos tanto ambientales como económicos de infraestructura urbana. Acorta las distancias que deben ser recorridas por los usuarios reduciendo el consumo de combustibles fósiles.

**Puntuación:** Se otorgarán los siguientes puntos si el terreno se ubica en:

*Tabla 65. Puntuación ubicación inteligente.*

UBICACIÓN	PUNTOS
ÁREA NATURAL	0
ÁREA INDUSTRIA	0.33
ÁREA COMERCIAL	0.66
ÁREA DE RELLENO	1

- Ver sección 3.2.6 de guía.

**Rendimiento VIA SIETE:** El desarrollo VÍA SIETE está ubicado en la 6ª avenida de la zona 10 urbanizada previamente, por lo que se considera un área de relleno.

Tabla 66. Rendimiento ubicación inteligente.

UBICACIÓN	PUNTOS OBTENIDOS
Área de Relleno	1.00

## 9.1.1.2. Reutilización y adaptación de edificación existente

**Aporte:** Evita la expansión urbana, conservando áreas agrícolas y naturales. Reutiliza materiales evitando el desperdicio de los existentes y la creación de nuevos materiales. Esto evita consumo energético, de agua y de materiales.

**Puntuación:** Si se ubica el proyecto dentro o contiene una edificación previamente existente la cual será reutilizada o adaptada a un nuevo uso se otorgará un punto si:

- Si se mantiene al menos el 50% de la estructura de la edificación. Esta estructura incluye pisos, techos, fachada y estructura resistente. Se excluyen del cálculo de estructuras las ventanas y pérgolas.

Tabla 67. Puntuación reutilización y adaptación de edificación existente.

CUMPLE	PUNTAJE
Renglón con especificaciones	1 punto

- Ver sección 3.2.6 de guía.

**Rendimiento VÍA SIETE:** no aplica ya que no existen estructuras existentes dentro del desarrollo.

## 9.1.1.3. Protección de áreas especiales

**Aporte:** conserva áreas de gran aporte ecológico para la hidrología y diversidad ya sea del sitio o región.

**Puntuación:** En caso de que exista un área especial en el terreno (Listadas en sección 3.2.4), como prerrequisito se deben haber tomado las recomendaciones de qué evitar y cómo utilizar estas áreas (ver sección 3.2.4). De cumplirse dicho prerrequisito, se sumarán al puntaje anterior los siguientes puntos si estas áreas se protegieron con una barrera vegetal de:

Tabla 68. Puntuación conservación de áreas especiales.

ANCHO (metros)	PUNTAJE
0 – 10	0.33
11 – 20	0.66
21 ó más	1.00

- Ver secciones 3.2.4 y 3.2.5 de la guía.

**Rendimiento VÍA SIETE:** no aplica ya que no existen áreas especiales dentro del desarrollo.

#### 9.1.1.4. Uso de suelo y pendientes

**Aporte:** Reduce la cantidad de relleno y corte necesarios para la construcción. Mantiene las áreas de importancia para la hidrología del sitio. Reduce el riesgo a las edificaciones y personas por estar en terreno inestable y de fácil erosión.

**Puntuación:** Se otorgará un punto si se respetan los usos de suelo permisibles para las siguientes pendientes, de manera que el 75% de la urbanización esté dentro de las pendientes permitidas para la construcción de viviendas.

En caso de que todo el terreno se encuentre en pendientes menores a 5% se otorgará el total del puntaje si el índice de edificabilidad es de 0.6. (en caso de que sea permitido por las autoridades locales dicha edificabilidad)

Tabla 69. Puntuación uso de suelos y pendientes.

PENDIENTE	USO
0 – 5%	Áreas verdes y suelos impermeables.
5 – 10%	Construcción de viviendas.
10 – 15%	Construcción de viviendas.
>15%	No es permitida la construcción.
Si se cumplen los reglones aplicables	
	<b>+1 punto</b>

- Ver sección 3.2.7.1

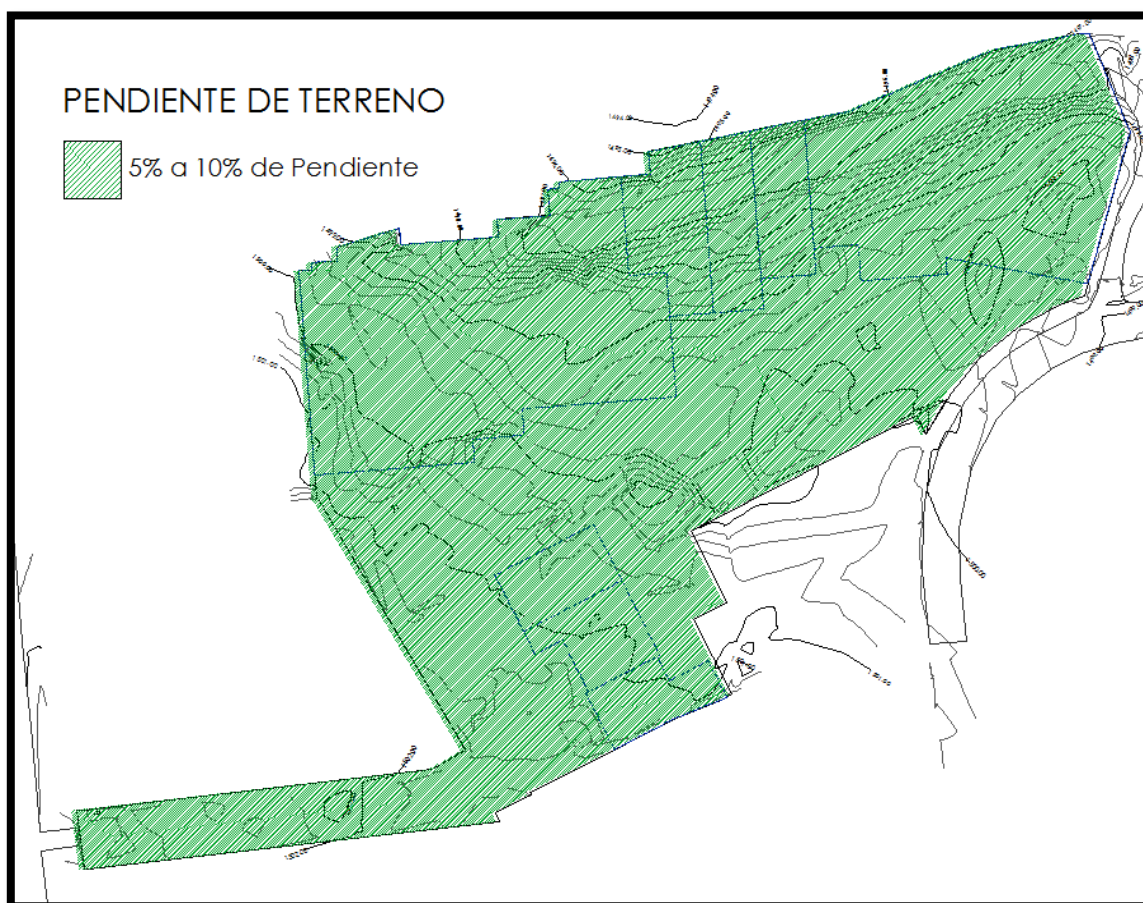
**Rendimiento VÍA SIETE:** Este análisis se debe hacer de dos formas, a macro escala y a micro escala. Esto nos da una idea de la variación de nivel de terreno y luego un análisis de pendientes interno. El objetivo es poder observar el efecto de una pendiente fuerte a medida

dentro del proyecto a la pendiente del proyecto en general. De esta manera se puede definir si es relevante o no.

En VÍA SIETE, la mayor diferencia de altura es de 5 metros y tiene una longitud, del punto más alto al más bajo, de 70 metros. La pendiente general del terreno, entonces, del 6.5% por lo tanto, en base a lo estipulado en la guía, es apto para la urbanización.

Al saber si el proyecto está en una pendiente urbanizable, se hace un análisis de las pendientes parciales dentro del terreno (microescala) con el fin de definir si se construirá en las zonas más aptas. A continuación se muestra un esquema con las zonas del terreno donde existían las distintas pendientes.

*Ilustración 241. Pendiente del terreno.*





considera entonces que su ubicación es correcta. De igual manera, sería recomendable una reorganización de las áreas a edificar para que la mayoría de los sótanos estipulados queden dentro del área de 15% o más pendiente, de manera que el corte sea menor al igual que el efecto al terreno.

En cuanto a las casas 1,2 y 3, están colocadas en zona no urbanizable, pero dado que suponen un 10% del área a edificar, 11% de la zona de pendiente menor a 5% y el 6% del terreno completo, se considera que su ubicación es aceptable debido a que su efecto en las áreas de recarga acuífera es pequeño. Adicionalmente, se respeta la mayoría de la zona de 5% o menos pendiente por lo que la urbanización respeta el uso de suelo en este renglón también.

Por lo tanto, se considera que la urbanización utilizó bien el suelo en base a las consideraciones de pendientes del terreno.

*Tabla 70. Rendimiento en uso de suelos y pendientes.*

PENDIENTE	USO	
0 – 5%	Áreas verdes y suelos impermeables.	APLICA
5 – 10%	Construcción de viviendas.	APLICA
10 – 15%	Construcción de viviendas.	
>15%	No es permitida la construcción.	
<b>PUNTOS TOTALES RECIBIDOS</b>		<b>+1 punto</b>

#### 9.1.1.5. Uso de suelo y vegetación

**Aporte:** Evita la intervención en ecosistemas de gran diversidad y difícil o nula recuperación post intervención.

**Puntuación:** Si se respetan los usos de suelo permisibles para la siguiente vegetación:

Tabla 71. Puntuación uso de suelo y vegetación.

VEGETACIÓN	USO
Pastizales	Urbanización sin restricciones
Matorrales	Urbanización sin restricciones
Bosques o frutales	Urbanización con restricción de cuidado de árboles
Palmar	Urbanización con restricción de cuidado de árboles
Selva baja	No urbanizar
Selva media	No urbanizar
Si se cumplen los reglones aplicables	
<b>+1 punto</b>	

- Se refiere a restricción a la limitación índices de edificabilidad y conservación de árboles.
- Ver sección 3.2.7.4

**Rendimiento VÍA SIETE:** La vegetación del terreno consta de árboles nativos, entre los cuales se incluyen ciprés, pino, almendros, jocotales y jacarandas. La cobertura de suelo consta principalmente de grandes extensiones de bambú y pastos varios en menor cantidad. Se considera entonces, que la vegetación del terreno es boscosa, y por lo tanto, se puede urbanizar pero con restricciones considerando el daño a los árboles.

- Dado que la idea básica del diseño se centra en dañar lo menos posible los árboles existentes y se tomaron consideraciones en cuanto a la ubicación de las estructuras para dicho propósito, se considera que la urbanización cumple con este renglón de evaluación.

Tabla 72. Rendimiento uso de suelo y vegetación.

VEGETACIÓN	USO
Pastizales	Urbanización sin restricciones
Matorrales	Urbanización sin restricciones
<b>Bosques o frutales</b>	<b>Urbanización con restricción de cuidado de árboles</b>
	<b>APLICA</b>
Palmar	Urbanización con restricción de cuidado de árboles
Selva baja	No urbanizar
Selva media	No urbanizar
<b>PUNTOS TOTALES RECIBIDOS</b>	
<b>+1 punto</b>	

### 9.1.1.6. Conservación de árboles

**Aporte:** Evita la destrucción de ecosistemas existentes.

**Puntuación:** Se otorgarán puntos por la conservación de árboles existentes en base a los siguientes porcentajes:

*Tabla 73. Puntuación conservación de árboles.*

PORCENTAJE DE ÁRBOLES CONSERVADOS	PUNTAJE
40% – 60%	0.33
61% - 80%	0.66
81% - 100%	1

Se descontarán los árboles que:

- Serán talados
- Serán afectados por cambios en el terreno, de tal manera que, a pesar de no ser talados y sobrevivir la obra, se prevé que morirán en un futuro cercano debido a los cambios de nivel implantados.
- Aquellos árboles que no serán talados pero sus raíces serán tapadas por superficies impermeables sin tomar las consideraciones de protección de árboles expuestas en la sección 3.2.7.4.1 de la guía.

**Rendimiento VÍA SIETE:** dentro del terreno de vía siete se existen 158 árboles los cuales se desglosan de la siguiente manera:

*Tabla 74. Desglose de árboles existentes.*

ÁRBOLES	CANTIDAD	PORCENTAJE
Existentes	158	100%
Talados	58	36.7%
Amenazados	78	49.36%
Protegidos	0	---
<b>TOTAL CONSERVADO</b>	<b>22</b>	<b>13.92%</b>

Si bien es cierto que en el diseño de la urbanización está estipulado no talar alrededor del 73% de los árboles, el hecho de que un 50 por ciento de estos esté amenazado por áreas impermeables. Esto hace que no se pueda asegurar la supervivencia de estos y por ello se reduce este 73% a un 13% y hace que el proyecto no logre puntuar en este renglón.

La razón de descontar los árboles amenazados es que al poner áreas impermeables sobre estos se altera el suelo sobre las raíces de estos. Ya sea que se cortan las raíces, se rellena el suelo sobre éstas o se limita el acceso a aire y oxígeno, la capacidad de alimentarse y sostenerse es críticamente afectada. Por lo tanto, se considera que tarde o temprano estos árboles morirán de hambre o caerán por una tormenta y por lo tanto no se pueden contar como parte de la sostenibilidad a largo plazo que se desea en esta guía.

Para que estos árboles no fueran descontados de los árboles conservados, se podría haber separado al menos a la mitad de la copa las áreas impermeables y aplicar el método de pozos secos con tuberías perforadas expuesto en la sección 2.2.7.4.1 de la Guía. Esto se pudo haber hecho con los árboles en:

1. Las plazas de la ciudad, familia, transición del conocimiento y plaza de las letras.
2. En los caminamientos de la plaza de los niños
3. En el ingreso de los edificios y casas
4. En los camellones centrales de la calle, con un mejor diseño de la misma.

*Tabla 75. Rendimiento conservación de árboles existentes.*

<b>PORCENTAJE DE ÁRBOLES CONSERVADOS</b>	<b>CONSERVADOS EN PROYECTO</b>	<b>PUNTAJE</b>
30% - 40%	N/A	
40% - 60%	N/A	0.33
61% - 80%	N/A	0.66
81% - 100%	N/A	1
<b>TOTAL</b>	<b>13.92%</b>	<b>0</b>

#### 9.1.1.7. Protección de árboles

**Aporte:** Evita que el suelo donde se alimenta y respira la planta sea modificado evitando que se dañen las raíces con las que el árbol se alimenta y sostiene. De esta manera, el árbol

no pierde su capacidad de supervivencia y estabilidad. Aumenta las probabilidades de que el árbol mantenga su estado natural y sobreviva el impacto de una urbanización.

**Puntuación:** Se otorgarán puntos por la protección de al menos un 50% los árboles existentes que serán afectados por cambio de nivel, áreas impermeables y drenajes. Se considerarán medidas de protección durante la etapa de diseño y durante la ejecución. Se acumularán puntos conforme se haya utilizado:

*Tabla 76. Puntuación protección de árboles.*

MÉTODO	PUNTAJE
Pozo Seco	0.5
Protección Contra Punzonamiento	0.25
Protección Contra Drenajes	0.25
<b>TOTAL</b>	<b>1.00</b>

- Se aceptarán pozos, cercas y protección contra drenajes cuyo diámetro o zona de protección sea como mínimo de la mitad del diámetro de la copa del árbol, siempre y cuando se hayan tomado las consideraciones de pozos secos con superficies impermeables expuestas en la sección 3.2.7.4.1.
- En caso de que se hayan planificado dicha protección en la etapa de diseño pero no se haya ejecutado correctamente (rellenando o cortando sobre raíces, no colocando protección o cambiando el diseño) se eliminarán los puntos otorgados.
- Ver sección 3.2.7.4.1 de guía.

**Rendimiento VÍA SIETE:** a pesar de dejar área para el ingreso de agua en los árboles afectados por áreas impermeables, estos son insuficientes para la supervivencia de los mismos. Los espacios libres para el ingreso de agua son de 0.80x0.80 metros cuando deberían de ser del diámetro de la copa del árbol con tubería perforada como es mostrado en la sección 2.2.7.4 de la guía.

Tabla 77. Rendimiento protección de árboles.

MÉTODO	APLICA	PUNTAJE
Pozos Secos	NO	0
Protección contra Punzonamiento	NO	0
Protección contra drenajes	NO	0
<b>TOTAL</b>		<b>0</b>

No se tienen datos sobre la protección de árboles durante la ejecución, por lo tanto no se otorgaron los puntos relativos a la protección contra punzonamiento. Aunque muchas veces no se planea la ejecución hasta ya aceptado tanto el diseño como el proyecto, se recomienda que se plantee un esquema de deposición de relleno y protección de árboles durante la etapa de diseño. Esto puede presentar una ventaja a la hora de planificar las entradas y salidas de camiones, los puntos de deposición de tierra y la ubicación de bodegas y oficinas de manera que estas no dañen a los árboles o medio ambiente en general.

#### 9.1.1.8. Necesidades básicas

**Aporte:** Reduce la cantidad de combustibles fósiles que consumen los usuarios.

**Puntuación:** Se acumularán puntos si las necesidades de primer orden, sección 3.3.2.1, y de segundo orden, sección 3.3.2.2, se encuentran para al menos el 60% de los lotes a una distancia máxima de 500 y 1000 metros respectivamente. Se otorgará un porcentaje de los puntos por cada una de las necesidades listadas a continuación:

Tabla 78. Puntuación necesidades básicas.

NECESIDADES	DISTANCIA MÁX. (metros)	PUNTAJE
Primer orden	500	1.00
	<i>Jardín infantil</i>	0.25
	<i>Parada de bus</i>	0.25
	<i>Tienda de conveniencia</i>	0.25
	<i>Parque</i>	0.25

Tabla 79. Puntuación necesidades básicas.

NECESIDADES	DISTANCIA MÁX. (metros)	PUNTAJE
Segundo orden	1000	1.00
Supermercado		0.14
Farmacia		0.14
Banco		0.14
Escuela primaria		0.14
Escuela secundaria		0.14
Comercios		0.14
Instalaciones deportivas		0.14

- Se excluyen áreas deportivas exclusivas como clubes o urbanizaciones sin acceso.
- Se otorgarán los puntos si el desarrollo provee dichas necesidades de tal manera que quede dentro de los rangos establecidos para todos los usuarios.
- Ver secciones 3.3.3.2

**Rendimiento VÍA SIETE:** Se resaltan las necesidades existentes en los rangos definidos y se muestra un mapa con su ubicación aproximada.

Ilustración 243. Mapa de ubicación de necesidades de primer orden.

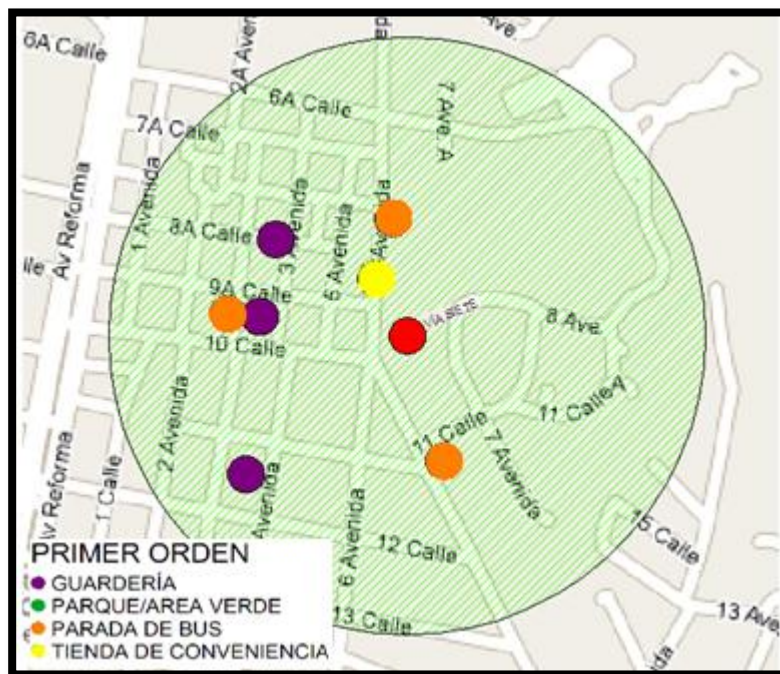
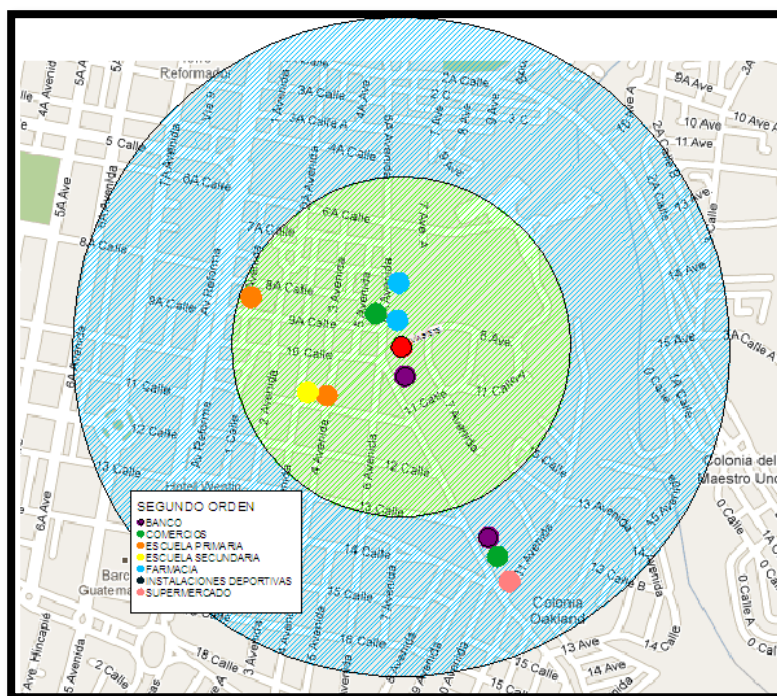


Ilustración 244. Mapa de necesidades de segundo orden.



Se incluyeron solo algunas de las necesidades disponibles en el radio establecido. Se puede observar que muchas de las necesidades de segundo orden también se incluyen dentro del rango de distancia del primer orden. A continuación se listan algunas de estas y se muestra la puntuación de este renglón.

1. Necesidades de primer orden
  - a. Farmacias Godoy
2. Necesidades de segundo orden
  - a. Colegio Von Humbolt z10
  - b. Supermercado La Torre
  - c. Centro Comercial Oakland Mall
  - d. Hospital Herrera Gerandi
  - e. McDonald's
  - f. Banco Industrial

Tabla 80. Rendimiento necesidades primer orden.

NECESIDADES	DISTANCIA MÁX. (metros)	PUNTAJE
Primer orden	500	1.00
	<i>Jardín infantil</i>	<b>0.25</b>
	<i>Parada de bus</i>	<b>0.25</b>
	<i>Tienda de conveniencia</i>	<b>0.25</b>
	<i>Parque</i>	<b>0.25</b>
	<b>TOTAL</b>	<b>1.00</b>

Tabla 81. Rendimiento necesidades segundo orden.

NECESIDADES	DISTANCIA MÁX. (metros)	PUNTAJE
Segundo orden	1000	1.00
	<i>Supermercado</i>	<b>0.14</b>
	<i>Farmacia</i>	<b>0.14</b>
	<i>Banco</i>	<b>0.14</b>
	<i>Escuela primaria</i>	<b>0.14</b>
	<i>Escuela secundaria</i>	<b>0.14</b>
	<i>Comercios</i>	<b>0.14</b>
	<i>Instalaciones deportivas</i>	<b>0.14</b>
	<b>TOTAL</b>	<b>0.86</b>

TOTAL EN NECESIDADES

1.86

## 9.1.2. Estructura urbana

Tabla 82. Puntos posibles de estructura urbana.

PUNTOS POSIBLES	4.00
PUNTOS OBTENIDOS	0.50

### 9.1.2.1. Adecuación al clima

**Aporte:** Mejora las condiciones de vida de los usuarios, reduce el gasto de energía dentro de la vivienda y mejora las condiciones del peatón.

**Puntuación:** Se otorgarán puntos si se tomaron las siguientes consideraciones con respecto al tipo de clima. Se debe establecer el clima en el que se encuentra el desarrollo, con lo cual si se otorgará la cantidad de puntos establecida si se cumple dicho propósito.

Tabla 83. Puntuación adecuación al clima.

CLIMA	EFEECTO DESEADO	PUNTAJE
<b>Frío</b>	Evitar viento Norte	0.5
	Aprovechar asoleamiento	0.5
<b>Templado</b>	Evitar viento norte	0.5
	Evitar asoleamiento en época de calor y aprovechar en época de frío.	0.5
<b>Tropical – Húmedo</b>	Aprovechar viento	0.5
	Proveer sombra todo el año.	0.5
<b>Semidesértico</b>	Evitar viento	0.5
	Evitar Sol	0.5

- Ver sección 3.2.8 y 3.2.7.5

**Rendimiento VÍA SIETE:** el desarrollo se encuentra en un clima templado, por lo cual debe cumplir con evitar el viento norte y aprovechar el asoleamiento para cada época.

- **Evitar viento Norte:** no existe ninguna técnica para eliminar este efecto. Se recomienda colocar una fila de árboles caducos al lado norte del terreno para cubrir a los edificios y casas de dicho viento. Otra manera de evitarlo sería rotando las fachadas para que estas queden en dirección NO-SE o SO-NE.
- **Aprovechar asoleamiento para cada época:** no existe ninguna técnica que logre dicho efecto. Los árboles existentes como el ciprés, proveen sombra todo el año y no existe ninguna jardinería que logre dicho propósito. Se recomendaría, ya que se tienen varias plazas, dejar algunas plazas con sombra permanente y otras con sol permanente. Otra opción es plantar árboles de hoja caduca en las plazas y calle de

manera que provean sombra en la época de calor y pierdan la hoja en época de frío de manera que dejen pasar el calor solar.

El puntaje final es:

*Tabla 84. Rendimiento adecuación al clima.*

CLIMA	EFFECTO DESEADO	PUNTAJE
Templado	Evitar viento Norte	0
	Evitar asoleamiento en época de calor y aprovechar en época de frío.	0
	<b>TOTAL</b>	<b>0</b>

#### 9.1.2.2. Densidad

**Aporte:** Reduce el área afectada del terreno, promueve vida en comunidad, eficiencia de transporte público, reduce distancias y promueve al peatón.

**Puntuación:** Se otorgarán puntos si la densidad de lotes en el terreno es:

*Tabla 85. Puntuación densidad.*

DENSIDAD	PUNTAJE
0 – 20	0
21 – 40	0
41 – 65	0.5
66 ó mayor	1

- En caso de que el desarrollo sea de edificio(s), se tomarán el número de pisos como la cantidad de lotes en el terreno.
- Ver sección 3.3.1

**Rendimiento VÍA SIETE:** la densidad se calcula de la siguiente manera:

Tabla 86. Desarrollo de densidades.

Área Terreno		<b>0.9403</b>	<b>hta</b>
Lotes	Casas	6	unidades
	Apartamentos	42	unidades
Densidad		51.047538	unidades/hta

Tabla 87. Rendimiento densidad.

DENSIDAD	<b>51 unidades/hta</b>
PUNTOS	0.5

### 9.1.2.3. Ordenamiento de calles

**Aporte:** Disminuye la producción de gases invernaderos al aumentar la movilidad de los automóviles reduciendo los embotellamientos.

**Puntuación:** Se otorgarán puntos por la existencia de un ordenamiento de calles. El ordenamiento debe tener calles con las siguientes funciones dependiendo de la cantidad de lotes existentes. Las calles deben permitir y restringir la movilidad y acceso como se recomienda en la sección 3.3.4 y 3.3.5.

Tabla 88. Puntuación ordenamiento de calles.

NÚMERO DE LOTES	FUNCIONES	PUNTOS
0 - 50	No aplica	1.00
51 – 500	- Vías de acceso - Vías locales	1.00
501 en adelante	- Vías recolectoras - Vías de acceso - Vías locales	1.00

- Los edificios cuentan como cinco lotes.

**Rendimiento VÍA SIETE:** el desarrollo tiene 4 edificios y 6 casas, la cantidad de lotes es de 26 lotes, por lo tanto no aplica para puntuación.

#### 9.1.2.4. Seguridad para el peatón

**Aporte:** Disminuye la producción de gases invernaderos al aumentar dar al peatón un ambiente más seguro, lo cual promueve caminar.

**Puntuación:** Para evitar el riesgo de atropellamiento, el separar las calles para vehículos automotores y los caminos peatonales, es la solución más efectiva. Por ello, se otorgará un punto por:

*Tabla 89. Puntuación seguridad al peatón.*

CONCEPTO	PUNTOS
Separación de vías peatonales y calles.	1.00
Técnicas de reducción de velocidad	1.00
<ul style="list-style-type: none"> <li>Ver sección 3.3.3.3 y 3.3.5.2</li> </ul>	

**Rendimiento VÍA SIETE:** Como se puede observar el plano de la urbanización en el apéndice, no existe ni separación de vías ni técnicas de reducción de velocidad. Se recomienda:

1. Separar vías peatonales de vías de automóviles por medio de jardineras.
2. Utilizar los camellones centrales existentes de manera que :
  - a. Reduzcan el ancho del carril.
  - b. Provoquen que los autos tengan que hacer una maniobra de baja velocidad como un cruce a 60 grados.
  - c. Cambiar el tipo de pavimento.
  - d. Pavimentación distinta donde la calle se acerca a la acera.

*Tabla 90. Rendimiento seguridad para el peatón.*

CONCEPTO	PUNTOS
Separación de vías peatonales y calles.	0
Técnicas de reducción de velocidad	0
<b>TOTAL</b>	<b>0</b>

#### 9.1.3. Espacios abiertos urbanos

*Tabla 91. Puntos posibles de espacios abiertos urbanos*

PUNTOS POSIBLES	6.00
PUNTOS OBTENIDOS	3.56

#### 9.1.3.1. Aceras

**Aporte:** Disminuye la producción de gases invernaderos al aumentar dar al peatón un ambiente más seguro, lo cual promueve caminar.

**Puntuación:** Las aceras deben fomentar el paso peatonal, por lo cual deben ser anchas y agradables para el peatón. Se acumularán puntos por tener:

*Tabla 92. Puntuación aceras.*

CONCEPTO	PUNTAJE
Aceras de 3 metros de ancho o mayores	0.60
Pendientes de aceras no mayores a 8%	0.15
Área de vegetación en calles de 1.5 metros de ancho o mayores	0.25
<b>TOTAL</b>	<b>1.00</b>

- Ver sección 3.3.3.3 y sección 3.4.3.2

**Rendimiento VÍA SIETE:** Como se puede observar el plano de la urbanización en el apéndice, las aceras que:

1. Comunican la entrada por la 9ª calle de la zona 10, tienen un ancho de 2.70 metros.
2. Que comunican los edificios Valera y Fauber con las plazas de las Letras, tiene 2 metros.
3. La comunicación entre la plaza de la Transición del Conocimiento a las torres Balzac y Zola está interrumpida por el ingreso al sótano de dichos edificios. Luego, la acera frente a estos edificios es de ancho variable, desde 4 metros hasta 1 metro.
4. Comunica el ingreso por la 9ª calle de la zona 10 hasta la plaza de la ciudad, tiene un ancho de 1 metro.
5. No existe acera entre la plaza de la ciudad hasta la garita que sale a la 6ª avenida de la zona 10 donde se sale a la mayoría de las necesidades.

6. Ninguna acera supera el 8% de pendiente.

Tabla 93. Rendimiento aceras.

CONCEPTO	PUNTAJE
Aceras de 3 metros de ancho o mayores	0
Pendientes de aceras no mayores a 8%	0.15
Área de vegetación en calles de 1.5 metros de ancho o mayores	0
<b>TOTAL</b>	<b>0.15</b>

#### 9.1.3.2. Reducción de isla de calor

**Aporte:** Reduce islas de calor para minimizar impacto en microclima y mantener un hábitat confortable para los humanos y animales.

**Puntuación:** proveer al 50% de las superficies impermeables, excluyendo techos, con:

Tabla 94. Puntuación isla de calor.

CONCEPTO	PUNTAJE
Sombra	0.33
Pavimentos porosos	0.33
Cobertura vegetal	0.33
<b>TOTAL</b>	<b>1.00</b>

- La sombra se limita a sombra dada por árboles o mobiliario urbano, no edificios, pérgolas u otras estructuras.
- Se otorgarán los puntos por sombra a aquellos proyectos en cuya jardinería se prevé que habrá vegetación que proporcione sombra a un plazo de 5 años.

**Rendimiento VÍA SIETE:** Las calles y aceras están cubiertas por árboles los cuales proveen sombra a la mayoría de las aceras. Por el contrario, no existen pavimentos porosos ni cobertura vegetal en las paredes adyacentes a aceras o calles. Por lo tanto la puntuación es la siguiente:

Tabla 95. Rendimiento reducción isla de calor.

CONCEPTO	PUNTAJE
Sombra	0.33
Pavimentos porosos	0
Cobertura vegetal en paredes	0
<b>TOTAL</b>	<b>0.33</b>

Se recomienda jardinizar la urbanización de manera que queden jardineras entre las aceras y calles y las paredes de las edificaciones. De esta manera, se pueden colocar arbustos o plantas trepadoras que limiten la radiación que emite de las paredes. Los pavimentos porosos pueden sustituir el pavimento de las aceras, plazas, estacionamientos y calles.

Los puntos otorgados por sombra de los árboles existentes se están incluyendo por motivos de demostración de enseñanza de esta guía, ya que como se mencionó en el renglón de conservación de árboles, la gran mayoría de los árboles cercanos a calles y aceras no se prevé que sobrevivan. Se podría contrarrestar esto estipulando árboles que sustituyan esta condición a un plazo de 5 años.

#### 9.1.3.3. Estacionamiento

**Aporte:** Disminuir el efecto de “isla de calor”, aprovechar las áreas impermeables al máximo y reducir áreas impermeables.

**Puntuación:** Los estacionamientos por lo general ocupan mucha área, haciendo que predominen las áreas impermeables ante las permeables. Por lo tanto, para lograr la reducción de áreas impermeables, se acumularán puntos sí:

Tabla 96. Puntuación estacionamiento.

ESTACIONAMIENTOS CON:	PUNTAJE
Estacionamientos comunales	0.33
Estacionamientos multifuncionales	0.33
Pavimento poroso	0.33
<b>TOTAL</b>	<b>1.00</b>

- Ver sección: 3.4.4

**Rendimiento VÍA SIETE:** Debajo de los edificios existen sótanos, que entran como estacionamientos comunales. Ninguno de los parqueos tienen pavimento poroso ni son multifunciones, por lo tanto la puntuación obtenida es la siguiente:

*Tabla 97. Rendimiento estacionamientos.*

ESTACIONAMIENTOS CON:	PUNTAJE
Estacionamientos comunales	0.33
Estacionamientos multifuncionales	0
Pavimento poroso	0
<b>TOTAL</b>	<b>0.33</b>

La aplicación de pavimento poroso es descrita en el capítulo de Materiales Greenspec de la guía. En cuanto a los estacionamientos multifunciones, se podrían juntar los estacionamientos exteriores y limitarlos a un horario, como podría ser de 10:00am a 6:00pm, de modo que en él se pudiera jugar algún deporte como fútbol o baloncesto.

#### 9.1.3.4. Parques completos

**Aporte:** Aporta bienestar mental y físico para todos los usuarios y promueve la utilización de espacios abiertos.

**Puntuación:** Se otorgarán puntos porque un parque o área verde de una urbanización sea de provecho para todas las edades. Para ello, el parque debe tener:

*Tabla 98. Puntuación parques completos.*

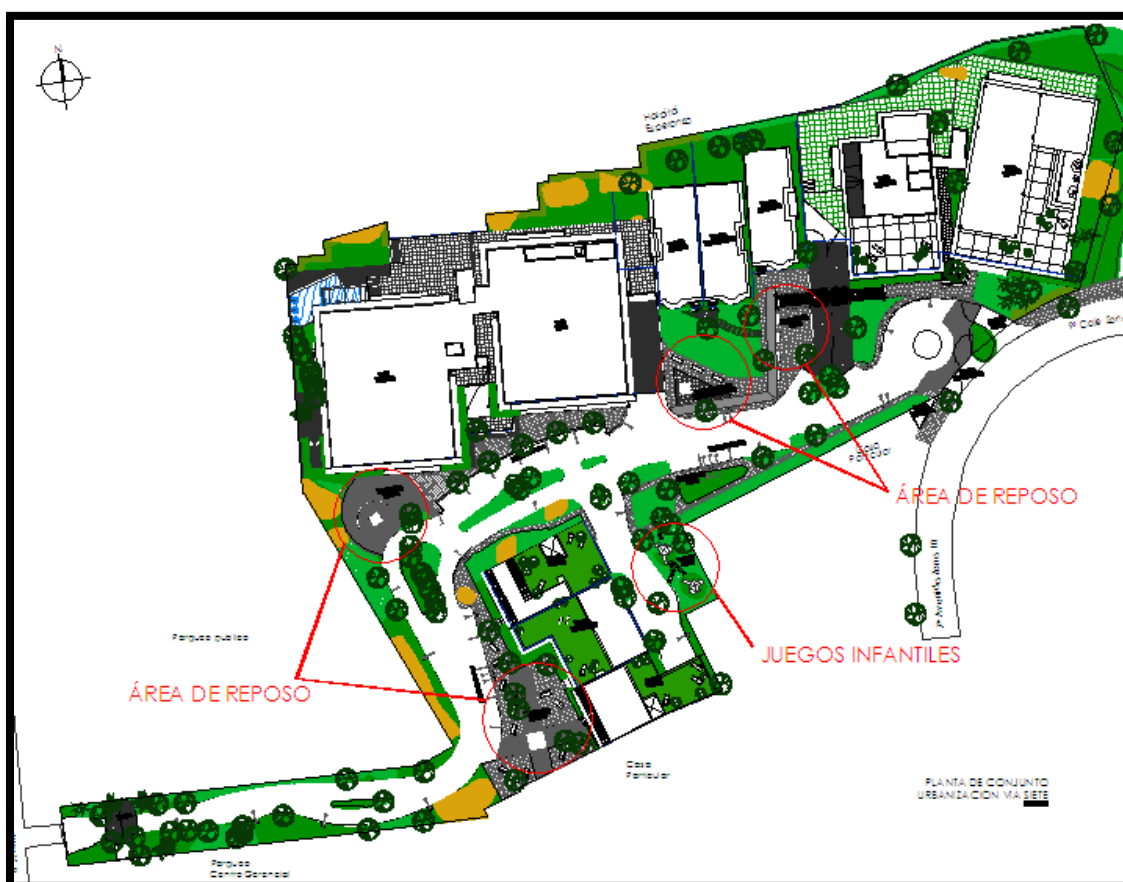
CONCEPTO	PUNTAJE
1. Área de juegos infantiles	0.25
2. Área de reposo	0.25
3. Canchas deportivas	0.25
4. Kiosko de actividades	0.25

- Ver sección 3.4.1

**Rendimiento VÍA SIETE:** el desarrollo cuenta con una gran área de parque, en las cuales se encuentran áreas de reposo y áreas de juego infantil. El kiosko se encuentra dentro de

cada uno de los edificios y por lo tanto se considera que si existe dicho elemento. A continuación se muestra la ubicación de las áreas de reposo e infantil.

*Ilustración 245. Ubicación de elementos en el parque.*



En cuanto a instalaciones deportivas, se recomienda ubicar aunque sea una pequeña cancha de fútbol/baloncesto para que se pueda hacer deporte y trabajar en la salud física y mental de los usuarios. La puntuación final es de:

*Tabla 99. Rendimiento parques completos.*

CONCEPTO	PUNTAJE
Área de juegos infantiles	0.25
Área de reposo	0.25
Canchas deportivas	0.00
Kiosko de actividades	0.25
<b>TOTAL</b>	<b>0.75</b>

**Rendimiento VÍA SIETE:** Como se puede ver en la imagen, el desarrollo tiene estipulado reutilizar el mismo bambú que se encuentra en el sitio como jardinería. Esto es una muy buena medida, ya que luego de dañar el ecosistema este se está recuperando con las mismas condiciones previamente existentes. Esto hará que exista un hábitat y flora a la que ya está adaptada la fauna local.

*Ilustración 246. Bambú existente.*

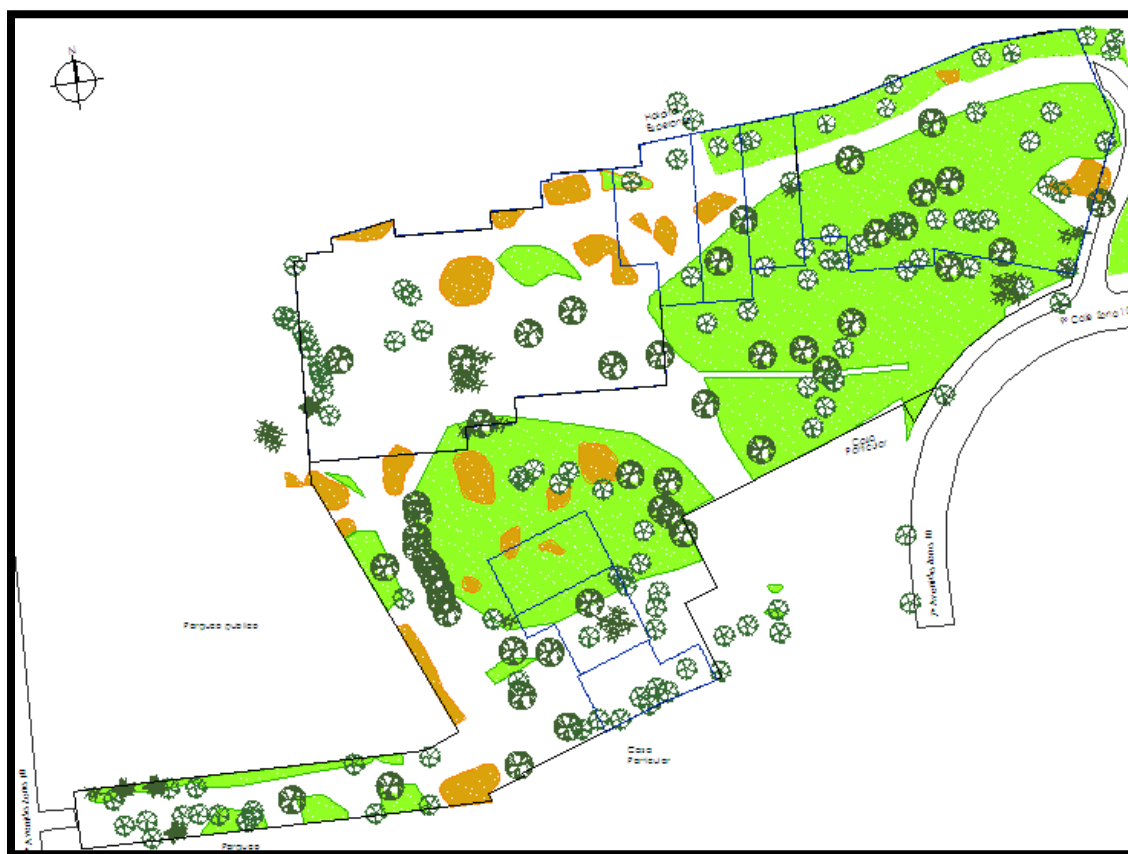


Ilustración 247. Jardinerización prevista.



Tabla 100. Rendimiento recuperación de ecosistemas

CONCEPTO	PUNTAJE
Cuenta con jardinerización/recuperación de ecosistemas en el sitio.	1.00
<b>TOTAL</b>	<b>1.00</b>

#### 9.1.3.5. Vegetación local

**Aporte:** Reduce el gasto de agua en irrigación y ayuda a mantener/recuperar el ecosistema natural del sitio.

**Puntuación:** Se otorgarán puntos por utilizar vegetación local, ya sea específica del sitio o de la zona. Ejemplos de vegetación local para el altiplano de Guatemala se encuentra en la sección 3.4.2).

Tabla 101. Puntuación vegetación local.

CONCEPTO	PUNTAJE
Uso de vegetación local	1.00

- Ver sección 3.4.2

**Rendimiento VÍA SIETE:** Este renglón es cumplido con excelencia por el desarrollo, ya que se utilizó mayoritariamente bambú amarillo o verde, especies con predominancia previo al desarrollo. Además, mucho de este bambú será trasplantado para utilizar luego en la jardinería. Igualmente, se recomendaría plantar otras áreas de interés, como aceras y plazas, con las especies de árboles nativos del sitio para lograr mayores ventajas en cuanto a reducción de la isla de calor y sustituir aquellos árboles que se puedan perder durante y después de la construcción.

Ilustración 248. Bambú conservado/trasplantado.



Tabla 102. Rendimiento vegetación local

CONCEPTO	PUNTAJE
Uso de vegetación local	1.00
<b>TOTAL</b>	<b>1.00</b>

#### 9.1.4. Manejo de escorrentía

Tabla 103. Puntos posibles en manejo de escorrentía

PUNTOS POSIBLES	8.00
PUNTOS OBTENIDOS	0.20

##### 9.1.4.1. Permeabilidad del suelo

**Aporte:** Disminuir el efecto de “isla de calor”, disminuir las áreas impermeables y reducir el impacto en el ciclo hidrológico.

**Puntuación:** Las municipalidades por lo general, ordenan que un porcentaje del terreno tenga suelos impermeables. Se otorgarán puntos por aumentar el porcentaje requerido por las municipalidades en los rangos descritos en la tabla de puntuación. De no existir un prerequisite de área impermeable tomar 20% como base.

Tabla 104. Puntuación permeabilidad de suelo.

PORCENTAJE	PUNTAJE
10% - 20%	0.20
21% - 30%	0.40
31% - 40%	0.60
41% - 50%	0.80
51% ó más	1.00

- Ver sección 3.5.4.1

**Rendimiento VÍA SIETE:** el área impermeable del terreno es:

Tabla 105. Rendimiento permeabilidad del suelo.

<b>Área terreno</b>	9403	M <sup>2</sup>
<b>Área impermeable</b>	1775	M <sup>2</sup>
<b>Porcentaje</b>	18.87	%

El desarrollo se encuentra en la zona G4 del POT de la ciudad de Guatemala el cual no tiene exigencias sobre área permeable, permitiendo un 100% de ocupación del terreno. Por lo tanto, tiene un 18.87% más área impermeable que la requerida por la Municipalidad con autoridad.

Tabla 106. Puntuación Permeabilidad del Suelo.

<b>PORCENTAJE</b>	<b>PUNTOS</b>
<b>18.87%</b>	0.20

Para aumentar la permeabilidad del suelo se recomienda reducir las áreas de las calles, incluir pavimentos porosos y agregar más área verde en lugar de plazas pavimentadas.

#### 9.1.5. Sistema de manejo de escorrentía

**Aporte:** Ayuda a mantener el ciclo hidrológico al mantener los niveles de infiltración y evaporación relativamente a nivel natural. Ayuda al manejo de contaminación de cuerpos de agua.

**Puntuación:** La escorrentía es uno de los principales factores de contaminación de agua en Guatemala, por lo tanto se hace evidente la necesidad de un sistema de manejo de escorrentía. Este sistema consta de varios elementos por lo cual se otorgarán puntos dependiendo de la existencia de dichos elementos. Los elementos son:

Tabla 107. Puntuación sistema de manejo de escorrentía.

ELEMENTO	PUNTAJE
Jardineras purificadoras	1.00
Canales vegetados	1.00
Canales vegetados en calles	1.00
Canales vegetados en estacionamientos	1.00
Franjas de infiltración	1.00
Laguna de retención	1.00
Captación de agua de lluvia	1.00
Mitigación de laderas	1.00
<b>TOTAL</b>	<b>8.00</b>

- Se debe estudiar primero la posibilidad de aplicación de los elementos. Por ejemplo, en un desarrollo de 5 lotes es muy improbable que se pueda utilizar una laguna de retención ó si no se encuentra ninguna ladera dentro del terreno la aplicación de mitigación de laderas no es posible.
- Ver sección 3.5.6

**Rendimiento VÍA SIETE:** no se cuenta con ningún elemento de manejo de escorrentía en el desarrollo, por lo tanto la puntuación es de:

Tabla 108. Rendimiento sistema de manejo de escorrentía.

ELEMENTO	PUNTAJE
Jardineras purificadoras	0.00
Canales vegetados	0.00
Canales vegetados en calles	0.00
Canales vegetados en estacionamientos	0.00
Franjas de infiltración	0.00
Laguna de retención	0.00
Captación de agua de lluvia	0.00
Mitigación de laderas	N/A
<b>TOTAL</b>	<b>0.00</b>

- N/A = no aplica

Si bien VÍA SIETE no cuenta con ninguno de estos elementos en su diseño, la aplicación de estos en este proyecto puede ser muy ventajosa. A continuación se muestra una recomendación de cómo se podrían aplicar cada uno de los elementos.

- Jardineras purificadoras: se podrían ubicar en las bajadas de agua de tanto los edificios como las casas. Las jardineras podrían estar integradas a la jardinerización de las fachadas de las edificaciones.
- Canales vegetados: un canal vegetado que recoja el agua desde la torre Valera hasta la torre Balzac. A este canal se le puede unir frente a la torre Balzac un canal vegetado que recoja las aguas de las casas 1 a 3. Éste se puede incorporar a la jardinerización y ya sea esconderlo debajo de las plazas si fuera o utilizar éstas como punto de unión entre los diferentes canales vegetados.
- Canales vegetados en calles: se pueden dirigir las pendientes hacia jardineras a los costados de las calles. De esta manera, dichas jardineras pueden funcionar como canales vegetados y a su vez aumentar la seguridad del peatón al colocar una barrera entre la acera y la calle.
- Canales vegetados en estacionamientos: se puede utilizar el área frente a los parqueos para hacer canales vegetados de manera que se tiene un elemento del sistema de manejo de escorrentía y para agregar sombra y aminorar la isla de calor que presenta este.
- Franjas de infiltración: se puede dirigir toda otra escorrentía hacia las áreas verdes para que esta atraviese esta franja vegetada antes de entrar a cualquier canal vegetado.
- Captación de agua de lluvia: se podría dirigir toda o parte del agua que transportan los canales vegetados hacia un tanque de almacenamiento debajo de la torre Balzac la cual puede ser utilizada, con un respectivo chequeo y tratamiento de la calidad del agua, para alimentar el agua de la piscina y para regar las áreas verdes.
- Laguna de retención: el agua sobrante que no entre al tanque de almacenamiento y el agua que no se desee que entre a este (podría ser la escorrentía creada por las casas 1 a 3) pueden ser dirigidas a una laguna de retención colocada cualquier punto donde la pendiente fue identificada como menor al 5%. Se recomendaría cortar el acceso de automóvil a la 6ª avenida de la zona 10 y hacer aquí un área verde que

contenga la laguna de retención. De ese modo se gana permeabilidad, área verde, se salvan árboles, se podrían colocar áreas de juego y mantener la accesibilidad de los peatones a las necesidades básicas identificadas anteriormente.

- Mitigación de laderas: se considera que no aplica ya que no existen laderas pronunciadas las cuales se deban proteger.

## 9.2. Materiales *Greenspec*

### 9.2.1. Diseño de mezcla de concreto con ceniza volante

9.2.1.1. Metodología de evaluación. Para poder optar a algún crédito es estrictamente necesario que se haya utilizado la ceniza volante como sustituto parcial, ya sea del cemento o del agregado fino, como parte de la mezcla y en una cantidad mayor al 25% de todo el concreto utilizado en la edificación, cuya resistencia a la compresión no exceda 4,000psi. El procedimiento a seguir es el siguiente:

- Determinación del porcentaje utilizado como sustituto y la cantidad de concreto que utilizó ceniza volante como parte de la mezcla.

### 9.2.1.2. Evaluación del proyecto

#### 9.2.1.2.1. Especificaciones técnicas del proyecto.

Con base a lo listado en las especificaciones técnicas, se confirma que el concreto planteado inicialmente es un concreto convencional:

#### «ESTRUCTURAS DE CONCRETO

*Para todos los elementos estructurales que deban realizarse en obra, tales como zapatas, columnas, muros, vigas, losas, etc., que implique la utilización de concreto, se registrarán por las siguientes normas o especificaciones:*

**RESISTENCIA DEL CONCRETO:** *Todo el concreto empleado tendrá una resistencia a la ruptura mínima  $f'_c=210 \text{ Kg/cm}^2$  a los 28 días, salvo que los planos indiquen una resistencia diferente. En el caso específico toda la estructura principal debe tener una resistencia a la compresión de  $f'_c=350 \text{ Kg/cm}^2$  a los 28 días en las columnas principales en los sótanos y  $f'_c=280 \text{ Kg/cm}^2$  a los 28 días para las vigas y losas*

*MATERIALES: El concreto consistirá en una mezcla de cemento Portland, arena de río, agregado grueso y agua. Estos materiales llenarán las especificaciones que a continuación se detallan.*

*CEMENTO: En todos los elementos estructurales se empleará cemento Portland tipo 1 (estándar) según normas aprobadas vigentes. No deberá utilizarse ningún cemento luego que hayan transcurrido más de 30 días de estar almacenado.*

*ARENA DE RÍO: Será arena natural, que en su contenido y granulometría sea aprobada por la supervisión. Consistirá en partículas de grano anguloso, duras y limpias, libres de arcilla, limo, álcalis, mica, etc.*

*AGREGADO GRUESO: Consistirá en grava de río o piedra triturada. Será limpio, sano, duro, totalmente libre de materia vegetal. No se deberá permitir la presencia de fragmentos blandos, finos, desmenuzables o alargados en porcentajes mayores que los que se expresan a continuación:*

- \* Fragmentos blandos: 5.00% por peso.
- \* Terrones de arcilla: 0.25% por peso.
- \* Material en suspensión:  
Más fino que tamiz #200 1.00% por peso.

*El tamaño del agregado grueso no será mayor de la quinta parte de la dimensión menor entre los lados de la formaleta del miembro en que se empleará el concreto, ni mayor de las tres cuartas partes de la mínima separación libre entre barras o manajo de barras de refuerzo.*

*AGUA: Será clara, fresca, libre de ácidos aceites o de cualquier otra impureza orgánica.*

*PROPORCIONES DEL CONCRETO: Antes del inicio de la construcción, el Contratista obtendrá el diseño de la mezcla a emplearse, para obtener la resistencia especificada, según el cemento y tipo de agregados a utilizar, la cual deberá ser aprobada por la supervisión si no se utilizara concreto premezclado»*

*(FC Ingenieros & Arquitectos, 2010)*

#### *9.2.1.2.2. Recomendaciones para el proyecto.*

Actualmente, en Guatemala la industria de generación de energía está en constante crecimiento, y la tendencia es hacia el uso de carbón mineral como combustible para calentar las calderas, consecuentemente la cantidad de ceniza volante que se estará generando es considerable. Por mencionar una de las plantas dedicadas a dicha labor, se encuentra “San José Power Station” propiedad de TECO Guatemala, que opera a base de carbón pulverizado, donde la ceniza producida es únicamente almacenada en grandes excavaciones.

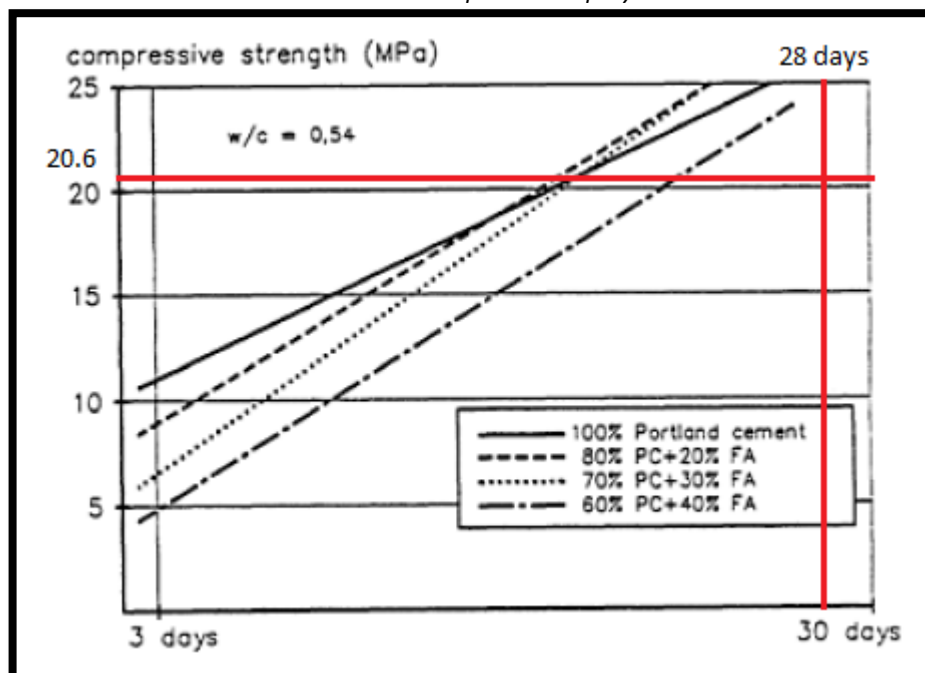
Para determinar la factibilidad del uso de dicha ceniza, tendría que obtenerse ciertas muestras para evaluar la composición química de la misma, ya que si tiene un alto contenido calcio sus propiedades cementicias propician el uso del mismo como sustituto parcial del

cemento en la mezcla de concreto, de lo contrario, podría ser utilizado como sustituto parcial del agregado fino.

Si se diera el caso que el concreto presenta alto contenido de calcio, según Wesche (2005) se podría incluir en la mezcla de concreto de la siguiente manera:

- Según la ilustración a continuación, se puede observar que cuando la resistencia a la compresión requerida es de  $350 \text{ kg/cm}^2$ , equivalente a  $34.3 \text{ MPa}$ , está fuera de alcance la utilización de ceniza volante como sustituto del cemento, ya que es un tipo de concreto 5000psi.
- Si el tipo de concreto es 3000psi y, consecuentemente, la resistencia a la compresión requerida es de  $210 \text{ kg/cm}^2$ , equivalente a  $20.6 \text{ MPa}$ , se podría utilizar una ceniza volante, con alto contenido de calcio, como sustituto parcial del cemento hasta en un 40%. Es decir, que sólo se utiliza un 60% de cemento Portland de la mezcla de diseño original.

Ilustración 249. Resistencia requerida del proyecto a los 28 días.



(Wesche, 2005)

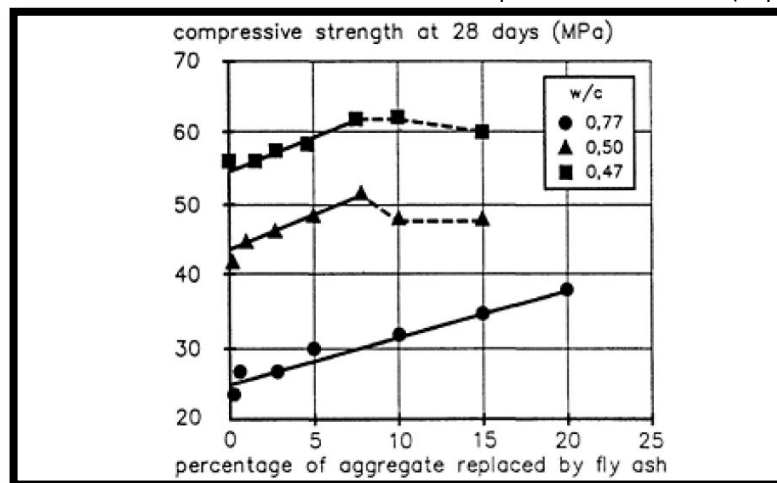
- Si el tipo de concreto es 4000psi y, consecuentemente, la resistencia a la compresión requerida es de  $280 \text{ kg/cm}^2$ , equivalente a  $27.5 \text{ MPa}$ , se podría utilizar una ceniza volante, con alto contenido de calcio, como sustituto parcial del cemento hasta en un

20%. Es decir, que sólo se utiliza un 80% de cemento Portland contemplado originalmente.

Se recomienda vigorosamente, antes de cualquier inclusión de ceniza volante en la mezcla de concreto para cualquier elemento estructural que esté compuesto de concreto, realizar las pruebas de laboratorio pertinentes de resistencia a la compresión con los materiales disponibles localmente para establecer el diseño de mezcla que satisfaga los requerimientos de del proyecto.

Según Wesche (2005) el reemplazar parcialmente el agregado fino por ceniza volante, resulta en un aumento en la resistencia a la compresión del concreto a toda edad. Consecuentemente, dependiendo de la relación de agua/cemento (w/c) que se tenga, se puede ajustar la cantidad de ceniza volante a discreción, según la siguiente ilustración:

Ilustración 250. Variación de la resistencia a compresión a los 28 días. (Repetida)



(Wesche, 2005)

Cabe mencionar que, según Wesche (2005), si se está utilizando una relación agua/cemento de 0.47, se logra un aumento en la resistencia del concreto al ser sustituir ceniza volante por el agregado fino en proporciones de hasta 20%. Sin embargo, si se está manejando una relación agua/cemento de 0.50, este aumento se ve limitado hasta una proporción de 8% aproximadamente. Así mismo, al tener una relación agua/cemento de 0.77, no resulta conveniente sustituir el agregado fino por ceniza volante en proporciones mayores a un 7%, aproximadamente.

## 9.2.2. Aplicación de pavimentos porosos

### 9.2.2.1. Metodología de evaluación.

- Determinación de áreas adecuadas para uso de pavimentos porosos: que no estén dentro de áreas de irrigación, flujo de sustancias tóxicas, pendientes pronunciadas, o tráfico muy alto.
- Selección de tipo de pavimento poroso, según el criterio siguiente:
  - Agregados sueltos: tráfico liviano, área residencial, parqueos de poco uso.
  - Césped: áreas de tráfico controlado / horario predecible por mantenimiento
  - Geoceldas: adaptables a terrenos con ciertas irregularidades
  - Adoquines con junta abierta: tráfico grande, susceptible de deformación en base o subrasante.
  - Concreto poroso: agregado de un mismo tamaño (sin agregado fino), aceras y pequeñas calles, cargas livianas a moderadas
  - Asfalto poroso: asfalto de un mismo agregado (sin agregado fino), cargas moderadas a pesadas
  - Materiales blandos: material granular orgánico o reciclado, mantillo de corteza, peatones, calles residenciales o parqueos poco usados
- Determinación de la porción de áreas aptas cubiertas con pavimentos porosos.

### 9.2.2.2. Evaluación del proyecto

#### 9.2.2.2.1. Especificaciones técnicas del proyecto. Con

base a lo listado en las especificaciones de materiales para el movimiento de tierras, se confirma que el pavimento planteado inicialmente es un pavimento de concreto rígido:

« Para los cortes en áreas de calles tomar en cuenta lo siguiente:

- 1.- Corte de Cajuela
- 2.- Afinación de Sub-rasante
- 3.- Base de suelo-cemento, grueso de 0.20 m.
- 4.- Fundición de concreto de 0.12 m.

Para las bases de las plataformas de las casas tomar en cuenta lo siguiente:

1. Plataformas de ubicación de construcción de casas, compactación al 95% de Proctor Modificado.

2. Plataformas de jardines y áreas no construidas, compactación al 90% de Proctor Modificado.
3. Base de material selecto compactado, grueso 0.10 m. en áreas de cimentación (Planta Baja)» (FC Ingenieros & Arquitectos, 2010)

#### 9.2.2.2.2. Recomendaciones para el proyecto

Ilustración 251. Planta de conjunto del proyecto sujeto a evaluación.



El proyecto en evaluación es un complejo compuesto de edificaciones de apartamentos multifamiliares y residencias unifamiliares. En este proyecto en particular, se le dio prioridad a la conservación de áreas verdes, por lo que la mayoría de áreas de parqueo son subterráneas. Sin embargo, las calles y áreas de parque representan una parte considerable del proyecto, y ya que las cargas de tráfico son pequeñas, pueden implementarse pavimentos porosos sin repercusiones estructurales, por lo que se sugerirá el tipo de pavimento poroso que mejor funcionaría y aun alternativa como opción secundaria.

Adicionalmente, según Ferguson (2005) existen ciertas áreas donde no conviene la implementación de pavimentos porosos, por lo que se verificará que no estén dentro de dichas categorías:

- Lugares donde la escorrentía de pavimentos densos es aprovechado como un recurso para irrigación o algún otro propósito. En la planificación del proyecto, no está contemplado sacarle provecho a la escorrentía que se generará.
- Áreas industriales antiguas, donde se evita la infiltración de sustancias tóxicas. El terreno es un área natural, cuyos alrededores son residenciales.
- Donde la disposición del terreno puede causar acumulación de sedimentos por pendientes muy pronunciadas. Las cotas de las dos garitas, en metros sobre nivel del mar, son 1,500 y 1,496. La separación de las mismas es de 178m, por lo que la pendiente es de 2.22%, la cual no es una pendiente muy pronunciada. Una pendiente pronunciada sería aquella que presente una pendiente mayor a 10%.

Seguidamente, procederemos a analizar las áreas de parqueo de visitas.

*Ilustración 252. Área 2 de parques de visita.*

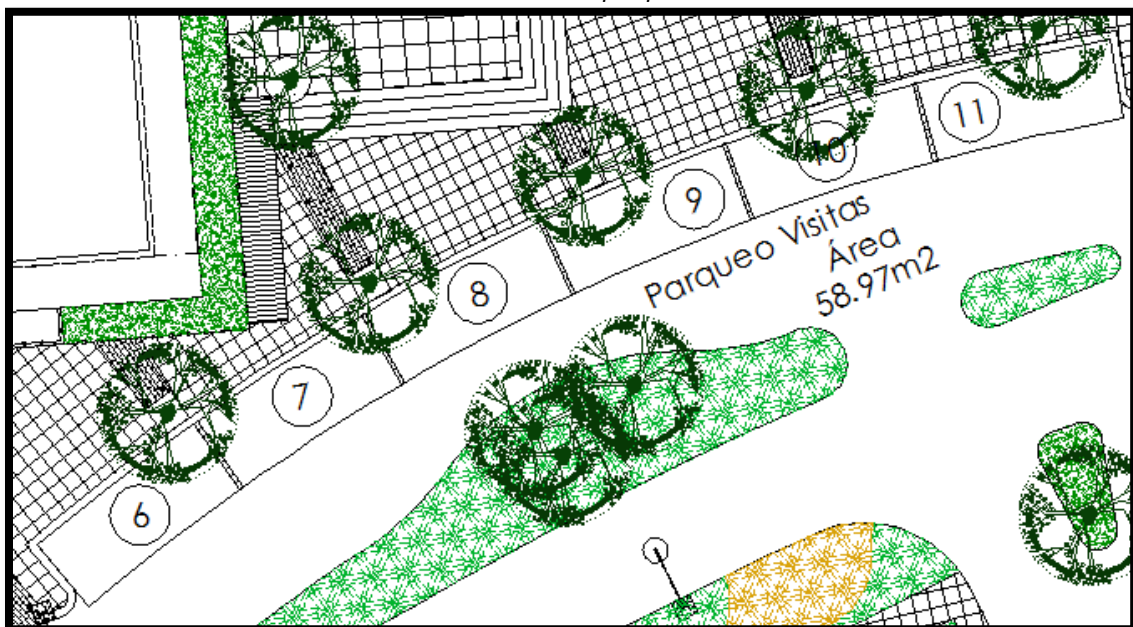


Ilustración 253. Área 1 de parqueo de visitas

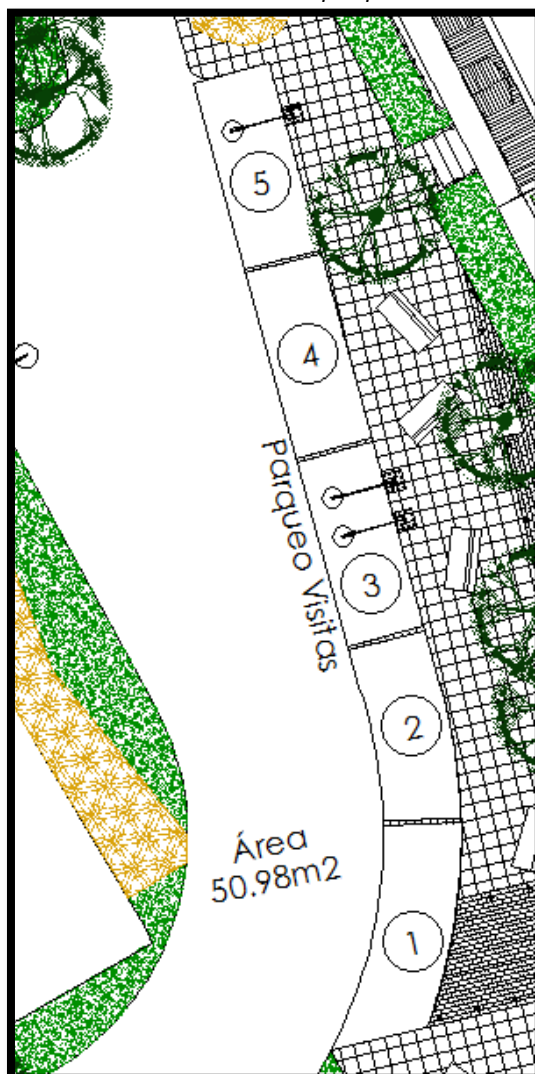
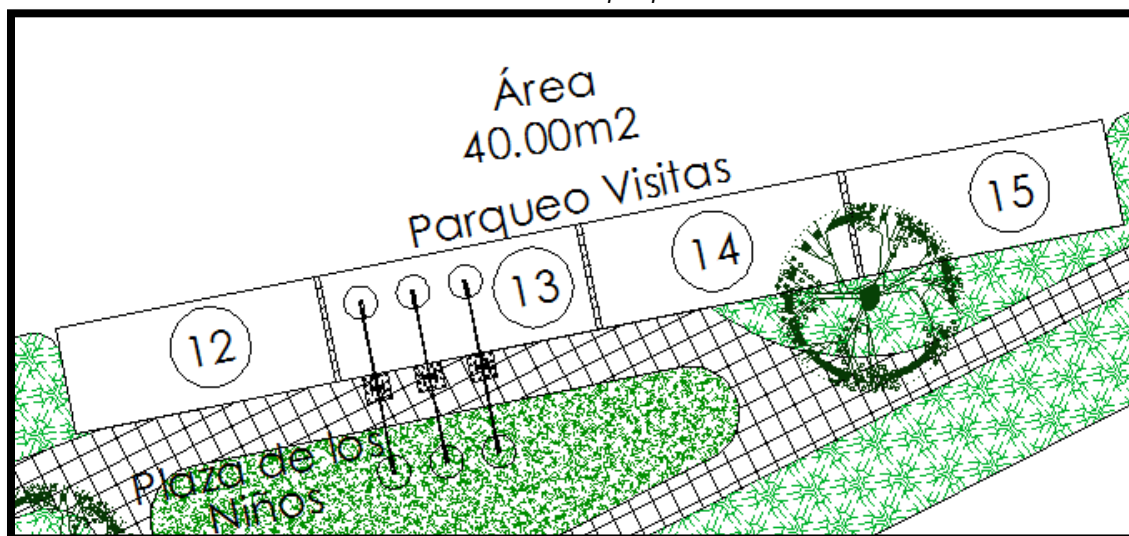


Ilustración 254. Área 3 de parques de vista.



Según Ferguson (2005), en muchas regiones el agregado poroso utilizado sin refuerzo es el más económico de los materiales utilizados para pavimentos. A pesar de que las áreas de poco tráfico, donde el agregado en mención puede ser utilizado, son individualmente pequeñas, al ser consideradas en conjunto representan un área considerable, para el proyecto en evaluación totalizan un área de 149.95m<sup>2</sup>.

Según Ferguson (2005), los agregados sueltos, son utilizados como capa de superficie en áreas de tráfico liviano en caminos residenciales, parqueos de poco uso y caminamientos ligeramente usados. Adicional a los 15 parqueos de visitas al aire libre que tiene el proyecto, cuenta con 35 parqueos de vistas en el sótano, y la primera opción a elegir, por lo general, es la de parqueo techado. Consecuentemente, los parqueos de visitas al aire libre serán los de menor uso, propiciando la incorporación de una capa de pedrín suelto como superficie de pavimento. Podría considerarse, una capa de 0.10m de pedrín de ¾" sobre una capa base capaz de resistir las cargas de tráfico a las que va estar sometido. Cabe mencionar, que puede requerir mantenimiento, para nivelar la superficie y material perdido.

En las condiciones adecuadas, agregados suelos presentan ventajas simultáneamente en cuanto a economía y ambiente. El agregado resulta ser el material más asequible de los materiales de superficie firme. Conjuntamente, la alta porosidad y permeabilidad de agregados del mismo tamaño resultan ser los más favorables de todos los materiales utilizados para pavimentos, ya que permite restaurar la hidrología de las cuencas y el hábitat de las raíces de los árboles. Los agregados están disponibles de fuentes naturales y recicladas a un costo energético bajo.

Si por cuestiones de arquitectura, se deseara otra opción más estética, se podría considerar la incorporación de mallas de concreto con celdas abiertas para ser rellenado con pedrín de características similares. La utilización de césped como relleno de estas mallas no es aconsejable para el área de parqueo de visitas, ya que según Ferguson (2005), todo césped necesita un mantenimiento programado, que incluye corte, riego y alguna fertilización; por lo que no puede ser utilizado en áreas donde su uso no es certeramente predecible.

Ilustración 255. Grilla de concreto con celda abierta rodeando adoquines. (Repetida)

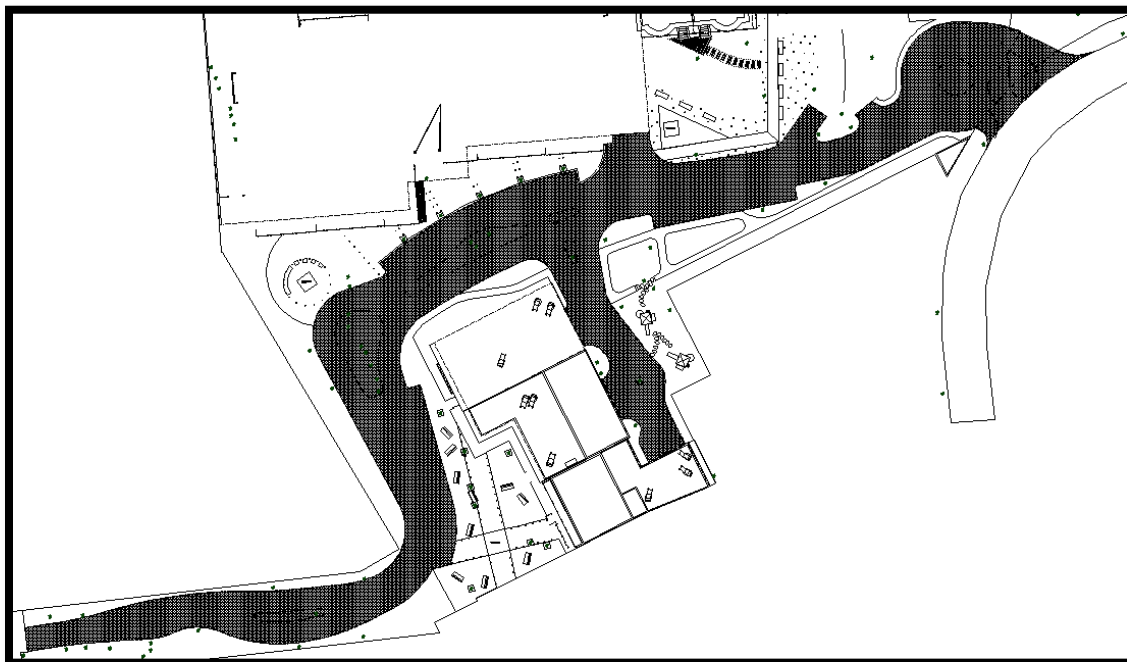


(Ferguson, 2005)

La calle interna del proyecto, tiene un área en planta de  $1,625.44\text{m}^2$  y para la misma se torna atractiva la opción de adoquines con juntas separadas. Según Ferguson (2005), al colocarse las unidades de adoquín con una separación considerable, produciendo una separación que propicie la incorporación de piedrín, se pueden soportar cargas de tráfico considerables y darle porosidad y permeabilidad al pavimento. Adicionalmente, la vida útil de la mayoría de adoquines es bastante prolongada y su costo de mantenimiento es mínimo. Sin embargo, el uso de adoquines es más costoso que otro tipo de pavimentos y son muy susceptibles de alguna deformación en la base o subrasante.

Si la opción de adoquinar no fuera factible por determinada razón, podría considerarse la opción de reemplazar el pavimento de concreto rígido por un concreto poroso, el cual está hecho de agregado de un mismo tamaño y cemento Portland. Según Ferguson (2005), el mismo es apropiado tanto para cargas de tráfico bajas como las que tienen aceras y pequeñas calles; como para cargas de tráfico moderadas como las que tienen que soportar parqueos en áreas comerciales y calles residenciales. Adicionalmente, la superficie final puede llegar a tener muy buena porosidad y permeabilidad, además de ofrecer firmeza y accesibilidad total.

*Ilustración 256. Área de calle residencial del proyecto.*



La importancia de la permeabilidad de las diferentes áreas, radica en la posición de los árboles próximos a calles, parqueos de visita y caminamientos impermeables, ya que, según Ferguson (2005), la supervivencia y crecimiento de un árbol requiere una amplia zona de enraizamiento con libre intercambio de aire, agua y nutrientes. Dicha zona ordinariamente comprende un perímetro de 2 a 3 metros de la superficie en la cual las raíces del árbol crecen provisionalmente explorando en todas direcciones, con pequeñas raíces absorbentes que se extienden en direcciones donde encuentran mayor cantidad oxígeno y humedad. Adicionalmente, los árboles plantados en pequeños patios, donde son rodeados por pavimentos impermeables y suelos compactados, proveen un volumen muy pequeño de suelo aireado y penetrable para que las raíces crezcan como el árbol necesita. Las raíces que penetran más allá del área de patio, en el área de suelo debajo de un pavimento impermeable, rápidamente agotan el contenido de aire del suelo porque no hay intercambio con la atmósfera; y en una condición anóxica las raíces fallan y mueren. (Ferguson, 2005)

Ilustración 257. Plaza de la familia.



Ilustración 258. Plaza de la ciudad.



Ilustración 259. Plaza transición del conocimiento.

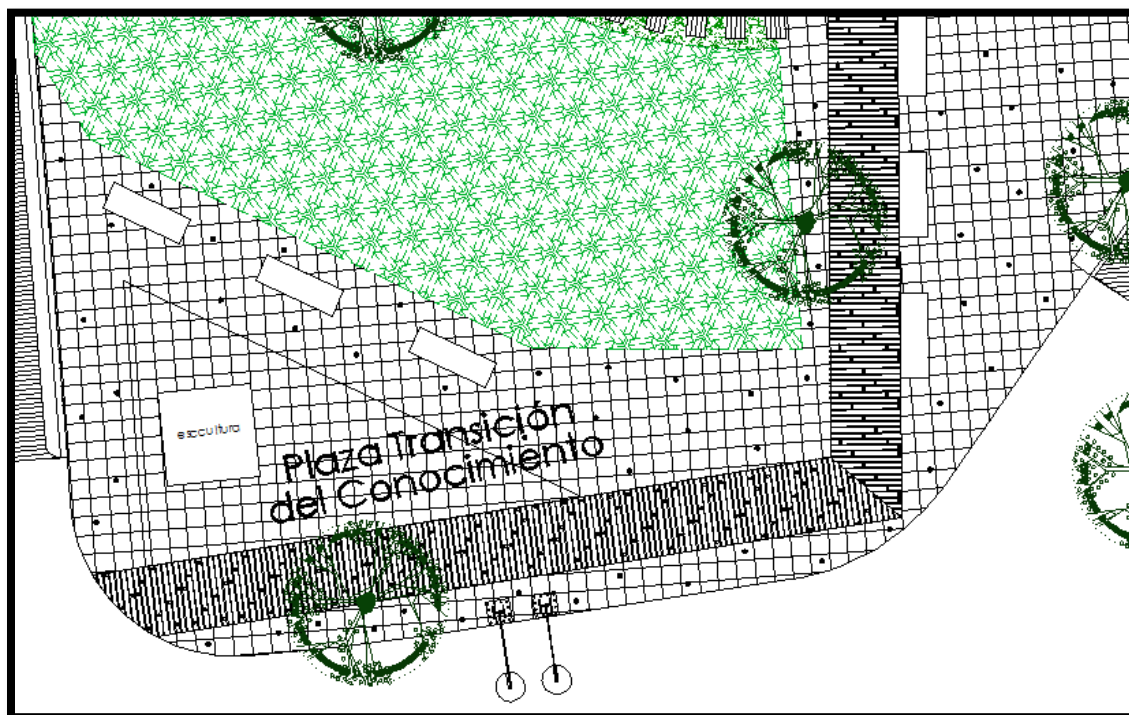
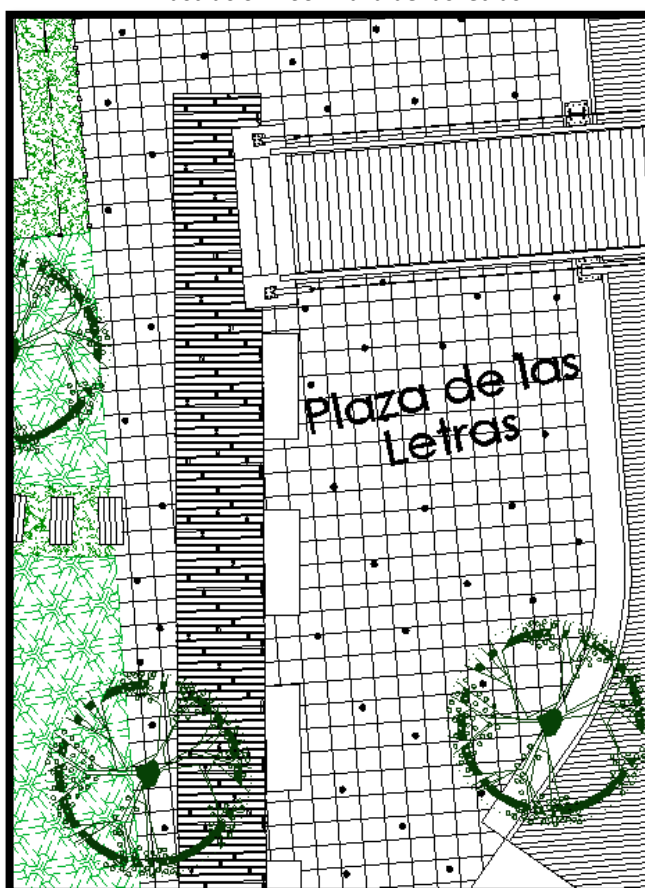


Ilustración 260. Plaza de las letras



Para las áreas de plazas y caminamientos aledaños, se recomienda la implementación de adoquines de junta separada, por la durabilidad y estética que éstos aportan. Inclusive, se podría añadir una combinación con mallas de concreto rellenas de césped o piedrín.

### 9.2.3. Implementación de techos verdes

9.2.3.1. Metodología de evaluación. La selección de tipo de alternativa o material, deber realizarse según el criterio siguiente:

- Techos planos: techos con almacenamiento de agua para reutilización de agua no potable (inodoros, riego, etc.)
- Techos con pendiente menor al 5%: techos verdes de cualquier clasificación: extenso, semi-intenso, intenso.
- Techos con pendientes mayores al 5%: utilización de materiales como teja de barro, teja de concreto, shingle, lámina termoacústica o similares.

#### 9.2.3.2. Evaluación del proyecto

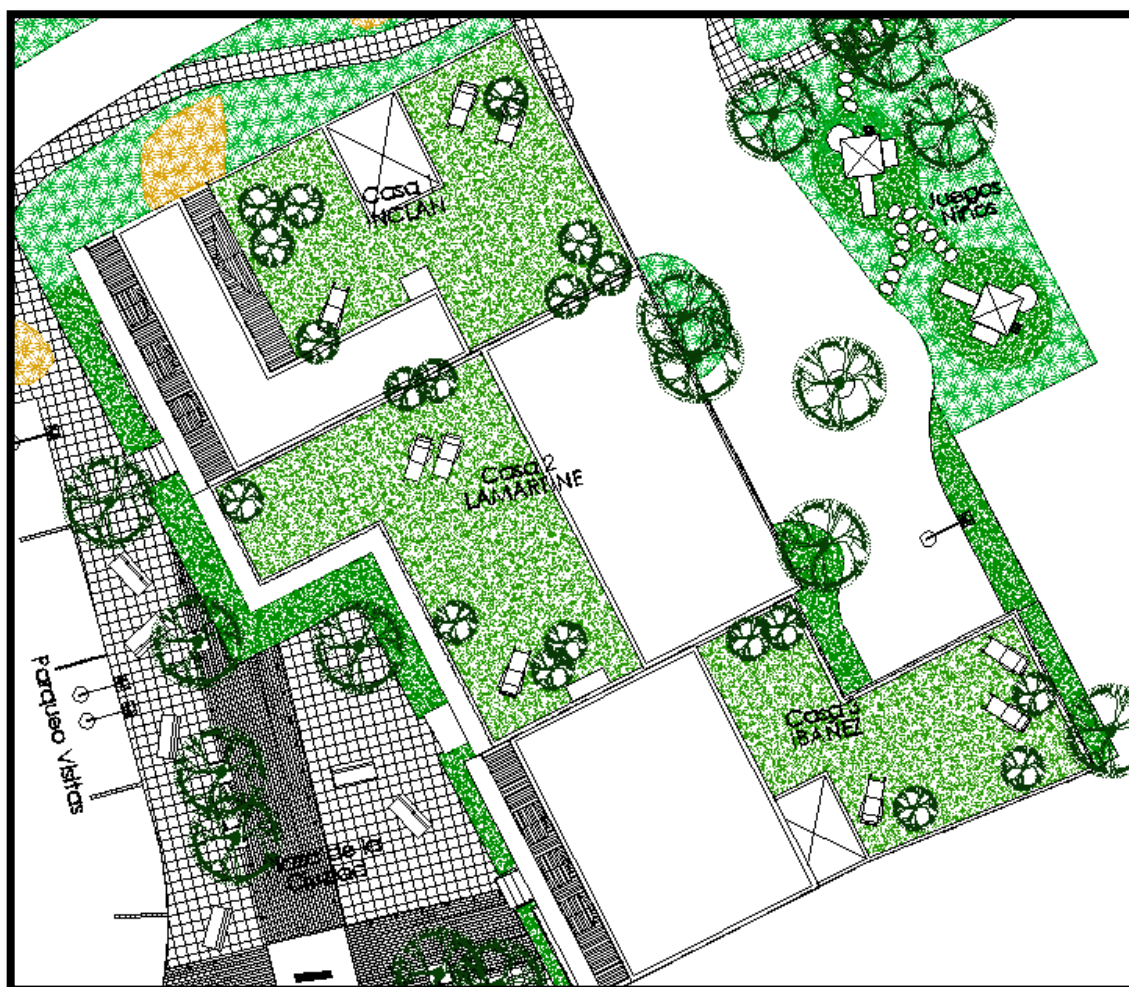
9.2.3.2.1. *Recomendaciones para el proyecto.* Dentro de la propuesta arquitectónica vigente, se cuenta con un área de techos verdes, sobre el área de residencias unifamiliares.

*Tabla 109. Características de los diferentes tipos de techos verdes. (Repetida)*

Tipo de techo verde	Extenso	Semi-intenso	Intenso
Mantenimiento	Bajo	Periódico	Alto
Plantación	Hierbas y matorrales	Hierbas y arbustos	Césped, arbustos o árboles
Altura	120 – 250 mm	120 – 250 mm	150 – 1000 mm
Peso	60 – 150 kg/m <sup>2</sup>	120 – 200 kg/m <sup>2</sup>	180 – 500 kg/m <sup>2</sup>
Costo	Bajo	Medio	Alto

(Ansel)

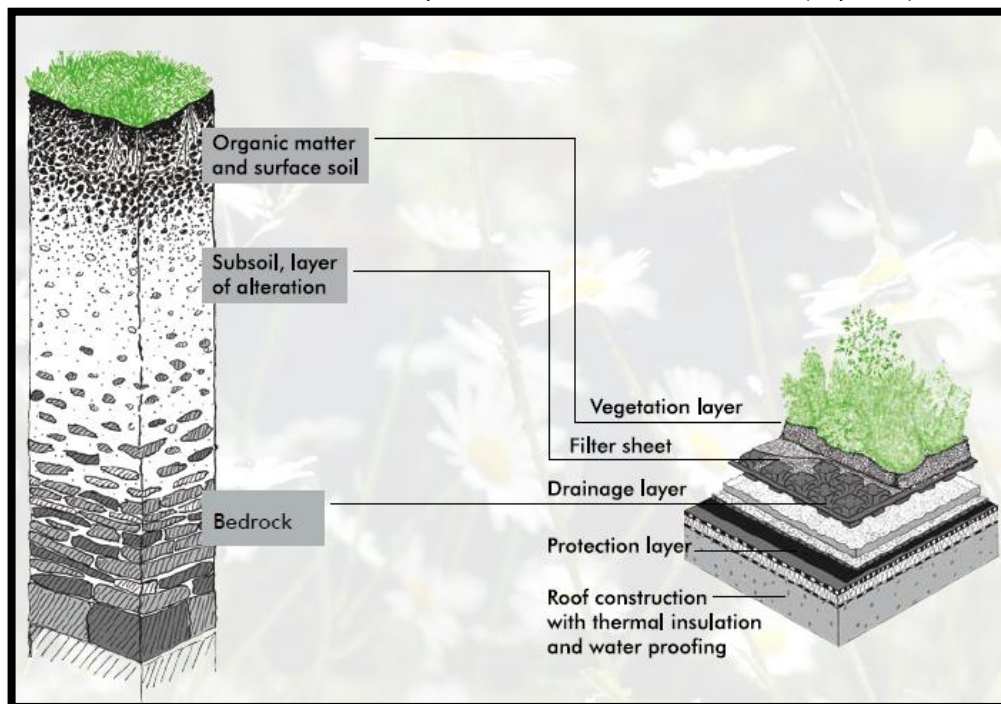
Ilustración 261. Techos verdes en áreas de casas.



En las áreas mencionadas, se plantean áreas de techo verde semi-intenso, según la clasificación de los diferentes tipos de techos verdes.

Para dicho efecto, se tiene que considerar el peso de la misma, en el diseño estructural de losa.

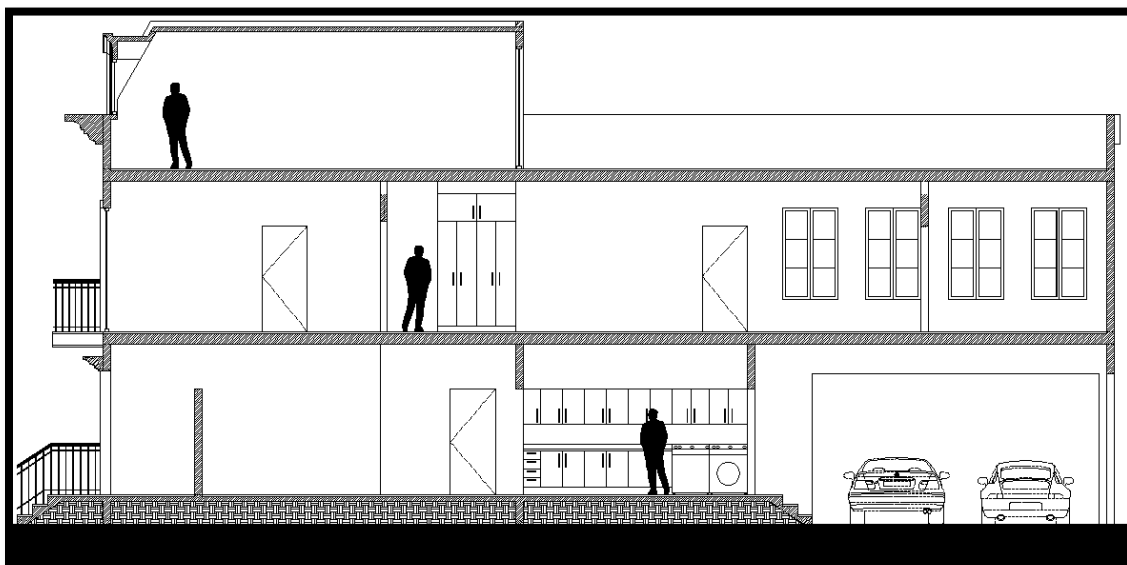
*Ilustración 262. Estructura típica de un sistema de techo verde. (Repetida)*



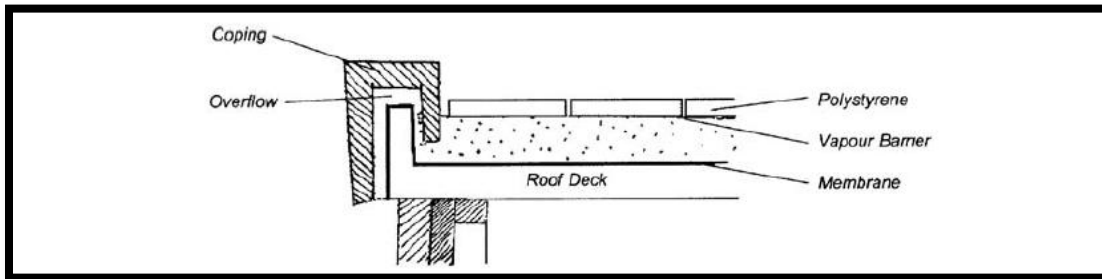
(Ansel)

Adicionalmente, en el tercer nivel, se tienen áreas de losa plana, donde se podría implementar techos con almacenamiento de agua para reutilización de agua no potable.

*Ilustración 263. Sección de casa 3 Ibañez.*



*Ilustración 264. Techo con almacenamiento de agua con aislante. (Repetida)*



*(Wolley, Green Building Handbook Volume 2, 2000)*

Existe una cantidad considerable áreas de losas planas donde podrían implementarse techos verdes, sin embargo, dichas áreas tienen que ser accesibles para poder disfrutar de los jardines y para facilitar el mantenimiento de los mismos. Consecuentemente, resulta más viable la implementación de techos con almacenamiento de agua, cuyo acceso es periódico y únicamente para mantenimiento del mismo. Las siguientes casas presentan techos de losas planas similares: Casa 4 Isarri, Casa 5 Avellanad y Casa 6 Carrillo.

*Ilustración 265. Sección de casa 4 Isarri.*

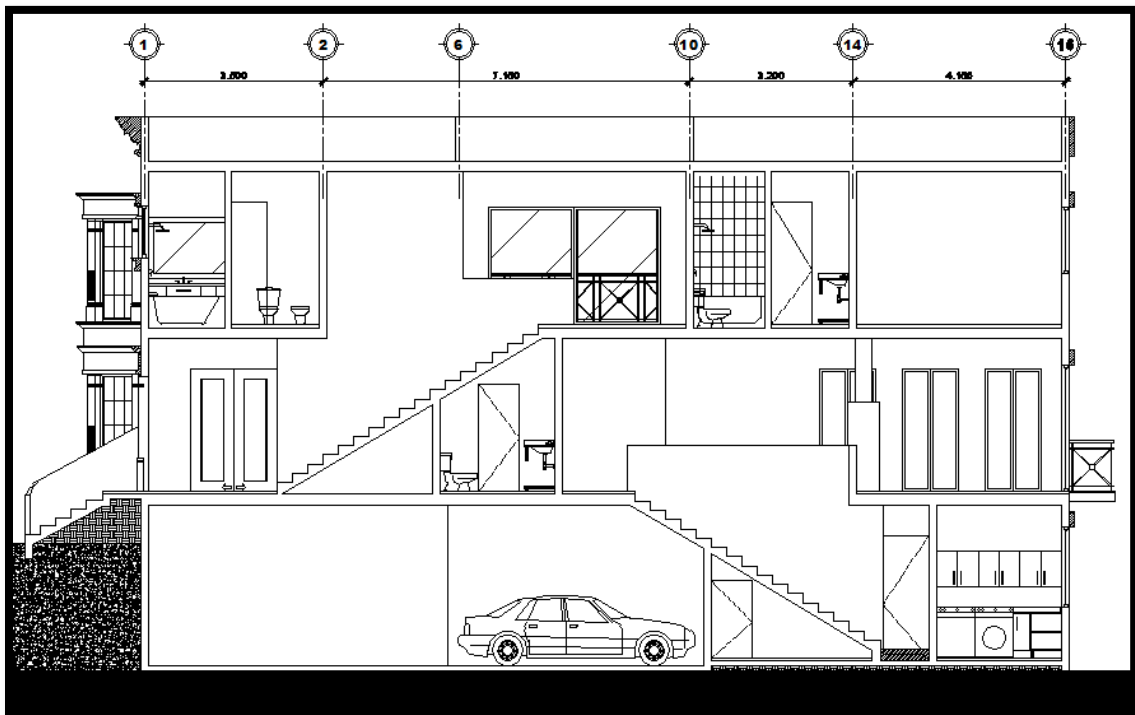
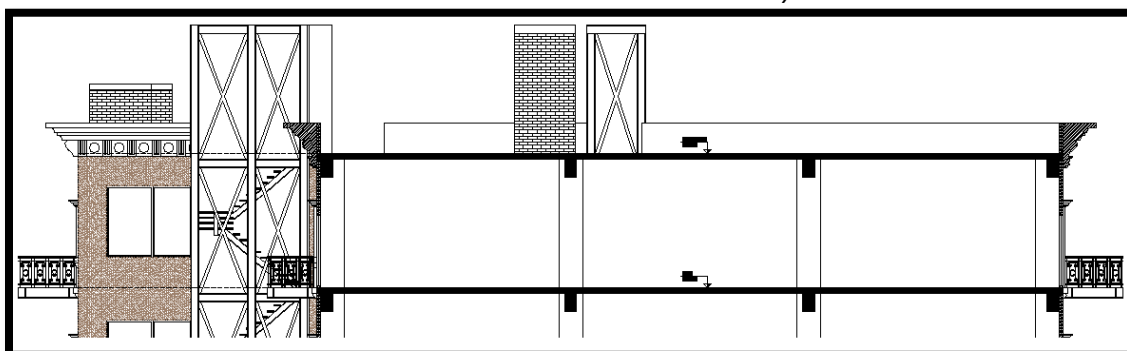


Ilustración 266. Planta torres Balzac y Zola.



Ilustración 267. Sección de techo torres Balzac y Loza



Para el área de losa en las Torres Balzac y Loza, se tiene acceso sencillo, sin embargo la concepción arquitectónica aparenta ser concebida como un área de servicio. Por lo tanto, no pretende ser un área de recreación, por ende la recomendación es la implementación de techos con almacenamiento de agua.

Por último, para el área de las Torres Flaubert y Valera, se encuentran áreas de losa plana en las cuales se podría implementar una combinación de techos de almacenamiento de agua y techos plantados.

Ilustración 268. Planta de techos de las Torres Flaubert y Valera.

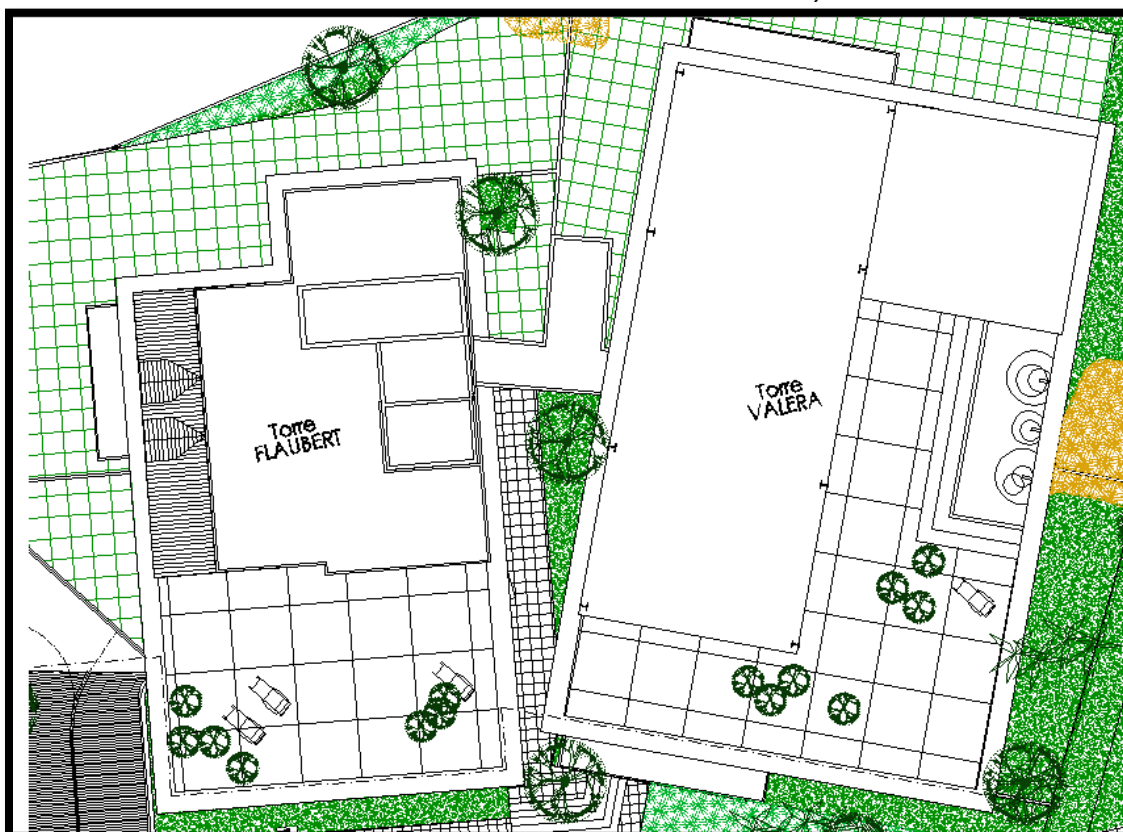
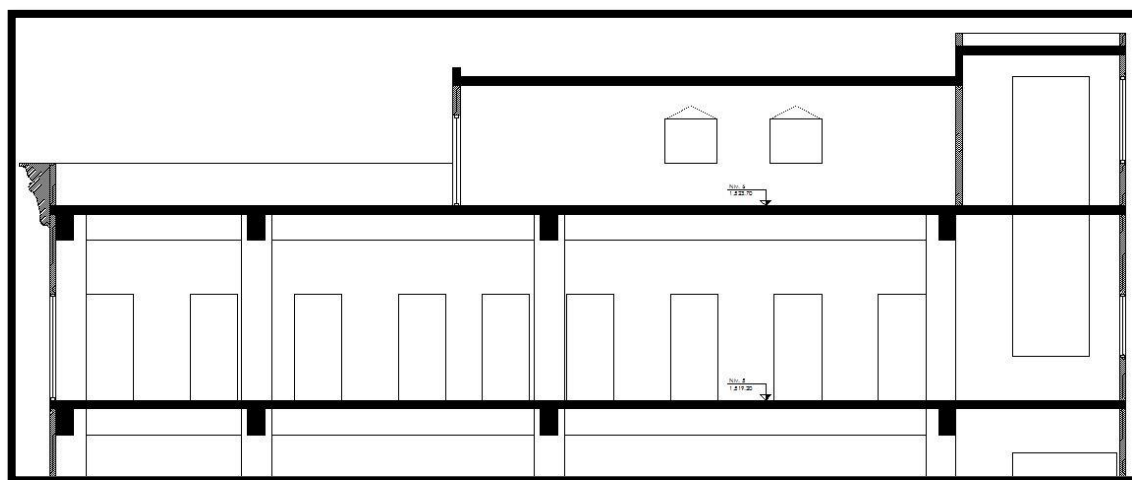
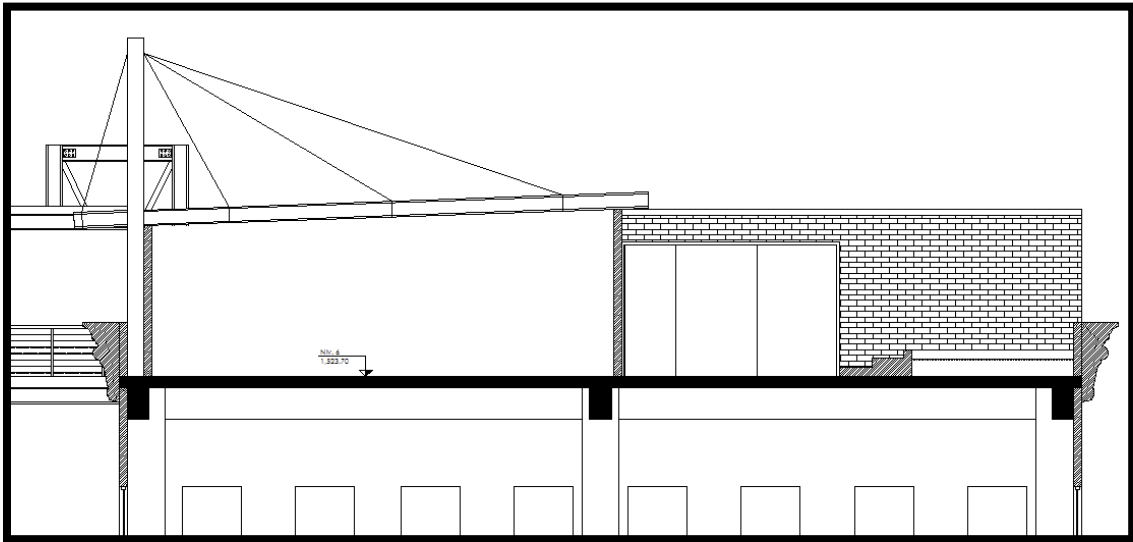


Ilustración 269. Sección de techo de Torre Flaubert.



Para el techo de la torre Flaubert, se cuenta con un área terraza jardín, donde la concepción arquitectónica es una losa de concreto rígida con la adición de macetas para vegetación. Ésta área cuenta con fácil acceso al usuario y busca ser un área de recreación, por lo que podría implementarse un techo verde extenso o semi-intenso. Para el área techada, se sugiere un techo con almacenamiento de agua, por la limitante del acceso.

Ilustración 270. Sección de techo de Torre Valera.



Similarmente, para el área de techo de la Torre Valera, para el área que se tiene como terraza jardín se recomienda la implementación un techo plantado de extenso a semi-intenso. Para el área techada, se recomienda la sustitución del techo metálico por un techo con almacenamiento de agua.

Para las áreas de techo inclinado, donde la pendiente supera el 5%, se contará con la adición de shingle, lo cual cumple de manera satisfactoria con la recomendación para este tipo de techos.

#### 9.2.4. Selección de ventanería

##### 9.2.4.1. Metodología de evaluación

- Selección de tipo de perfilería adecuado para las ventanas, dependiendo de las características buscadas:
  - Acero inoxidable: resistencia a corrosión, fuerte, permanente y sin necesidad de mantenimiento. Costosa
  - Acero: resistente al fuego, fuerte y rígido, maximiza área de vidrio y mínimo grosor de marco. Mantenimiento constante, pintura anticorrosiva.
  - Aluminio: resistente, ligero y resistente a la corrosión. No soportan cargas estructurales
  - Madera: económicas, hermetizadas contra intemperie. No resisten fuego, mantenimiento tedioso y caro.

- PVC: resistencia eólica, larga vida útil, aislamiento térmico eficaz, aislamiento acústico
- Identificación de algún mecanismo de aislamiento térmico:
  - Aislante ajustable
  - Protección solar: elementos fijos o móviles
  - Postigos plegables
  - Louvers
- Identificación de algún mecanismo de aislamiento termoacústico (doble vidrio)

#### 9.2.4.2. Evaluación del proyecto

*9.2.4.2.1. Especificaciones técnicas.* Para el proyecto se contratará un proveedor local para el suministro de la ventanería. El tipo de perfilería a utilizar es un sistema de perfiles de PVC KÖMMERLING, con refuerzo de acero galvanizado con doble junta de estanqueidad de caucho sintético APTK negro. Parte de la ventanería contará con una cámara de vacío entre vidrios. El espesor de ambos vidrios será de 4mm y el de la cámara será de 12mm.

*9.2.4.2.1. Recomendaciones para el proyecto.* El tipo de ventanería seleccionada, en este caso de tipo PVC, con el cual se obtiene buena resistencia eólica, en este caso no tan necesaria, larga vida útil, con mantenimiento mínimo, únicamente el necesario para limpieza y un excelente aislamiento térmico y acústico. Adicionalmente, para una parte considerable de la planilla de ventanas, se implementará doble vidrio, con cámara de vacío, lo cual mejora las propiedades aislantes de la ventana.

En síntesis, el proyecto cuenta con un excelente sistema de ventanería, que propicia el aislamiento termoacústico. Cabe mencionar, si la arquitectura del proyecto lo permitiese, evaluar la posibilidad de implementar louvers en las áreas que estarán mayormente expuestas a radiación solar. No obstante, en áreas destinadas a para estudio o trabajos de gabinete, donde seguramente contarán con equipo de cómputo, donde la radiación solar a la que estarán expuestas puede ser considerable, se recomienda implementar películas de protección contra el reflejo para suavizar la diferencia de contrastes entre el ambiente y el monitor.

## 9.3. Eficiencia energética

9.3.1. Descripción general del proyecto. Para lograr poner en práctica la guía desarrollada se evaluara un proyecto que por sus características cumpla con el espíritu de diseño de la guía y que a la vez este anuente a la realización de recomendaciones para el diseño del mismo.

Se conoció de un proyecto que se desarrollara en la zona 10 de la ciudad de Guatemala. El cual consiste de 48 unidades de vivienda unifamiliar distribuidas en dos torres de apartamentos que en conjunto cuentan con 42 apartamentos y 6 casas individuales. El proyecto fue diseñado por la firma de arquitectura *apoyo inmobiliario*, con el espíritu de mantener el mismo ambiente que existe actualmente en la propiedad, un bosque adentro de la ciudad. De esta forma se conversó con los desarrolladores del proyecto los cuales dieron la autorización para poder analizar el proyecto.

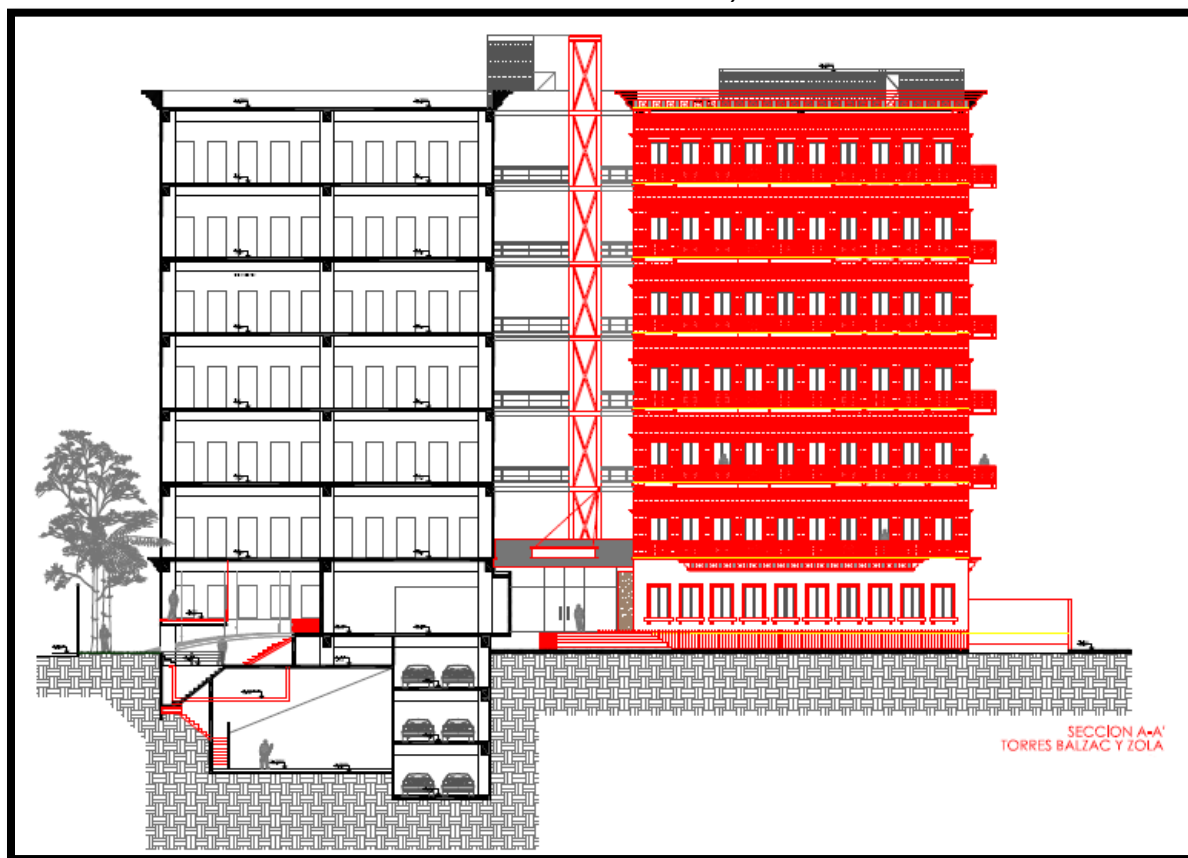
### 9.3.2. Datos generales del proyecto

*Tabla 110. Datos generales del proyecto*

<b>Área del terreno</b>	9,403m <sup>2</sup>
<b>Área de construcción</b>	14,407.83 m <sup>2</sup>
<b>Área permeable</b>	2,392.93 m <sup>2</sup>
<b>Área de techos</b>	3,472.97 m <sup>2</sup>
<b>Cantidad de apartamentos</b>	42u
<b>Casas</b>	6u
<b>Área promedio de apartamento</b>	284m <sup>2</sup>
<b>Población planteada</b>	260p

(Elaboración propia, 2010)

Ilustración 271. Sección torre Balzac y Zola



Se realizará una revisión del proyecto de acuerdo a los puntos propuestos en la primera parte de la guía. Se llevará a cabo una comparación entre los valores que tienen el proyecto y los recomendados por la guía. Para la revisión de las áreas interiores se seleccionará el apartamento 2B de la torre Balzac y Zola.

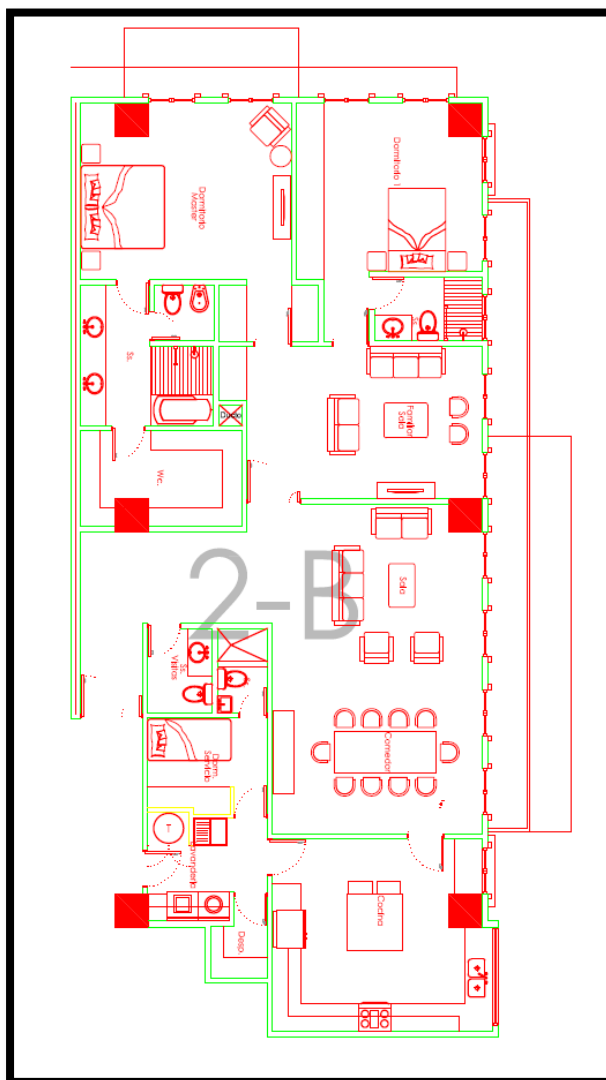
### 9.3.3. Descripción de apartamento

El apartamento 2B de la torre Balzac y Zola tiene los siguientes datos generales:

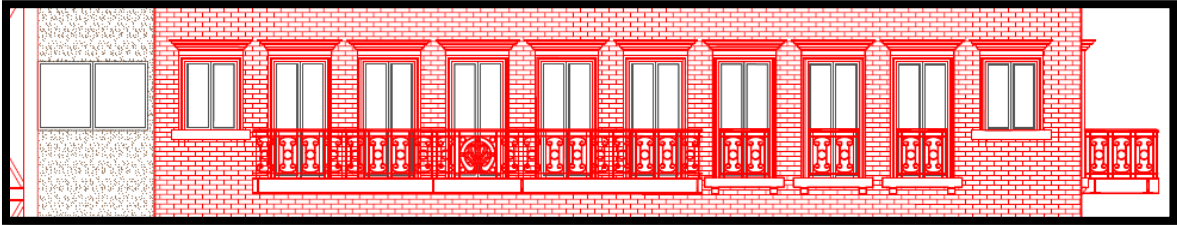
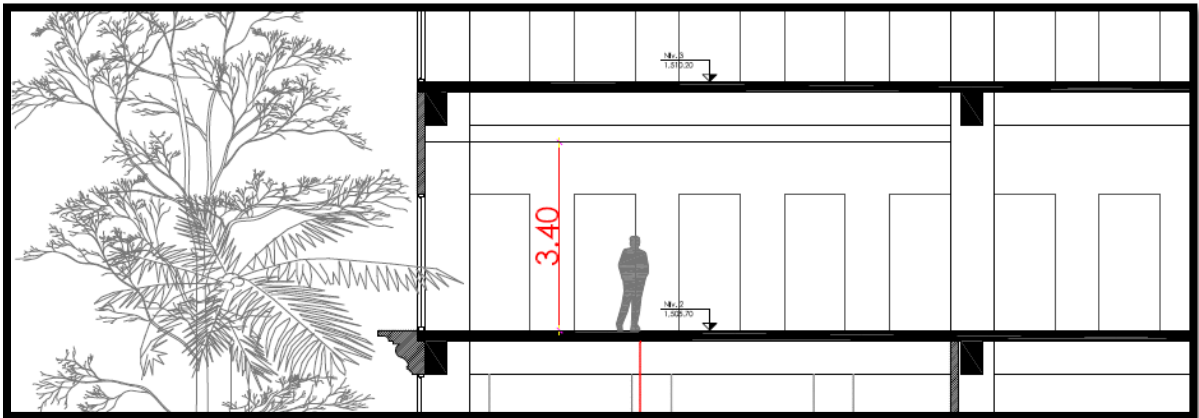
Tabla 111. Datos generales del apartamento

Características	Valor
Tamaño	208m <sup>2</sup>
Cuartos	2
Nivel	2
Ventanas	14
Altura cielo falso	3.40m

Ilustración 272. Planta del apto 2B



## 9.3.3.1. Elevaciones y secciones

*Ilustración 273 Elevación posterior del apto 2B**Ilustración 274. Elevación lateral del apto 2B**Ilustración 275. Sección del apto 2B*

9.3.3.2. Iluminación artificial. A continuación se presentan los planos de ubicación de lámparas del apartamento, en donde se ubican dos sistemas de iluminación, uno principal y otro complementario.

Ilustración 276. Iluminación principal

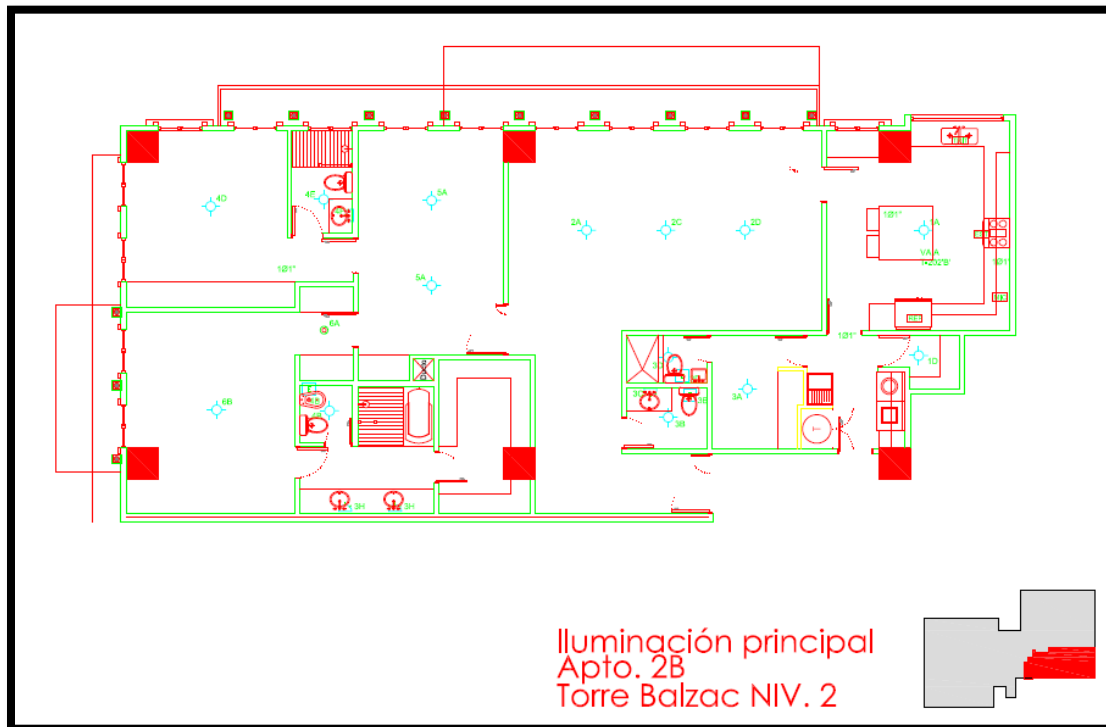
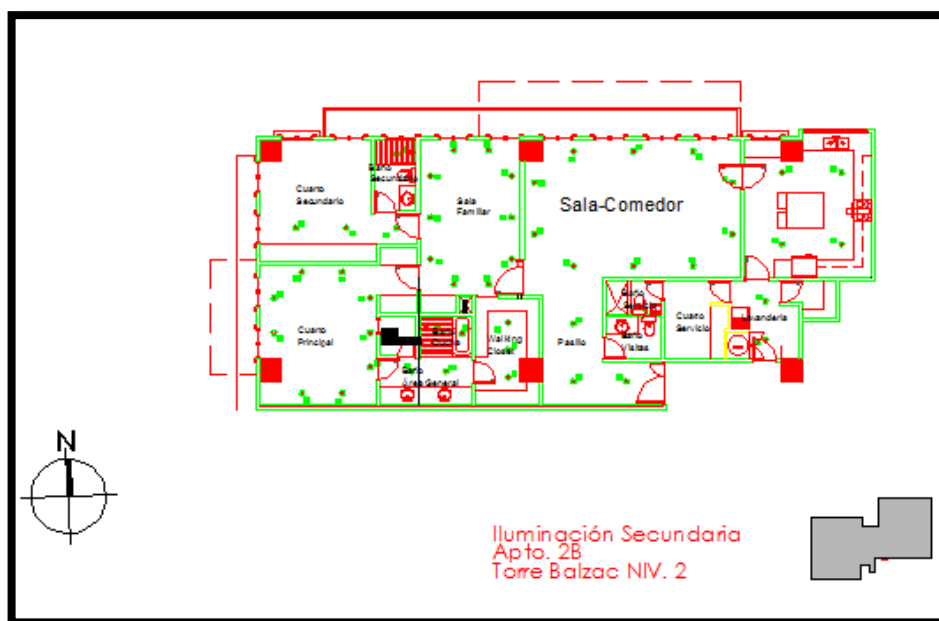


Ilustración 277. Iluminación secundario



9.3.3.2.1. *Comentarios acerca de la separación del sistema de iluminación.* Es importante mencionar que se esta división de los sistemas de iluminación es muy práctica ya que la mayoría de áreas pueden cumplir una doble función. Por ejemplo en el comedor se puede utilizar el sistema de iluminación principal cuando se desea una iluminación general en donde se requerirán alrededor de 50 luxes y en el momento de realizar un trabajo (por ser un apartamento es usual que se den este tipo de circunstancia en donde el comedor se puede convertir en un área de estudio), en donde se necesitara una iluminación mayor de alrededor de 300 luxes.

9.3.4. **Análisis de apartamento.** Se analizarán los distintos parámetros de diseño de iluminación adentro del apartamento. El primer sistema a evaluar será la iluminación artificial y los valores que ésta conlleva, y segundo se evaluará la iluminación natural.

#### 9.3.4.1. Reflectancia de materiales

Tabla 112. Reflectancia de materiales

Área	Proyecto		Recomendación	Comentarios
	Material/Color	Valor		
<b>Techo</b>	Blanco	80%	60% a 90%	
<b>Paredes</b>	Blanco Hueso	60%	35% a 60%	*Color de paredes supuesto, se recomienda un gama de colores desde verde manzana hasta blanco hueso.
<b>Piso</b>	Madera oscuro	20%	15% a 35%	Se debe tener cuidado con los tonos de la madera, para que la misma no sea muy oscura y afecte la reflectancia de piso

9.3.4.2. **Eficiencia de bombillos seleccionados.** Para el interior no existen bombillos seleccionados por parte del desarrollador ya que la iluminación de cada apartamento estará a cargo del propietario del mismo, por lo que se propondrá el tipo de bombillo y los tipos de luminarias a utilizar.

### 9.3.4.2.1. Sistema principal

*luminaria.* Se recomienda la utilización de una luminaria como la mostrada a continuación, es conocida como ojo de buey. En este caso es un ojo de buey de 6" Modelo 602, puede ser cualquier modelo similar.

Ilustración 278. Lámpara seleccionada para sistema de iluminación principal



(Lithonia Lighting, 2010)

La misma tiene la siguiente tabla de coeficientes de utilización, proporcionada por el fabricante.

Tabla 113. Coeficientes de utilización lámparas de sistema de iluminación principal

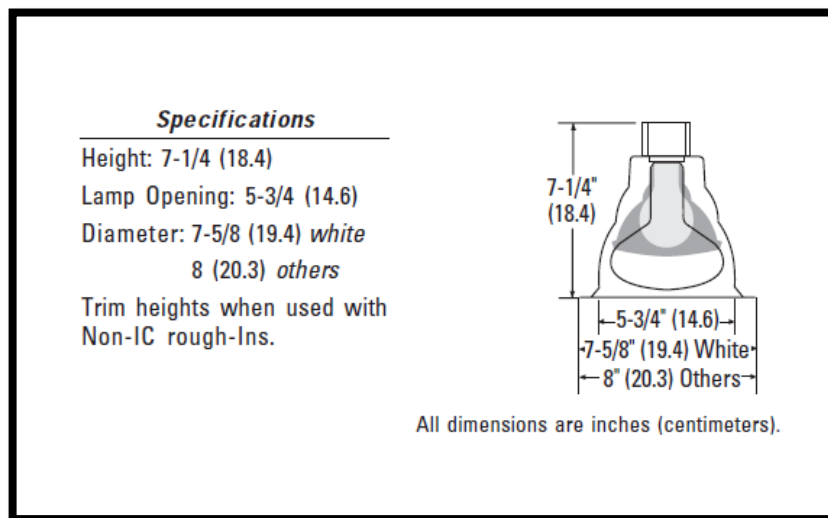
Reflectancia	Techo	80				70				50				30				0
	Pared	70	50	30	0	70	50	30	0	50	30	0	50	30	0	0		
0	87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.84	0.84	0.84	0.65	0.78	0.78	0.78	0.72	0.72	0.72	0.65		
1	0.79	0.76	0.72	0.7	0.76	0.73	0.7	0.55	0.68	0.66	0.64	0.63	0.62	0.6	0.54			
2	0.72	0.66	0.61	0.57	0.69	0.64	0.59	0.47	0.6	0.56	0.53	0.56	0.53	0.5	0.46			
3	0.66	0.58	0.53	0.48	0.63	0.57	0.51	0.4	0.53	0.48	0.45	0.5	0.46	0.43	0.39			
4	0.61	0.52	0.46	0.41	0.58	0.5	0.45	0.35	0.47	0.42	0.38	0.44	0.4	0.37	0.33			
5	0.56	0.47	0.4	0.35	0.54	0.45	0.39	0.3	0.43	0.37	0.33	0.4	0.36	0.32	0.29			
6	0.52	0.42	0.36	0.31	0.5	0.41	0.35	0.27	0.39	0.33	0.29	0.36	0.32	0.28	0.26			
7	0.48	0.38	0.32	0.27	0.46	0.37	0.31	0.24	0.35	0.3	0.26	0.33	0.29	0.25	0.23			
8	0.45	0.35	0.29	0.24	0.43	0.34	0.28	0.22	0.32	0.27	0.23	0.3	0.26	0.23	0.2			
9	0.42	0.32	0.26	0.22	0.4	0.31	0.26	0.2	0.3	0.25	0.21	0.28	0.24	0.21	0.18			
10	0.39	0.3	0.24	0.2	0.38	0.29	0.23	0.18	0.27	0.23	0.19	0.26	0.22	0.19	0.17			

(Lithonia lighting, 2010)

- **Bombillo.** La luminaria cuenta con capacidad para usar bombillos fluorescentes compactos, por lo que se seleccionará uno de este tipo. Se seleccionará un bombillo fluorescente compacto ya que su precio está adentro de los parámetros aceptables y presenta una eficiencia aceptable.

Se presentan las especificaciones provistas por el fabricante de la lámpara en donde se especifica el tamaño de bombilla que puede utilizar la lámpara, con esta información se seleccionara la bombilla a utilizar.

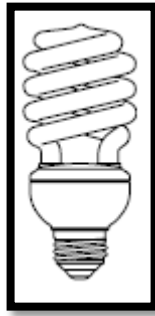
*Ilustración 279. Especificaciones de lámpara para sistema principal*



*(Lithonia Lighting, 2010)*

Al revisar el catálogo de bombillos de GE en la sección de lámparas fluorescentes compactas, se buscó una lámpara con una altura menor de 7.25in y de 5.75in de ancho, se seleccionó la bombilla modelo **FLE26HT3**. La cual tiene una altura de 5.2in por lo que cabe adentro de la luminaria, provee de 1660lumens y consume 26W por lo que su eficiencia es de 63.84lm/W. Con el rango de eficiencia se puede comparar con los otros bombillos de su tipo y podemos observar que supera varias veces a los bombillos incandescentes, y está dentro de los más eficientes de su clase. La temperatura del bombillo es de 6500°K lo cual nos da una luz de día, la cual es adecuada para una iluminación general.

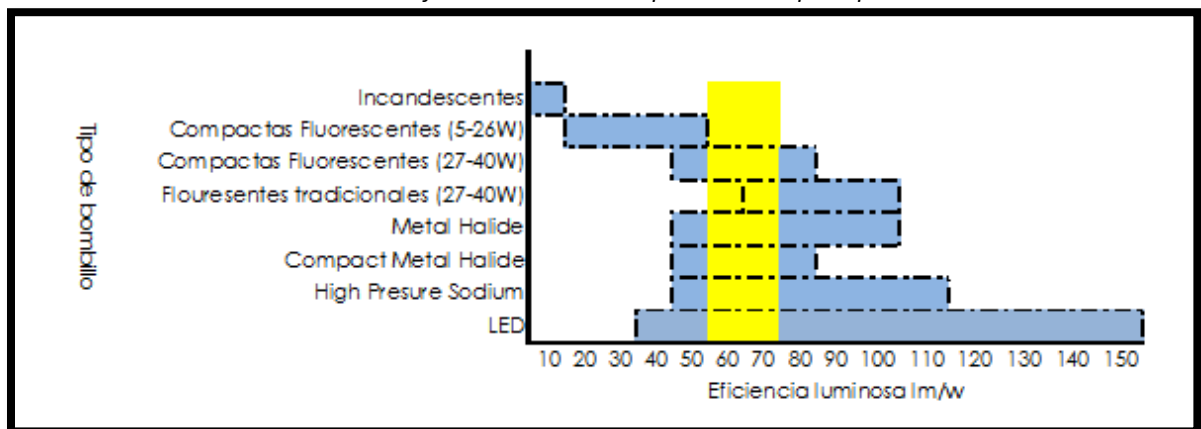
Ilustración 280. Bombillo seleccionado



(General Electric, 2010)

Se presenta en amarillo el rango de eficiencia de la bombilla:

Ilustración 281. Eficiencia de bombilla para sistema principal



(Elaboración propia, 2010)

Es importante mencionar que para una aplicación en el hogar, la mayoría de opciones de bombillos se reducen a Incandescentes, compactas fluorescentes y LED. Las más eficientes son las LED, pero tienen un elevado costo en la actualidad.

#### 9.3.4.2.2. Sistema secundario

- *Luminaria*. Se seleccionará una luminaria más pequeña que la principal, un ojo de buey de 4" de diámetro modelo E3B1

Ilustración 282. Lámpara seleccionada para sistema de iluminación secundario



(Lithonia Lighting, 2010)

La misma tiene la siguiente tabla de coeficientes de utilización, proporcionada por el fabricante.

Tabla 114. Coeficientes de utilización lámparas de sistema de iluminación secundario

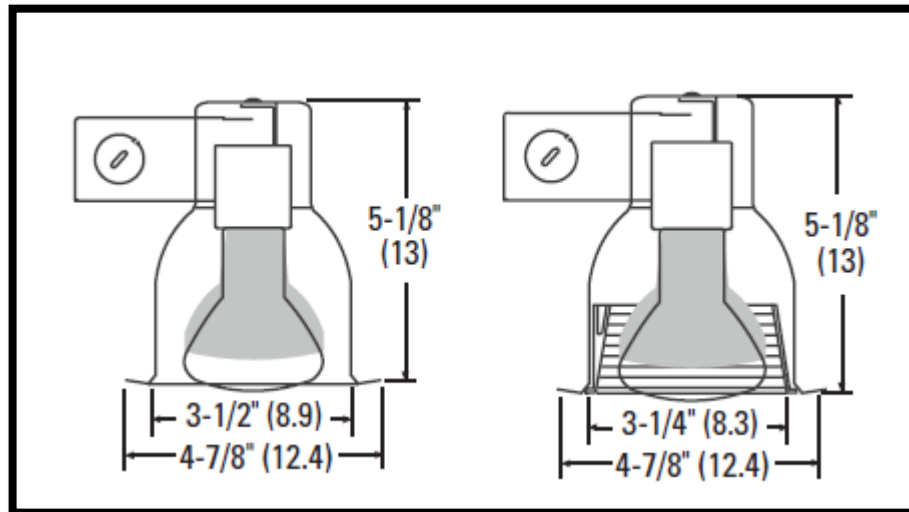
Reflectancia	Techo	80				70				50				30				0						
		Pared	70	50	30	0	70	50	30	0	70	50	30	0	70	50	30	0	70	50	30	0		
RCL	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	
	1	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	
	2	0.4	0.4	0.3	0.3	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
	3	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.3	0.3	0.2	0.3	0.3	0.2	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
	4	0.3	0.3	0.2	0.2	0.3	0.3	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
	5	0.3	0.2	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
	6	0.3	0.2	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1
	7	0.3	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	8	0.2	0.2	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	9	0.2	0.2	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
10	0.2	0.2	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	

(Lithonia Lighting, 2010)

- **Bombillo.** La luminaria cuenta con capacidad para usar bombillos incandescentes, por lo que se seleccionará un bombillo compatible con este tipo. No se seleccionarán incandescentes ya que los mismos no son eficientes y se seleccionará un bombillo led. Por tratarse del sistema de iluminación secundaria se instalarán menos bombillos que en el principal y se justificará la diferencia en el costo.

Se presentan las especificaciones provistas por el fabricante de la lámpara en donde se especifica el tamaño de bombilla que puede utilizar la lámpara, con esta información se seleccionará la bombilla a utilizar.

Ilustración 283. Especificaciones de lámpara para sistema secundario



(Lithonia Lighting, 2010)

Al revisar el catálogo de bombillos de LedLight.com, se buscó una lámpara con una altura menor de 5in y de 3in de ancho, se seleccionó la bombilla modelo **7 watt high power led source** provee de 800 lumens y consume 7W por lo que su eficiencia es de 114lm/W. Con el rango de eficiencia supera los otros bombillos de su tipo y podemos observar que supera varias veces a los bombillos incandescentes. La temperatura del bombillo puede ser de 6000°k o 7000°k o de 2800°k a 3000°k, por lo que se seleccionara la opción de 2800°k a 3000°k para que sea una luz amarilla.

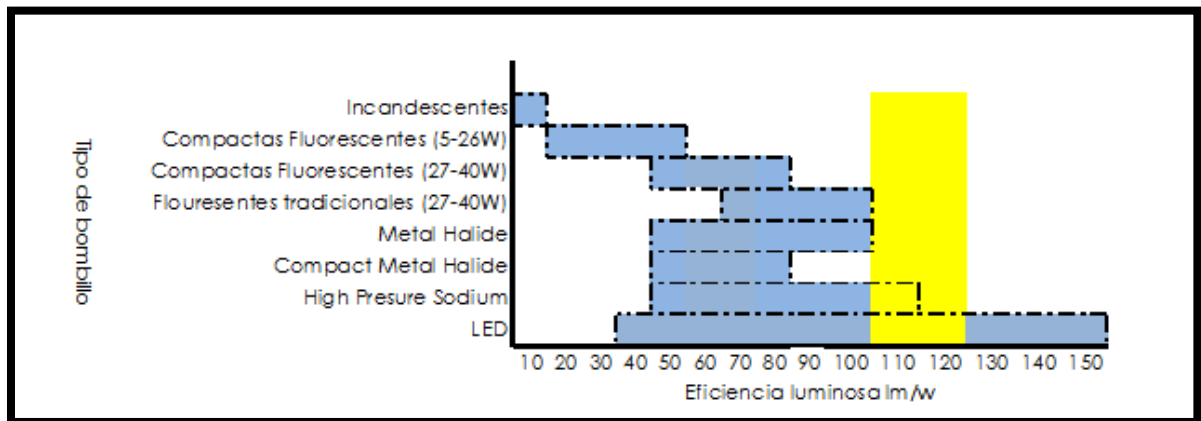
Ilustración 284. Bombillo seleccionado sistema de iluminación complementario



(LedLight.com, 2010)

Se presenta en amarillo el rango de eficiencia de la bombilla:

Ilustración 285. Eficiencia de bombilla para sistema de iluminación secundario



(Elaboración propia, 2010)

Es importante mencionar que para una aplicación en el hogar, la mayoría de opciones de bombillos se reducen a Incandescentes, compactas fluorescentes y LED. En este caso utilizaremos bombillos LED ya que a pesar de su alto costo se utilizaran pocos lo cual hará que sea una inversión manejable.

9.3.4.3. Cantidad y distribución de lámparas. Para la determinación de la cantidad de lámparas se utiliza la información recabada con anterioridad, a continuación se presenta la forma de calcular la cantidad de lámparas para una habitación, se utiliza como base la cocina y posteriormente se presenta una tabla con el cálculo de todas las habitaciones. Es importante mencionar que se usara un factor de pérdidas totales de 0.8. y se realizarán dos cálculos uno para el sistema de iluminación principal y otro para el sistema de iluminación secundario. La variación entre los dos cálculos será la cantidad de lúmenes y las áreas de estudio.

En el sistema de iluminación principal se calcularán las lámparas para las siguientes áreas:

- Cocina
- Sala-comedor
- Sala familiar
- Cuarto secundario
- Baño secundario
- Cuarto principal
- Baño principal-área general
- Baño principal-ducha
- Baño principal-servicio sanitario

- Walking closet
- Lavandería
- Cuarto de servicio
- Baño de servicio
- Pasillo 1
- Pasillo 2
- Baño de visitas

En el sistema de iluminación secundario se calcularán las lámparas para las siguientes áreas:

- Cocina
- Cuarto secundario
- Cuarto principal

*9.3.4.3.1. Cálculo modelo de la cantidad de lámparas.* Se tomará como ejemplo la determinación de las lámparas en la cocina.

- Determinación del nivel de iluminación deseado

$$E = 500 \text{luxes}$$

De acuerdo con el manual del alumbrado de Westing House por ser la cocina un ambiente de trabajo en donde se preparan alimentos se debe obtener un nivel de iluminación alto para lograr realizar estos trabajos de forma correcta.

- Determinación de las dimensiones
  - a. *Ancho = 4.63m*
  - b. *Largo = 5.29m*
  - c. *Alto = 3.40m*
  - d. *Altura del plano de trabajo = 0.9m*

A partir de la información contenida en los planos presentados se obtiene la información expuesta. La altura del plano del trabajo se determinó como 0.9m ya que esta es la altura a la cual típicamente están puestas las mesas de trabajo en las cocinas.

- Cálculo del área y plano de trabajo
  - a.  $\text{Área} = \text{Ancho} * \text{Largo} = 4.63m * 5.29m = 24.49m^2$
  - b.  $\text{Altura de cavidad} = \text{Alto} - \text{Altura del plano de trabajo}$   
 $= 3.40m - 0.9m = 2.5m$
- Determinación de reflectancias de área
  - a.  $\text{Piso} = 20\%$
  - b.  $\text{Paredes} = 60\%$
  - c.  $\text{Techo} = 80\%$

- Cálculo de relación de la cavidad del local

$$RCL = \frac{5 * \text{Altura de la cavidad} (\text{Largo} + \text{Ancho})}{\text{Largo} * \text{Ancho}}$$

$$RCL = \frac{5 * 2.50m (5.29m + 4.63m)}{5.29m * 4.63m}$$

$$RCL = 5$$

- Determinación de coeficiente de utilización

Para determinar el coeficiente de utilización se obtiene los coeficientes de utilización por parte del fabricante de la lámpara y se utilizan los valores de las reflectancias y la relación de la cavidad del local, y se hace una ponderación entre los valores para determinar el coeficiente de utilización adecuado para la situación.

$$CU = 0.43$$

- Determinación del factor de pérdidas totales

El factor de pérdidas totales fue fijado en 0.8, lo cual da un factor de seguridad la cantidad de iluminación que se percibirá en el cuarto.

$$FPT = 0.8$$

- Determinación de lúmenes por bombillo

La cantidad de lúmenes por bombillo serán de 1600, para la cocina se utilizara una variación de lámparas que se colocarán en el sistema de iluminación principal, se colocaran dos bombillas por lámpara, para obtener un total de 3200 lúmenes por lámpara.

- Cálculo de la cantidad de lámparas

Para determinar la cantidad de lámparas se utiliza la siguiente fórmula:

$$N = \frac{E * A}{\Phi * \# \text{ de bombillos} * Cu * FPT}$$

$$N = \frac{500lux * 24.49m^2}{1600lum * 2 * 0.43 * 0.8}$$

$$N = 11.12$$

- Decisión de diseño

De acuerdo al cálculo realizado se deben de colocar 11.12 lámparas, por cuestiones de diseño y de simetría se colocaran 10 ó 12 lámparas. A continuación se presenta un plano con la propuesta de iluminación para esta área.

Ilustración 286. Propuesta de iluminación principal para cocina

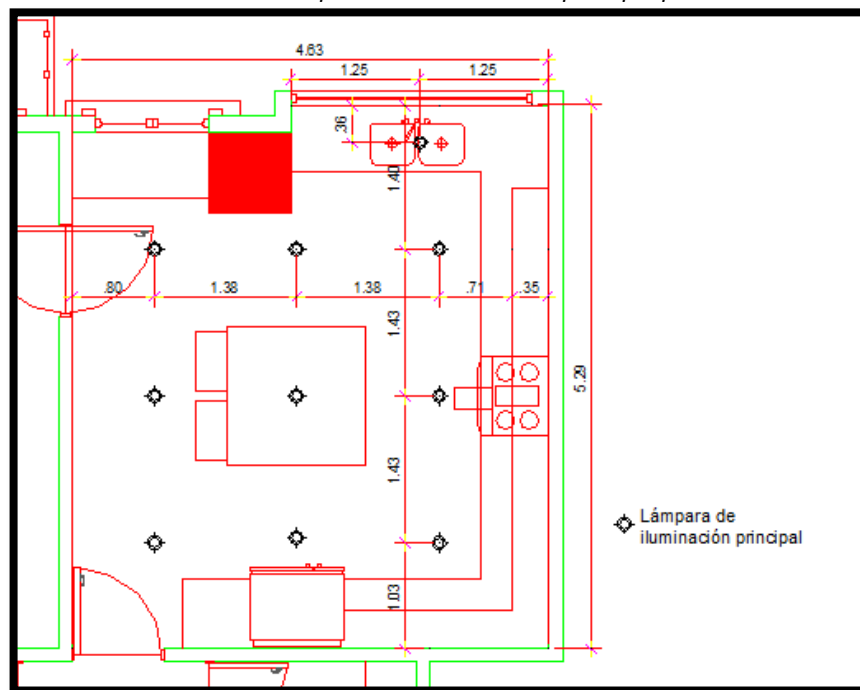


Tabla 115. Sistema de iluminación principal.

Área	E, deseado	Ancho (m)	Largo (m)	Alto (m)	Plano de trabajo (m)	Techo	Paredes	Piso*	Área (m2)	Altura de cavidad	RCL	CU	FPT	Lumenes por bombillo por lámpara	Cantidad de lámparas	Decisión de diseño	Comentarios
Cocina	500	4.63	5.29	3.4	0.9	80%	60%	20%	24.49	2.5	5	0.43	0.8	3200	11.1	20	Misma lámpara con 2 bombillos
Sala-Comedor	100	5.03	7.9	3.4	0.7	80%	60%	20%	39.74	2.7	4	0.565	0.8	1600	5.5	6	
Sala familiar	100	3.68	5.63	3.4	0.7	80%	60%	20%	20.72	2.7	6	0.47	0.8	1600	3.4	4	
Cuarto secundario	50	4.25	4.45	3.4	0.7	80%	60%	20%	18.91	2.7	6	0.47	0.8	1600	1.6	2	
Baño secundario	100	1.5	2.58	3.4	0.7	80%	60%	20%	3.87	2.7	14	0.345	0.8	1600	0.9	1	
Cuarto Principal	50	4.25	5.07	3.4	0.7	80%	60%	20%	21.55	2.7	6	0.47	0.8	1600	1.8	2	
Baño principal-Área general	100	1.69	3.38	3.4	0.7	80%	60%	20%	5.71	2.7	12	0.345	0.8	1600	1.3	2	
Baño principal-Ducha	150	1.5	1.9	3.4	0.7	80%	60%	20%	2.85	2.7	16	0.345	0.8	1600	1.0	1	
Baño principal-S. Sanitario	100	1.33	1.43	3	0.7	80%	60%	20%	1.90	2.3	17	0.345	0.8	1600	1.0	1	
Walking Closet	100	2.31	3.87	3.4	0.7	80%	60%	20%	8.94	2.7	9	0.37	0.8	1600	1.9	2	
Lavandería	150	2.46	2.85	3.4	0.7	80%	60%	20%	7.01	2.7	10	0.345	0.8	1600	2.4	3	
Cuarto de Servicio	50	2.17	2.85	3.4	0.7	80%	60%	20%	6.18	2.7	11	0.345	0.8	1600	0.7	1	
Baño de servicio	100	2.01	1.2	3.4	0.7	80%	60%	20%	2.41	2.7	18	0.345	0.8	1600	0.5	1	
Pasillo 1	100	2.2	4.61	3.4	0.7	80%	60%	20%	10.14	2.7	9	0.37	0.8	1600	2.1	2	
Pasillo 2	100	1.47	2.27	3.4	0.7	80%	60%	20%	3.34	2.7	15	0.345	0.8	1600	0.8	1	
Baño de visitas	100	2.03	1.55	3.4	0.7	80%	60%	20%	3.15	2.7	15	0.345	0.8	1600	0.7	1	

Tabla 116. Iluminación secundaria

Área	Ubicación específica	E, deseado	Ancho (m)	Largo (m)	Alto (m)	Plano de trabajo (m)	Techo	Paredes	Piso*	Área (m2)	CL (m)	RCL	CU	FPT	Lumenes por bombillo	Cantidad de lámparas	Decisión de diseño
Cocina	Iluminación de estar	200	3.3	1.41	3.4	0.7	80%	60%	20%	4.65	2.7	14	0.18	0.8	800	8.1	8 Lámparas
Cuarto secundario	Cabecera	300	0.85	2.7	3.4	0.7	80%	60%	20%	2.30	2.7	21	0.2	0.8	800	5.4	5 Lámparas
Cuarto Principal	Cabecera	200	0.84	4.25	3.4	0.7	80%	60%	20%	3.57	2.7	19	0.2	0.8	800	5.6	5 Lámparas
Cuarto Principal	Televisión	200	0.7	4.25	3.4	0.7	80%	60%	20%	2.98	2.7	22	0.18	0.8	800	5.2	5 Lámparas

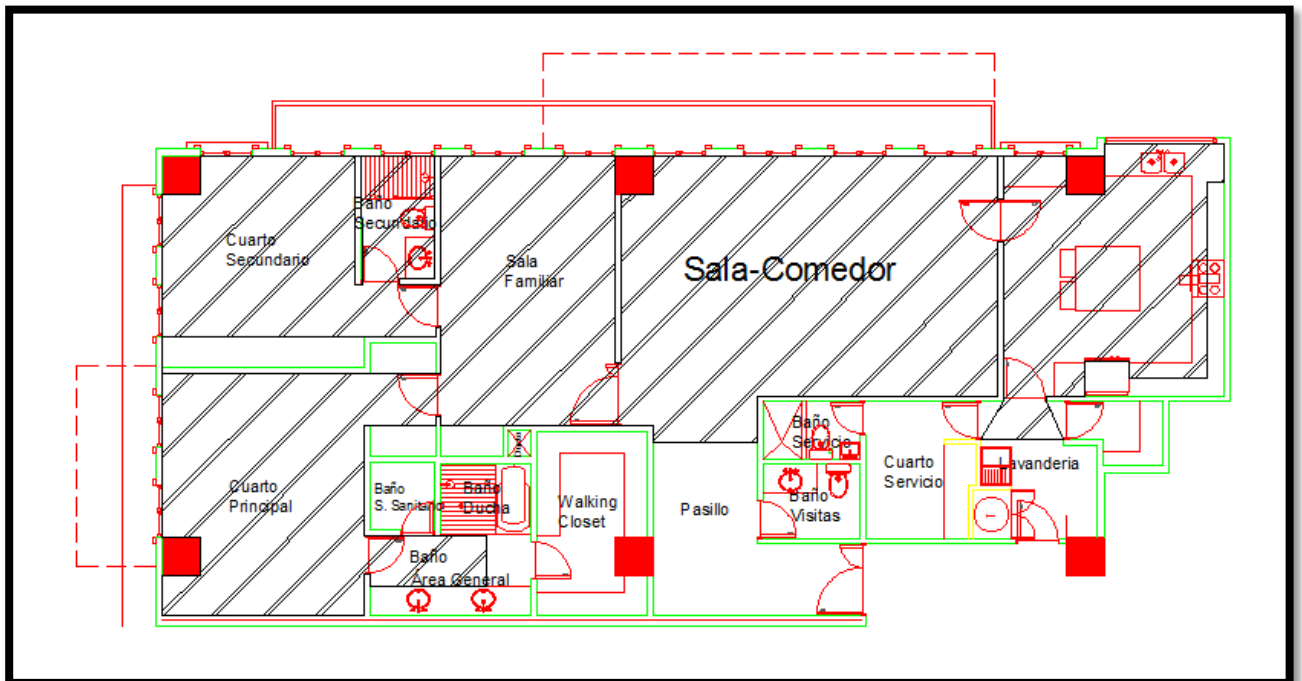
9.3.4.4. Iluminación natural. Por las limitaciones económicas de este estudio no se ha logrado comprar el equipo necesario para medir los factores de iluminación natural en una maqueta. Por lo que únicamente se analizarán el diseño de los sistemas de iluminación natural.

#### 9.3.4.4.1. Ventanas

##### Regla 2.5H

A continuación se presenta la ilustración en donde se ha hecho un asurado con un ancho igual a 2.5 veces el alto de las ventanas. Como se observó en la sección al principio del análisis la ventana tiene 2.40m de alto, por lo que la franja ashurada es de: 6m.

Ilustración 287. Regla 2.5h



Como se puede observar gran parte del apartamento tendrá acceso a la iluminación natural, las áreas que no lo tendrán son: Baños, Walking Closet, área de servicio. Al hacer la comparación entre área ashurada (con iluminación natural) y área total, podemos obtener el siguiente factor:

$$\text{Áreas que cuentan con I. Natural} = \frac{A_{\text{ashurada}}}{\text{Area}} = \frac{130.27\text{m}^2}{208\text{m}^2} = 0.62 = 62\%$$

Lo cual indica que se tendrá alrededor del 62% de iluminación natural en todo el apartamento, también es importante mencionar que si excluimos las áreas de menor circulación como lo serán los baños, closets y pasillos de entradas, este porcentaje se eleva a:

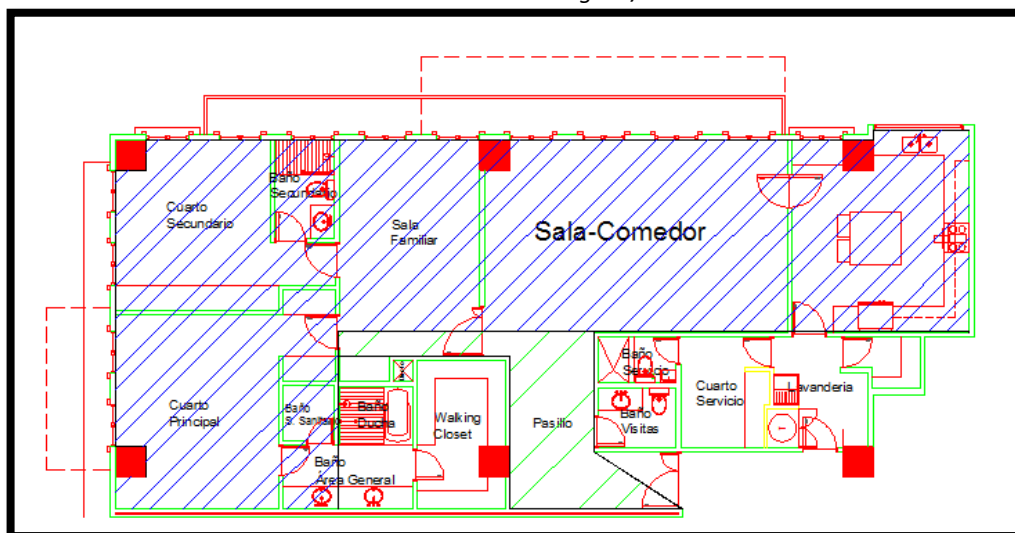
$$\text{Á con I. Natural}_{\text{mayor ocupación}} = \frac{A_{\text{ashurada}}}{A_{\text{mayor ocupación}}} = \frac{130.27\text{m}^2}{142\text{m}^2} = 0.91 = 91\%$$

Como se puede observar al hacer el análisis del apartamento, tomando en cuenta únicamente las áreas con mayor ocupación o uso, se obtiene que el 91% del apartamento contara con iluminación natural durante el día.

#### Regla 5/10

A continuación se presenta una ilustración en donde se encuentran ashurados los primeros 5m a partir de las ventanas lo cual indica que no se necesitará ningún tipo de iluminación artificial y en ashurado menos denso se indican los segundos 5m a partir de las ventanas en donde se necesitará algún tipo de iluminación artificial complementaria.

Ilustración 288. Regla 5/10



Como se observa todas las áreas de mayor ocupación cuentan con excelente iluminación natural únicamente el área de servicios y los baños no. A continuación se obtendrán las relaciones entre las áreas asuradas y las áreas totales

$$Area_{en\ primeros\ 5m} = \frac{A_{mas\ densa}}{A_{mayor\ ocupación}} = \frac{137.27m^2}{208m^2} = 0.65 = 65\%$$

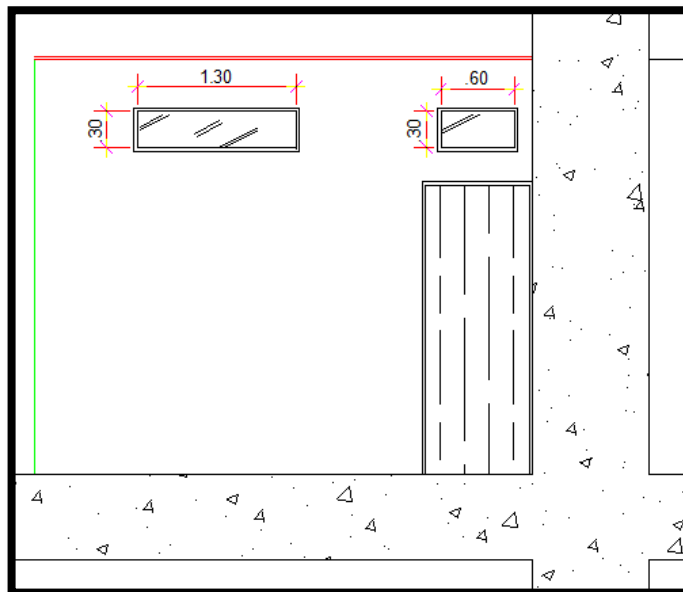
$$Area_{en\ segundos\ 5m} = \frac{A_{menos\ densa}}{A_{mayor\ ocupación}} = \frac{14.81m^2}{208m^2} = 0.07 = 7\%$$

Lo cual significa que el 65% del apartamento no necesitará ningún tipo de iluminación durante el día y del restante 35% un 7% únicamente necesitará iluminación complementaria y el restante 28% necesitará iluminación artificial. Es importante recalcar que el 28% de las áreas que no cuentan con iluminación natural son las áreas de menor ocupación.

#### 9.3.4.4.2. Recomendaciones

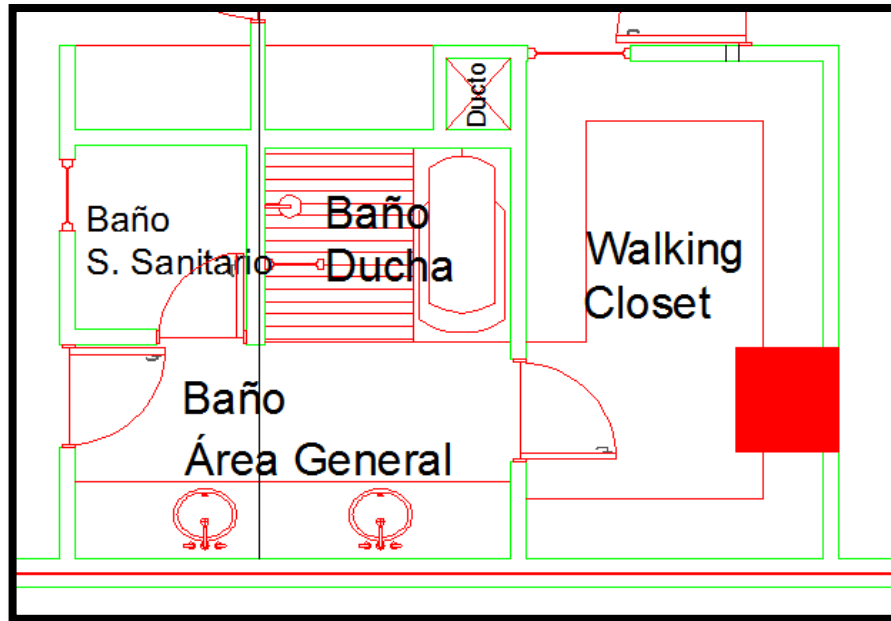
- Colocar ventanas en el cuarto de servicio y el área de servicio dando hacia el pasillo general. Esto permitirá el ingreso de luz natural de manera directa a al área de servicio, lo que hará que se reduzca el uso de la iluminación artificial en esta área. Se puede considerarla utilización de alguna película como sand blast por cuestiones de privacidad.

Ilustración 289. Ventanas en área de servicio



- Creación de ventanas en el walking closet y en el servicio sanitario del baño principal para iluminación natural. De la misma forma se recomienda el uso de película de sand blast por temas de privacidad.




Ilustración 290. Ventanas en SS y WC



Es importante recordar que estas recomendaciones son desde el punto de vista de eficiencia energética e iluminación natural, y no toman en cuenta la estética y arquitectura del apartamento.

9.3.4.5. Equipo con bajo consumo energético. De acuerdo a la información proporcionada por los desarrolladores el apartamento se entregara con: horno, microondas, lavadora de platos, refrigeradora, hornillas, secadora y lavadora de ropa. Únicamente se revisaron las especificaciones de: Lavadora de platos, refrigerada y secadora y lavadora de ropa en la página de los fabricantes, ya que para el resto del equipo no aplica el sello Energy Star, y la información obtenida fue la siguiente:

Tabla 117. Equipos evaluados

Equipo	Marca/modelo	Foto	Eficiencia
Refrigeradora	Whirpool Gold/RBS307PVS		Cumple con los Requisitos (Whirpool, 2010)
Lavadora de platos	Whirpool Gold / DU1055XTVS		Cumple con los requisitos (Whirpool, 2010)
Combo de lavadora de ropa y secadora	Whirpool/ WET3300SQ ó WGT3300SQ		No cumple con los requisitos. (Whirpool, 2010)

Al hacer la revisión de los equipos sale a la luz que el 50% de los equipos analizados no cumplen con los requisitos expuestos en la guía ya que ni la secadora ni la lavadora de ropa cuentan con el sello energy star, por lo que se recomienda cambiar estos equipos por alguno que cumpla, al revisar el catalogo de la misma marca se encontró varios equipos que cumplen con el sello, la diferencia será el tamaño de los mismos ya que no existen en torre.

9.3.4.6. Ventilación. Se debe determinar el tipo de edificación que se está analizando para así poder evaluar que medidas de mejora abran.

- Tipo de edificación: No generadora de calor interno

- Determinación de la temperatura máxima, para la ciudad de Guatemala:

Se realizó la consulta con el departamento de meteorología del INSIVUMEH para obtener la información de la temperatura de bulbo húmedo y seco del año 2009, los datos obtenidos fueron los siguientes:

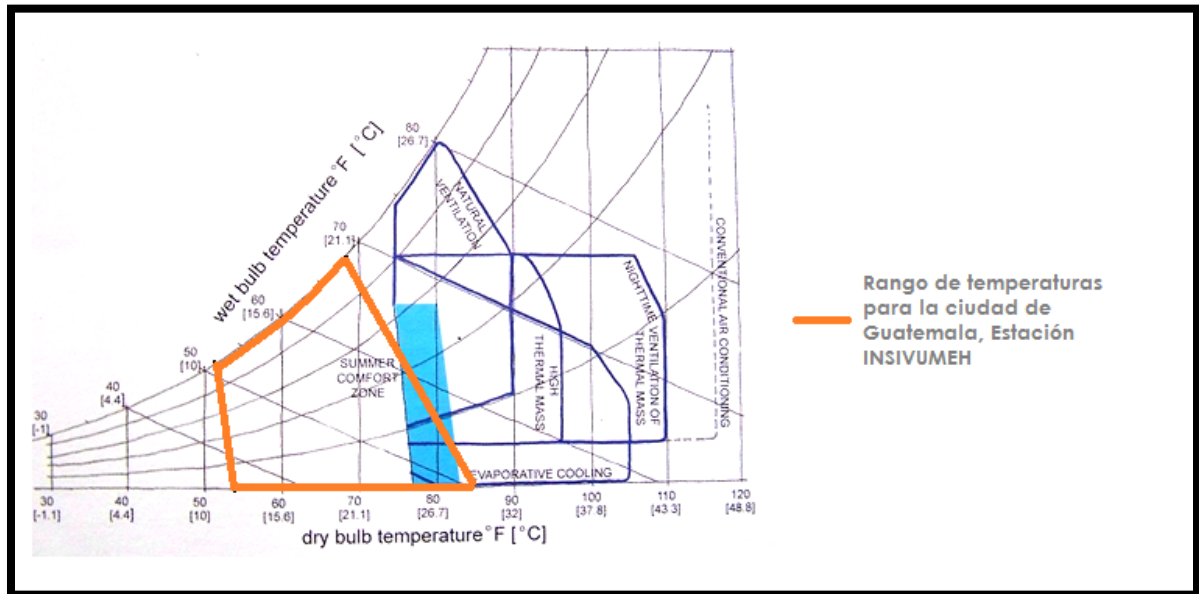
*Tabla 118. Valores de temperaturas máximas y mínimas, de bulbo húmedo y seco*

2009 Mes	Temperatura Máxima		Temperatura Mínima	
	B. Húmedo	B. Seco	B. Húmedo	B. Seco
Enero	17.9	27.40	9.1	9.80
Febrero	21	29.60	9.2	9.50
Marzo	18.9	28.00	7.6	8.40
Abril	25	31.50	11	13.00
Mayo	21	30.40	15	15.00
Junio	20.5	30.00	16	14.00
Julio	22.8	27.20	14	15.50
Agosto	20.4	27.90	13.8	15.00
Septiembre	21.5	29.80	12.4	16.10
Octubre	21.4	28.60	13.8	15.00
Noviembre	20.4	28.00	11.4	12.80
Diciembre	19.4	27.80	10.4	10.30
<b>Promedio</b>	<b>20.85</b>	<b>28.85</b>	<b>11.98</b>	<b>12.87</b>

(Alvarado, 2010)

- Determinación de horarios y épocas de uso, Por ser un apartamento el mismo se usará a lo largo de todo el día y se utilizará todo año ya que siempre habrá alguien viviendo en el lugar.
- Determinar la estrategia de ventilación a utilizar, se usan los valores obtenidos en el INSIVUMEH y se utiliza la grafica presentada por Kwok & Grondzik en donde se obtiene interceptan los resultados obtenidos y se obtiene la siguiente gráfica:

Ilustración 291. Rango de temperaturas para la ciudad de Guatemala.



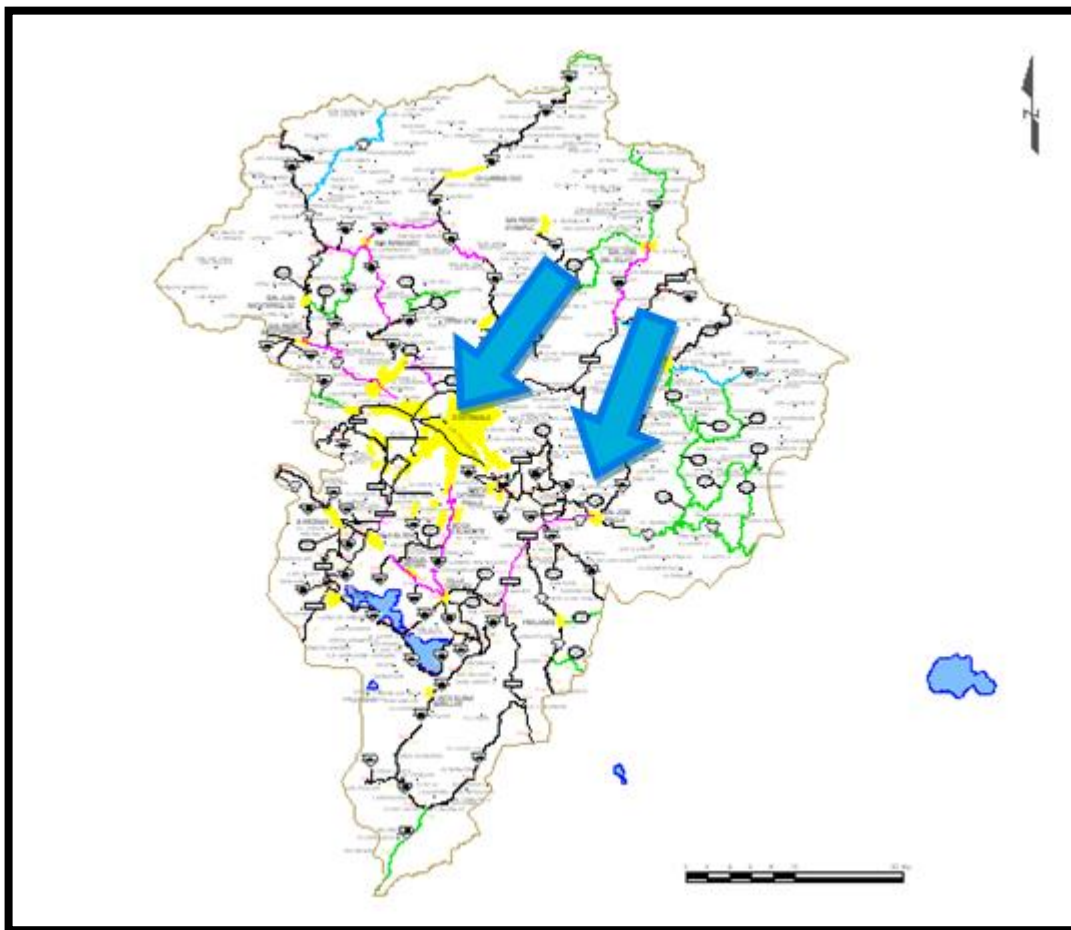
(Adaptación propia de: INSIVUMEH y Kwok & Grondzik, 2010)

Como se observa la estrategia para la ventilación en la ciudad de Guatemala debe ser la ventilación natural ya que no existen temperaturas tan altas como para utilizar otros métodos. Esto quiere decir que un correcto diseño de la ventilación natural debe ser suficiente para mantener la temperatura ambiente del apartamento en un rango agradable.

- Eficiencia del sistema. Por la forma, tamaño y ubicación de las ventanas, además de la poca creación de calor en el apartamento el diseño de la ventilación será suficiente, únicamente se deberá de tomar en cuenta dos parámetros.
  - Ubicación frente al sol
  - Ubicación frente al viento predominante

A continuación se presenta una gráfica adaptada del INSIVUMEH y covial en donde se observa la ubicación del edificio respecto al viento predominante, esto será muy importante para lograr determinar si el viento entrará en el apartamento o no.

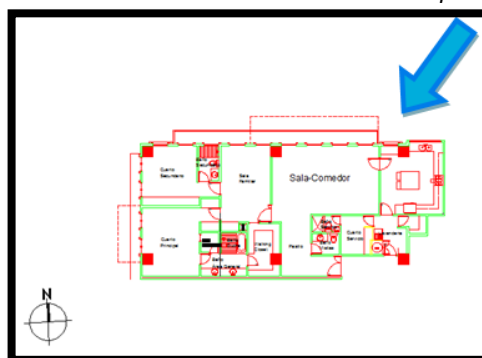
*Ilustración 292. Viento predominante en la ciudad de Guatemala*



(Covial, 2008) (Insivumeh, Departamento de investigación y servicios metereologicos)

Como se observa en la imagen, el viento predominante en la ciudad de Guatemala es el viento norte, (Que viene del norte y va al sur). Esta información se traslada al plano del apartamento y se genera la siguiente imagen.

*Ilustración 293. Dirección del viento sobre el apartamento*



(Elaboración propia 2010)

Al observar la imagen se concluye que el apartamento tendrá una adecuada ventilación ya que el aire pegara sobre la mayor parte de sus áreas. Es importante resaltar el hecho de que el apartamento puede ser muy frío ya que por su ubicación el sol nunca le pegará directamente.

#### 9.3.4.7. Generación de energía eléctrica dentro de la edificación

De acuerdo a lo platicado con los desarrolladores del proyecto se planea la instalación de calentadores de agua solares, los cuales sustituirán los calentadores de agua tradicionales. Para determinar la cantidad de energía eléctrica producida o ahorrada por los calentadores solares, realizaremos una aproximación acerca del consumo de energía eléctrica en el apartamento con y sin calentadores. De esta forma se podrá determinar qué porcentaje de energía eléctrica es generada por los paneles solares.

Se realizó una entrevista con el Ing. Germán del León en donde se obtuvo información acerca de la forma de determinar el consumo de energía eléctrica en una residencia. Se completo la información recabada con la información del fabricante de los diferentes equipos que se colocarán en la casa y con el diseño de iluminación propuesto.

*Tabla 119. Consumo de energía eléctrica aproximada con calentador de paso*

Descripción	Cantidad	Watts/u	Horas de uso	Factor de uso	Watts/hora
<b>Bombillos de I. Principal</b>	50.00	26.00	6.00	0.80	6240.00
<b>Bombillos de I. Secundaria</b>	23.00	7.00	6.00	0.80	772.80
<b>Tomas de fuerza</b>	41.00	200.00	2.00	0.40	6560.00
<b>Calentador de paso</b>	1.00	600.00	2.00	1.00	1200.00
<b>Horno</b>	1.00	7200.00	0.07	1.00	480.00
<b>Hornillas</b>	1.00	2000.00	1.00	1.00	2000.00
<b>Microondas</b>	1.00	1200.00	0.25	1.00	300.00
<b>Lavadora de platos</b>	1.00	1800.00	1.00	1.00	1800.00
<b>Lavadora de ropa</b>	1.00	2160.00	0.50	1.00	1080.00
				Watts/hora/dia	20432.80
				kWh/mes	612.984

*(De Leon, 2010) (Whirpool, 2010)*

Tabla 120. Consumo de energía eléctrica aproximada con calentador solar

Descripción	Cantidad	Watts/u	Horas de uso	Factor de uso	Wats/hora
<b>Bombillos de I. Principal</b>	50.00	26.00	6.00	0.80	6240.00
<b>Bombillos de I. Secundaria</b>	23.00	7.00	6.00	0.80	772.80
<b>Tomas de fuerza</b>	41.00	200.00	2.00	0.40	6560.00
<b>Calentador de tambo</b>	1.00	0.04	2.00	1.00	0.08
<b>Horno</b>	1.00	7200.00	0.07	1.00	480.00
<b>Hornillas</b>	1.00	2000.00	1.00	1.00	2000.00
<b>Microondas</b>	1.00	1200.00	0.25	1.00	300.00
<b>Lavadora de platos</b>	1.00	1800.00	1.00	1.00	1800.00
<b>Lavadora de ropa</b>	1.00	2160.00	0.50	1.00	1080.00
				Watts/hora/dia	19232.88
				kWh/mes	576.98

(De Leon, 2010) (Whirpool, 2010)

Como se puede observar el consumo total al mes con el uso de un calentador solar es de 576kWh, y con el uso de un calentador normal es de 612 kWh. Obtendremos la cantidad de energía ahorrada que esto representa por medio de la siguiente formula.

$$\%A = \left(1 - \frac{\text{Consumo con calentador solar}}{\text{Consumo con calentador de paso}}\right) * 100\% = \left(1 - \frac{576kWh}{612kWh}\right) * 100\% = 6\%$$

Lo cual presenta un ahorro del 6% en el consumo de energía, con las tasas actuales de consumo incluyendo impuestos y otros cargos aplicables, implica un ahorro de alrededor de:

Tasa Q/kWh: Q2.20

kWh ahorrados: 612kWh-576kWh:36kWh

Ahorro mensual aproximado: Q80.00

## 9.4. Tratamiento de aguas residuales

Con el objetivo de utilizar la guía de evaluación del tratamiento de aguas residuales y manejo de desechos sólidos desarrollada, se consideró evaluar un proyecto residencial que se construirá en la Ciudad de Guatemala. Este proyecto residencial contará con 48 viviendas, 42 de ellas serán apartamentos con los nombres de: Vásquez, Córdoba, Asturias y Mérida; y 6 casas individuales con los nombres de: Arce, Brañas, Goyri y 3 de ellas con el nombre de Valenti. Debido a que el proyecto es nuevo y aún no genera aguas residuales ni desechos

sólidos, se pretende evaluar los planos hidrosanitarios, evaluar si cuentan con distribución de drenajes adecuados y con tratamientos necesarios para descargar el agua cumpliendo con el Reglamento, y recomendar todo lo que necesitan implementar para poder tener un tratamiento de aguas residuales adecuado y un manejo de desechos controlado.

*Tabla 121. Datos generales del proyecto a evaluar*

<b>Área del terreno (m<sup>2</sup>)</b>	<b>9,403</b>
<b>Área de construcción (m<sup>2</sup>)</b>	14,407.83
<b>Área permeable (m<sup>2</sup>)</b>	2,392.93
<b>Área de techos (m<sup>2</sup>)</b>	3,472.97
<b>Cantidad de apartamentos</b>	42
<b>Casas</b>	6
<b>Área promedio de apartamento (m<sup>2</sup>)</b>	284
<b>Población planteada</b>	260

La evaluación del tratamiento de aguas residuales en el proyecto de residenciales se realizó con el objetivo de verificar la forma en que manejarán sus aguas residuales. El objetivo fue verificarlo por medio de los planos hidrosanitarios, y recomendar lo que se debe de hacer para tener un tratamiento controlado y efectivo. El primer paso fue determinar la cantidad de agua residual que descargará el proyecto residencial, y la caracterización del agua esperada. Con base a esa información se verificó la cantidad de carga orgánica que debe de eliminar la planta de tratamiento de aguas para cumplir con la Etapa Cuatro del Reglamento o descargar las aguas con una mejor calidad a éstas exigencias. Luego, se explicaron todos los requisitos que son obligatorios tener según la guía de evaluación del tratamiento de aguas planteada anteriormente. Para evaluar el sistema de colectores y drenajes, se visualizaron los planos, se verificó que se tuviera una división de drenajes sanitarios y pluviales, y se visualizó si tienen algún pre-tratamiento de aguas previsto y una disposición final de las aguas residuales. Por último se propuso un tratamiento de aguas para cumplir con el reglamento o superarlo, y un sistema de reuso del agua residual y aprovechamiento del agua pluvial.

9.4.1. Caudal y caracterización de aguas residuales esperadas. Para calcular la cantidad de agua residual que generará el proyecto residencial se utilizó la Tabla 56, ya que se presentan los caudales de aguas típicos generados diariamente por diferentes fuentes. Para el proyecto residencial se utilizó la fuente de apartamento de alto *standing* para los 42 apartamentos y vivienda de clase alta para las seis casas individuales. Se calcularon los caudales en base a estas fuentes y se sumó el resultado para obtener el caudal medio que generará el proyecto.

Tabla 122. Caudales medios y picos a descargar por el proyecto residencial

Caudal	Valor
<b>Q medio (m<sup>3</sup>/día)</b>	52.81
<b>Q medio (m<sup>3</sup>/hora)</b>	2.20

Por medio de la Tabla 47, se determinó la caracterización de aguas residuales esperadas por el proyecto. Esto se determinó asumiendo que es un agua residual típica y no posee contaminantes que por lo general no se encuentran en este tipo de aguas como: concentración alta de metales pesados, elevado número de nutrientes, pH fuera del rango permitido, etc. La caracterización esperada se puede observar en la Tabla 123.

Tabla 123. Concentración de contaminantes esperada de descarga

Parámetro	Unidades	Valor
<b>Materia flotante</b>	Cualitativo	Presente
<b>Ph</b>	Unidades	7
<b>DBO<sub>5</sub></b>	mg/L	392
<b>DQO<sub>5</sub></b>	mg/L	784*
<b>Sólidos en suspensión</b>	mg/L	436
<b>Grasas y aceites</b>	mg/L	70
<b>Nitrógeno total</b>	mg/L	43
<b>Fósforo</b>	Mg/L	8
<b>Coliformes fecales</b>	Num/100 ml	10 <sup>8</sup>

\*Asumiendo que la relación DBO/DQO es de 2 debido a que el origen de las aguas residuales son domésticas.

Como se puede observar, la caracterización esperada está con una concentración superior a la permitida por el Reglamento, por lo que el proyecto residencial deberá de implementar un sistema de tratamiento de aguas residuales. Dicho tratamiento tiene que ser dimensionado para soportar un caudal de 52.81 m<sup>3</sup>/día y una caracterización esperada según la Tabla 123. En la Tabla 124 se muestra la cantidad de carga que se producirá en el proyecto residencial. Dicha carga se calculó por medio de la Ecuación 1.

*Tabla 124 Cargas orgánicas calculadas*

Parámetro	Unidades	Carga
<b>DBO</b>	kg/día	20.70
<b>DQO</b>	kg/día	41.40
<b>Grasas y Aceites</b>	kg/día	3.69
<b>Sólidos en Suspensión</b>	kg/día	23.02

9.4.2. **Requisitos de evaluación.** En la sección 4.9 se explicó la forma de evaluar un tratamiento de aguas residuales con el objetivo de asegurar, por medio de la evaluación, que un proyecto tiene un seguimiento de su tratamiento de aguas y está descargando sus efluentes con concentraciones de contaminantes permitidas o superiores a las exigidas por el Reglamento, además de evaluar si están reutilizando sus aguas residuales o aprovechando sus aguas pluviales. Como se explicó en esta sección, se debe contar con unos requisitos para poder evaluar el proyecto, estos requisitos son obligatorios por el Reglamento, por lo que se pretende que todo proyecto que entre a ser evaluado cumpla al menos con lo que exige el Reglamento. A continuación se presentan los requisitos que debe de tener el proyecto residencial.

#### Estudio técnico de aguas residuales

El proyecto debe tener realizado su estudio técnico de aguas residuales. Dicho estudio debe de incluir lo siguiente:

- Nombre, razón social o denominación social.
- Persona de contacto con el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.
- Descripción de las actividades que realiza el proyecto.

- Horarios de descarga de aguas residuales.
- Descripción del tratamiento de aguas residuales.
- Caracterización del efluente de aguas residuales, incluyendo sólidos sedimentables.
- Caracterización de aguas de reuso.
- Caracterización de lodos a disponer.
- Caracterización del afluente,
- Identificación del cuerpo receptor al que se descargan las aguas residuales.
- Identificación del alcantarillado público al cual se van a descargar las aguas residuales.
- Enumeración de parámetros exentos de medición.

Se deberá de contar con la siguiente información:

- Plano de localización, ubicación, con coordenadas geográficas.
- Plano de localización y ubicación de los planos finales.
- Plan de gestión de aguas residuales.
- Plan de tratamiento de aguas residuales.
- Informes de resultados.

*(MARN, 2005)*

Hay que mencionar que dicho Estudio debe ser renovado cada cinco años.

#### Estudio de impacto ambiental

El complejo residencial deberá detener su Estudio de Impacto Ambiental o Diagnóstico Ambiental avalado por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.

#### Cumplimiento con la etapa cuatro del reglamento

Se exige que el proyecto cumpla con la etapa cuatro del reglamento según el destino final al que se descargue el agua residual. El proyecto residencial se conecta al colector 9-10, por lo que debe de cumplir con los límites máximos permitidos por la Etapa Cuatro del Reglamento para entes generadores conectados al alcantarillado público. Además de ser un requisito para poder ser evaluado, es obligatorio ya que es ente generador nuevo. A continuación se presentan los límites máximos permitidos de descarga que el proyecto debe de cumplir.

Tabla 125 Límites máximos permisibles de descarga al alcantarillado público

			Fecha máxima de cumplimiento			
			Dos de mayo de dos mil once	Dos de mayo de dos mil quince	Dos de mayo de dos mil veinte	Dos de mayo de dos mil veinticuatro
			Etapa			
Parámetros	Dimensionales	Valores iniciales	Uno	Dos	Tres	Cuatro
Temperatura	Grados Celsius	<40	<40	<40	<40	<40
Grasas y aceites	mg/L	1500	200	100	60	60
Materia flotante	Ausencia/presencia	Presente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Sólidos suspendidos	mg/L	3500	1500	700	400	200
Nitrógeno total	mg/L	1400	180	150	80	40
Fósforo total	mg/L	700	75	40	20	10
Potencial de hidrógeno	U pH	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9
Coliformes fecales	NMP 100 ml.	< 1x10 <sup>8</sup>	< 1x10 <sup>6</sup>	< 1x10 <sup>5</sup>	< 1x10 <sup>4</sup>	< 1x10 <sup>4</sup>
Arsénico	mg/L	1	0.5	0.1	0.1	0.1
Cadmio	mg/L	1	0.4	0.1	0.1	0.1
Cianuro Total	mg/L	6	3	1	1	1
Cobre	mg/L	4	4	3	3	3
Cromo hexavalente	mg/L	1	0.5	0.1	0.1	0.1
Mercurio	mg/L	0.1	0.1	0.02	0.02	0.01
Níquel	mg/L	6	4	2	2	2
Plomo	mg/L	4	1	0.4	0.4	0.4
Zinc	mg/L	10	10	10	10	10
Color	UPC	1500	1300	1000	750	500

(MARN, 2005)

Según la concentración de contaminantes esperada, Tabla 123, la planta de tratamiento de aguas residuales del proyecto residencial debe de ser capaz de remover y regular los siguientes parámetros para cumplir con el Reglamento:

Tabla 126 Concentraciones esperadas y máxima permitida.

Parámetro	Unidades	Concentración esperada	Concentración máxima permitida por el Reglamento.
<b>DBO (mg/L)</b>	mg/L	392	200
<b>Materia flotante</b>	mg/L	Presente	Ausente
<b>Sólidos en suspensión (mg/L)</b>	mg/L	436	200
<b>Grasas y aceites (mg/L)</b>	mg/L	70	60
<b>Coliformes fecales (NMP /100 ml)</b>	NMP /100 ml	10 <sup>8</sup>	10 <sup>4</sup>
<b>Nitrógeno (mg/L)</b>	mg/L	43	40

Tabla 127 Remoción mínima para el cumplimiento de la Etapa 4

Parámetro	Unidades	Carga a remover para el cumplimiento del Reglamento	Porcentaje de Remoción
<b>DBO</b>	kg/día	10.56	48.97%
<b>Sólidos en suspensión</b>	kg/día	10.56	54.12%
<b>Grasas y aceites</b>	kg/día	3.16	14.28%
<b>Coliformes fecales</b>	NMP /100 ml	10 <sup>4</sup>	50%

Se puede observar que para cumplir con el reglamento se tiene que remover un 48.97% de DBO, 54.12% de Sólidos en suspensión, 14.28% de grasas y aceites, y 50% de coliformes fecales.

#### Sistema de colectores separativos para aguas pluviales y aguas residuales

Al examinar todos los planos del proyecto residencial, se pudo observar que tienen un sistema de colectores separativos para aguas negras y aguas pluviales, cumpliendo con este requisito para la evaluación. En la Ilustración 297 se puede observar que las aguas residuales se recolectan por separado del agua pluvial y cada una se descarga a su colector

correspondiente. Se pudo observar que únicamente las aguas residuales son descargadas a la planta de tratamiento, asegurando que no haya variaciones en el caudal a tratar y en la caracterización del agua durante todo el año debido a las lluvias. Se pudo observar el colector completo de aguas pluviales en donde se transporta toda el agua de lluvia hacia el colector municipal sin descargarse a la planta de tratamiento de aguas residuales. Las aguas residuales y las pluviales se juntan posterior al tratamiento para ser descargados al colector municipal.

El proyecto residencial muestra en los planos de las casas Arce, Brañas, Goyri y Valenti, trampas de grasa para la separación de las mismas producidas en las actividades de cocina. En la Ilustración 294 se puede observar el detalle de las aguas residuales de cocina conectadas a una trampa de grasa. Este proceso es considerado un pre-tratamiento y ayuda a que las aguas residuales lleguen a la planta de tratamiento separadas de grasas, evitando que se formen saturaciones de las mismas y afecte el sistema de drenajes con taponamientos.

Por otro lado, se puede observar en la Ilustración 295, que las casas Valenti poseen un tratamiento secundario que consiste en un biodigestor anaerobio con capacidad de  $2 \text{ m}^3$ , que según lo especificado en el plano, removerá el 85% de la demanda bioquímica de oxígeno. Éste es considerado un tratamiento secundario para el conjunto de casas Valenti, y un pre-tratamiento para el complejo residencial, ya que las aguas tratadas por el biodigestor son bombeadas hacia el colector general de aguas negras que descarga a la planta de tratamiento de aguas residuales del residencial. Como se puede observar, el biodigestor de las casas Valenti únicamente trata las aguas del nivel de los sótanos. Esto se debe a que en este nivel están las lavanderías y un baño con inodoro y regadera para cada casa, por lo que bombear el agua residual al primer nivel resultaría defectuoso debido a los sólidos y contaminantes que estas aguas poseerán. Este biodigestor, removerá los contaminantes y asegurará que el sistema de bombeo no tenga dificultades ni obstrucciones para bombear las aguas residuales generadas en los sótanos hacia el primer nivel para que posteriormente se descarguen hacia el colector de aguas negras.

Ilustración 294 Trampas de grasa en cocinas

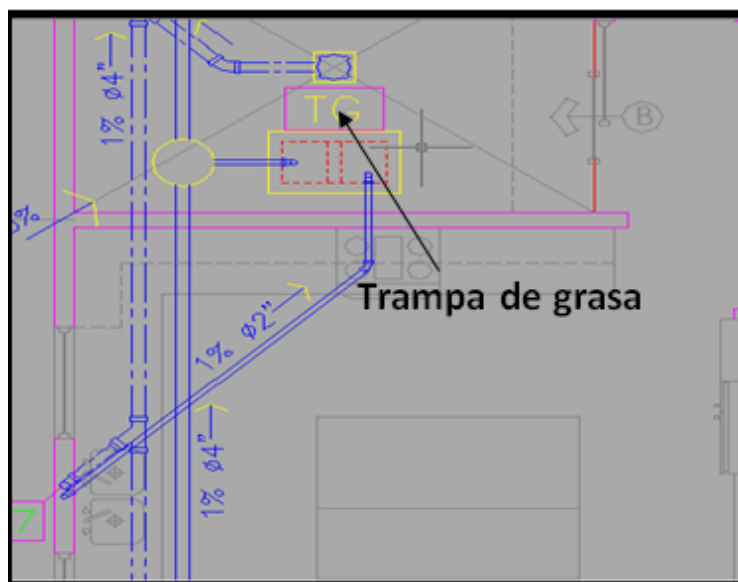
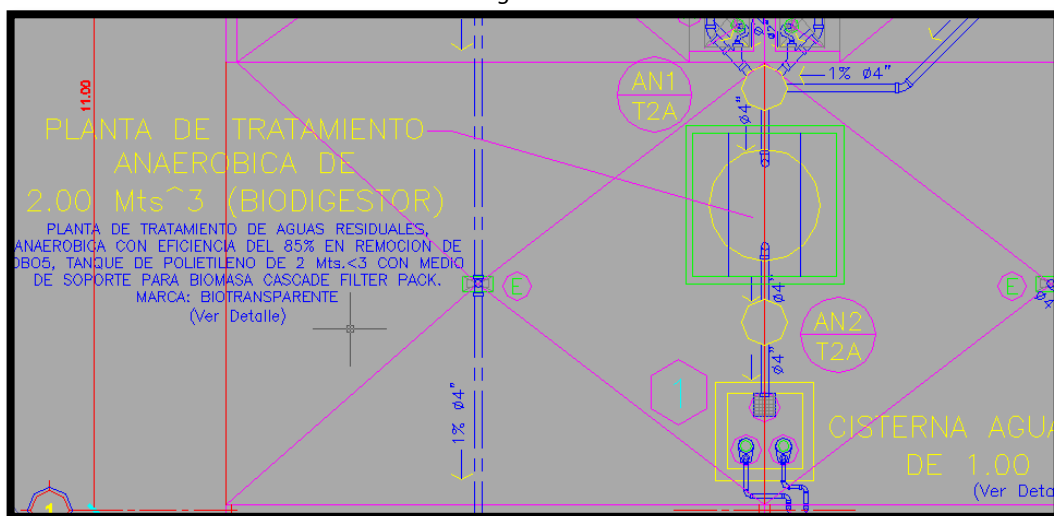


Ilustración 295. Digestor de las casas Valenti



Se considera que el transporte de las aguas residuales del proyecto residencial está diseñado de forma efectiva ya que separa sus aguas negras de sus aguas pluviales y posee pre-tratamientos en las casas para evitar saturaciones de grasas en las tuberías y drenajes.

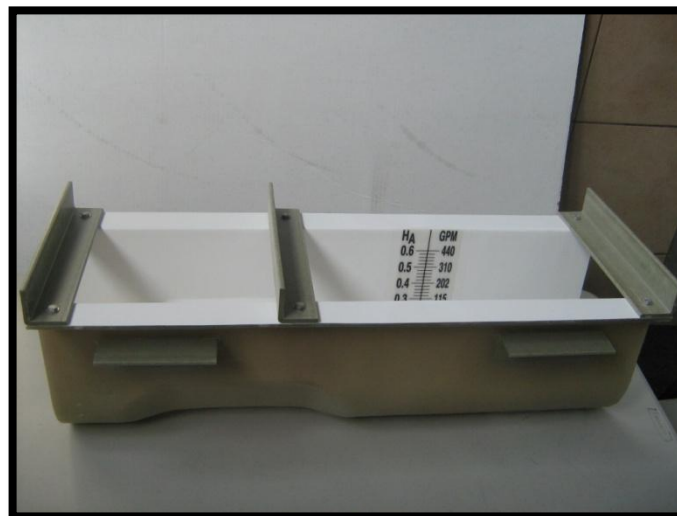
#### Dispositivo de toma de muestras y medición de caudal

El proyecto residencial debe de tener un dispositivo de toma de muestras y medición de caudal. Este puede estar localizado en la descarga de la planta de tratamiento de aguas

residuales. El propósito de esto es poder determinar el caudal de descarga de aguas negras y poder realizar los análisis correspondientes al calendario establecido en el Estudio Técnico de Aguas Residuales. Como se mencionó anteriormente, se debe hacer un muestreo por lo menos cada seis meses y archivarlos para tener un control de los efluentes de las aguas residuales. Los análisis del afluente y efluente deben ser realizados por un laboratorio autorizado y ellos deben recolectar la muestra a analizar según lo especificado en el Reglamento.

Para facilitar la toma de muestras y la medición de caudal se recomienda colocar un dispositivo de toma de muestras calibrado. Esto agilizará la medición del caudal y se podrá determinar en cualquier momento para alguna inspección.

*Ilustración 296. Dispositivo de medición de caudal calibrado*

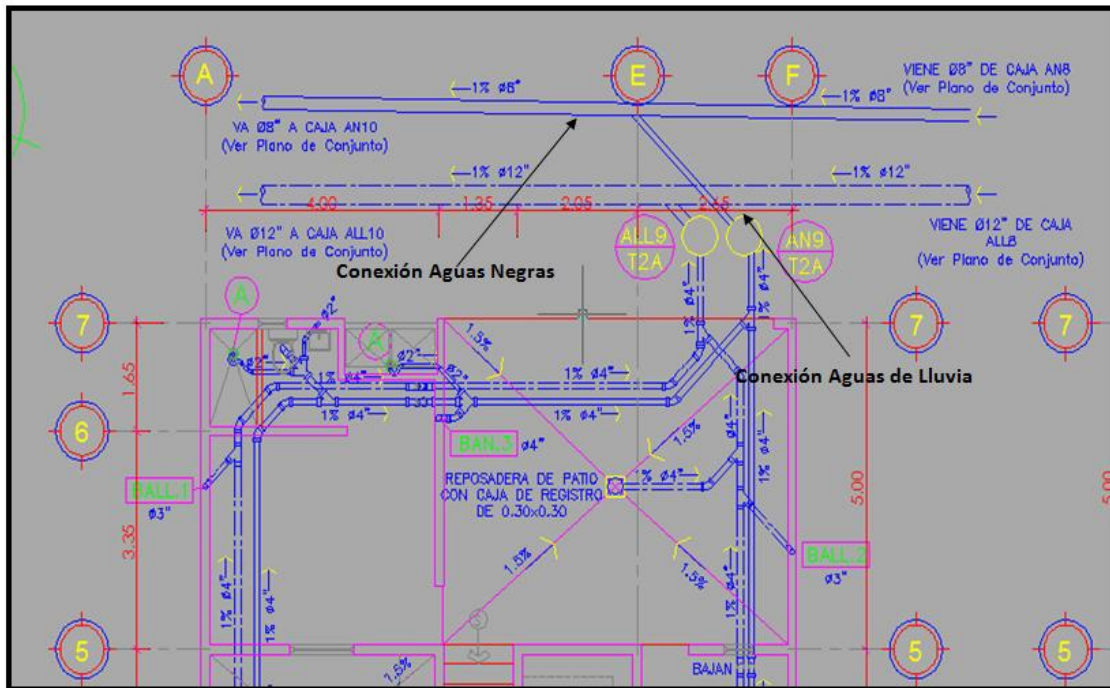


*Fuente:Elaboración Propia*

#### Manejo de lodos según el reglamento

Cuando se necesite extraer de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales, se tiene que contratar a una empresa que haga el trabajo, y constar que la descarga de esos lodos sea en un lugar autorizado en donde le den el tratamiento adecuado para su desecho. Los lodos deben ser muestreados según lo exigido por el Reglamento.

Ilustración 297. Detalle de separación de aguas negras y aguas pluviales (Casa Brañas)



9.4.3. Descarga de la planta de tratamiento de aguas residuales. Para mejorar el tratamiento de las aguas residuales, y el proyecto descargue el efluente de una mejor forma, se recomienda que la planta de tratamiento sea más eficiente para remover en una concentración más baja que los valores permitidos por la Etapa Cuatro del Reglamento.

Haciendo esto, el proyecto estaría dando un poco más de lo esperado y no quedándose simplemente con un tratamiento que cumpla con los límites máximos permitidos por el Reglamento.

Se determinó la carga final de DBO y Sólidos en Suspensión, y el porcentaje de remoción que se tendría que tener en la planta de tratamiento para poder reducir de un 10 a 50% menos de DBO y Sólidos en Suspensión.

Para poder llegar a estos porcentajes, se necesita la implementación de tratamientos de aguas residuales que puedan remover las cargas orgánicas para llegar a obtener estos valores. Las remociones necesitadas en la planta de tratamiento para cada porcentaje de remoción se presentan a continuación.

Tabla 128. Cargas de DBO y porcentaje de remoción.

Porcentaje menor al reglamento	Concentración de DBO descargar (mg/L)	Carga de DBO (kg/día) a descargar	Porcentaje de remoción sobre los parámetros iniciales
<b>10%</b>	180	9.50	54.08%
<b>20%</b>	160	8.44	59.18%
<b>30%</b>	140	7.39	64.28%
<b>40%</b>	120	6.33	69.38%
<b>50%</b>	100	5.28	74.48%

Tabla 129. Cargas de sólidos en suspensión y porcentaje de remoción.

Porcentaje menor al reglamento	Concentración de SST (mg/L)	Carga de SST (kg/día) a descargar	Porcentaje de remoción sobre los parámetros iniciales
<b>10%</b>	180	9.50	54.08%
<b>20%</b>	160	8.44	59.18%
<b>30%</b>	140	7.39	64.28%
<b>40%</b>	120	6.33	69.38%
<b>50%</b>	100	5.28	74.48%

Para que el residencial trate sus aguas de forma eficiente, se propone el siguiente tratamiento:

Ilustración 298 Tratamiento de aguas propuesto



Fuente: Elaboración Propia

Como pre-tratamiento se debe de considerar la implementación de trampas de grasa en las casas individuales y en los apartamentos del complejo residencial. Se puede evaluar la implementación de una trampa de grasa con un volumen mayor que las implementadas en las casas para tratar todas las aguas de cada edificio. Lo único que se tendría que hacer es separar las aguas de cocina de cada edificio, y descargarlas hacia una trampa e grasa para luego ser conectadas hacia el colector de aguas negras.

En la entrada de la planta de tratamiento de aguas residuales se recomienda la implementación de rejillas con el fin de retener todos los sólidos mayores que se hayan ido en el drenaje de aguas negras como: bolsas, plásticos. Las rejillas deberán ser limpiadas cada cierto tiempo para evitar que éstas se saturen de desechos e impedir el flujo de aguas.

Como tratamiento primario se recomienda la implementación de un sedimentador primario. Esto hará que se remueva gran cantidad de sólidos sedimentables y en suspensión, y reducir un porcentaje de la demanda bioquímica de oxígeno. Con este tratamiento se asegura que las aguas residuales estén preparadas para el tratamiento secundario.

Para un tratamiento secundario se puede implementar un digestor anaerobio o aerobio. La decisión dependerá de los encargados del proyecto. Debido a que la planta de tratamiento de aguas residuales es considerada pequeña, se podría implementar un tanque séptico o un tanque imhoff como tratamientos anaerobios. Estos pueden ir colocados bajo tierra, por lo que no afectaría el lugar actual en donde se tiene pensado construir la planta de tratamiento.

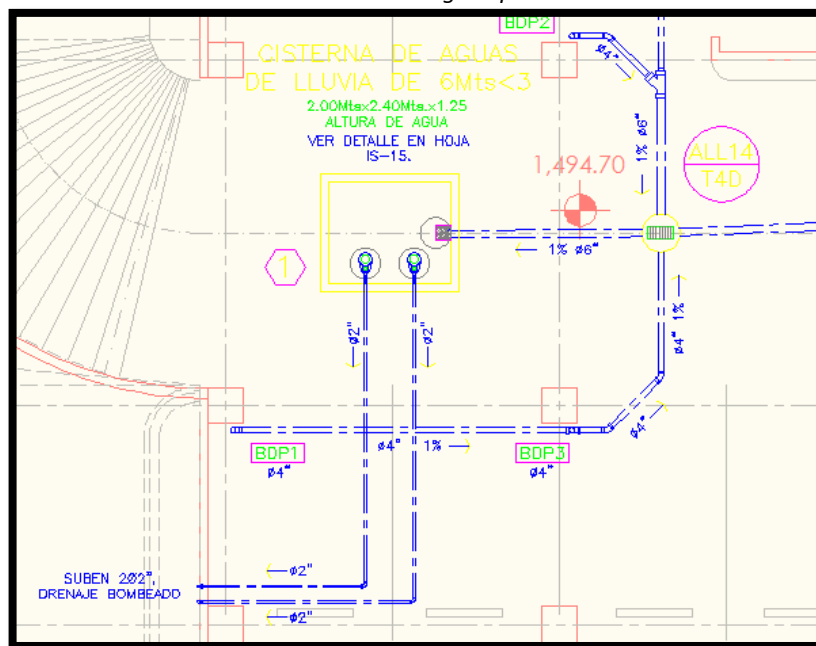
Como tratamiento terciario se puede implementar un dispositivo de cloración por medio de pastillas de hipoclorito de calcio. Con esto se asegurará una desinfección de las aguas residuales y estar por debajo de las cantidades máximas de coliformes fecales que exige el reglamento.

**9.4.4. Reutilización de agua residual.** Al observar los planos hidrosanitarios del proyecto residencial, no se pudo apreciar un sistema para el reuso de aguas residuales. Las aguas del efluente de la planta de tratamiento son transportadas al colector municipal. Estas aguas residuales podrían ser reusadas para riego o para las cisternas de los inodoros y mingitorios. Para esto, se debería separar sus tuberías de aguas sanitarias con las que llenan las cisternas y de riego, y alimentarlas con las aguas residuales a reutilizar. Para poder evaluar esto, el proyecto debe presentar los planos con las tuberías separadas y especificar en los mismos que las aguas de las cisternas son aguas de reuso. También se

deberá colocar rótulos que indiquen a las personas sobre el reuso de aguas para evitar que tengan contacto directo con ella, y sea de uso exclusivo para riego y para los inodoros.

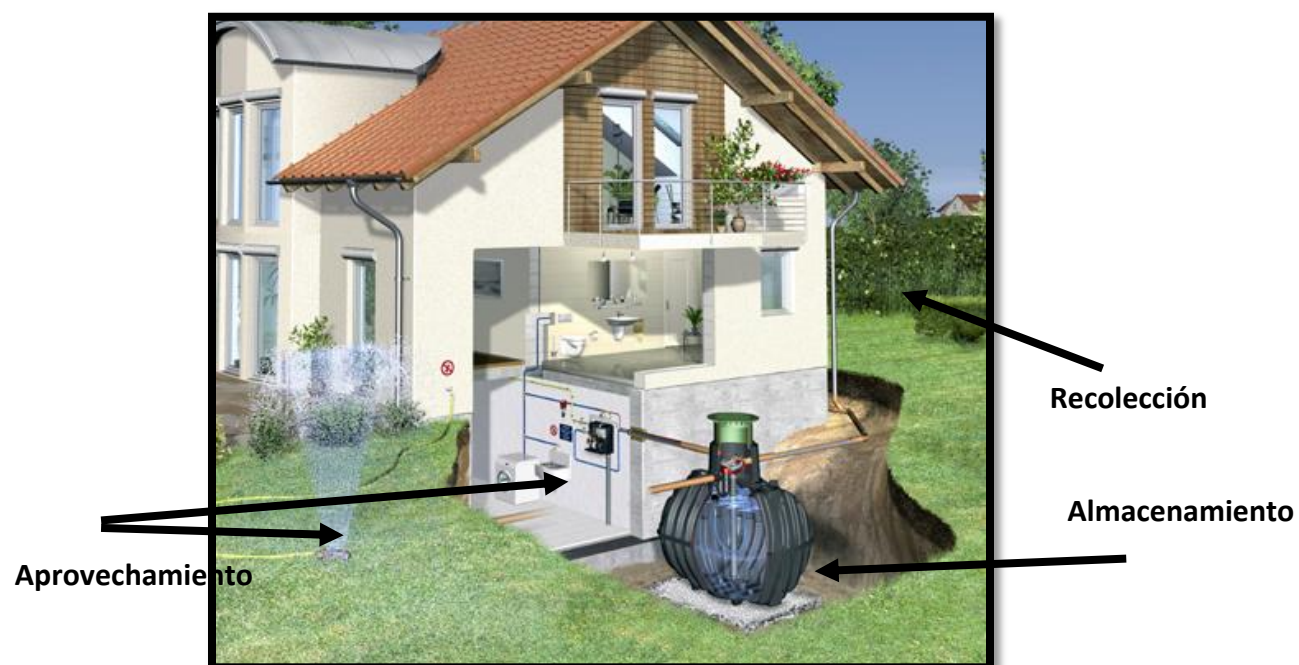
9.4.5. **Aprovechamiento del agua pluvial.** Al observar los planos del proyecto residencial se puede determinar que no se cuenta con un sistema de aprovechamiento de agua pluvial ya que estas se recolectan y se descargan al colector de aguas de lluvia. Los sótanos se cuenta con cisternas para recolectar las aguas pluviales que descargan hacia este nivel. Estas aguas son recolectadas y bombeadas hacia el colector de aguas pluviales. Se debería examinar el aprovechamiento de esta cisterna para reutilizar el agua recolectada en las cisternas de los edificios. Además de un ahorro del recurso hídrico, se tendría un ahorro económico de consumo de agua. Según lo observado, la cisterna sólo tiene capacidad para recolectar las aguas que descargan hacia el sótano, por lo que si se quiere aprovechar toda el agua pluvial que es recolectada por un edificio, la cisterna debería de ser de mayor capacidad.

*Ilustración 299. Cisterna de recolección de aguas pluviales del sótano de los edificios.*



El proyecto de ahorro de agua también podría implementarse en las casas individuales, implementando un sistema de recolección y almacenamiento, con el fin de reutilizarla en riego y cisternas de inodoros y lavadoras de ropa.

Ilustración 300. Esquema de sistema de aprovechamiento de agua pluvial para una casa



Fuente: <http://www.minu/index.php/?p=8508evohogar.cl>

## 10. CONCLUSIONES

1. El capítulo de Urbanismo Sostenible de la Guía para la Evaluación del Impacto Ambiental de Construcciones es un acercamiento integral a la reducción del impacto ambiental, rentabilidad de los proyectos y vida comunitaria para el usuario.
2. La aplicación de la guía ataca problemas como esparcimiento urbano, disminución de nivel freático, contaminación de agua, infraestructura excesiva, riesgo a la construcción y ser humano, pérdidas de ecosistemas, inseguridad, desarrollo económico, entre otros.
3. El desarrollo VÍA SIETE mostró deficiencias en las áreas de contingencia para la conservación de árboles, contaminación de escorrentía y consideraciones hacia el peatón. Se requiere de una planificación, optimización de áreas impermeables y jardinería del sitio post intervención para arreglar dichas deficiencias.
4. Para lograr la sostenibilidad deben estar involucrados desarrolladores, diseñadores, planificadores, ejecutores y usuarios.
5. El Urbanismo Sostenible ayuda en cuanto a la conservación ecológica, flora, fauna, zonas de alto interés ecológico e hidrológico, capacidad soporte del ecosistema.
6. Un buen nivel de protección solar es esencial para edificaciones verdes. El objetivo es alcanzar la suficiente protección solar para mantener el requerimiento de energía para la climatización lo más bajo posible. El arreglo de protección solar es de acuerdo a cierta manera o tipo de película y puede ser regulado adicionando elementos fijos o móviles.
7. El principal objeto de un techo con almacenamiento de agua es para captar y almacenar agua de lluvia para utilizar dentro de la edificación para demandas de agua no potable y reducir el consumo de agua. Con el aumento en el costo del suministro de agua, el uso de agua pluvial almacenada puede generar un ahorro significativo, así como una disminución en el consumo de energía para bombear agua.
8. Dejando por un lado las excepciones, para todos los usos que se le den a la tierra, en cualquier patrón de desarrollo, en todo tipo de zona, gran parte del pavimento a construir puede realizarse como pavimento poroso, ya que ofrecen efectos ambientales que son geográficamente de amplio espectro y funcionalmente multifacéticos.
9. En condiciones normales de curado, la resistencia desarrollada del mortero o concreto en el que el cemento es parcialmente reemplazado por ceniza volante es menor a temprana edad que el mortero o concreto convencional.

10. El diseño de la iluminación no debe ser realizado solo por el gusto del arquitecto o diseñador, ya que se deben tomar factores como el tipo de lámparas a utilizar, la cantidad de luz que provee cada lámpara, el tipo de bombillos, para que se va a utilizar el ambiente, etc.
11. En la ciudad de Guatemala no se necesita el uso de aire acondicionado a menos que sea una edificación que genere calor
12. La utilización de paneles solares para un sistema de calentamiento de agua genera un ahorro de alrededor del 6% del consumo de energía eléctrica en un apartamento de 208m<sup>2</sup>.
13. De acuerdo a la bibliografía revisada siempre será más fácil reducir el consumo de energía eléctrica que la generación de energía eléctrica por medio de fuentes renovables.
14. El diseñador debe tomar en cuenta que siempre será más barato realizar un diseño energéticamente eficiente desde el principio que realizar cambios cuando la construcción está terminada.
15. El diseño de un edificio energéticamente eficiente es un proceso relativamente sencillo si se toman desde el principio las medidas necesarias para lograrlo.
16. Los puntos críticos para el control del tratamiento de aguas residuales son: tener una separación de drenajes de aguas pluviales y aguas negras, determinar la ubicación del dispositivo o los dispositivos de descarga, tener un registro de los análisis realizados anteriormente, contar con un dispositivo de toma de muestras y medición de caudal adecuado y tener un sistema de tratamiento de aguas que cumpla o supere los requerimientos de descarga del Reglamento.
17. Los puntos críticos para el control del tratamiento de aguas residuales son: tener una separación de drenajes de aguas pluviales y aguas negras, determinar la ubicación del dispositivo o los dispositivos de descarga, tener un registro de los análisis realizados anteriormente, contar con un dispositivo de toma de muestras y medición de caudal adecuado y tener un sistema de tratamiento de aguas que cumpla o supere los requerimientos de descarga del Reglamento.
18. El tratamiento de aguas residuales debe ser dimensionado con la máxima capacidad de caudal a utilizar en el proyecto.

19. Para el control de un manejo adecuado de desechos sólidos se necesita realizar una clasificación preliminar, una cuantificación de desechos, un almacenamiento final y tener identificado un lugar para la disposición final y su reciclaje.
20. El proyecto evaluado cumple con una distribución separada de drenajes de aguas negras, aguas de proceso y aguas pluviales.
21. El proyecto evaluado necesita implementar una planta de tratamiento de aguas residuales para un volumen medio de  $52.81\text{m}^3/\text{día}$ .
22. Para que el proyecto cumpla con los parámetros del Reglamento necesita implementar un tratamiento biológico para la remoción de DBO, DQO y sólidos en suspensión, y un tratamiento terciario para la eliminación de coliformes fecales. Para que el proyecto tenga una remoción de 10% por debajo de la Etapa Cuatro del Reglamento, tiene que remover un 54.08% de concentración del DBO de las condiciones iniciales, para un 20% tiene que remover un 59.18%, para un 30% menos tiene que remover un 64.28%, para un 40% menos tiene que remover un 69.38% y para un 50% menos tiene que remover una concentración de DBO inicial del 74.48%.

## 11. RECOMENDACIONES

1. Hacer una evaluación del valor ecológico de cada uno de los renglones evaluados de a manera de poder ponderar cada uno con respecto a dicho valor.
2. Hacer un estudio de rendimiento económico para cada punto de evaluación con el fin de presentar el costo de implementación, comparación con métodos convencionales y el tiempo de recuperación de la inversión inicial.
3. Hacer un estudio mercadológico sobre el efecto en el precio e imagen de un proyecto ecológico.
4. Al que se someta a la evaluación, leer la guía a modo de ampliar su conocimiento y criterio previo a diseñar.
5. A aquel que evalúe el proyecto, tener profundo conocimiento del tema, ya que a pesar de dejar los renglones de la manera más específica posible, si entra en juego la interpretación del evaluador.
6. La consciencia ecológica y respeto al medio ambiente debe estar en la forma de desarrollar, diseñar, construir y vivir, de lo contrario, los esfuerzos tomados por uno no serán completamente aprovechados y se quedarán al borde de lograr la sostenibilidad.
7. Utilizar todos los documentos, estudios y recomendaciones referidos para abarcar todos los temas referentes al Urbanismo Sostenible.
8. Evaluar la localización del desarrollo a nivel de paisaje, barrio y terreno.
9. La eficiencia energética es un punto que se debe de tomar en cuenta desde los primeros bosquejos arquitectónicos.
10. Se debe de procurar realizar mayores controles sobre las edificaciones en Guatemala desde el punto de vista de eficiencia energética.
11. Los sistemas de información del INSIVUMEH deben de ser actualizados para así poder contar con la información procesada, específicamente en el caso de las temperaturas de bulbo húmedo.
12. Se debe de realizar un estudio que ligue los distintos aspectos ambientales para lograr establecer puntajes que involucren el impacto ambiental que tiene cada uno de los puntos de presentados en la propuesta de evaluación.

13. Se debe de realizar un estudio económico del impacto que tendrán los puntos presentados en la propuesta de evaluación, para lograr motivar a los inversionistas a tomarlos en cuenta al momento de realizar un proyecto.
14. Utilizar la evaluación del tratamiento de aguas residuales en un proyecto existente para determinar el control y la eficiencia del tratamiento que se tiene y determinar los puntos a mejorar en la evaluación.
15. Utilizar la guía para el manejo de desechos en un proyecto para verificar los aspectos explicados y determinar las correcciones o modificaciones para perfeccionarla.
16. Cuantificar los desechos sólidos con el fin de dimensionar de manera adecuada los contenedores finales y determinar la cantidad de cada desecho separados para su destino de reciclaje final.
17. Utilizar la guía para la elaboración de compostaje en un proyecto y determinar las correcciones o modificaciones para perfeccionarla.
18. Verificar más puntos críticos en el tratamiento de aguas residuales y manejo de desechos para la agregarlos a la evaluación realizada.
19. Realizar diferentes pruebas con concreto de ceniza volante variando la cantidad sustituida de cemento y agregados con materiales disponibles en la región.
20. Establecer relación de diferentes mezclas de concreto con ceniza volante con la resistencia a la compresión obtenida.

## 12. BIBLIOGRAFÍA

1. Aguado Alonso, J. (1 de Diciembre de 2006). *Reactores biológicos secuenciales (SBR): una tecnología versátil para el tratamiento de aguas residuales industriales*. Recuperado el 2009, de <http://www.madrimasd.org/blogs/remtavares/2006/12/01/53336>
2. Alvarado, L. (5 de 10 de 2010). Temperaturas Maximas y minimas de bulbo seco y humedo. (M. Garcés, Entrevistador)
3. Alvarez, L. (Junio de 2010). *el Periodico Guatemala*. Recuperado el 9 de Agosto de 2010, de CIV necesita Q2.8millardos para reponer infraestructura: [www.elperiodico.com.gt/es/20100730/economia/166992/](http://www.elperiodico.com.gt/es/20100730/economia/166992/)
4. Amatitlán nuestro. (Agosto de 2010). *Amatitlan Nuestro*. Recuperado el Agosto de 2010, de un Paraíso de Ensueño: [amatitlannuestro.net84.net](http://amatitlannuestro.net84.net)
5. AMSA. (1998). *AMSA*. Recuperado el 9 de Agosto de 2010, de [www.amsa.gob.gt](http://www.amsa.gob.gt)
6. Ansel, W. *A Quick Guide to Green Roofs*. Berlin, Germany: Internationa Green Roof Association (IGRA).
7. ASOVEN. (Febrero de 2006). *ASOCIACION VENTANAS PVC*. Recuperado el 08 de 10 de 2009, de [www.asoven.com](http://www.asoven.com)
8. Baldasano, J. M. (15 de 04 de 2005). *Laboratorio de Modelización Ambiental*. Recuperado el 14 de 11 de 2010, de Universitat Politècnica de Catalunya: [http://www.jorgemartins.pt/arq/fich/Ahorro\\_Energ\\_tico\\_Ventanas.pdf](http://www.jorgemartins.pt/arq/fich/Ahorro_Energ_tico_Ventanas.pdf)
9. Bauer, M. P. (2007). *Green Building - Guidebook for Sustainable Architecture*. Munich: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
10. Bazant, J. (1986). Manual de Criteriso de Diseño Urbano. En J. B. S., *Manual de Criterios de Diseño Urbano*. México D.F.: Editorial Trillas.
11. Bibliocad. (s.f.). Recuperado el 26 de 02 de 2010, de [es.bibliocad.com/biblioteca/texturas/tejados/](http://es.bibliocad.com/biblioteca/texturas/tejados/)
12. Bioscience. (2005). Tratamiento de Aguas Residuales. Estados Unidos.
13. Borfitz, I. A. (2008). *Permeabilidad*.

14. Carpenter, P. L. (1983). *Residential Landscaping II; Planting and Maintenance*. Arizona: PDA Publishers Corporation.
15. CINDU. (s.f.). Recuperado el 07 de 03 de 2010, de [http://www.cindu.com.gt/portal/index.php?option=com\\_content&view=article&id=1:cindurib-26&catid=1:latest-news&showall=1](http://www.cindu.com.gt/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=1:cindurib-26&catid=1:latest-news&showall=1)
16. Cogger, C. G., Sullivan, D. M., & Kropf, J. A. (2001). *Cómo hacer y usar compost*. Obtenido de <http://extension.oregonstate.edu/catalog/pdf/ec/ec1544-s-e.pdf>
17. Covial. (2008). *Mapa de red vial departamento de Guatemala*. Recuperado el 6 de 10 de 2010, de Covial: <http://www.covial.gob.gt/Guatemala.html>
18. De Leon, I. G. (5 de 10 de 2010). Métodos para la aproximación del consumo en una vivienda. (M. J. Garcés, Entrevistador)
19. Dirección de Planificación Urbana de la Ciudad de Guatemala. (2010). POT - Plan de Ordenamiento Territorial. *Plan de Ordenamiento Territorial de la Ciudad de Guatemala*. Guatemala.
20. FAO. (1997). *Medición sobre el Terreno de la Erosión del Suelo y de la Escorrentía*. Recuperado el Junio de 2009, de <http://www.fao.org/docrep/t0848s/t0848s00.htm#Contents>
21. FC Ingenieros & Arquitectos. (2010). *Especificaciones técnicas de materiales para proyecto Vía 7*.
22. Ferguson, B. K. (2005). *Porous Pavements*. Boca Ratón: Taylor & Francis.
23. Figueredo, C. M. (s.f.). Componentes de una turbina eólica de eje horizontal. *Cuba solar*.
24. Friedman, A. (2007). *Sustainable Residential Development*. Chicago: McGraw Hill.
25. García Ormachea, S. (Marzo de 2010). *¿Qué hacemos con los biorresiduos?*. Recuperado el Junio de 2010, de <http://www.ateneonaider.com/blog/silvia-garc%C3%AD-ormaechea/%C2%BFqu%C3%A9-hacemos-con-los-biorresiduos>
26. General Electric. (2010). *GE Lamp & Ballast Products Catalog*. GE.

27. Hammenken Arana, M., & Romero García, E. (2005). *Análisis y diseño de una planta de tratamiento de agua residual para el municipio de San Andrés Cholula*. Obtenido de [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lic/hammeken\\_a\\_am/portada.html](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/hammeken_a_am/portada.html)
28. Helix Wind. (2009). *Helix Wind- Is Helix Right For Me*. Recuperado el 4 de Enero de 2010, de <http://www.helixwind.com/en/isHelixRight.php>
29. Herrero, J. M. (2008). *Biodigestores familiares, Guía de diseño y manual de instalación*. . Bolivia: Cooperación técnica alemana (GTZ).
30. Hes, V. (19 de 07 de 2009). *Green Roof improves insulation...and saves the planet*. Recuperado el 26 de 02 de 2010, de <http://www.decohot.com/>
31. Hornbostel, C. (1999). *MATERIALES MODERNOS PARA CONSTRUCCIÓN. Usos y aplicaciones*. México, DF: Grupo Noriega Editores.
32. INMACO. (s.f.). Recuperado el 26 de 02 de 2010, de <http://www.inmaco.com.gt/>
33. Insivumeh, Departamento de investigación y servicios meteorológicos. (s.f.). Velocidad del viento promedio anual- dirección predominante del viento modal . *Atlas Climatológico* . Guatemala.
34. J.Glynn Henry, G. W. (1999). *Ingeniería Ambiental*. México : Prentice Hall.
35. Jesse Froehlich, P. H. (2008). *Infraestructura Verde. Cauquenes, Chile*. Cauquenes: Conway School of Landscape Design.
36. Kreith, F. (1994). *Handbook of solid waste management*. Estados Unidos: McGraw Hill.
37. Kwok, A. G., & Grondzik, W. T. (2007). *The Green Studio Handbook*. Oxford: Architectural press.
38. Lapeña, M. R. (1990). *Tratamiento de aguas residuales*. España: Marcombo.
39. LedLight.com. (2010). *LedLight.com*. Recuperado el 3 de 10 de 2010, de Track Lighting Led: <http://www.ledlight.com/7-watt-high-power-led-flood-light.aspx>
40. Lithonia lighting. (2010). *Indoor photometric report*. visual photometric tool.
41. Lithonia Lighting. (2010). *Lithonia Lighting, the best vale in lighting*. Recuperado el 15 de 9 de 2010, de Lithonia Lighting.
42. Lund, H. F. (2001). *Recycling Handbook*. Estados Unidos.

43. Mario Schjetanan, J. C. (1984). *Principios de Diseño Urbano/Ambiental*. Mexico: Concepto S.A.
44. MARN. (2005). Acuerdo Gubernativo 236-2006 "Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos". (pág. 8). Guatemala: Diario de Centro América.
45. Medina, J. A., Isabel, J., Izabel, A., Antonio, V., Rogelio, T., & María, R. (2001). *Minimización y manejo ambiental de los residuos sólidos*. México.
46. Merrit, F. S., & Ricketts, J. T. (2001). *Building Design and Construction Handbook*. New York: McGRAW HILL.
47. Metcalf, & Eddy. (1996). *Ingeniería de aguas residuales*. México: McGraw-Hill.
48. Michael Bauer, P. M. (2007). *Green Building - Guidebook for Sustainable Architecture*. Munich: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
49. Micropower. (2 de 12 de 2009). *Solar Photovoltaic (PV)*. Recuperado el 12 de 5 de 2010, de Electricity Generation: <http://www.micropower.co.uk/about/photovoltaic.html>
50. Miguel, I. d. (15 de Agosto de 2008). *El calor del asfalto como fuente de energía y las islas de calor en el calentamiento global*. Recuperado el 10 de Agosto de 2010, de sitio web de BioCarburante: [www.biocarburante.com/el-calor-del-asfalto-como-fuente-de-energia-y-las-islas-de-calor-en-el-calentamiento-global/](http://www.biocarburante.com/el-calor-del-asfalto-como-fuente-de-energia-y-las-islas-de-calor-en-el-calentamiento-global/)
51. Moreno Casco, J., & Moral Herrero, R. (2007). *Compostaje*. México: Mundi-Prensa.
52. Nigel Dunnett, A. C. (2007). *Rain Gardens: Managing water sustainably in the garden and designed landscape*. Londres: Timber Press.
53. O. P. (2005). *Guía para el diseño de tanques sépticos, tanques imhoff y lagunas de estabilización*. Obtenido de [http://www.cepis.org.pe/bvsacg/guialcalde/2sas/d24/053\\_Dise%C3%B1o\\_tanques\\_s%C3%A9pticos\\_Imhoff\\_lag/Dise%C3%B1o\\_tanques\\_s%C3%A9pticos\\_Imhoff\\_lagunas\\_estabilizaci%C3%B3n.pdf](http://www.cepis.org.pe/bvsacg/guialcalde/2sas/d24/053_Dise%C3%B1o_tanques_s%C3%A9pticos_Imhoff_lag/Dise%C3%B1o_tanques_s%C3%A9pticos_Imhoff_lagunas_estabilizaci%C3%B3n.pdf)
54. Oakley, S. M. (2005). *Lagunas de estabilización en Hinduras. Manual de diseño, operación, y mantenimiento, monitoreo y sostenibilidad*.

55. Obiol, L. (Agosto de 2005). *Buenos Aires - Puesta en calor del área Riachuelo*. Recuperado el 10 de Agosto de 2010, de sitio Web Skyscraper Page: [forum.skyscraperpage.com/showthread.php?t=156382](http://forum.skyscraperpage.com/showthread.php?t=156382)
56. OPS. (2005). *Guía para el diseño de tanques sépticos, tanques imhoff y lagunas de estabilización*. Obtenido de [http://www.cepis.org.pe/bvsacg/guialcalde/2sas/d24/053\\_Dise%C3%B1o\\_tanques\\_s%C3%A9pticos\\_Imhoff\\_lag/Dise%C3%B1o\\_tanques\\_s%C3%A9pticos\\_Imhoff\\_lagunas\\_estabilizaci%C3%B3n.pdf](http://www.cepis.org.pe/bvsacg/guialcalde/2sas/d24/053_Dise%C3%B1o_tanques_s%C3%A9pticos_Imhoff_lag/Dise%C3%B1o_tanques_s%C3%A9pticos_Imhoff_lagunas_estabilizaci%C3%B3n.pdf)
57. Pokorny, A. C. (20 de Mayo de 2010). Arquitecto Paisajista. (P. Marcet, Entrevistador)
58. Prinz, D. (1986). *Planificación y Configuración Urbana*. México: G. Gili, S.A.
59. Restrepo, L. D. (2010). *El Estado en la construcción de las áreas residenciales en Bogotá*. Recuperado el 2010, de Faacartes, UNAL: [www.facartes.unal.edu.co/portal/publicaciones/urbanismos/urbanismos2/Estado\\_construcci%C3%B3n\\_areas\\_residenciales.pdf](http://www.facartes.unal.edu.co/portal/publicaciones/urbanismos/urbanismos2/Estado_construcci%C3%B3n_areas_residenciales.pdf)
60. Reyna, E. I. (7 de Agosto de 1998). *Manejo Integrado de la Cuenca del Lago de Amatitlán*. Recuperado el 9 de Agosto de 2010, de Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y del Lago de Amatitlán: [srdis.ciesin.columbia.edu/cases/guatemala-004-sp.html](http://srdis.ciesin.columbia.edu/cases/guatemala-004-sp.html)
61. Ricketts, F. S. (2001). *Building design and construction handbook*. McGraw Hill.
62. Sáenz, G. M. (1999). *Hidrología en la Ingeniería*. Bogotá: Nuevas Ediciones S.A.
63. Spirn, A. W. (1984). *The Granite Garden*. New York: Basic Books, Inc. .
64. Tchobanoglous, G., Theisen, H., & Vigil, S. A. (1994). *Gestión Integral de Residuos Sólidos* (Vol. I). España: McGraw-Hill.
65. Torres Carranza, E. (2008). *Reutilización de Aguas y Lodos Residuales*. Recuperado el Julio de 2010, de [www.cepis.ops-oms.org/bvsaar/e/fulltext/gestion/lo](http://www.cepis.ops-oms.org/bvsaar/e/fulltext/gestion/lo)
66. U.S. Department of Energy. (5 de 10 de 2010). *Energy Savers: Solar Water Heaters*. Recuperado el 14 de 10 de 2010, de Energy Efficiency & Renewable Energy: [http://www.energysavers.gov/your\\_home/water\\_heating/index.cfm/mytopic=12850](http://www.energysavers.gov/your_home/water_heating/index.cfm/mytopic=12850)

67. U.S. Department of Energy. (5 de 10 de 2010). *U.S. Department of Energy*. Recuperado el 10 de 10 de 2010, de Energy Savers: How a Microhidropower system works: [http://www.energysavers.gov/your\\_home/electricity/index.cfm/mytopic=11060](http://www.energysavers.gov/your_home/electricity/index.cfm/mytopic=11060)
68. U.S. Green Building Council. (2007). *LEED for Neighborhood Development Rating System*. US.
69. USGBC. (2007). LEED for Neighborhood Development. *Pilot Version: LEED for Neighborhood Development Rating System*. United States of America.
70. UVG. (2008). *Electrificación de zona rural aislada*. Guatemala: UVG.
71. Ventanas Alemanas. (s.f.). Recuperado el 24 de 03 de 2010, de [www.ventanasalemanas.com](http://www.ventanasalemanas.com)
72. Virginia, D. d. (2000). *Road Design Manual*. Richmond, Va.
73. WEF. (2003). *Wastewater treatment plant design*. Estados Unidos: IWA Publishing.
74. Wenche E. Dramstad, J. D. (1996). *Landscape Ecology Principles in Landscape Architecture and Land-Use Planning*. Washington, DC: Island Press.
75. Werthmann, C. (2007). *Green Roof - A Case Study*. New York: Princeton Architectural Press.
76. Wesche, K. (2005). *Fly Ash in Concrete*. London: Chapman & Hall.
77. Whirlpool. (2010). *Whirppol*. Recuperado el 3 de 10 de 2010, de Catalog: [http://www.whirlpool.com/catalog/all\\_products.jsp](http://www.whirlpool.com/catalog/all_products.jsp)
78. Wolley, T. (1997). *Green Building Handbook Volume 1*. New York: Taylor & Francis.
79. Wolley, T. (2000). *Green Building Handbook Volume 2*. New York : Taylor & Francis.

## 13. APÉNDICE

### 13.1. Listado preliminar de puntos de evaluación

---

***Listado preliminar de puntos de evaluación***

---

<b><i>Desarrollo sostenible</i></b>	
<b>Ubicación</b>	<b>Puntos posibles</b>
Ubicación inteligente	1
Reutilización y adaptación de edificación existente	1
Protección de áreas especiales	1
Uso de suelo y pendientes	1
Uso de suelo y vegetación	1
Conservación de árboles	1
Protección de arboles	1
Necesidades básicas	1
<b>Estructura urbana</b>	
Adecuación al clima	1
Densidad	1
Ordenamiento de calles	1
Seguridad para el peatón	1
<b>Espacios abiertos urbanos</b>	
Aceras	1
Reducción de isla de calor	1
Estacionamiento	1
Parques completos	1
Recuperación de ecosistemas dañados	1
Vegetación local	1
<b>Manejo de escorrentía</b>	

---

Permeabilidad del suelo	1
Sistema de manejo de escorrentía	7
<b><i>Materiales GreenSpec</i></b>	
Diseño de mezcla con ceniza volante	5
Pavimentos porosos	5
Techos verdes	5
Selección de ventaneria	5
<b><i>Eficiencia energética</i></b>	
<b>Eficiencia de la iluminación artificial</b>	
Reflectancia	5
Cantidad y distribución de lámparas	5
Eficiencia de bombillos seleccionados	5
<b>Iluminación natural</b>	5
<b>Equipos con bajo consumo energético</b>	5
<b>Ventilación</b>	5
<b>Generación de energía eléctrica</b>	.+5
<b><i>Manejo de desechos</i></b>	
<b>Requisitos</b>	
Estudio técnico de aguas residuales	si/no
Estudio de impacto ambiental o diagnostico ambiental	si/no
Cumplimiento de la etapa 4 del reglamento	si/no
Sistemas de colectores separativas de aguas pluviales y residuales	si/no
Dispositivo adecuado de toma de muestras	si/no
Dispositivo adecuado de toma de medición de caudal	si/no
Manejo de lodos según el reglamento	si/no

<b>Manejo de aguas</b>	
Eficiencia del tratamiento de aguas	10
Reutilización de agua residual	10
Aprovechamiento del agua pluvial	10
<b>Manejo de desechos sólidos</b>	
Clasificación de desechos	7
Almacenamiento de residuos	8
Compostaje	10

## 13.2. Glosario

<b>Accesibilidad</b>	Cualidad de ser accesible. Grado en el cual todas las personas puedan utilizar cierto servicio.
<b>Acceso</b>	Posibilidad de llegar a algo.
<b>Acelerantes</b>	Producto químico que acelera el fraguado del mortero o concreto
<b>Actividad</b>	Conjunto de tareas o tareas propias de una persona o entidad.
<b>Afluentes</b>	Agua colectada por el ente generador o que es descargada a la entrada la planta de tratamiento. (MARN, 2005)
<b>Aforo de caudal</b>	Es la medida del caudal circulante que pasa por una sección.
<b>Agregados</b>	Cualquier masa de partículas.
<b>Agua capilar</b>	Fracción del agua que ocupa los microporos del suelo.
<b>Aguas grises</b>	Aguas descargadas de lavamanos y duchas. (MARN, 2005)
<b>Aguas pluviales</b>	Aguas de lluvia. (MARN, 2005)
<b>Aguas residuales</b>	agua de descarga que contiene una mezcla de contaminantes orgánicos e inorgánicos disueltos o en suspensión
<b>Aguas residuales domésticas o de tipo</b>	Las descargas son debido a usos en servicios sanitarios, lavandería, cocina. (MARN, 2005)

**ordinario**

**Aguas residuales especiales** Aguas generadas por servicios públicos municipales y actividades de servicios industriales, agrícolas, pecuarios, hospitalarios. (MARN, 2005)

**Alcantarillado público** Red de drenajes municipal en donde los proyectos se pueden conectar par a descargar sus aguas residuales. (MARN, 2005)

**Almacenamiento por Depresiones** Almacenamiento de agua en una depresión en el terreno.

**AMSA** Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca de Amatitlán.

**Árbol** Planta de tronco leñoso y elevado que se ramifica a cierta altura del suelo.

**Árboles caducos** Árbol que pierde la hoja en una época del año.

**Árboles perennes** Árbol que mantiene la hoja durante todo el año.

**Arbusto** Planta de mediana altura, tronco leñoso y corto, con ramas desde la base.

**Área comercial** Terrenos donde existen establecimientos comerciales como centros comerciales o edificios.

**Área de relleno** Terreno en un área que ya ha sido urbanizada.

**Área industrial** Terreno situado en una antigua área industrial o de bodegas.

**Área natural** Terreno ubicado en lugares vírgenes u orillas de ciudades donde no hay urbanización previa o cercana.

**Asfalto** Agregado consolidado por cemento asfáltico.

**Balastro** Es un aparato electrónico que tiene como objetivo estabilizar la descarga al interior de las bombillas fluorescentes, para asegurar el correcto funcionamiento y la duración de la misma. (Energua)

**Barrio** Cada una de las zonas en que se divide una población grande. Grupo de casas que depende de otra población.

**Barranco** Accidentes topográficos con bordes escarpados formados por la ruptura entre dos cauces.

<b>Barrera</b>	Obstáculo que impide el paso por un lugar.
<b>Bioretención</b>	Práctica del uso de suelo que utiliza las propiedades químicas, biológicas y físicas de las plantas
<b>Biotopos de paso</b>	Simulación de hábitats naturales creados en ambientes urbanos.
<b>Bloque</b>	Pieza sólida de material utilizado como unidad de construcción.
<b>Bordes</b>	Porciones de los parches en las cuales el entorno varía distintivamente del interior del mismo.
<b>Bosques</b>	Una superficie de tierra de más de 5000m <sup>2</sup> , con árboles de altura superior a 5 metros y una cubierta forestal de más del 10% ó, con árboles con potencial para cumplir dichos parámetros.
<b>Cadena de escorrentía</b>	Sistema de técnicas que previenen la escorrentía, promueven la retención, infiltración, evaporación y captación de agua y la manera de conducirla a los distintos elementos que cumplen estas funciones.
<b>Calle</b>	Espacio por el cual se traslada la población y también organiza y comunica los predios y edificios.
<b>Canales abiertos</b>	Son canales que transportan agua y se puede observar a simple vista ya que no se encuentran tapados.
<b>Canales vegetados</b>	Canales de conducción que infiltran y limpian el agua durante el trayecto.
<b>Candela (cd)</b>	Es la cantidad física básica internacional en todas las medidas de luz; Las demás unidades se derivan de ella. Su valor está determinado por la luz emitida por un patrón de laboratorio llamado cuerpo negro, trabajando a una temperatura específica. (Westinghouse Electric Corporation, 1985)
<b>Capa</b>	Es una franja de la estructura de un pavimento.
<b>Capa de rodadura</b>	Capa del pavimento que recibe directamente la carga de tráfico.
<b>Capa sobrepuesta</b>	Cubierta aplicada sobre un pavimento preexistente.
<b>Capacidad soporte</b>	Límite admisible de un ecosistema para aguantar cambios en sus procesos naturales.

<b>Carga orgánica</b>	Masa de DBO descargada en un tiempo determinado. (MARN, 2005)
<b>Casa unifamiliar</b>	Casa diseñada para albergar una sola familia
<b>Ceniza volante</b>	Partículas finas de material precipitado de una caladera industrial o cámara de gas producto de la ignición de combustibles sólidos.
<b>Ciclo hidrológico</b>	Proceso que describe la ubicación y el movimiento del agua en nuestro planeta.
<b>Circulación</b>	Paso de alguna cosa por una vía.
<b>Ciudad</b>	Población grande cuyos habitantes se dedican principalmente a actividades no agrícolas
<b>Clima de montaña</b>	<i>Ver Clima frío</i>
<b>Clima extremo</b>	<i>Ver Clima semidesértico</i>
<b>Clima frío</b>	Clima en el que las temperaturas oscilan entre los 5.0°C y 20.0°, días soleados época seca y nubosos en época de lluvia y los vientos variables.
<b>Clima semidesértico</b>	Clima en el que las temperaturas entre 10°C y 30°C, máximos de 35°C y mínimos de 0°C, más del 80% son soleados, vientos entre 20 y 30 km/hr con poca precipitación y humedad entre el 10 y 30%.
<b>Clima templado</b>	Clima en el que las temperaturas oscilan entre los 15°C y los 25°C, con temperaturas máximas de 35°C y mínimas de 5°C. Distribución uniforme entre días asoleados y nublados, dependiendo de la estación. Vientos Norte, Noreste y Noroeste entre 10 a 20 km/hr. Humedad entre el 40 y 60% con precipitación 6 meses al año.
<b>Clima tropical – húmedo</b>	Clima en el que las temperaturas entre los 20°C y 30°C, máximos de 35°C y mínimos de 15°Cmç, días soleados y claros, vientos de 20 a 50 km/hr, humedad del 50 a 90% con alta intensidad de precipitación.
<b>Coefficiente de utilización</b>	Es una medida de la habilidad de una lámpara, instalada en una geometría particular, alrededor de materiales con determinadas reflectancias, de proveer luz a un plano de trabajo. Esta es la medida de mayor importancia cuando se habla de iluminación, ya que relaciona prácticamente todos los aspectos de la iluminación. (Kwok & Grondzik, 2007)

<b>Compost</b>	Producto del proceso de compostaje. (Tchobanoglous, Theisen, & Vigil, 1994)
<b>Comunicación</b>	Medio por los cuales las personas se comunican o relacionan.
<b>Concreto</b>	Agregado consolidado por cemento Portland.
<b>Concreto con ceniza volante</b>	Concreto en el que se utilizó como ceniza volante como sustituto parcial del cemento de los agregados finos.
<b>Condensación</b>	Conversión de un gas o vapor en un líquido o sólido.
<b>Condición anóxica</b>	Circunstancia donde no se tiene disponibilidad de oxígeno.
<b>Condominio</b>	Edificio o conjunto viviendas poseído en régimen de comunidad de propietarios.
<b>Conectividad</b>	Capacidad de dos o más elementos de conectarse o comunicarse.
<b>Construcción</b>	Obra construida o edificada (Real Academia Española, 2001)
<b>Contaminación</b>	Degradación que sufre el medio ambiente por las sustancias perjudiciales que se vierten en él.
<b>Corredores</b>	Son largas franjas ininterrumpidas de vegetación que favorecen a la conservación de la ecología. Sirven para crear y conservar hábitats, conductos, filtros, introducción y cuna de especies, y para lograrlo son imperativos la conectividad y el ancho del corredor.
<b>Corriente abajo</b>	Punto de la red hidrológica que se encuentra posterior al punto de referencia.
<b>Cuerpo receptor</b>	Es un cuerpo natural como, embalse natural, lago, laguna, río, quebrada, manantial, humedal, estuario, estero, manglar, pantano, aguas costeras y aguas subterráneas que reciben las aguas residuales descargadas por los entes generadores. (MARN, 2005)
<b>Demanda bioquímica de oxígeno</b>	Es la cantidad medida de oxígeno que requieren los microorganismos para degradar biológicamente la materia orgánica de las aguas residuales. (MARN, 2005)
<b>Demanda química de Oxígeno</b>	Es la cantidad medida de oxígeno que requieren los microorganismos para degradar biológicamente la materia orgánica de las aguas residuales. (MARN, 2005)

<b>Densidad</b>	Concentración. Relación entre unidades y área.
<b>Derretimiento</b>	Licuación de un sólido por el efecto del calor.
<b>Desarrollo</b>	Progreso de una comunicad humana. Proceso de transformación. Llevar a cabo o realizar un proyecto.
<b>Desechos domésticos</b>	Son todos los desechos producidos en actividades domiciliarias. Entre los sólidos domésticos están: Papel, Vidrio, Plásticos, Aluminio. (Tchobanoglous, Theisen, & Vigil, 1994)
<b>Desechos institucionales</b>	Son parecidos a los desechos domésticos pero se porudcen en oficinas.
<b>Desechos sólidos</b>	Todos los desechos que tienen apariencia sólida y que se descargan para ser desechados.
<b>Distribución funcional</b>	Distribución divide las calles según la función que prestan a los usuarios, clasifica los diferentes tipos de vías según los parámetros de movilidad y acceso.
<b>Distrito</b>	División de un territorio con carácter administrativo o jurídico.
<b>Ecología del paisaje</b>	La ciencia que estudia la relación entre naturaleza y población a gran escala, en amplias zonas tales como regiones, cuencas, sistemas boscosos, etc.
<b>Edificación</b>	Edificio o conjunto de edificar (Real Academia Española, 2001)
<b>Edificio</b>	Construcción hecha con materiales resistentes para albergar a personas, animales, cosas o actividades.
<b>Efecto barranco</b>	Fenómeno que se da cuando el aire queda atrapado entre dos edificios haciendo un remolino entre de estos pero no logrando salir hacia arriba, quedando estancado junto con los contaminantes del sitio.
<b>Eficiencia</b>	Capacidad de disponer de alguien o algo para conseguir un efecto determinado. (Real Academia Española, 2001)
<b>Efluentes</b>	Agua que es descargada por el ente generador.
<b>Emisión Lineal</b>	Son aquellas fuentes de contaminación que se dan en una ruta en particular, como puede ser el tráfico en una arteria en la ciudad.

<b>Emisión por área</b>	Es la suma de pequeños contaminadores en un área definida, como la polución en un barrio o zona.
<b>Emisión puntual</b>	Son aquellas fuentes de contaminación que se pueden localizar saliendo de un punto en particular.
<b>Energía</b>	Capacidad para realizar un trabajo (Real Academia Española, 2001)
<b>Ente generador</b>	Persona responsable de generar aguas residuales.
<b>Escala humana</b>	Dimensión de un elemento o espacio constructivo respecto a las dimensiones y proporciones del cuerpo humano.
<b>Escorrentía superficial</b>	Parte de la precipitación que llega al suelo y no es infiltrada por lo que se mueve libremente por la superficie. Engloba desde que esta es una fina capa de agua sobre la superficie hasta ríos de gran caudal.
<b>Espacios abiertos</b>	Zonas de agua o tierra reservadas como áreas de recreación activa o pasiva, o bien como áreas de protección de recursos en un estado básicamente sin desarrollar.
<b>Espacios adaptados</b>	Zonas que han sido modificadas o edificadas por el humano para el uso del ser humano.
<b>Espacios urbanos</b>	Espacios abiertos en una zona urbana.
<b>Abierto</b>	
<b>Estrato de base</b>	Capa colocada debajo de una superficie sobre la cual se extenderá la cubierta de pavimento. Puede llamársele simplemente base.
<b>Estructura de pavimento</b>	Combinación de estratos de diversos materiales que conforman el pavimento.
<b>Estructura urbana</b>	Síntesis de todas las diversas acciones que los habitantes de una ciudad pueden realizar, tales como trabajar, recrearse, trasladarse, comercial o hacer uso de servicios.
<b>Estudio técnico de Aguas residuales</b>	Estudio que describe todas las actividades que involucran el manejo, tratamiento y descarga del agua residual de un ente generador.

<b>Evaporación</b>	Proceso por el cual una sustancia en estado líquido pasa al estado gaseoso.
<b>Evapotranspiración</b>	Pérdida de humedad de una superficie por evaporación directa junto con la pérdida de agua por transpiración de la vegetación
<b>Filtración</b>	Proceso por el cual el agua superficial cede partículas al terreno a medida que atraviesa las distintas capas.
<b>Filtro de estrato</b>	Cualquier capa insertada en medio de otras dos, o en medio de la capa de pavimento y de la subrasante, que evita que la partículas de una migren hacia otra dentro del espacio vacío de otra.
<b>Flujo sub superficial</b>	Flujo de agua infiltrada que circula horizontalmente debajo de la superficie del suelo.
<b>Franjas de infiltración</b>	Son áreas vegetadas con pendientes suaves que reciben la escorrentía de superficies impermeables, disminuyen la velocidad y atrapan sedimento y contaminantes.
<b>Geocelda</b>	Celosía plástica que forma una red de celdas.
<b>Geomembrana</b>	Tela impermeable, también se le llama forro.
<b>Geotextil</b>	Tela permeable, se le conoce como filtro de tela.
<b>Huella</b>	Zona de intervención de un desarrollo al terreno.
<b>Humedales</b>	Zonas con tierras saturadas o pantanos.
<b>Iluminación</b>	Conjunto de luces que hay en un lugar para iluminarlo o adornarlo. (Real Academia Española, 2001)
<b>Infiltración</b>	Es la formación de un paso de agua en forma de conducto a través de materiales naturales o artificiales. En este caso, se refiere al paso de agua a través de las primeras capas de tierra.
<b>Intensidad de lluvia</b>	La cantidad de milímetros de agua que caen en cierto rango de tiempo (mm/hr, por ejemplo)
<b>Intercepción</b>	Acción de desviar o cortar la trayectoria de in móvil o individuo antes de que llegue a su destino.
<b>Inversión de aire</b>	Se da cuando una masa de aire frío queda atrapada debajo de una masa de aire caliente el cual no deja subir al aire frío, haciendo que el aire que está dentro de la ciudad no pueda salir y atrape dentro

	del aire estancado los contaminantes de la ciudad.
<b>Isla de calor</b>	Fenómeno se refiere al aumento de la temperatura de un sitio debido al reflejo de radiación de materiales.
<b>Islas de calor</b>	Efecto de concentración de calor en un área determinada.
<b>Jardineras</b> <b>Purificadoras</b>	Jardineras que se encuentran en la salida de las bajadas de agua. Estas reciben, almacenan temporalmente y filtran antes de seguir en la cadena de manejo de escorrentía.
<b>Jardines de recolección</b>	Depresiones plantadas poco profundas que eliminan la escorrentía por medio de infiltración y ayudan a adsorber contaminantes.
<b>Laderas</b>	Zonas con pendientes mayores al 15%.
<b>Lagos</b>	Grandes cuerpos de agua, generalmente dulce, almacenados en depresiones.
<b>Laguna de retención</b>	Depresiones impermeables que retienen agua permanentemente.
<b>Lodos</b>	Son sólidos que provienen de los tratamientos de las aguas residuales debido a las sedimentaciones y biodigestiones.
<b>Louver</b>	Tipo de ventana, con obturadores horizontales o, menos frecuente, verticales, que cuentan con cierta inclinación que permiten el paso de luz y aire, pero evita el paso de lluvia, luz directa y ruido. El ángulo de inclinación de las láminas puede ser ajustable, común en persianas y ventanas, o fijos.
<b>Lumen (lm)</b>	Es el flujo de luz que incide sobre una superficie de $1\text{m}^2$ , la totalidad de cuyos puntos diste 1 metro de una fuente puntual teórica que tenga una intensidad lumínica de 1 candela en todas direcciones. La diferencia entre el lumen y la candela reside en que la candela es una medida del flujo luminoso, independientemente de la dirección. (Westinghouse Electric Corporation, 1985)
<b>Lux (lx)</b>	Un lux es la iluminación en un punto (A) sobre una superficie que dista, en dirección perpendicular, un metro de una fuente puntual uniforme de una candela. La cantidad de luxes son la cantidad de lúmenes incidentes sobre una superficie dividido la cantidad de $\text{m}^2$ del área. (Westinghouse Electric Corporation, 1985)
<b>Materiales GreenSpec</b>	Son aquellos materiales que reducen el impacto ambiental en edificaciones. Pueden ser materiales reciclados, total o parcialmente, que pueden llegar a ser reciclados o de origen

	vegetal. Tienen que cumplir con ser materiales fácilmente accesibles y ecológicos.
<b>Medio físico artificial</b>	Aquellos componentes de un sitio que han sido creados por el humano.
<b>Medio físico natural</b>	Todos aquellos componentes que no han sido creados por el hombre.
<b>Mosaicos</b>	Conjunto de parches, corredores y elementos externos en un paisaje.
<b>Movilidad</b>	Posibilidad de desplazarse personas, mercancías e información libremente.
<b>Necesidad</b>	Calidad de necesario; aquello que se necesita. Referente a necesidades físicas y mentales.
<b>Necesidades de primer orden</b>	Son aquellas necesidades a las cuales se accede diariamente.
<b>Necesidades de segundo orden</b>	Son aquellas que se accedan por lo menos una vez por semana y requieren de un mínimo de habitantes para su costeabilidad.
<b>Necesidades de tercer orden</b>	Aquellas actividades que a pesar de ser frecuentemente accedidas y/ó consideradas como necesidades para la salud de la persona, no siempre pueden estar cerca de las áreas residenciales.
<b>Ordenamiento territorial</b>	Son los lineamientos generales que se deben seguir del proceso de urbanización y del sistema de ciudades, tomando en cuenta la potencialidad económica, condiciones específicas y capacidades ecológicas, entre otras.
<b>Parches</b>	Son hábitats aislados de cualquier tamaño, desde un parque nacional hasta un árbol. Pueden ser restos de algún bosque, un nuevo parque en un área urbana, un oasis, etc.
<b>Parques</b>	Espacios urbanos en los que predominan los elementos naturales; árboles, plantas pastos, etc.
<b>Pavimento</b>	Cualquier tratamiento o cubierta aplicada sobre superficies de tierra que soporta tráfico
<b>Pavimento</b>	Cualquier tratamiento o cubierta que se le da a la superficie de la tierra para soportar tráfico.

<b>Pavimento poroso</b>	Pavimento con la suficiente porosidad y permeabilidad que afectan significativamente la hidrología, el hábitat de las raíces y otros aspectos ambientales. Estructuras de hormigón o asfalto construidas sin finos, lo cual permite la infiltración de agua.
<b>Peatón</b>	Persona que transita a pie, en bicicleta, patines o cualquier otro medio de transporte que no deba ir en la calle por ley.
<b>Percolación</b>	Un flujo de líquido a través de un medio poroso bajo la acción de gradientes hidráulicos moderados; principalmente es un flujo debido a la gravedad.
<b>Permeabilidad</b>	Capacidad de un material para que un fluido lo atravesase sin alterar su estructura interna.
<b>Planificación urbana</b>	Actividad orientada a la planificación y diseño del espacio bidimensional de la ciudad.
<b>Planta</b>	Forma de vida vegetal, generalmente con raíces que la sujetan al suelo.
<b>PLOT</b>	Plan Local de Ordenamiento Territorial en la Ciudad de Guatemala
<b>Plurifamiliar</b>	Edificación diseñada para albergar dos o más familias.
<b>POT</b>	Plan de Ordenamiento Territorial para la Ciudad de Guatemala
<b>Precipitación</b>	Un agregado de partículas acuosas, líquidas o sólidas, cristalizadas o amorfas, que caen de una nube o grupo de nubes y alcanzan el suelo.
<b>Proyecto</b>	Conjunto de escritos, cálculos y dibujos que se hacen para dar idea de cómo ha de ser y lo que ha de costar una obra de arquitectura o de ingeniería. (Real Academia Española, 2001)
<b>Redes</b>	Infraestructura básica o esencial.
<b>Relación agua/cemento</b>	Cantidad de agua contenida en la mezcla de concreto dividido entre la cantidad de cemento contenida en la mezcla.
<b>Residencias multifamiliares</b>	Construcción tipo vivienda donde residen varias familias.
<b>Residencias unifamiliares</b>	Construcción tipo vivienda donde reside únicamente una familia.

<b>Ríos</b>	Flujos de escorrentía superficial que corre a lo largo de una cuenca recolectando el agua de esta y llevándola al punto de salida.
<b>Ríos de viento</b>	Componentes del medio físico natural o artificial que conducen el viento a través de una zona particular.
<b>Ruta del menor daño posible</b>	Proceso de diseño y ejecución donde se busca hacer el menor daño ecológico y físico al terreno en el cual planifica un desarrollo o edificación.
<b>Sistemas (Ecología del paisaje)</b>	Corredores interconectados entre sí por medio de parches o corredores más pequeños.
<b>Sitio</b>	Un lugar en específico y sus vecindades inmediatas.
<b>Soundness</b>	Capacidad de una pasta de cemento, mortero o concreto para resistir esfuerzos internos generados durante la hidratación del cemento, sin que se quebrante.
<b>Subbase</b>	Estrato sobre el cual se cubre con la capa de pavimento.
<b>Subrasante</b>	Capa suelo subyacente a la estructura del pavimento que se encarga de soportar la carga última.
<b>Suelo impermeable</b>	Suelo en el cual las partículas de agua no pueden atravesar la estructura del mismo.
<b>Suelo permeable</b>	Suelo en el cual las partículas de agua pueden atravesar la estructura del mismo.
<b>Suelos colapsables</b>	Suelos cuya estructura es propensa a desprendimientos o derrumbes.
<b>Suelos corrosivos</b>	Suelos cuya estructura contiene altos niveles de oxígeno lo cual acelera el proceso de corrosión de los materiales.
<b>Suelos dispersivos</b>	Suelos de fácil erosión.
<b>Suelos expansivos</b>	Suelos que aumentan su volumen cuando entran en contacto con el agua.
<b>Suelos orgánicos</b>	Suelos con alto contenido de materia orgánica.
<b>Super plastificantes</b>	Aditivo que reduce la cantidad de agua necesaria para la mezcla de concreto.

<b>Tiempo de retención</b>	Tiempo que permanece en reposo o estancada el agua residual en un tratamiento.
<b>Tierra (Suelo) de fácil Infiltración</b>	2 partes de arena gruesa, 1 – 2 partes de tierra negra y 1 parte de madera triturada.
<b>Tráfico</b>	Tránsito y transporte de personas, equipajes, etc., por un medio de transporte.
<b>Urbanismo</b>	Desarrollo unificado de las ciudades y de sus alrededores.
<b>Urbanizar</b>	Acción y resultado de urbanizar. Núcleo residencial formado por viviendas de características semejantes y dotado de instalaciones y servicios propios.
<b>Urbano</b>	Relativo a la ciudad.
<b>Vegetación</b>	Conjunto de plantas (flora) salvajes o cultivadas que crecen sobre una superficie de suelo o en un medio acuático.
<b>Volumen de tránsito</b>	Cantidad de vehículos que transitan una calle en un período de tiempo definido.
<b>Woonroof</b>	Tipo calle desarrollado en Holanda que introduce mobiliario urbano a las calles.
<b>Zonas acuáticas Intermedias</b>	Orillas de los ríos, lagos, humedales y cuerpos de agua en general.
<b>Zonas de recarga Acuífera</b>	Zonas donde la velocidad de escorrentía disminuye, permitiendo que el agua infiltre el suelo.
<b>Zonificación</b>	Subdivisión del territorio con alguna finalidad, generalmente para asignar usos del suelo.