

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



Análisis de las alternativas para la reducción del impacto ambiental en un edificio
residencial de baja densidad

Trabajo de graduación presentado por:

Miriam Andrea Ruano Aldana

Juan Fernando Díaz Guerrero

José Roberto Kestler Molina

Esmeralda Canahui Morales

Marcelo Saenz Alejos

para optar al grado académico de Licenciados en Ingeniería Civil

Guatemala,

2018

Análisis de las alternativas para la reducción del impacto
ambiental en un edificio residencial de baja densidad

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



Análisis de las alternativas para la reducción del impacto ambiental en un edificio
residencial de baja densidad

Trabajo de graduación presentado por:

Miriam Andrea Ruano Aldana

Juan Fernando Díaz Guerrero

José Roberto Kestler Molina

Esmeralda Canahui Morales

Marcelo Saenz Alejos

para optar al grado académico de Licenciados en Ingeniería Civil

Guatemala,

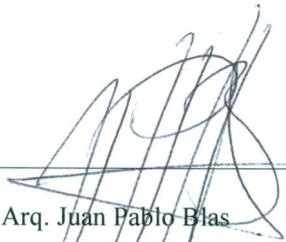
2018


Vo. Bo. :

(f) 
Arq. Juan Pablo Blas

(f) 
Ing. Robert Godo Levensen

Directores de los estudiantes que trabajaron el Megaproyecto:

(f) 
Arq. Juan Pablo Blas

(f) 
Arq. Enrique Ramirez

(f) 
Ing. Robert Godo Levensen

Fecha de aprobación: Guatemala, 30 de noviembre de 2018

ÍNDICE

LISTA DE TABLAS	x
LISTA DE FIGURAS	xv
RESUMEN	xix
I. Introducción.....	1
II. Objetivos.....	3
A. Generales	3
B. Específicos	3
III. Marco teórico.....	4
A. Criterios y especificaciones para el diseño estructural	4
1. Proceso de diseño estructural	5
2. Cargas de diseño.....	11
3. Reacciones y esfuerzos internos.....	13
4. Clasificación de apoyos.....	14
5. Recorrido de la carga.....	16
6. Estados límite para el diseño estructural	17
7. Niveles de desempeño	19
8. Filosofías de diseño	20
9. Factores de diseño	22
10. Sistemas estructurales	25
11. Tipos de conexiones	27
12. Sistemas estructurales sismo-resistentes	29
13. Tipos de cimentaciones	31
14. Parámetros de diseño sísmico	38
B. Construcción sostenible	44
1. Situación ambiental actual de la construcción	44
2. Definición.....	45
3. Materiales verdes.....	46
4. Huella de carbono.....	47
C. El acero estructural	49
1. Química y metalurgia del acero estructural.....	49
2. Tipos de acero estructural	51

3.	Grados de acero estructural para perfiles y placas	53
4.	Grado se acero estructural para secciones estructurales huecas y tubos	54
5.	Propiedades del acero como material estructural	56
6.	Comportamiento del acero estructural	57
7.	Perfiles disponibles de acero	60
8.	Fallas en la estructura de acero	63
9.	Conexiones en acero.....	63
10.	Acero como material sostenible	64
11.	Fachadas ecológicas para estructuras de acero	70
D.	Cross Laminated Timber	75
1.	Ajustes a las propiedades de la madera.....	77
2.	Principales propiedades y diferencias del CLT.....	79
3.	Fachada y techo de la estructura	80
E.	Mampostería de ladrillo	82
1.	Mampostería de arcilla	82
2.	Unidades de mampostería de arcilla.....	83
3.	Mortero.....	84
4.	Grout.....	87
5.	Acero de refuerzo	88
6.	Cimentación utilizada en mampostería	89
7.	Sistemas de mampostería	89
8.	Fallas comunes en las estructuras de mampostería	91
9.	Ventajas de la construcción en mampostería	94
10.	Desventajas de la construcción en mampostería	95
11.	Propiedades físicas de la mampostería.....	95
12.	Códigos de diseño estructural para mampostería.....	100
F.	Instalaciones hidrosanitarias.....	102
1.	Sistemas domésticos.....	102
2.	Materiales utilizados en sistemas hidráulicos domésticos	124
3.	Equipo de bombeo.....	129
G.	Aguas grises y pluviales	134
1.	Caracterización de las aguas grises	134
2.	Aguas pluviales	140
3.	Plantas de tratamiento prefabricadas.....	141

H.	Energías alternativas	143
1.	Energías aplicables en un edificio	143
I.	Eficiencia energética.....	147
J.	Tendencia energética en el mercado.....	150
1.	Precios y porcentajes de uso.....	153
2.	Formas de ahorro.....	168
3.	Certificaciones ambientales de energía	169
4.	Certificados	170
5.	Sistemas de captación.....	173
K.	Domótica.....	179
1.	Innovación.....	180
2.	Formas de ahorro energético y confort para los usuarios.....	181
3.	Historia de la domótica	183
4.	Tendencias tecnológicas actuales.....	184
5.	Tendencias en el mercado global	184
6.	Tendencias en el mercado local	185
IV.	Marco práctico.....	187
A.	Diseño estructural en acero.....	187
1.	Características de la estructura.....	187
2.	Diseño estructural de la edificación	188
3.	Integración de cargas.....	188
4.	Diseño de losa	189
5.	Diseño de vigas principales y secundarias	190
6.	Diseño de columnas	197
7.	Integración de la carga sísmica	201
8.	Diseño de los marcos embreizados	203
9.	Elaboración de modelo en ETABS	209
10.	Corrección del sismo dinámico	210
11.	Chequeo de derivas y estabilidad.....	210
12.	Diseño de conexiones.....	212
13.	Predimensionamiento de zapatas	219
14.	Cálculo de la huella de carbono	225
15.	Costo de la estructura	226
B.	Diseño estructural en CLT.....	228

1.	Propiedades de la madera.....	228
2.	Integración de cargas.....	229
3.	Diseño de losa de entrecimso.....	230
4.	Diseño de losa de techo.....	232
5.	Diseño de muro crítico nivel 4.....	235
6.	Diseño muro crítico nivel 3.....	237
7.	Diseño muro crítico nivel 2.....	239
8.	Diseño de muro crítico en nivel 1.....	241
9.	Diseño de dinteles.....	242
10.	Análisis sísmico.....	244
11.	Corte sísmico total en muros.....	247
12.	Chequeo de muros a corte sísmico y gravitacional.....	249
13.	Diseño de conexión panel de pared – panel de pared.....	252
14.	Conexión de panel losa – losa.....	254
15.	Diseño de conexión muro – losa.....	255
16.	Conexión muro – techo.....	260
17.	Conexión a cimentación.....	264
18.	Diseño de la losa de cimentación.....	269
19.	Costos.....	270
20.	Huella de carbono.....	273
C.	Diseño estructural en mampostería de ladrillo.....	274
D.	Diseño de instalaciones hidráulicas.....	290
1.	Dotación y conducción de agua potable.....	290
2.	Sistema de distribución de agua potable.....	292
3.	Sistema de recolección y distribución de aguas grises.....	296
E.	Diseño de consumo energético.....	303
1.	Energía necesaria en el edificio.....	303
2.	Uso energético promedio por apartamento.....	329
3.	Paneles solares.....	330
4.	Contadores bidireccionales.....	335
5.	Diseño del sistema.....	336
6.	Costos.....	338
7.	Garantías y seguridad.....	341
8.	Viabilidad de instalación.....	343

9.	Sistemas disponibles en el mercado local	343
10.	Edificio inteligente	345
11.	Seguridad y accesos	345
12.	Implementación	348
13.	Instalación	349
14.	Precio final	349
V.	Discusión	350
A.	Diseño estructural y análisis de impacto ambiental de un edificio de baja densidad en acero	350
B.	Diseño estructural y análisis de impacto ambiental de un edificio de baja densidad en CLT	355
C.	Diseño estructural y análisis de impacto ambiental de un edificio de baja densidad en mampostería de ladrillo	358
D.	Diseño de un sistema de reutilización de aguas grises para un edificio residencial de baja densidad.....	364
E.	Sistema de eficiencia energética y empleo de domótica en un edificio.....	368
VI.	Conclusiones.....	370
VII.	Recomendaciones	373
A.	Recomendaciones para diseñadores.....	373
B.	Recomendaciones para usuarios	374
C.	Recomendaciones para el constructor.....	375
VIII.	Bibliografía	376
IX.	Anexos	384
A.	Anexo 1: Peso de niveles típicos para sistema de mampostería	384
B.	Anexo 2: Diseño de losas para sistema de mampostería	384
1.	Losa de entrepiso.....	384
2.	Losa de techo.....	387
C.	Anexo 3: Datos de muros para obtención del centro de masa	389
D.	Anexo 4: Fuerzas laterales por sismo en cada nivel para sistema de mampostería	393
E.	Anexo 5: Fuerzas laterales por torsión en cada muro en cada nivel para sistema de mampostería	397
F.	Anexo 6: Cargas últimas en los muros	399
G.	Anexo 7: Diseño de los muros de mampostería de 0.01 m a 1.50 m.....	403
H.	Anexo 8: Diseño de cimentación	407
I.	Anexo 9: Luminaria Escogida	409

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Comparativo de ventajas y desventajas del método ASD	22
Tabla 2. Simbología para los tipos de cargas en las estructuras.....	23
Tabla 3. Combinaciones de carga para la filosofía de diseño LRFD	23
Tabla 4. Combinaciones de carga para la filosofía de diseño ASD	24
Tabla 5. Estados límite de resistencia y sus factores de seguridad	25
Tabla 6. Nivel de protección sísmica y probabilidad del sismo de diseño	42
Tabla 7. Tipos de acero y sus diferentes usos.....	55
Tabla 8. Tipos de acero y sus diferentes usos.....	56
Tabla 9. Descripción técnica paneles MultiWave	72
Tabla 10. Contenido de material reciclado en los paneles MultiWave	73
Tabla 11. Factores de humedad para madera	77
Tabla 12. Factores de temperatura para la madera	78
Tabla 13. Factores de resistencia para LRFD.....	79
Tabla 14. Tipos de ladrillo de barro cocido definidos por el AGIES	84
Tabla 15. Dotaciones mínimas para distintos tipos de usos de edificaciones	107
Tabla 16. Métodos para el cálculo de caudal simultáneo en edificaciones	107
Tabla 17. Rango aceptable de contaminación en parámetros físicos y organolépticos.....	135
Tabla 18. Rango aceptable de contaminación en parámetros químicos	135
Tabla 19. Rango aceptable de contaminación en parámetros microbiológicos.....	136
Tabla 20. Ventajas y desventajas de la energía solar	144
Tabla 21. Ventajas y desventajas de la energía eólica.....	145
Tabla 22. Ventajas y desventajas de la energía hidroeléctrica	146
Tabla 23. Costos de producción de energía en España, 2013	158
Tabla 24. Precios medios por mes	159
Tabla 25. Integración de cargas de entrapiso	188
Tabla 26. Determinación de carga última.....	189
Tabla 27. Chequeo de efectos máximos de servicio y resistencia.....	189
Tabla 28. Chequeo de deflexiones en losa	190
Tabla 29. Cálculo de vigas principales.....	191
Tabla 30. Cálculo de vigas secundarias.....	193
Tabla 31. Tipos de columnas en la edificación	198
Tabla 32. Carga última, esbeltez y relación demanda capacidad en columnas tipo A.....	198
Tabla 33. Carga última, esbeltez y relación demanda capacidad en columnas tipo B	198
Tabla 34. Carga última, esbeltez y relación demanda capacidad en columnas tipo C	199
Tabla 35. Cálculo de la capacidad de las columnas ante fuerza axial	200
Tabla 36. Parámetros sísmicos y periodos de vibración de la estructura	201
Tabla 37. Determinación del coeficiente sísmico.....	202
Tabla 38. Peso sísmico de la estructura.....	202
Tabla 39. Distribución vertical y horizontal de la fuerza sísmica	203
Tabla 40. Secciones seleccionadas para las breizas en eje X	204
Tabla 41. Secciones seleccionadas para las breizas en eje Y	204
Tabla 42. Ejemplo de cálculo de resistencia a compresión de las breizas.....	205
Tabla 43. Ejemplo de cálculo de resistencia a tensión de las breizas.....	205

Tabla 44. Ejemplo de cálculo de máxima capacidad de las breizas a tensión.....	206
Tabla 45. Ejemplo de cálculo de máxima capacidad de las breizas a comprensión.....	206
Tabla 46. Ejemplo de cálculo de resistencia a compresión de las columnas.....	206
Tabla 47. Ejemplo de cálculo de resistencia a tensión de las columnas.....	207
Tabla 48. Cálculo de vigas para los marcos embreizados	207
Tabla 49. Corrección del sismo dinámico	210
Tabla 50. Chequeo de derivas y torsión en ambos ejes	211
Tabla 51. Chequeo de estabilidad.....	211
Tabla 52. Diseño de conexión C-1	212
Tabla 53. Valores tabulados para la resistencia de la soldadura según su espesor	217
Tabla 54. Diseño de conexión típica viga-columna para los marcos embreizados	217
Tabla 55. Diseño de zapatas	220
Tabla 56. Diseño de zapata combinada	222
Tabla 57. Chequeo por aplastamiento del pastel de las columnas.....	225
Tabla 58. Costo de la estructura en acero	226
Tabla 59. Propiedades de la madera C18	228
Tabla 60. Integración de cargas	229
Tabla 61. Datos de panel y efectos máximo en losa de entrecimso	230
Tabla 62. Diseño a flexión losa de entrecimso.....	230
Tabla 63. Diseño a corte losa de entrecimso	231
Tabla 64. Chequeo por servicio losa de entrecimso	232
Tabla 65. Datos de paneles y efectos máximos para losa de techo	232
Tabla 66. Diseño por flexión losa de techo	233
Tabla 67. Diseño por corte losa de techo.....	234
Tabla 68. Chequeo por servicio losa de techo	234
Tabla 69. Datos de panel y factores de corrección muro N4	235
Tabla 70. Diseño a corte muro N4.....	235
Tabla 71. Diseño a pandeo muro N4	236
Tabla 72. Datos de panel y factores de ajuste muro N3	237
Tabla 73. Diseño por corte muro N3	237
Tabla 74. Diseño a pandeo muro N3	238
Tabla 75. Datos panel y factores de ajuste N2	239
Tabla 76. Diseño por corte muro N2	239
Tabla 77. Diseño por pandeo muro N2	240
Tabla 78. Datos de panel y factores de ajuste muro N1	241
Tabla 79. Diseño por corte muro N1	241
Tabla 80. Diseño por pandeo muro N1	242
Tabla 81. Datos y efectos máximos dintel.....	242
Tabla 82. Factores de ajuste para dinteles	243
Tabla 83. Diseño por flexión dinteles.....	243
Tabla 84. Chequeo deflexiones en dinteles	244
Tabla 85. Análisis sísmico 1.....	244
Tabla 86. Análisis sísmico 2.....	246
Tabla 87. Corrección para corte y derivas	246
Tabla 88. Muros con corte sísmico crítico	247
Tabla 89. Corte sísmico total en muros	247
Tabla 90. Datos y factores de ajuste muro H4.....	249

Tabla 91. Chequeo a corte muro H4.....	250
Tabla 92. Chequeo pandeo muro H4.....	250
Tabla 93. Datos de muro y factores de ajuste muro D2	251
Tabla 94. Chequeo a corte muro D2.....	251
Tabla 95. Chequeo pandeo muro D2.....	252
Tabla 96. Datos de pernos utilizados conexión panel p-p.....	252
Tabla 97. Efectos máximos y chequeo de longitudes de pernos conexión panel p-p.....	253
Tabla 98. Modos de falla conexión panel p-p	253
Tabla 99. Falla dominante y espaciamiento de pernos.....	253
Tabla 100. Datos pernos conexión panel de losa a panel de losa.....	254
Tabla 101. Efectos máximos conexión panel L-L.....	254
Tabla 102. Chequeo de longitudes de muro conexión panel L-L.....	254
Tabla 103. Cálculos de modos de falla conexión panel L-L	255
Tabla 104. Falla dominante y datos de pernos conexión panel L-L.....	255
Tabla 105. Efectos máximo, datos de pernos de muro – losa	255
Tabla 106. Cálculo de modos de falla pernos inferiores conexión muro – losa.....	256
Tabla 107. Falla dominante y número de pernos en conexión de muro – losa	256
Tabla 108. Datos de pernos y longitudes perno inferior, conexión muro – losa.....	257
Tabla 109. Cálculo de los modos de falla perno inferior, conexión muro – losa.....	257
Tabla 110. Falla dominante y número de pernos, perno inferior conexión muro – losa....	258
Tabla 111. Revisión de placa inferior conexión muro – losa	258
Tabla 112. Revisión de placa superior conexión muro – losa.....	259
Tabla 113. Corte crítico y datos de pernos conexión muro – techo	260
Tabla 114. Cálculo de modos de falla pernos superiores conexión muro – techo	260
Tabla 115. Falla dominante y número de pernos para conexión muro – techo.....	261
Tabla 116. Datos de perno inferior en conexión de muro – techo.....	261
Tabla 117. Cálculo de modos de falla en pernos superior conexión muro – techo	262
Tabla 118. Falla dominante y número de pernos, perno inferior conexión muro – techo..	262
Tabla 119. Revisión de placa de pernos superiores conexión muro – techo.....	262
Tabla 120. Revisión de placa inferior conexión muro – techo.....	263
Tabla 121. Corte crítico en conexión a cimentación	264
Tabla 122. Chequeo de extracción de las varillas en conexión a cimentación.....	264
Tabla 123. Datos de varillas a corte conexión a cimentación	265
Tabla 124. Cálculo de modos de falla para placa inferior conexión a cimentación	265
Tabla 125. Falla dominante y número de pernos conexión a cimentación.....	266
Tabla 126. Datos de perno superior conexión a cimentación.....	266
Tabla 127. Cálculo de modos de falla para perno superior conexión a cimentación	267
Tabla 128. Falla dominante y número de pernos perno inferior conexión a cimentación .	267
Tabla 129. Revisión de placa inferior conexión a cimentación.....	267
Tabla 130. Revisión de placa superior conexión a cimentación	268
Tabla 131. Dimensiones de la losa de cimentación.....	269
Tabla 132. Carga neta admisible	269
Tabla 133. Presiones máximas en puntos críticos	269
Tabla 134. Chequeo de esfuerzo crítico en el suelo	269
Tabla 135. Peralte de la losa y diseño de acero	270
Tabla 136. Precio total de materiales.....	270
Tabla 137. Precio de la madera	270

Tabla 138. Protección para la madera	271
Tabla 139. Costo de platinas.....	271
Tabla 140. Comparación de perfiles al largo del muro vs. Secciones.....	272
Tabla 141. Costo de varillas de anclajes, pernos y tornillos	272
Tabla 142. Precio de concreto para losa de cimentación.....	272
Tabla 143. Costo de las varillas de losa de cimentación	273
Tabla 144. Precio total de mano de obra	273
Tabla 145. Costo de mano de obra para paneles CLT.....	273
Tabla 146. Costo de mano de obra para losa de cimentación	273
Tabla 147. Huella de carbono del proyecto incluyendo fletes	274
Tabla 148. Fragmento de la tabla A-1 NSE-2-2017, datos de aceleración del suelo	275
Tabla 149. Aspectos sísmicos de la estructura	276
Tabla 150. Peso sísmico de la estructura.....	277
Tabla 151. Fuerzas resultantes del análisis sísmico	277
Tabla 152. Fuerzas horizontales por piso debido al sismo	277
Tabla 153. Diseño de losa de entrepiso	278
Tabla 154. Diseño de losa de techo	278
Tabla 155. Diseño de viga	279
Tabla 156. Centro de masa de la estructura.....	279
Tabla 157. Centro de rigidez de la estructura.....	280
Tabla 158. Excentricidades teóricas y reales de la estructura	280
Tabla 159. Fuerzas ultimas en muros de primer nivel.....	282
Tabla 160. Fuerzas ultimas en muros de segundo nivel.....	283
Tabla 161. Fuerzas ultimas en muros de tercer nivel	284
Tabla 162. Fuerzas ultimas en muros de cuarto nivel	285
Tabla 163. Armado de muros con longitudes entre 0.01 m a 1.00 m.....	286
Tabla 164. Armado de muros con longitudes entre 1.51 m a 2.50 m.....	286
Tabla 165. Armado de muros con longitudes entre 2.51 m a 3.00 m.....	287
Tabla 166. Armado de muros con longitudes entre 3.51 m a 4.50 m.....	287
Tabla 167. Armado de muros con longitudes entre 4.51 m a 7.50 m.....	287
Tabla 168. Diseño de cimentación corrida	288
Tabla 169. Cuantificación y costo total de la estructura.....	289
Tabla 170. Diámetros de referencia.....	291
Tabla 171. Cotas para la conducción de agua potable por bombeo	291
Tabla 172. Pérdidas en las tuberías utilizando la ecuación de Hazen-Williams	292
Tabla 173. Caudal instantáneo de agua fría.....	293
Tabla 174. Caudal instantáneo de agua caliente.....	293
Tabla 175. Diámetros de los sub-ramales de agua fría de cada dispositivo	294
Tabla 176. Diámetros de los sub-ramales de agua caliente para cada dispositivo	294
Tabla 177. Diámetro del ramal de enlace de agua fría	294
Tabla 178. Diámetro del ramal de enlace de agua caliente	294
Tabla 179. Diámetro de los alimentadores	295
Tabla 180. Volumen requerido de almacenamiento de agua.....	295
Tabla 181. Diámetros de sifones y derivaciones simples.....	296
Tabla 182. Cálculo de diámetros de derivaciones compuestas y bajantes. (4 niveles)	296
Tabla 183. Cálculo de diámetros de derivaciones compuestas y bajantes (3 niveles)	297
Tabla 184. Diámetro de los colectores de agua gris	297

Tabla 185. Caudal instantáneo de agua gris	297
Tabla 186. Diámetro del sub-ramal de agua gris.....	298
Tabla 187. Diámetro del ramal de enlace de agua gris.....	298
Tabla 188. Diámetro de los alimentadores de agua gris.....	298
Tabla 189. Volumen de agua gris producida por apartamento.....	298
Tabla 190. Volumen de agua gris necesaria para reutilizar en inodoros.....	299
Tabla 191. Volumen de agua gris necesaria para reutilizar en riego.....	299
Tabla 192. Diámetros de derivaciones simples y sifones para aguas negras	301
Tabla 193. Diámetros de sifones y derivaciones simples para agua negra de inodoros.....	301
Tabla 194. Diámetros de derivaciones compuestas y bajantes de aguas negras	301
Tabla 195. Diámetro de tubería colectora de aguas negras	301
Tabla 196. Cuantificación de sobrecosto de la implementación del sistema propuesto.....	302
Tabla 197. Análisis de sobrecosto de implementación del sistema.....	302
Tabla 198. Energía total del sistema de aguas.....	328
Tabla 199. Consumo promedio energético por apartamento.....	329
Tabla 200. Número de paneles a instalar.....	336
Tabla 201. Características eléctricas del panel	337
Tabla 202. Parámetros mínimos y máximos a cumplir	337
Tabla 203. Configuración propuesta para los paneles	337
Tabla 204. Chequeo de condiciones para los paneles	338
Tabla 205. Inversión inicial por apartamento.....	339
Tabla 206. Cálculo de potencia y ahorro.....	340
Tabla 207. Rentabilidad del proyecto.....	340
Tabla 208. Análisis financiero sistema de iluminación.....	344

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Acciones y reacciones sobre una estructura.....	14
Figura 2. Apoyo articulado móvil.....	15
Figura 3. Apoyo articulado fijo	15
Figura 4. Apoyo empotrado.....	16
Figura 5. Recorrido de la carga para un cartel sometido a cargas de viento	17
Figura 6. Diagrama de conexión a corte.....	28
Figura 7. Diagrama de conexión a momento.....	28
Figura 8. Diagrama de conexión semi-rígida	29
Figura 9. Tipos de zapatas aisladas	32
Figura 10. Zapata superficial combinada	32
Figura 11. Placa de cimentación de placa plana.....	33
Figura 12. Placa de cimentación con mayor área en las columnas.....	33
Figura 13. Placa de cimentación de vigas y losa	34
Figura 14. Placa de cimentación con pedestales.....	34
Figura 15. Placa de cimentación de losa con muros de sótano.....	35
Figura 16. Pilote estándar	36
Figura 17. Pilote de flexión	36
Figura 18. Pilote en suelos expansivos y colapsables	37
Figura 19. Pilote sometido a levantamiento	37
Figura 20. Pilote en zona de erosión	38
Figura 21. Zonificación sísmica de Guatemala	41
Figura 22. Edificio ACROS Fukuoka en Japón	46
Figura 23. Diagrama de esfuerzo-deformación.....	58
Figura 24. Efecto Bauschinger en el acero estructural	59
Figura 25. Clasificación de los elementos según su relación anchura-espesor	60
Figura 26. Flujo de materia del proceso de fabricación del acero	69
Figura 27. Detalle del panel con canterías lisas en sus extremos	73
Figura 28. Sistema de fijación de los paneles con clips	73
Figura 29. Detalle del sistema de fijación con clips	74
Figura 30. Sistema de fijación de los paneles con portapaneles.....	74
Figura 31. Detalle del sistema de fijación con portapanel.....	75
Figura 32. Elaboración de paneles de CLT	76
Figura 33. Detalle de capas de aislamiento	81
Figura 34. Falla diagonal o en "X"	91
Figura 35. Falla diagonal o en "X" entre vanos.....	92
Figura 36. Grieta horizontal en el muro	92
Figura 37. Falla vertical en el muro.....	93
Figura 38. Volteo parcial del muro.....	93
Figura 39. Volteo total del muro	93
Figura 40. Partes de una acometida domiciliar.....	104
Figura 41. Contador volumétrico de agua	105
Figura 42. Tubería de distribución de agua potable expuesta en una edificación	105
Figura 43. Ejemplo de dispositivos aprovechadores de agua potable	106
Figura 44. Ejemplo de ensamble de tubería de drenaje (gris) y agua potable (blanco).....	110

Figura 45. Ejemplo de colocación y funcionamiento de un sifón en un lavamanos	111
Figura 46. Esquema de los efectos de la instalación de un sifón.....	111
Figura 47. Distintos diámetros en PVC con coplas para fácil inserción.....	124
Figura 48. Accesorios para unión de tuberías de PVC	124
Figura 49. Disponibilidad de tuberías y accesorios de CPVC.....	125
Figura 50. Poliducto	126
Figura 51. Variedad de diámetros de tubería de polietileno.....	126
Figura 52. Tubería corrugada de polietileno para alcantarillado sanitario y pluvial.....	126
Figura 53. Tubería de hierro galvanizado con coplas.....	127
Figura 54. Accesorios de tubería de hierro galvanizado	127
Figura 55. Diámetros de tubería de polipropileno.....	128
Figura 56. Tubería de cobre para instalaciones menores	128
Figura 57. Diámetros para tubería de cobre	129
Figura 58. Accesorios para tubería de cobre	129
Figura 59. Modelo de bomba de émbolo.....	130
Figura 60. Modelo de bomba de pistón	131
Figura 61. Diagrama de funcionamiento de bomba de aspas.....	131
Figura 62. Diagrama de funcionamiento de bomba peristáltica.....	132
Figura 63. Diagrama de funcionamiento de bomba de tornillo.....	132
Figura 64. Diagrama de funcionamiento de bomba de engranajes.....	133
Figura 65. Diagrama de bomba de flujo radial.....	134
Figura 66. Diagrama de funcionamiento de bomba de flujo axial	134
Figura 67. Laguna de sedimentación.....	136
Figura 68. Diagrama de funcionamiento de tanque séptico	137
Figura 69. Estanque sedimentador	137
Figura 70. Humedal de tratamiento secundario.....	138
Figura 71. Ejemplo de biorreactor de membrana	139
Figura 72. Reactor de lodos activados.....	139
Figura 73. Rutas del agua pluvial sobre la superficie terrestre.....	140
Figura 74. Trampa de grasa	141
Figura 75. Filtro biológico de una fase.....	142
Figura 76. Inversión mundial en energía solar	144
Figura 77. Generación eléctrica de Centroamérica para el 2016.....	146
Figura 78. Porcentaje de energía hidroeléctrica producida sobre el total de energía	147
Figura 79. Producción de energía hidroeléctrica en el mundo	147
Figura 80. Eficiencia energética	149
Figura 81. Beneficios energéticos	150
Figura 82. Tendencias del uso energético para 2040.....	152
Figura 83. Mapa del consumo total de energía por país en el año 2015	154
Figura 84. Mapa del consumo de electricidad en hogares y domicilios.....	155
Figura 85. Mapa de las cantidades de consumo de carbón.....	155
Figura 86. Mapa del consumo de gas para domicilios	156
Figura 87. Mapa del porcentaje de producción por plantas solares o eólicos	156
Figura 88. Mapa de producción de energía hidroeléctrica renovable	157
Figura 89. Energías renovables y no renovables	157
Figura 90. Porcentajes de electricidad.....	159
Figura 91. Generación de energía del primer semestre en 2016 en España	160

Figura 92. Energía consumida en USA por cada tipo de energía.....	161
Figura 93. Coste de energía según la fuente.....	162
Figura 94. Curva de oferta y demanda de energía.....	163
Figura 95. Precio promedio de electricidad en Centroamérica	165
Figura 96. Porcentajes de generación de energía en Centroamérica	166
Figura 97. Tarifas de energía a consumidores	167
Figura 98. Calificaciones del CEE	171
Figura 99. Proceso de captación de luz	174
Figura 100. Proceso de paneles solares	175
Figura 101. Turbina eólica.....	176
Figura 102. Partes de una turbina hidráulica	177
Figura 103. Tipos de turbinas hidráulicas	177
Figura 104. Turbina según caudal y altura	178
Figura 105. Domótica en una casa.....	179
Figura 106. Innovación de la domótica	181
Figura 107. Aportes de la domótica.....	183
Figura 108. Planta típica de la edificación	187
Figura 109. Clasificación de vigas principales por letra	191
Figura 110. Espectro de respuesta	203
Figura 111. Marco embreizado en la dirección X en 2D.....	204
Figura 112. Marco embreizado en la dirección Y en 2D.....	205
Figura 113. Modelo en 3D de la edificación en el software ETABS	209
Figura 114. Definición de los patrones de carga en el software ETABS	209
Figura 115. Cambio de parámetros según el sistema estructural	210
Figura 116. Reacciones en los apoyos obtenidas del modelo de ETABS	220
Figura 117. Diagrama de corte de zapata combinada.....	224
Figura 118. Diagrama de momento de zapata combinada	224
Figura 119. Espectro de respuesta	247
Figura 120. Elevación del perfil del terreno	291
Figura 121. Diseño luminaria sala parte 1	303
Figura 122. Diseño de luminaria sala parte 2	304
Figura 123. Diseño luminaria sala parte 3.....	305
Figura 124. Diseño de luminaria sala parte 4	306
Figura 125. Diseño luminaria cuarto principal parte 1	307
Figura 126. Diseño luminaria cuarto principal parte 2.....	308
Figura 127. Diseño luminaria cuarto principal parte 3.....	309
Figura 128. Diseño luminaria cuarto principal parte 4.....	310
Figura 129. Diseño luminaria cuarto parte 1	311
Figura 130. Diseño luminaria cuarto parte 2	312
Figura 131. Diseño luminaria parte 3	313
Figura 132. Diseño luminaria cuarto parte 4	314
Figura 133. Diseño luminaria cocina parte 1.....	315
Figura 134. Diseño luminaria cocina parte 2.....	316
Figura 135. Diseño luminaria cocina parte 3.....	317
Figura 136. Diseño luminaria cocina parte 4.....	318
Figura 137. Diseño luminaria pasillo parte 1	319
Figura 138. Diseño luminaria pasillo parte 2	320

Figura 139. Diseño luminaria pasillo parte 3	321
Figura 140. Diseño luminaria pasillo parte 4	322
Figura 141. Diseño luminaria baño parte 1	323
Figura 142. Diseño luminaria baño parte 2	324
Figura 143. Diseño luminaria baño parte 3	325
Figura 144. Diseño luminaria baño parte 4	326
Figura 145. Planta típica de colocación de luminaria.....	327
Figura 146. Simbología del plano de luminaria	328
Figura 147. Panel solar térmico.....	331
Figura 148. Rendimiento eléctrico de un panel solar	332
Figura 149. Dependencia de la temperatura de un panel solar.....	332
Figura 150. Especificaciones entre paneles solares.....	333
Figura 151. Plano de los paneles, medidas en milímetros.....	334
Figura 152. Contador bidireccional	336
Figura 153. Garantías paneles solares	342
Figura 154. Precio de sistema de iluminación.....	343
Figura 155. Precio mano de obra sistema de iluminación.....	344
Figura 156. Precio de CCTV	346
Figura 157. Sistema acceso peatonal.....	347
Figura 158. Sistema de acceso vehicular.....	348

RESUMEN

La investigación tiene como objetivo principal el proponer alternativas para la reducción del impacto ambiental en la construcción de edificios de baja densidad en la Ciudad de Guatemala, para lo cual se realizaron propuestas para el sistema estructural, el sistema de instalación hidráulica, sistemas de eficiencia energética y domótica.

En la parte estructural se consideraron los sistemas de marcos de acero estructural, mampostería de ladrillo y paneles de CLT. Para los tres sistemas se realizó el diseño estructural haciendo uso de las normas y especificaciones correspondientes, a partir de los cuales se realizaron presupuestos aproximados, estimación de la duración del proyecto y se obtuvo la huella de carbono para cada uno. A la hora de realizar el análisis comparativo en la parte de costos se determinó que el sistema más económico es la mampostería de ladrillo con Q 2,346,322.42. Cabe mencionar que para el presupuesto únicamente se consideró el costo del sistema estructural y la fachada. En cuanto a la duración de los proyectos, el más rápido es el acero con 6.5 meses. Por último, el CLT fue el que tuvo una menor huella de carbono con 119 ton CO₂. En conclusión, se determinó que el material óptimo es el CLT ya que, si bien su precio no es el más bajo, este es similar al del material más económico. Además, su huella de carbono es mucho más baja que la del acero y el ladrillo y su duración se encuentra en un punto intermedio, siendo así el material que más se adapta al enfoque de la investigación.

Para el sistema de instalación hidráulica, se propuso un sistema de reutilización de aguas grises el cual está conformado por los sistemas de recolección, tratamiento, almacenamiento, bombeo, distribución y desagüe del agua. El diseño se llevó a cabo mediante la modificación de la red de distribución de agua potable ya existente para poder acoplar el diseño propuesto. Es importante mencionar que también se estimó el sobrecosto de la implementación del nuevo sistema y el ahorro en volumen de agua. Los resultados obtenidos fueron que el ahorro de agua estimado es del 22% del agua gris producida. El sobre costo es de Q 15,105.40, en el caso en el que en el diseño original del edificio se haya considerado una planta de

tratamiento con una capacidad adecuada, representando un aumento del 0.5% en el precio de cada apartamento.

Se realizó el diseño de los sistemas de eficiencia energética y domótica planteando el diseño de las luminarias para que fueran de bajo consumo. Se propuso un sistema de paneles solares para que los apartamentos produzcan su propia energía y la energía para el sistema de bombeo de aguas. Por último, se realizó un análisis para evaluar la posibilidad de emplear un sistema de domótica. En la parte de la iluminación se diseñó un sistema con focos led y un sistema inteligente que regula su uso, con un retorno de inversión de tres años y nueve meses. Así mismo, en la parte de eficiencia energética se determinó que para proporcionar la energía adecuada son necesarios cuatro paneles solares por apartamento, con un retorno de inversión de cuatro años y medio.

I. Introducción

El sector de la construcción genera un gran impacto ambiental, lo cual representa una de las mayores fuentes de contaminación a nivel mundial. Lo cierto es que la revolución industrial supuso un gran cambio en las técnicas empleadas para la producción de materiales de construcción donde hasta entonces, la fabricación conllevaba procesos más simples y adaptados al entorno ya que eran materiales naturales.

El resultado de dichos cambios se traduce en altos niveles de contaminación debido a la distancia de obtención de materia prima y la ubicación del lugar de fabricación, así como de la explotación desmesurada de recursos debido a la gran demanda de la industria. Adicional, los procesos generan un aumento en la emisión de gases de efecto invernadero, los cuales han repercutido gravemente en el medio ambiente.

El hecho de que el planeta corra peligro debido a la gran actividad humana que ha provocado grandes cambios, tales como el calentamiento global, reducción de fauna y flora, mayor demanda de recursos naturales y la disminución del espacio habitable es inevitable.

Bajo esta premisa, el siguiente estudio tiene como objeto el planteamiento de distintas alternativas constructivas para un edificio residencial de baja densidad. Para ello se presentan los diseños estructurales del mismo edificio utilizando tres materiales distintos; mampostería de ladrillo, acero estructural y madera contra laminada. Posteriormente, se realiza el diseño de las instalaciones eléctricas e hidrosanitarias ecológicamente eficientes.

El diseño estructural en cada material permitió encontrar el material ideal para la construcción, considerando el costo y la huella de carbono generada. Dando como resultado más eficiente la construcción en CLT para el edificio propuesto.

El diseño de las instalaciones eléctricas e hidrosanitarias consideró las necesidades de los habitantes de la estructura para aprovechar los recursos naturales de forma ecológica y

eficiente. Se pudo determinar una red hidráulica de reciclaje de aguas grises, reduciendo el consumo de agua potable del edificio. Por último, se determinó un sistema eléctrico que es capaz de cumplir con la demanda de las viviendas y para el funcionamiento y mantenimiento del edificio.

II. Objetivos

A. Generales

1. Proponer alternativas para la reducción del impacto ambiental en la construcción de edificios de baja densidad en la Ciudad de Guatemala.

B. Específicos

2. Diseñar una red hidráulica para un edificio que sea eficiente en el uso de agua y de energía eléctrica.
3. Elaborar un análisis comparativo entre el ladrillo, CLT y acero para establecer la alternativa ideal para la construcción de edificios de baja densidad en el país
4. Proponer un sistema eficiente de ahorro energético que beneficie a los residentes del edificio a través del uso de la tecnología y sistemas de generación de energía propia del edificio
5. Elaborar un análisis financiero de las propuestas.

III. Marco teórico

A. Criterios y especificaciones para el diseño estructural

El diseño estructural engloba todas las actividades para definir la forma, dimensiones y características de una estructura. Este se encarga que la estructura se comporte de manera adecuada para que cumpla la función para la que está destinada. Es de los procesos más importantes de la obra civil ya que de él depende que la estructura sea capaz de absorber todos los esfuerzos a los que estará sometida la estructura a lo largo de su vida útil (Mendoza, 2007).

El diseño estructural es un proceso complejo donde se deben considerar diversos factores. El ingeniero estructural debe tomar en cuenta que la resistencia es una propiedad fundamental pero no es la finalidad primaria de la estructura. El diseño debe asegurarse que la estructura sea segura para el usuario tanto en resistencia como servicio, así como ser factible su construcción. La factibilidad va a estar descrita por el costo y la capacidad de fabricación y construcción. Se deben de usar elementos que no sacrifiquen la resistencia de la estructura pero que reduzcan los costos. De igual forma, deben ser fáciles de fabricar y de montar teniendo en cuenta transporte, disponibilidad de mano de obra y disponibilidad de equipo para su montaje y realización (McCormac & Csernak, 2012).

Adicional, se debe respetar que una obra civil es un conjunto de subsistemas y elementos que se combinan de forma ordenada para cumplir con determinada función. Cada construcción está integrada por subsistemas como elementos arquitectónicos, instalaciones sanitarias, instalaciones eléctricas, elementos estructurales, entre otros que interactúan entre sí. Por ello, el diseño estructural debe contemplar cada una de las interacciones para que se obtenga un resultado óptimo. Es importante que cada una de las disciplinas que integra el sistema tome en cuenta dichas interacciones. En muchas ocasiones se omiten dichas interacciones, pensando que cada una es independiente de la otra. Por ejemplo, cuando se propone un diseño arquitectónico con poca o nula atención al diseño estructural. Esto es otro inconveniente que enfrenta el diseño estructural ya que se debe adecuar a diversas disciplinas que ignoran que la construcción civil funciona como un sistema (Mendoza, 2007).

1. Proceso de diseño estructural

Definir el proceso de diseño estructural es complejo debido a su carácter creativo. Este es el resultado de encontrar e imaginar un sistema estructural que sea idóneo para las sollicitaciones y función de la estructura. Sin embargo, no quiere decir que el diseño estructural sea únicamente producto de la imaginación y creatividad del ingeniero estructural. El sistema propuesto por el especialista se debe de comprobar por medio de fórmulas y cálculos basados en la teoría del diseño estructural (Mendoza, 2007).

El proceso de diseño es arbitrario, pero se pueden establecer tres partes fundamentales: estructuración, análisis y dimensionamiento. Cabe mencionar que distinguir estos tres pasos no implica que sea un proceso unidireccional. El proceso de diseño estructural es un proceso iterativo que conlleva una repetición de etapas hasta el diseño final (Mendoza, 2007).

Las tres partes fundamentales del proceso del diseño estructural se conforman por las siguientes fases:

- Planteamiento de soluciones preliminares: Es fundamental establecer las funciones que debe cumplir la estructura, así como las restricciones impuestas por el entorno físico y los interesados, es decir, las condiciones que rodean el proyecto. En esta fase, se busca la interacción del ingeniero estructural con el resto de los especialistas involucrados.
- Evaluación a las soluciones preliminares: Se identifican las partes y se realiza una estimación del costo. De igual forma, se verifica la viabilidad y la factibilidad del proyecto. Esto incluye la facilidad de obtención de los recursos, la rapidez, la eficacia y grado de dificultad de las técnicas de ejecución del proyecto.
- Diseño detallado: Dicha fase se orienta a definir detalladamente las etapas del proceso de ejecución.
- Transferencia de los resultados de diseño: Es de suma importancia que los involucrados reciban la información clara y completa del diseño incluyendo especificación de los materiales, procedimientos y la memoria de cálculo.

- Supervisión: Todo el proceso de ejecución de la obra debe ser integral es por lo que se incluye en las fases del diseño estructural ya que se debe garantizar que el diseño se interprete y se ejecute lo mejor posible y acatándose a los planos. Así mismo, si existieran cambios, estos deben adaptarse al diseño sin alterar la seguridad y congruencia del diseño planteado inicialmente (Mendoza, 2007).

a. Estructuración

La estructuración es el proceso por medio del cual se establecen los materiales, forma, configuración, dimensión y propiedades de los elementos estructurales. Es la parte de proceso más importante ya que se define el sistema estructural lo cual definirá el comportamiento de la estructura ante las solicitaciones (Mendoza, 2007).

b. Análisis

En el proceso de análisis se busca conocer la respuesta de la estructura ante las solicitaciones a la que estará sometida la estructura, es decir, los efectos de las cargas en la estructura. Para poder realizar un análisis estructural se deben seguir los siguientes pasos:

- Modelar o idealizar la estructura a través de un modelo teórico factible que se asemeje al comportamiento real de la estructura capaz de ser analizado con los procedimientos disponibles. Es importante que el modelo sea una representación adecuada de la estructura por lo que no debe ser un modelo simple.
- Realizar la integración de las acciones de diseño. Las cargas de diseño están definidas por los códigos, sin embargo, el proyectista debe asegurarse que las cargas utilizadas correspondan a las condiciones ambientales y funcionales de la estructura en análisis.
- Determinar reacciones de diseño. Se definen los esfuerzos internos de flexión, torsión, axiales y de corte, así como deflexiones y deformaciones de la estructura. Este paso en sí constituye el análisis estructural (Mendoza, 2007).

En general, el análisis estructural ha tenido un amplio desarrollo debido al gran avance en el campo tecnológico de software de diseño estructural. Cada vez más, las interfaces de los programas son más amigables y las computadoras son más rápidas lo que facilita el procesamiento de información. Existen diversos métodos de análisis que permiten definir el comportamiento de las estructuras ante las solicitaciones los cuales se describen a continuación (Mendoza, 2007).

1) Método de la carga sísmica estática equivalente

El método de la carga estática equivalente consiste en modelar las solicitaciones sísmicas como fuerzas horizontales estáticas que actúan a lo alto y ancho de la estructura. Dicha fuerza equivalente depende de la masa, propiedades elásticas y el período de vibración fundamental de la estructura. Este se utiliza como calibración y guía comparativa para otros métodos de análisis. Es importante mencionar que solo está permitido utilizarse en estructuras con nivel de protección B o C, así como para edificios considerados como utilitarios u ordinarios con un máximo de tres niveles sobre la base nominal (Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica, 2017).

El total de las fuerzas horizontales equivalentes se representa por medio del cortante estático sísmico equivalente al límite de cedencia en la base nominal de la estructura. Este se expresa de la siguiente manera:

$$V_b = C_s \times W_s$$

Donde:

V_b = cortante basal

C_s = Coeficiente sísmico

W_s = Peso sísmico efectivo

Es importante mencionar que en el peso sísmico efectivo de la estructura se debe considerar el peso propio incluyendo carga muerta superpuesta, el peso de los tabiques interiores que debe ser $75 \frac{kg}{m^2}$ como mínimo, peso de fachadas, equipos anclados a la estructura con un peso mínimo de 1000 kg, el 25% las cargas vivas mayores a $500 \frac{kg}{m^2}$ o que

correspondan a artículos embodegados. Si las cargas vivas están consideradas como reducibles pueden omitirse al igual que las cargas vivas en azoteas privadas y en estacionamiento de vehículos pasajeros (Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica, 2017).

El coeficiente sísmico está dado por la siguiente expresión:

$$C_s = \frac{S_a(T)}{R}$$

En donde:

- $S_a(T)$ representa la demanda sísmica de diseño para una estructura con periodo T
- R representa el factor de reducción.
- T es el periodo fundamental de vibración (AGIES, 2017)

El valor de C_s no puede ser menor a el máximo de las siguientes expresiones:

$$C_s \geq 0.044S_{cd}$$
$$C_s \geq \frac{0.75K_dS_{1r}}{R}$$

El periodo fundamental se calculará a partir de la siguiente estimación empírica:

$$T_a = K_T(h_n)^x$$

En donde:

- h_n representa la altura total del edificio, en metros.
- K_T es un factor que dependerá del sistema estructural.

El cortante basal previamente obtenido se distribuirá a lo alto de la estructura con las siguientes expresiones:

$$F_x = C_{xy}V_B$$
$$C_{xy} = \frac{W_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n (W_i h_i^k)}$$

En donde:

- F_x representa el cortante de cadencia para el nivel “x” que se analiza.
- h_x representa la altura del nivel “x” sobre la base sísmica
- $K = 1$, cuando $T \leq 0.5 \text{ seg}$
- $K = 0.75 + 0.5 T_s$, cuando $0.5 < T \leq 2.5 \text{ seg}$
- $K = 2$, cuando $T > 2.5 \text{ seg}$ (AGIES, 2017).

Posteriormente, esta será distribuida hacia los miembros verticales dispuestos para soportar el sismo que están debajo del nivel analizado. Es importante tomar en cuenta las rigideces relativas de estos miembros y del diafragma respectivo al nivel analizado. Cabe resaltar que no se debe pasar por alto el momento de giro causado debido a la excentricidad del centro de masa del entre piso y su centro de rigidez, en los casos en donde el diafragma es considerado con rigidez constante. En los casos contrarios, se deberá aplicar las fuerzas inerciales según la posición de las masas que las generan (AGIES, 2017).

2) Métodos de análisis dinámicos

Cuando las cargas dinámicas se consideran pequeñas es justificable el uso de un análisis estático, sin embargo, cuando las cargas dinámicas son considerables, las fuerzas inerciales adquieren relevancia por lo que es importante implementar análisis dinámicos.

a) Análisis modal espectral

También conocido como método de la respuesta espectral. Este es un análisis que se basa en combinar las estimaciones estadísticas de registros sísmicos históricos con la teoría de la dinámica estructural. Básicamente, se busca determinar los valores máximos de los desplazamientos y aceleraciones de cada modo de vibración utilizando un espectro de diseño, el cual representa un promedio o una envolvente de los espectros de respuesta para múltiples sismos tomando en cuenta algunas consideraciones adicionales de los códigos de diseño.

Dichos valores máximos se combinan utilizando dos métodos, la suma de los cuadrados (SRSS) o la combinación cuadrática completa (CQC). Ambos métodos generan resultados

bastante probables y confiables. Al obtener el valor resultante de la combinación de los valores máximos, se ubican las fuerzas actuantes sobre los niveles de la edificación, en el centro de masa de cada nivel. Es de suma importancia que, para el análisis, la totalidad de los modos de vibración considerados generen un 90% de participación de la masa (Uribe, 2014).

Dentro de las principales consideraciones que se deben tener están:

- Masa del análisis: La masa utilizada será la correspondiente al peso sísmico efectivo. Es responsabilidad del analista la elección de los nodos a los que se distribuirá la masa del análisis. De igual forma será el analista el que decida cuando utilizar únicamente grados de libertad horizontales o una combinación de horizontales y verticales.
- Excentricidades accidentales: Calculadas según lo establecido en la NSE 3-17 (AGIES, 2017).

b) Análisis de historia en el tiempo

El método de análisis de historia en el tiempo es muy poco utilizado debido a su gran complejidad. Este está orientado a calcular la respuesta del edificio utilizando historias del tiempo grabadas como base (Centeno, 2017).

Existen dos tipos de análisis de historia en el tiempo, dentro de los cuales se puede mencionar:

- De condiciones de contorno no lineales: Dicho método se utiliza para analizar estructuras con soportes no lineales como aisladores y amortiguadores sísmicos.
- Inelástico: Este consiste en considerar el comportamiento no lineal del material en la estructura (Centeno, 2017).

c. Dimensionamiento

El dimensionamiento consiste en definir detalladamente la estructura y verificar que se cumplan los requisitos mínimos de seguridad establecidos en los manuales y códigos correspondientes. En este paso se definen los planos del proyecto (Mendoza, 2007).

2. Cargas de diseño

El diseñador estructural debe realizar una estimación de las cargas que experimentará la estructura durante su vida útil sin omitir ninguna. De igual forma, debe considerar las combinaciones y situaciones más desfavorables a las que pueda estar sometida la estructura. Es importante mencionar que las cargas se clasifican según su naturaleza y duración de aplicación (Mendoza, 2007).

a. Cargas permanentes

Las cargas permanentes son aquellas de magnitud constante y que se mantienen fijas a la estructura. Dentro de ellas se puede mencionar las cargas muertas, empujes de suelo y fluidos y los esfuerzos generados por elementos presforzados (Mendoza, 2007).

Es importante mencionar que para hacer el diseño estructural se realiza una estimación del peso propio de la estructura para posteriormente calcular el peso real de la estructura cuando ya están establecidos los elementos (Mendoza, 2007).

b. Cargas variables

Se define como cargas variables a las fuerzas cuya magnitud varía con el tiempo. Dentro de las cargas variables podemos mencionar a las cargas vivas, los efectos de temperatura, esfuerzos generados por hundimientos, entre otras (McCormac & Csernak, 2012).

Las cargas vivas son aquellas que dependen del uso y de la ocupación de la estructura. Estas se dividen en cargas móviles y cargas movibles. Las cargas móviles son las cargas que se mueven por su propio impulso mientras que las cargas movibles son cargas que pueden moverse con ayuda de un impulso (McCormac & Csernak, 2012).

Para el diseño estructural existen cargas vivas mínimas gravitacionales conocidas como cargas de piso que deben usarse obligatoriamente dependiendo de la localidad de la estructura y el uso de esta. En el caso del diseño de un puente o alguna estructura con tránsito de vehículos se deben considerar cargas de tránsito y cargas de impacto que toman en cuenta la vibración y cargas concentradas. De igual forma, si hay presencia de suelo o agua se debe considerar el empuje que puede generar (McCormac & Csernak, 2012).

c. Cargas ambientales

Se conoce como cargas ambientales a las cargas causadas por el medio ambiente. En edificios, se definen como cargas ambientales las que son causadas por lluvia, nieve, viento, cambios de temperatura y terremotos. Dentro de estas cabe destacar las cargas por viento y los terremotos ya que son las que más daño pueden llegar a causarle a una estructura (AGIES, 2017).

Las cargas de viento son las responsables de muchas fallas estructurales, no solo en edificios, sino que también en puentes, llegando a causar incluso pérdidas humanas. El impacto del viento en una estructura varía dependiendo de la localidad y altura de las estructuras, tipo de suelo en el que se encuentra la estructura, carácter del viento, etc. (International Code Council, 2006).

Es importante mencionar que el principal problema con el viento, al igual que las demás cargas ambientales, radica en que el cálculo de las fuerzas producidas no es exacto debido a que este es impredecible. Sin embargo, hay varios países e instituciones que han invertido en estudios para poder garantizar el comportamiento adecuado de una estructura ante las cargas de viento, como lo es ASCE. En el capítulo 6 del ASCE se encuentra el procedimiento para estimar las presiones de viento en edificios. Para esto toma en cuenta factores como el terreno donde se encuentra el edificio, la importancia con respecto a la vida humana y la velocidad del viento (International Code Council, 2006).

En cuanto a las cargas sísmicas, estas son las que se producen por el movimiento de las placas tectónicas, por lo general hay zonas en el mundo donde hay mayor probabilidad de que se presente un evento sísmico, y es en estas zonas donde es necesario considerar el efecto de las cargas sísmicas para el diseño de cualquier estructura (International Code Council, 2006).

Los efectos que tienen las cargas sísmicas sobre una estructura son proporcionales a la masa del edificio y su distribución, tipo de suelo en el que se encuentra situado, cercanía al epicentro del evento, duración del evento, cantidad de energía liberada, etc.

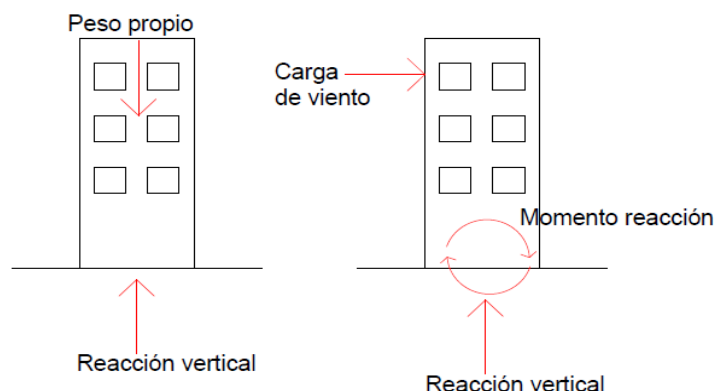
Para estimar el efecto de las fuerzas sísmicas se utilizan métodos de análisis estructural avanzado (International Code Council, 2006).

3. Reacciones y esfuerzos internos

La tercera ley de Newton plantea “toda acción tiene una reacción igual y en sentido opuesto”. Por lo que cuando un edificio es sometido a alguna fuerza o carga, esto genera una reacción, es decir, una fuerza en sentido contrario (Lira, 2006).

Cuando se habla de cargas vivas o muertas, se hace referencia a cargas que actúan en sentido vertical, hacia abajo generando como resultado una fuerza en sentido vertical, hacia arriba. Sin embargo, también existen reacciones en sentido horizontal y de momento. Por ejemplo, una estructura tipo péndulo invertido al estar sometida a cargas de viento genera una reacción de momento en la base, así como una reacción en sentido vertical y horizontal (Lira, 2006).

Figura 1. Acciones y reacciones sobre una estructura



Fuente: (Lira, 2006)

Dichas reacciones son las encargadas de resistir las fuerzas aplicadas a la estructura, así como los esfuerzos internos generados en los elementos estructurales. Las fuerzas actuantes se traducirán en los elementos como esfuerzos internos de compresión y tensión permitiéndonos conocer la respuesta estructural. Dichos esfuerzos se pueden representar como diagramas de momentos flectores y fuerzas cortantes (Lira, 2006).

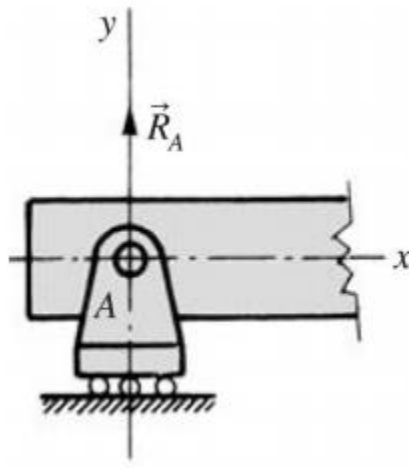
Es importante mencionar que la reacción puede ir variando dependiendo el tipo de unión entre la sollicitación exterior y el apoyo. Por ejemplo, un elemento sin apoyo tiene seis grados de libertad, esto quiere decir que tiene tres posibles desplazamientos en las direcciones de los ejes coordenados x , y , z y los posibles giros alrededor de cada eje (Escuela Técnica Superior de Ávila, 2012)

4. Clasificación de apoyos

a. Apoyo articulado móvil

En este tipo de apoyos el movimiento en la dirección x es libre, así como el giro en el plano x - y (ver Figura 2). Por lo tanto, la reacción en este tipo de apoyo se reduce a fuerzas perpendiculares a la dirección x , impidiendo así el desplazamiento en la dirección y (Escuela Técnica Superior de Ávila, 2012).

Figura 2. Apoyo articulado móvil

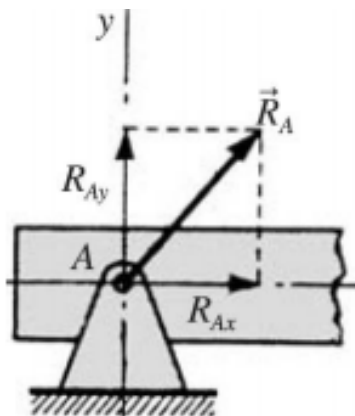


Fuente: (Escuela Técnica Superior de Ávila, 2012)

b. Apoyo articulado fijo

En este tipo de apoyo se encuentra restringido el desplazamiento tanto en la dirección del eje x como del eje y, sin embargo, el giro en el plano x-y es totalmente libre. La reacción para este tipo de apoyo es una fuerza R_x y una R_y , correspondientes a los grados de libertad restringidos (Escuela Técnica Superior de Ávila, 2012).

Figura 3. Apoyo articulado fijo

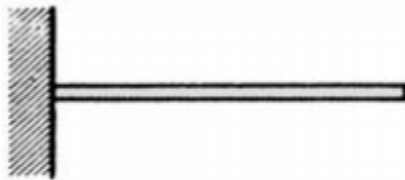


Fuente: (Escuela Técnica Superior de Ávila, 2012)

c. Apoyo empotrado

Este tipo de apoyo se caracteriza por tener todos los grados de libertad restringidos. Es decir, el movimiento está restringido en todos los ejes, así como los momentos (Escuela Técnica Superior de Ávila, 2012).

Figura 4. Apoyo empotrado



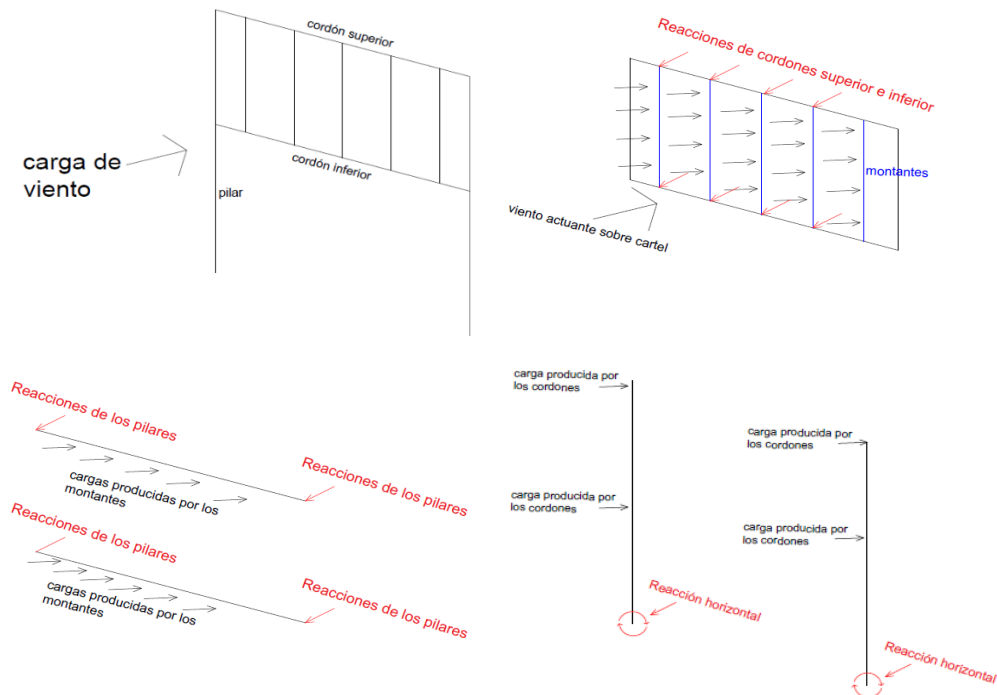
Fuente: (Escuela Técnica Superior de Ávila, 2012)

5. Recorrido de la carga

El recorrido de la carga se refiere a la secuencia de cargas y esfuerzos que se transmiten en los elementos estructurales. Se debe comprender que la principal función de la estructura es tener la capacidad de transferir las cargas por lo que todas las cargas deben y tienen un recorrido el cual debe ser identificado por el ingeniero estructural (Lira, 2006).

Supongamos el ejemplo del cartel indicado en la Figura 5. La carga de viento actúa perpendicularmente a la superficie del cartel la cual está apoyada sobre unos montantes. Los montantes verticales transmiten la carga a los cordones superior e inferior como una fuerza en sentido vertical. Dichos cordones trabajarán como vigas horizontales apoyadas en los pilares. Esto indica que los cordones generarán reacciones en los pilares que a su vez trabajan como voladizos verticales empotrados en el suelo. Para dicho ejemplo, toda la estructura participa en el recorrido de la carga (Lira, 2006).

Figura 5. Recorrido de la carga para un cartel sometido a cargas de viento



Fuente: (Lira, 2006)

El ejemplo anterior muestra la importancia de determinar el recorrido de la carga. Al definir dicho recorrido, eso permite establecer un patrón de comportamiento estructural el cual servirá para fijar la configuración estructural (Lira, 2006).

6. Estados límite para el diseño estructural

Se conoce como estado límite de diseño a la condición donde la estructura ya no cumple alguna de las funciones para la cual fue diseñada. Según las Normas Técnicas Complementarias sobre Criterios y Acciones para el Diseño Estructural de las Edificaciones del Reglamento de Construcción para el Distrito Federal (RCDF-2004), “*se alcanza un estado límite de comportamiento en una construcción cuando se presenta una combinación de fuerzas, desplazamientos, niveles de fatiga, o varios de ellos, que determina el inicio o la ocurrencia de un modo de comportamiento inaceptable de dicha construcción*”.

Los estados límites para el diseño estructural pueden de servicio y de falla.

a. Estado límite de servicio

Se define como estado límite de servicio a la ocurrencia de desplazamientos, agrietamientos o vibraciones que afecten el funcionamiento normal de la estructura sin perjudicar la capacidad de soportar o resistir carga. Esto quiere decir que afectan el confort y bienestar de los usuarios o de personas a la cercanía de la estructura (Mendoza, 2007).

Dicho límite se sobrepasa cuando las deformaciones, vibraciones o agrietamientos exceden el valor límite admisible para el cual fue diseñado (Mendoza, 2007).

b. Estado límite de resistencia

Cuando la capacidad de carga de una estructura o de cualquier elemento que la compone se ve afectada se puede decir que la edificación ha alcanzado su estado límite de falla. Esto quiere decir que no existe seguridad estructural ya sea porque se agota definitivamente la capacidad de carga o porque no hay suficiente capacidad para resistir futuras cargas (Centeno, 2017).

Este puede ser generado por:

- Solicitaciones normales
- Cortante
- Torsión
- Punzonamiento
- Rasante
- Estado límite de fatiga
- Estado límite de inestabilidad

Dicho estado límite es crítico ya que la estructura puede tener una pérdida de equilibrio, excesivas deformaciones, rotura de elementos, inestabilidad de los elementos estructurales, etcétera (Centeno, 2017).

Dentro de los estados límites de falla se pueden distinguir dos tipos, frágiles y dúctiles. Se dice que una falla es frágil cuando el elemento presenta pocas deformaciones y una reducción súbita y repentina de su capacidad de carga mientras que en una falla dúctil existen grandes deformaciones antes de alcanzar la falla, es decir, la capacidad de carga se mantiene ante deformaciones de gran magnitud (McCormac & Csernak, 2012).

7. Niveles de desempeño

Los niveles de desempeño son objetivos que se plantean para evitar el colapso de las estructuras. Estos limitan el daño tomando en cuenta la severidad del sismo (Ronquillo, 2017).

Los niveles de desempeño pueden ser de servicio, de control de daños y de supervivencia (Ronquillo, 2017).

a. Estado límite de servicio

Este limita los daños y las deformaciones para que no interfieran con el funcionamiento normal de la estructura lo que indica que no existe fluencia en los elementos, ni agrietamientos grandes, ni trituración del concreto. Este se aplica a sismos frecuentes de intensidad sísmica moderada (Ronquillo, 2017).

b. Estado límite de control de daños

El estado límite de control de daños se admite para sismos intermedios. En él, se permiten daños relevantes en los elementos siempre y cuando no se alcance la capacidad de carga de la estructura (Ronquillo, 2017).

c. Estado límite de supervivencia

Este hace énfasis en la protección de la vida humana. Se presentan daños considerables en la estructura ya que se admiten sismos extremos o severos. La estructura no debe colapsar aun cuando el daño sea irreparable (Ronquillo, 2017).

8. Filosofías de diseño

En la actualidad, se emplean únicamente dos filosofías de diseño: diseño por factores de carga y resistencia y diseño por cargas admisibles. Durante los pasados 100 años se utilizó el diseño por cargas admisibles, sin embargo, durante los pasados 20 años se buscó una filosofía más racional de diseño basada en la probabilidad, el diseño por factores de carga y resistencia (Mendoza, 2007).

Como es evidente, las estructuras y todos sus elementos deben tener una adecuada rigidez y resistencia que permita un desempeño óptimo durante toda la vida útil de la estructura. Es por lo que al diseñar se debe proveer capacidad de carga adicional que sirva como reserva por si hay algún cambio en el uso de esta. En conclusión, no es permitido la probabilidad de tener resistencias bajas que puedan afectar la seguridad de la vida humana sin importar que filosofía de diseño se utilice (Mendoza, 2007).

a. Diseño por factores de carga y resistencia LRFD

El diseño por factor de resistencia se basa en el concepto de estado límite definido anteriormente. Este impone requisitos que limitan el comportamiento respecto a los estados límite de resistencia y de servicio. Es importante mencionar que da énfasis al estado límite de resistencia.

En el método LRFD las cargas se multiplican por factores de seguridad casi siempre mayores a 1 lo que indica que el análisis se realizara con una carga mayor a la carga a la que realmente va a estar sometida la estructura. Así mismo, se diseña para que la resistencia última de la estructura sea igual a la resistencia nominal multiplicada por un factor de reducción que usualmente es menor a 1. Con este método se pretende tomar en cuenta las

incertidumbres relacionadas a la resistencia de los materiales y el proceso constructivo (Mendoza, 2007).

$$\sum \lambda Q_i \leq \phi R_n$$

Donde:

R_n = Resistencia de la estructura

Q_i = Esfuerzos actuantes sobre la estructura.

ϕ = Factor de reducción de resistencia

λ = Factor de aumento de carga

b. Diseño por esfuerzos admisibles

El diseño por esfuerzos admisibles se enfoca en que los esfuerzos reales que actúan sobre la estructura sean menores que los esfuerzos unitarios permisibles, es decir, los recomendados por los códigos de diseño que han sido establecidos como porcentajes de los esfuerzos de fluencia. Una de las suposiciones de este método es que todas las cargas tienen la misma variabilidad. La ecuación que describe el proceso de diseño es la siguiente:

$$\frac{R_n}{FS} \geq \sum_i Q_i$$

Donde:

R_n = Resistencia de la estructura

FS = Factor de seguridad

$\sum_i Q_{i_s}$ = Sumatoria de esfuerzos actuantes afectadas por un factor de combinación de carga.

Tabla 1. Comparativo de ventajas y desventajas del método ASD

Ventajas	Desventajas
Es el método más antiguo por lo que los diseñadores suelen estar más familiarizados con él.	No se garantiza un nivel constante de seguridad para todas las estructuras ya que es muy generalizado.
Es un método bastante simple ya que únicamente se suman las fuerzas y momentos aplicados para posteriormente multiplicarlo por un factor.	Algunas cargas críticas como el viento o sismo pueden verse reducidas por cargas predecibles y de poca variabilidad.
Las deflexiones y vibraciones son menos críticas ya que los esfuerzos que se generan son bajos.	

Fuente: (Elaboración propia)

9. Factores de diseño

a. Factores de carga

Los factores de carga tienen como objetivo tomar en cuenta las incertidumbres en la estimación de cargas vivas y muertas. Estos varían según la filosofía de diseño utilizada (Mendoza, 2007).

Es importante mencionar que el valor del factor de la carga muerta es menor que el factor de cargas vivas debido a que las cargas muertas permanecen fijas o durante largos periodos de tiempo por lo que son más predecibles mientras que las cargas vivas se aplican por periodos cortos y pueden ser variables, como las cargas de viento (Mendoza, 2007).

Tabla 2. Simbología para los tipos de cargas en las estructuras

Tipo de carga	Simbolo en la combinación
Cargas muertas	D
Cargas vivas	L
Cargas vivas de techo	L _R
Carga sísmica	E
Cargas de viento	W
Presión de fluidos	F _A
Presiones de materiales a granel	H
Empujes de suelos	H
Sub-presiones hidrostáticas	H
Cargas de lluvia	R
Cargas de nieve	S
Efectos de cambios de temperatura	T
Cargas de impacto o explosión	A _k

Fuente: (Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica, 2017)

Tabla 3. Combinaciones de carga para la filosofía de diseño LRFD

Combinaciones	C
1.4D	1
1.2D+1.6L+0.5(L _r o S o R)	2
1.2D+1.6L (L _r o S o R)+0.5(L o 0.5W)	3
1.2D+1W+L+0.5(L _r o S o R)	4
1.2d+1E+L+0.2S	5
0.9D+1W	6
0.9D+1E	7
(1.2+0.2S _{ds})D+ρE+1+0.2s	S1
(0.9+0.2S _{ds})D+ P _e +1.6H	S2

Fuente: (ASCE, 2010)

Tabla 4. Combinaciones de carga para la filosofía de diseño ASD

Combinaciones	C
D	1
D+L	2
D+(Lr o S o R)	3
D+0.75I+0.75(Lr o S o R)	4
D+(0.6W o 0.7E)	5
D+0.75Ñ+0.75(0.6W)+0.75(Lr o S o R)	6a
D+0.75L+0.75(0.7E)+0.75S	6b
0.6D+0.6W	7
0.6D+0.7W	8

Fuente: (ASCE, 2010)

b. Factores de resistencia

Los factores de resistencia sirven para tomar en cuenta la incertidumbre en la resistencia de los materiales, dimensiones de los elementos y en la mano de obra. El factor permite reconocer que no se puede calcular exactamente la resistencia de un elemento debido a las imperfecciones de cada material (Mendoza, 2007).

Los factores de resistencia se emplean multiplicando la resistencia última o nominal con un factor que usualmente es menor a 1 (Mendoza, 2007).

Tabla 5. Estados límite de resistencia y sus factores de seguridad

Tipo de esfuerzo	ϕ	Ω	Aplicación
Tensión	0.90	1.67	Fluencia en el área gruesa
	0.75	2.00	Ruptura en el área neta
Compresión	0.90	1.67	Pandeo torsional, pandeo flexional y pandeo flexional torsional
Flexión	0.90	1.67	Todos los elementos sujetos a esfuerzos de flexión
Corte	0.90	1.67	Todos los elementos sujetos a corte
Torsión	0.90	1.67	Torsión o torsión combinada

Fuente: (American Institute of Steel Construction Inc, 2005)

10. Sistemas estructurales

Las estructuras se clasifican según la Norma de Seguridad Estructural 3 – Diseño estructural de edificaciones basándose en la configuración estructural. Cada dirección de análisis se clasifica independientemente (Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica, 2017).

a. Sistema E1- Estructuras de marco simple

Las estructuras de marco simple son sistemas integrados por marcos de columnas y vigas que soportan todas las solicitaciones verticales y horizontales. Todos los marcos están unidos por diafragmas de piso los cuales normalmente son las losas siempre y cuando tengan suficiente rigidez (Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica, 2017).

Los marcos pueden ser de Alta Ductilidad (Tipo DA), Ductilidad Intermedia (Tipo DI) o de Baja Ductilidad (Tipo DB) (Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica, 2017).

b. Sistema E2 – Estructura de muros o tipo cajón

Las estructuras tipo cajón son aquellas formadas por muros estructurales conectados por diafragmas rígidos. Los muros son los encargados de resistir las solicitaciones horizontales y parte de las solicitaciones verticales que les corresponda por área tributaria. El resto de las cargas verticales podrán ser soportadas por columnas, las cuales no deben soportar solicitaciones horizontales, sin embargo, deben de ser capaces de cumplir con las solicitaciones de derivas laterales. En la estructura puede o no haber vigas, aunque estas no necesitan ser sismo-resistentes (Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica, 2017).

Los muros estructurales permitidos son de concreto reforzado o mampostería reforzada, tipo DA o DB, término explicados previamente (Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica, 2017).

c. Sistema E3 – Estructura combinada

Las estructuras combinadas son sistemas conformados por muros estructurales y marcos interconectados por diafragmas rígidos. Las cargas horizontales se distribuyen entre los muros y marcos en proporción a sus rigideces en el plano vertical. En la losa puede o no haber vigas, aunque estas no necesitan ser sismo-resistentes (Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica, 2017).

Los muros estructurales permitidos son los mismos que para las estructurales tipo cajón (Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica, 2017).

d. Sistema E4 – Estructura dual

El sistema Dual es similar a una estructura combinada exceptuando que, por cada piso, los muros deben tomar al menos un 60% del cortante de piso y los marcos deben ser Tipo DA y ser capaces de tomar un 25% de las solicitaciones sísmicas. Es importante que los elementos excluidos del sistema sismo – resistente cumplan con los requisitos de derivas laterales (Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica, 2017).

e. Sistema E5 – Soportes en voladizos y naves

Dichas estructuras son aquellas que constituyen un solo nivel o el nivel superior de otras estructuras en las cuales las columnas y/o muros resisten las solicitaciones verticales y horizontales actuando como voladizos verticales. Al actuar como voladizos verticales, el momento flector en la cimentación y base de la columna son críticos por lo que se debe de utilizar el factor de resistencia incrementada Ω_r . Adicional, las cargas axiales en la columna considerando solo sismo no deben exceder el 25% de la resistencia axial concéntrica (Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica, 2017).

f. Sistema E6 – Péndulo invertido

Las estructuras tipo péndulo invertido son un sistema que resisten las cargas verticales y horizontales actuando como voladizo vertical aislado. El 50% de la masa del sistema se encuentra concentrada en la parte superior y la estabilidad del sistema depende de una restricción a momento en la base. Al igual que para el sistema E5, la capacidad del momento flector en la cimentación y en la base debe ser calculado con el factor de resistencia incrementada Ω . Asimismo, la demanda axial en la columna no debe exceder el 15% de la resistencia axial concéntrica y la capacidad de momento flector en el extremo del soporte debe ser de al menos 50% la capacidad en la base del soporte (Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica, 2017).

11. Tipos de conexiones

a. Conexiones simples

Las conexiones simples, también denominadas a corte, son aquellas que permiten la rotación en sus extremos, es decir no transfieren momentos flectores. Estas se logran conectando el alma del elemento mediante pernos o soldadura y dejando libre las alas. Para el diseño, se asume totalmente flexible aun cuando posea algo de restricción rotacional (Arquitectura + Acero, 2005).

Figura 6. Diagrama de conexión a corte



Fuente: (Arquitectura + Acero, 2005)

b. Conexiones rígidas

Las conexiones rígidas, también denominadas de momento, son aquellas que permiten tener continuidad entre el elemento soportado y el soportante ya que se conserva el ángulo entre ellos durante las deformaciones. Las conexiones a momento deben ser lo suficientemente rígidas y resistentes para evitar cualquier tipo de rotación entre los elementos conectados. En dichas conexiones, las deformaciones se producen en los elementos que convergen al nudo. Para poder lograr dicha conexión se deben de conectar las alas del elemento soportado al elemento soportante (Arquitectura + Acero, 2005).

Figura 7. Diagrama de conexión a momento



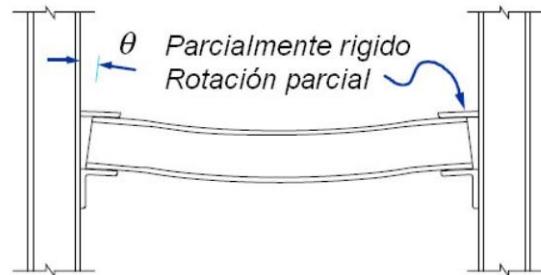
Fuente: (Arquitectura + Acero, 2005)

c. Conexiones semi-rígidas

Las conexiones semi-rígidas, también denominadas de momento parcialmente restringido, son aquellas que poseen un ángulo intermedio entre las conexiones de corte y las de momento. Estas se permiten como un método más conservador que las conexiones a

momento ya que solo se asegura un porcentaje del nivel de empotramiento (American Institute of Steel, 2013).

Figura 8. Diagrama de conexión semi-rígida



Fuente: (Arquitectura + Acero, 2005)

12. Sistemas estructurales sismo-resistentes

El diseño estructural ha ido evolucionado como resultado de la experiencia obtenida a lo largo del tiempo, con el fin de optimizar su uso. Todos estos avances han permitido desarrollar distintos tipos de estructuras sismo-resistentes, las cuales tienen un comportamiento estructural diferente una de la otra. Así mismo, cada estructura repercute de forma diferente en el costo del proyecto por lo que el ingeniero estructural debe buscar la solución más adecuada (Crisafulli, 2012).

El reglamento ANSI/AISC 341- 40 clasifica las estructuras sismo-resistentes en dos grupos: sistema de pórticos a momento o pórticos arriostrados y muros de corte. El primer grupo se caracteriza por su comportamiento controlado por flexión mientras que el segundo grupo domina el comportamiento de las fuerzas axiales o el corte. Para ambos sistemas, el código reconoce sistemas especiales u ordinarios. Los sistemas especiales requieren controles constructivos más estrictos ya que deben tener un comportamiento más dúctil en cambio los sistemas ordinarios se diseñan con acciones sísmicas mayores por lo que el nivel de control es menos estricto (Crisafulli, 2012).

a. Pórticos no arriostrados

También denominados pórticos resistentes a momento. Estos son un sistema conformado por vigas y columnas conectadas entre sí mediante soldadura, pernos o ambos. Los elementos

del marco están sometidos a momentos flectores y esfuerzos de corte, los cuales controlan su diseño. Estas estructuras tienen una elevada capacidad de disipación de energía y pueden tener tres niveles de desempeño: pórticos especiales, intermedios y ordinarios (Crisafulli, 2012).

b. Pórticos arriostrados

Los sistemas de pórticos arriostrados consisten en una estructura reticulada conformada por diagonales entre algunos marcos. Dichas diagonales se encargan de absorber las acciones laterales de viento y sismo, los cuales se traducen como esfuerzos axiales de compresión y tensión en dichos elementos. Los pórticos arriostrados se pueden clasificar en:

- Pórticos arriostrados concéntricamente: este sistema se emplea en edificios de mediana y baja altura. Dicho sistema posee una elevada rigidez lateral lo que permite un control en las derivas de la estructura, sin embargo, puede presentarse pandeo en las riostras. Los marcos pueden ser especiales u ordinarios según el nivel de desempeño para el cual se diseña (Crisafulli, 2012).
- Pórticos arriostrados excéntricamente: este sistema funciona debido a la conexión excéntrica entre la viga y diagonal. Dicha conexión genera esfuerzos de corte y momentos flectores haciendo que la zona de enlace fluya por lo que se disipa la energía. Esto permite que el resto de las componentes responda en el rango elástico y que exista ductilidad en el sistema (Crisafulli, 2012).

La zona de enlace debe diseñarse de tal forma que se asegure una respuesta dúctil, lo cual se obtiene mediante el uso de rigidizadores verticales que controlan el pandeo local en el alma (Crisafulli, 2012).

c. Columnas en voladizo

Este sistema es bastante simple ya que consiste en columnas empotradas en la base, las cuales son controladas por flexión. La flexión se genera por las cargas laterales, tales como viento o sismo que generan su valor máximo en el punto de empotramiento (Crisafulli, 2012).

Este sistema se utiliza en construcciones industriales, soportes de equipos o tanques, pilas de puentes, entre otros (Crisafulli, 2012).

d. Muros de corte con placas de acero

Los muros de corte consisten en estructuras formadas por placas esbeltas de acero, las cuales se conectan mediante elementos de borde horizontales y verticales. Estas se diseñan para fluir y pandear bajo el efecto de cargas laterales lo que permite disipar energía a través de las deformaciones inelásticas. Los elementos de borde se mantienen dentro del rango elástico, únicamente se permiten rótulas plásticas en los elementos de borde horizontal (Crisafulli, 2012).

13. Tipos de cimentaciones

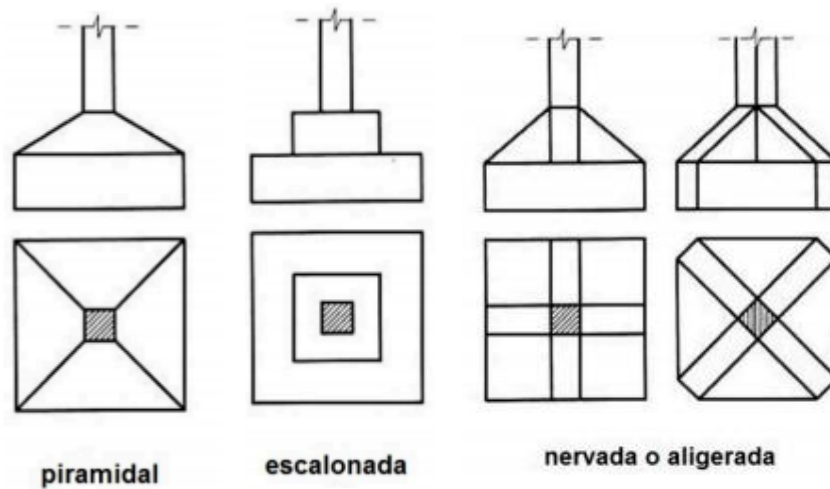
a. Cimentaciones superficiales

También denominadas directas. Las cimentaciones superficiales son aquellas que reparten la fuerza a través de sus elementos sobre una superficie de terreno a una profundidad entre medio metro a cuatro metros. Estas se aplican cuando los esfuerzos admisibles de las diferentes capas de suelo hasta esa cota permiten apoyar el edificio sin asentamientos excesivos y diferenciales (Bautista, 2010).

Las cimentaciones superficiales se dividen en zapatas individuales y zapatas combinadas.

Las zapatas individuales pueden ser cimientos corridos o zapatas aisladas, las cuales pueden estar cargadas excéntricamente o concéntricamente. Cuando el área de la construcción es restringida, normalmente se generan zapatas aisladas cargadas excéntricamente ya que es imposible lograr que el centro de carga de transmisión coincida con el centro de gravedad de la zapata. En cuanto a los cimientos corridos, estos se emplean cuando los muros funcionan como parte del sistema estructural por lo que se debe distribuir la carga al suelo (Bautista, 2010).

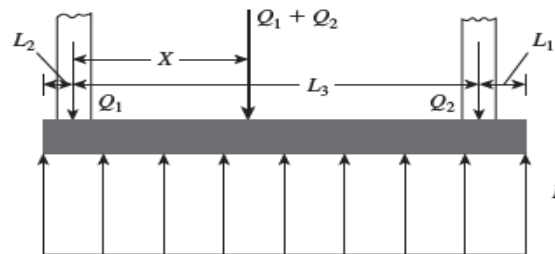
Figura 9. Tipos de zapatas aisladas



Fuente: (Bautista, 2010)

Los cimientos combinados se utilizan cuando dos o más columnas están muy cercanas entre sí por lo que debe unirse el cimiento (Bautista, 2010).

Figura 10. Zapata superficial combinada



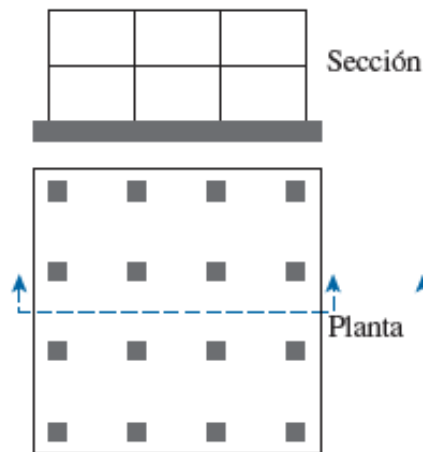
Fuente: (Das, 2012).

Por último, las losas de cimentación o placas de cimentación son otro tipo de zapata combinada que cubre toda el área debajo de la estructura. Estas son utilizadas en situaciones donde los suelos tienen capacidades de soporte muy bajas. Asimismo, estas son utilizadas cuando las zapatas combinadas cubren más de la mitad del área de un edificio, por lo que sería más económico realizar una losa de cimentación. Es importante mencionar que las losas se pueden combinar con pilotes, cuando la estructura se encuentra sobre un suelo altamente comprensible, para poder reducir los asentamientos y cuando el nivel freático es alto, para controlar la flotabilidad (Das, 2012).

En la actualidad existen diversos tipos de losas de cimentación, dentro de las cuales se puede mencionar las más comunes:

- De placa plana (losa con espesor uniforme).

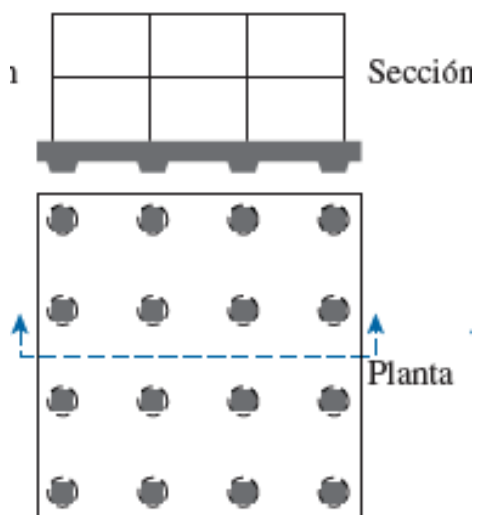
Figura 11. Placa de cimentación de placa plana



Fuente: (Das, 2012)

- De placa plana con mayor espesor en el área de las columnas.

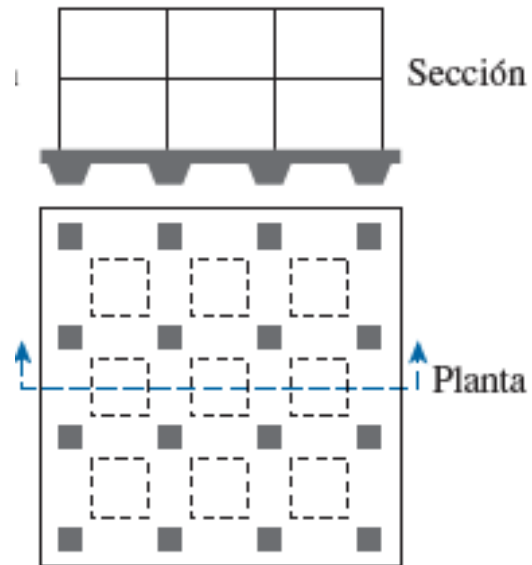
Figura 12. Placa de cimentación con mayor área en las columnas



Fuente: (Das, 2012)

- De vigas y losa (las vigas van en ambas direcciones, columnas en las intersecciones).

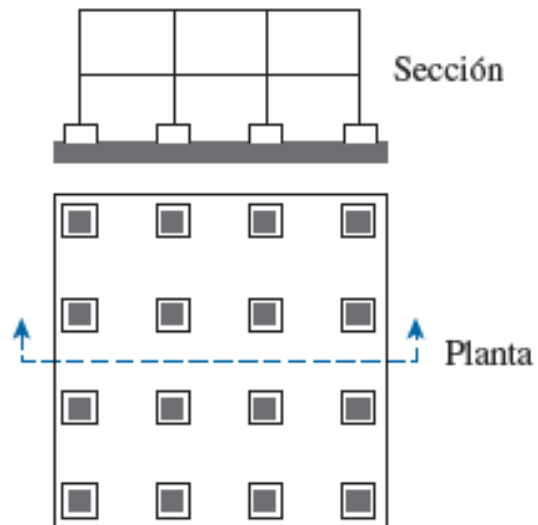
Figura 13. Placa de cimentación de vigas y losa



Fuente: (Das, 2012)

- De placas planas con pedestales

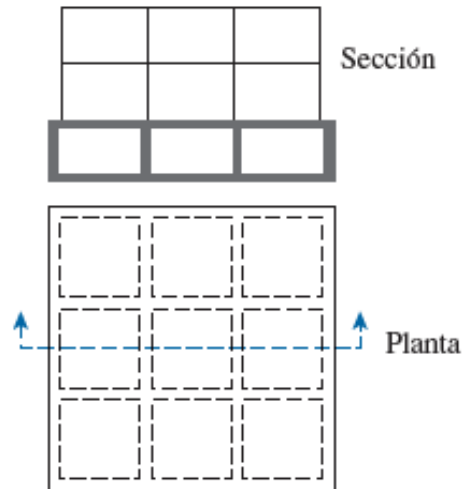
Figura 14. Placa de cimentación con pedestales



Fuente: (Das, 2012)

- Losa con muros de sótano como parte de la placa (Las paredes funcionan como refuerzo para la losa).

Figura 15. Placa de cimentación de losa con muros de sótano



Fuente: (Das, 2012)

b. Cimentaciones profundas

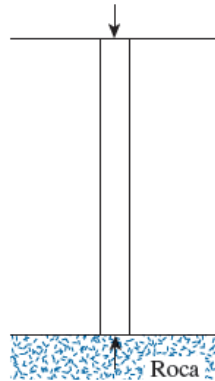
Las cimentaciones profundas se emplean cuando las condiciones de carga son altas y el valor de soporte de las capas superficiales es muy bajo por lo que debe buscarse un estrato que sea capaz de resistir las cargas de la edificación (Bautista, 2010).

Estas pueden trabajar por fuste o por punta. La contribución por fuste se basa en la fricción existente entre el pilote y el suelo donde se crea una tensión tangencial mientras que la contribución por punta se basa en el apoyo normal sobre capas más resistentes (Bautista, 2010). Dentro de las cimentaciones profundas podemos mencionar los pilotes y los micropilotes.

Los pilotes son elementos estructurales conformados con acero y concreto. Estos tienen costos mucho más elevados en comparación con las cimentaciones superficiales, sin embargo, en repetidas ocasiones es necesario utilizarlos para poder garantizar la seguridad estructural. A continuación, se mencionan algunos de los casos en los que es necesario el uso de pilotes (Das, 2012):

- Cuando los estratos de suelo son compresibles y demasiado débiles para poder soportar la carga transmitida por la estructura, los pilotes son utilizados para transmitir los esfuerzos hacia un estrato más fuerte (Das, 2012).

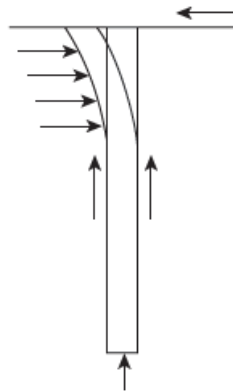
Figura 16. Pilote estándar



Fuente: (Das, 2012).

- Cuando la cimentación se somete a fuerzas horizontales y se generan esfuerzos de flexión. Gracias a su naturaleza los pilotes son capaces de soportar esfuerzos a flexión (Das, 2012).

Figura 17. Pilote de flexión

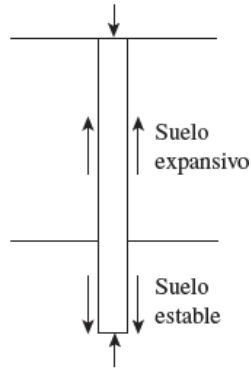


Fuente: (Das, 2012)

- En los casos en donde hay presencia de suelo expansible y colapsables debido al contenido de humedad del mismo. Si se usaran cimentaciones superficiales en estas

circunstancias se podrían generar daños severos en las mismas. Sin embargo, las cimentaciones profundas son una opción viable ya que se extienden más allá de estos estratos donde ocurre la expansión y contracción (Das, 2012)

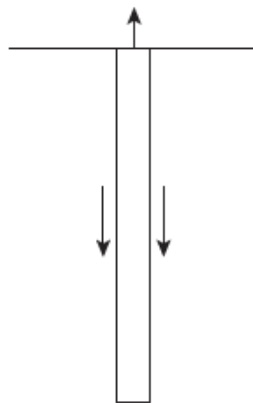
Figura 18. Pilote en suelos expansivos y colapsables



Fuente: (Das, 2012)

- En casos particulares como en torres de transmisión o losas debajo del nivel freático la cimentación se ve sometida a fuerzas de levantamiento. Los pilotes son recomendados en estas ocasiones con el fin de resistir el levantamiento (Das, 2012).

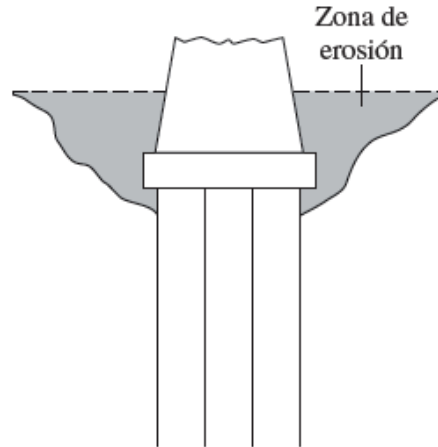
Figura 19. Pilote sometido a levantamiento



Fuente: (Das, 2012)

- En puentes, los estribos y las pilas suelen cimentarse con pilotes para así evitar la pérdida de capacidad de carga que sufre una cimentación superficial debido a la erosión en la superficie del terreno (Das, 2012).

Figura 20. Pilote en zona de erosión



Fuente: (Das, 2012)

Los micropilotes tienen las mismas características que los pilotes normales, con la diferencia que estos son colocados a profundidades intermedias. Es por esto que es muy común que los micropilotes sean considerados como cimentaciones semi-profundas (Das, 2012).

14. Parámetros de diseño sísmico

a. Clasificación de obras

Por lo general las obras se pueden clasificar de diversas formas, sin embargo, en términos de análisis sísmico, viento e inundaciones, la clasificación de obra es aquella que se echa en base a la ocupación e importancia de la estructura. Todas las obras, sin importar que sean nuevas o ya existentes se pueden clasificar en alguna de las categorías ocupacionales según el impacto socioeconómico que pueda llegar a tener la falla o que se impida desempeñar sus funciones. Queda a criterio del propietario de la obra pedir al diseñador que clasifique su obra en una categoría más alta de lo necesario. Es común que a la hora de decidir la clasificación de la obra se considere la obra en conjunto independientemente del número de componentes (AGIES, 2010).

En Guatemala según la Normas de seguridad estructural, propuestas por la Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica (AGIES), las clasificaciones de obra son:

1) Categoría I: Obras utilitarias

Dentro de esta categoría van todas aquellas obras que albergan vidas humanas solo de forma incidental, por lo que no poseen instalaciones de estar o de trabajo. Dentro de esta categoría se puede encontrar obras como instalaciones agrícolas o industriales con ocupación incidental, bodegas que no sean clasificables como obras importantes u obras auxiliares de redes de infraestructura de ocupación incidental que no interrumpen el funcionamiento del sistema en caso de falla (AGIES, 2010).

2) Categoría II: Obra ordinarias

Son todas aquellas obras que no entren dentro de las categorías I, III o IV (AGIES, 2010).

3) Categoría III: Obras importantes

Dentro de esta categoría entran todas las obras que albergan o puedan llegar a albergar más de 300 personas, aquellas donde los ocupantes tengan restricción de desplazamiento, las obras que presten servicios importantes, que no sean esenciales después de un desastre y obras que contengan valores culturales reconocidos o equipos de alto costo. Dentro de esta categoría se pueden encontrar:

- Obras y edificaciones gubernamentales no esenciales.
- Edificios educativos y guarderías públicas y privadas.
- Instalaciones de salud públicos y privados que no sean esenciales.
- Garajes de vehículos de emergencia
- Prisiones
- Museos
- Edificios con más de 3,00 metros cuadrados sin incluir estacionamientos.
- Teatros, cines, templos, auditorios, mercados, restaurantes y similares que alojen más de 300 personas en un mismo salón o más de 3,000 personas en la edificación.
- Graderíos al aire libre donde pueda haber más de 3,000 personas a la vez.
- Obras de infraestructura que no sean esenciales incluyendo subestaciones eléctricas, líneas de alto voltaje, circuitos principales de agua, drenajes

colectores, puentes de carretera, centrales de telecomunicaciones

- Obras en las que hay fabricación y/o almacenamiento de materiales tóxicos, explosivos o inflamables (AGIES, 2010).

4) Categoría IV: Obras esenciales

En esta categoría entran todas las obras que deben permanecer operativas durante y después de un desastre. Dentro de esta se puede encontrar:

- Instalaciones de salud con servicios de emergencia, de cuidado intensivo o quirófanos
- Instalaciones de defensa civil, bomberos, policía y de comunicaciones
- asociadas con la atención de desastres
- Centrales telefónicas, de telecomunicación y de radiodifusión.
- Aeropuertos, hangares de aeronaves, estaciones ferroviarias y sistemas masivos de transportes.
- Plantas de energía e instalaciones para la operación continua de las obras de esta categoría.
- Líneas troncales de transmisión eléctrica y sus centrales de operación y control.
- Instalaciones de captación y tratamiento de agua y sus centrales de operación y control.
- Estructuras que formen parte de sus sistemas contra incendio.
- Puentes sobre carreteras de primer orden.
- Instalaciones designadas como refugios para emergencias
- Instalaciones de importancia estratégica.
- Aquellas obras que las autoridades estatales o municipales específicamente declaren como tales (AGIES, 2010).

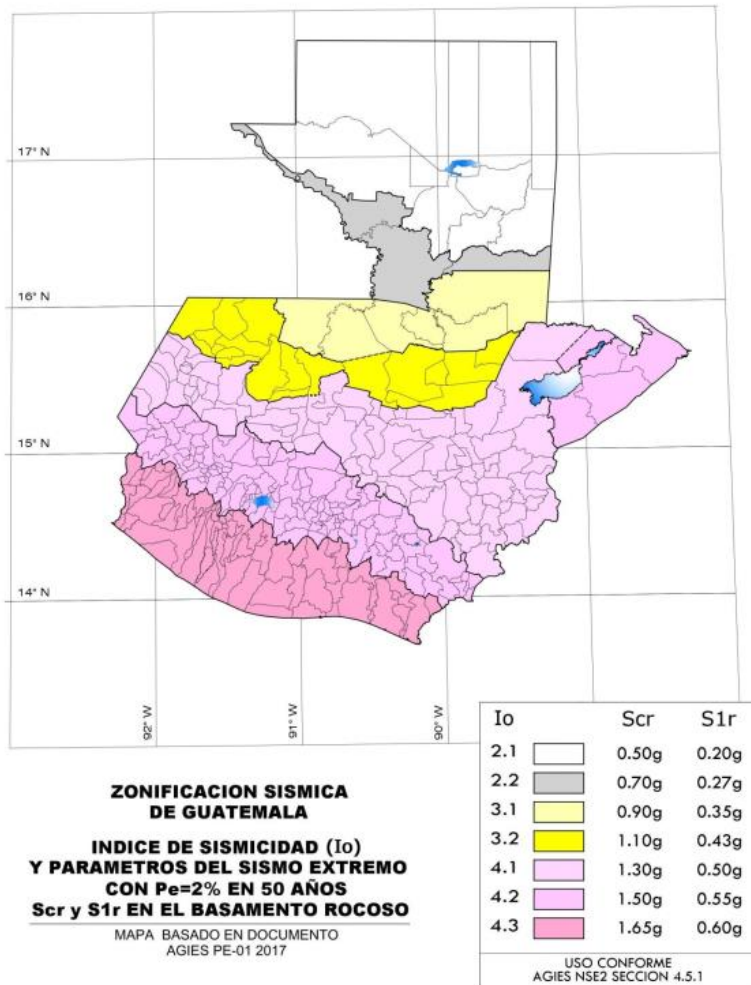
b. Índice de sismicidad

El índice de sismicidad según Haase es una forma de indicar el nivel de severidad que se espera de un sismo en ubicaciones determinadas e incide sobre el nivel de protección

sísmica que es necesario para diseñar la obra o edificación y en la selección del espectro sísmico de diseño, varía desde $I_o = 2$ a $I_o = 4$.

La Norma de Seguridad Estructural dividen el territorio de Guatemala en macrozonas. (AGIES, 2017)

Figura 21. Zonificación sísmica de Guatemala



Fuente: Normas de Seguridad Estructural de 2017, AGIES

c. Nivel de protección sísmica

El nivel de protección se utiliza para proporcionar un grado de protección a las obras para con los usuarios contra todas las amenazas y riesgos que pueden ser originados por la naturaleza. Este factor está directamente relacionado con el índice de sismicidad y clasificación de la obra.

Haase menciona que el nivel de protección hace énfasis en la necesidad de proyectar edificaciones con un control explícito de su deformabilidad lateral, especialmente para sismos (Haase, 2005).

Tabla 6. Nivel de protección sísmica y probabilidad del sismo de diseño

Índice de Sismicidad	Clase de obra			
	Esencial	Importante	Ordinaria	Utilitaria
$I_0 = 4$	E	D	D	C
$I_0 = 3$	D	C	C	B
$I_0 = 2$	C	B	B	A
Probabilidad de exceder el sismo de diseño	5% en 50 años	5% en 50 años	10% en 50 años	No aplica

Fuente: Normas de Seguridad Estructural de 2017, AGIES

d. Sismos para diseño estructural

La Norma de Seguridad Estructural define a los sismos de diseño por medio de espectros de respuesta sísmica simplificados para estructuras con cinco por ciento de amortiguamiento. Los sismos obtenidos se definen en la NSE 2 en cuatro tipos:

- Sismo básico es aquel que tiene un diez por ciento de probabilidad nominal de ser excedido en un período de cincuenta años. Se utilizará para diseño estructural de Obra Ordinaria.
- Sismo severo es aquel que tiene un cinco por ciento de probabilidad nominal de ser excedido en un período de cincuenta años. Se utilizará para diseño estructural de Obra Importante y de Obra Esencial. Es electivo utilizarlo en lugar del Sismo Básico si el desarrollador del proyecto lo prefiere.
- Sismo extremo es aquel que tiene un dos por ciento de probabilidad nominal de ser excedido en un período de cincuenta años. Este sismo es la base para el mapa de zonificación sísmica.
- Sismo mínimo a una reducción del sismo básico que se permite únicamente en los casos de excepción específicamente indicados en estas normas, que

incluyen obra utilitaria y algunos casos de readecuación sísmica de obra existente (AGIES, 2017).

e. Periodo de la estructura

Es el intervalo de tiempo en el cual se completa un ciclo de oscilación de la estructura. El periodo de la estructura es proporcional a la rigidez de la edificación y a la altura total de la estructura.

En cuanto al periodo de la estructura existe un fenómeno muy importante a tomar en cuenta y que debe controlarse. Este fenómeno es la resonancia, la resonancia en la estructura ocurre cuando el periodo de movimiento de la estructura coincide o es muy cercano al periodo del suelo (Argueta, 2014).

La resonancia puede llegar a ser muy crítica y peligrosa. Argueta menciona que si existe resonancia hay una alta probabilidad de colapsar a no ser que el sismo cese rápidamente o que los daños durante el sismo afecten el comportamiento del edificio haciendo que la frecuencia varíe (Argueta, 2014).

f. Clasificación del sitio

El sitio de proyecto se clasificará con base en las características del perfil de suelo bajo los cimientos. Los sitios se clasificarán en alguna de las siguientes categorías: A, B, C, D, E o F. La clasificación del sitio será necesaria para configurar correctamente el espectro del sismo de diseño.

A y B son sitios en roca; C y D son perfiles de suelo firmes; E es un perfil de suelo blando; F es un perfil de suelo extremadamente complicado. Para el territorio de Guatemala no se ha considerado distinguir entre perfil A y B. Se utilizan los parámetros correspondientes a perfil B (AGIES, 2017).

B. Construcción sostenible

1. Situación ambiental actual de la construcción

La industria de la construcción tiene un gran impacto sobre el medio ambiente en todas sus fases y actividades. Las actividades dentro de la construcción se pueden agrupar en actividades fuera de la obra, actividades en la obra y actividades operacionales (Cyterszpiller, 2011).

Dentro de las actividades fuera de la obra se incluyen la minería y la fabricación de todos los materiales empleados para la construcción, así como el transporte de estos. Adicional, se debe incluir la adquisición del espacio para llevar a cabo la obra. Todo esto repercute en el consumo de recursos renovables y no renovables como el agua y en la contaminación del aire, agua y suelo (Cyterszpiller, 2011).

En las actividades de construcción se incluye toda la instalación física de la obra donde también se involucra la contaminación del aire, agua y suelo y existe un amplio consumo de recursos. Asimismo, hay una pérdida de la biodiversidad y una ausencia de reciclaje lo que conlleva a un aumento de la contaminación (Cyterszpiller, 2011).

Por último, están las actividades operacionales las cuales se refieren al mantenimiento y demolición de la futura estructura. Estas tienen una influencia a mediano y largo plazo ya que incluyen aspectos como el tráfico, gestión de residuos, consumo de energía y agua, entre otros (Cyterszpiller, 2011).

A continuación, se presentan los porcentajes del consumo de recursos en el sector de la construcción a nivel mundial.

- Materias primas – 30%
- Tala de árboles – 25%
- Energía – 42%
- Electricidad - 71%
- Agua potable - 12%

Adicional al consumo de recursos, la construcción representa un alto porcentaje de las emisiones que contaminan el medio ambiente, las cuales son:

- Dióxido de carbono CO₂ - 39%
- Residuos sólidos - 65%
- Efluentes de agua - 20%
- Otros contaminantes - 13%

(Cytterszpiler, 2011)

2. Definición

El término construcción sostenible se refiere al conjunto de prácticas y estrategias empleadas para reducir el impacto ambiental de las obras de construcción en todas las fases mencionadas previamente. El concepto involucra una serie de criterios que permiten mejorar la gestión de residuos y del agua, reducir el consumo energético, implementar energías y materiales renovables y otros factores involucrados en la reducción del impacto ambiental (Cytterszpiler, 2011).

La construcción sostenible se enfoca en 5 áreas: la planificación del sitio, consumo racional de los recursos, consumo eficiente de la energía, conservación de materia prima y recursos y el cuidado de la calidad ambiental interior. Es importante mencionar que para lograr un óptimo diseño sostenible se deben balancear los aspectos sociales, económicos y medioambientales sin ningún orden prioritario (Cytterszpiler, 2011).

A continuación, se presentan los principios de la construcción sostenible:

- La consideración de las condiciones climáticas, geográficas e hidrográficas para obtener el máximo rendimiento con un menor impacto.
- La eficacia, control y moderación de los materiales de construcción tomando en cuenta su ciclo de vida y su capacidad de ser renovable.
- La reducción del consumo energético a través de diseños que permitan cubrir la demanda de calefacción, refrigeración e iluminación mediante energía renovables.

- El cumplimiento de requisitos de confort higrotérmico, salubridad, iluminación y habitabilidad (Cyterszpiler, 2011).

Por lo general, las construcciones comunes están basadas a partir de consideraciones económicas a corto plazo. Sin embargo, las construcciones verdes o sostenibles tienen como enfoque principal que la construcción sea lo más eficiente posible a largo plazo, sin afectar al medio ambiente o sus habitantes. Con esto se genera un ahorro que a largo plazo puede compensar el alto costo inicial (Universidad Privada del Norte, 2017).

Figura 22. Edificio ACROS Fukuoka en Japón



Fuente: (Green Roofs, 2018)

3. Materiales verdes

Los materiales verdes son todos aquellos cuyo impacto ambiental está considerado como bajo, no solo en la parte de la manufactura, sino que también en la extracción, operación y disposición final. Asimismo, el material no debe comprometer la vida de los seres vivos que están en contacto directo o indirecto con él.

Existen distintas entidades que a nivel internacional pueden establecer qué tan verde es un material, esto se establece según un análisis del ciclo de vida, en donde se analizan seis categorías utilizando distintos criterios. Los criterios se dividen en seis categorías:

- **Materiales**
 - Presencia de materia reciclada
 - Lugar de extracción de la materia prima (local o importada).
 - Uso de materiales reciclables
- **Manufactura**
 - Efecto sobre la salud de los trabajadores.
 - Uso de empaques biodegradables o reciclables.
 - Generación de subproductos (dar un nuevo uso a desechos o residuos que se dan a la hora de la manufactura).
 - Composición no tóxica o cancerígena.
- **Distribución**
 - Distancia a la que se traslada el material, a partir de la fábrica.
- **Reutilización**
 - Capacidad de genera sub productos después de que termina la vida útil
 - Capacidad de reciclaje.
- **Operación**
 - No se deben generar elementos tóxicos durante la manipulación del material en la colocación.
 - Cantidad de recursos extra para la colocación
 - Beneficios para el usuario (iluminación natural, propiedades térmicas, sombra, etc.).
 - La exposición prolongada al material no debe afectar la salud de los usuarios.
- **Mantenimiento**
 - Mantenimiento necesario a lo largo de la vida útil. (ABILIA, 2018)

4. Huella de carbono

La huella de carbono es un parámetro que permite identificar la cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero que son liberados a la atmósfera como consecuencia de cualquier actividad humana ya sea para la fabricación de un producto, la prestación de un servicio o funcionamiento de alguna organización (Gobierno de España, 2013).

Este parámetro permite crear conciencia sobre el impacto que genera cualquier actividad sobre el calentamiento global por lo que puede decirse que, la huella de carbono es una herramienta de concientización y sensibilización de gran escala, inclusive en la actualidad, la huella de carbono se considera un elemento diferenciador de distintas organizaciones que se comprometen con el medio ambiente y buscan desarrollar la actividad de una forma sostenible (Gobierno de España, 2013).

El cálculo de la huella de carbono se rige bajo el protocolo de emisiones de gas de efecto invernadero o la norma ISO 14.064. Este protocolo establece tres ámbitos de emisiones:

- *Ámbito 1:* En este ámbito se abarcan las emisiones directas, las cuales son las que emite una institución derivado de procesos internos. Dentro de estas se puede encontrar quema de combustibles o procesos químicos.
- *Ámbito 2:* Correspondiente a emisiones indirectas las cuales se derivan de la generación mediante terceros, sin importar que esta sea como consecuencia de las actividades propias, pero fueron controladas por terceros.
- *Ámbito 3:* En este ámbito se abarcan las emisiones indirectas a consecuencia de actividades que no son controladas por la empresa y que suceden fuera de la misma (Schneider & Samaniego , 2009).

La huella de carbono individual está conformada por la adición de la huella primaria y la huella secundaria. La huella primaria hace referencia a la medida de emisiones de dióxido de carbono a partir de los distintos procesos sobre los cuales se tiene control directo. Por otro lado, la huella secundaria es la medida de emisiones indirectas de dióxido de carbono de todo el ciclo de vida de los productos y servicios que se consumen.

Es importante mencionar que existen mecanismos flexibles para reducir y mitigar las emisiones de gases de dióxido de carbono, logrando con esto transparentar los procesos realizados. Uno de los mecanismos más reconocidos es el MDL (Mecanismo de Desarrollo Limpio). Este consiste en la compra de “assigned amount units” a países en vías de desarrollo

por parte de las empresas para alcanzar sus objetivos de emisiones, conforme a un acuerdo dispuesto por el International Emisión Trading. Estos créditos de reducción o compensación son denominados CRE (certificados de reducción de emisiones).

Asimismo, otra metodología válida para poder cumplir los objetivos de emisiones es el llamado Implementación conjunta (IC). La implementación conjunta surge en Rio de Janeiro en 1992 y entró en vigencia en 1994. Esta consiste en la compensación de las emisiones mediante generación de electricidad con fuentes renovables y eficiencia eléctrica y la gestión de bosques naturales y plantaciones forestales. Esta metodología es considerada como la más efectiva, económicamente hablando, en cuanto al cumplimiento de objetivos. Para esto, se busca que los emisores en los países desarrollados inviertan en actividades que reduzcan las emisiones en otros países, de preferencia en los menos desarrollados. Este proceso es llevado a cabo a través de asociaciones entre empresas inversoras de los países industrializados y sus homólogos en los países en vías de desarrollo. Es común que la parte inversora suministre la mayor parte del proyecto, como lo es la tecnología y el capital financiero, mientras que el país receptor suministra el sitio, el personal y la organización del proyecto (Schneider & Samaniego, 2009).

Dentro de los beneficios que brinda conocer la huella de carbono se pueden mencionar que permite definir objetivos y estrategias clara para la mitigación del impacto ambiental (Hernandez, 2015).

C. El acero estructural

1. Química y metalurgia del acero estructural

La metalurgia del acero estructural está definida por la cantidad de hierro y carbono presente en su composición, sin embargo, también contienen otros elementos que afectan sus propiedades. Dentro de los cuales se puede mencionar:

- Azufre (S): El contenido de dicho elemento es realmente perjudicial ya que afecta la ductilidad del elemento estructural principalmente en la flexión transversal. También afecta la soldabilidad.
- Carbono (C): define la resistencia del elemento. En grandes cantidades puede ser perjudicial ya que afecta la ductilidad, especialmente al doblado.
- Cobre (Cu): la adición de cobre (hasta en un 0.35%) aumenta la resistencia a la corrosión atmosférica y a la fatiga.
- Cromo (Cr): incrementa la resistencia mecánica a la abrasión y a la corrosión atmosférica, aunque afecta la soldabilidad.
- Fósforo (P): dicho elemento aumenta la dureza y el límite de resistencia, así como la resistencia a la corrosión, sin embargo, la ductilidad y la soldabilidad se ven afectadas.
- Manganeso (Mn): se emplea en todos los aceros estructurales debido a que implica un aumento en la resistencia mecánica. Es importante mencionar que afecta la soldabilidad, pero a un menor grado que el carbono. Asimismo, también puede afectar la ductilidad, pero no es considerable.
- Molibdeno (Mo): este no tiene efectos negativos sobre los aceros. Sus principales ventajas son el aumento del límite de fluencia, de la resistencia a la corrosión atmosférica, de la soldabilidad y de la resistencia a altas temperaturas.
- Niobio (Nb): permite reducir el contenido de carbono y manganeso en los aceros estructurales ya que si se aplica en pequeñas cantidades puede aumentar considerablemente el límite de resistencia y el límite de fluencia.

- Silicio (Si): este actúa como un desoxidante. Favorece muy poco a la resistencia, pero reduce la soldabilidad.
- Titanio (Ti): la aplicación de titanio permite inhibir el envejecimiento precoz, así como mejorar el desempeño de los elementos a temperaturas elevadas. Además, aumenta el límite de resistencia y la resistencia a la abrasión.
- Vanadio (V): la presencia de dicho elemento genera un aumento en el límite de resistencia sin perjudicar la soldabilidad y la tenacidad.

Un aspecto que también repercute en el comportamiento del acero es la estructura de grano. En la antigüedad, el acero se producía a partir de arrabio en un horno de reverbero u hornos de oxígeno básicos para posteriormente verterse en moldes y formar lingotes de aproximadamente diez toneladas. Dichos lingotes se recalentaban y se laminaban en caliente para formar rieles, palanquillas, tubos, perfiles estructurales, etcétera. Como resultado del proceso de enfriamiento de los lingotes de acero, se obtenía una estructura de grano bastante variable, pero de gran tamaño lo que ocasionaba una menor resistencia, dureza y baja deformabilidad (Gerdau Corsa, 2011).

En la actualidad, el método principal de producción del acero para la mayoría de los productos incluyendo perfiles estructurales es la colada continua. Esto ha permitido que la estructura de grano sea más uniforme y de menor tamaño por lo que el acero de hoy presenta una mayor calidad (Gerdau Corsa, 2011).

2. Tipos de acero estructural

La tipología del acero estructural está definida por la composición química y características de procesamiento. La clasificación del acero estructural se enlista a continuación (Gerdau Corsa, 2011).

- Aceros al carbono o al carbono-manganeso: estos están conformados principalmente por carbono (C) y manganeso (Mn). Se restringe el uso en grandes cantidades de elementos químicos como el fósforo (P) y el azufre (S) ya que perjudican la ductilidad y soldabilidad del acero. El acero más común dentro de este grupo es el A36 (Gerdau Corsa, 2011).
- Aceros de alta resistencia, baja aleación (HSLA): estos fueron desarrollados hace aproximadamente treinta años, siendo los materiales más empleados para la construcción de estructuras de acero en la actualidad. Dichos aceros contienen menores cantidades de carbono para aumentar su resistencia. Los aceros HSLA son soldables e incluso, algunos han aumentado la resistencia a la corrosión. Dentro de esta categoría se encuentran los aceros ASTM A 992, A 572 Y A 588 (Gerdau Corsa, 2011).
- Aceros apagados y templados (QT): los aceros QT están conformados por un pequeño grupo de materiales con esfuerzos de fluencia mínimos entre noventa a cien ksi. Se utilizan únicamente en placas. Al igual que con el grupo anterior, se utiliza un bajo contenido de carbono para lograr una alta resistencia. De igual forma, este se consigue a través de una secuencia de enfriamiento en frío, es decir, revenido. Cabe mencionar que la ductilidad de los aceros QT es considerablemente menor que los aceros HSLA y aceros al carbono al carbono-manganeso (Gerdau Corsa, 2011).
- Aceros apagados y auto templados (QST): Dichos grupo se encuentra limitado en el mercado. Poseen una alta resistencia, la cual se obtiene a través del enfriamiento de determinadas regiones del perfil de forma estratégica y selectiva. Adicional, el calor almacenado en el material por el proceso de rolado es utilizado para generar el efecto de templado. El enfriamiento localizado genera una textura y dureza distinta que las regiones del interior del perfil, por lo que la superficie tiende a ser más dura y de grano más fino. En general, la soldabilidad para los aceros QST es buena (Gerdau Corsa, 2011).

3. Grados de acero estructural para perfiles y placas

Los grados de acero estructural aprobados por la ASTM para perfiles y placas son A 36, A 572, A 242, A 588, A 709, A 852, A 514, A 913 y A 992 (Gerdau Corsa, 2011).

- ASTM A 529 y A 709: estos definen los aceros aptos para la construcción de puentes (Gerdau Corsa, 2011).
- ASTM A 36: el acero A36 es uno de los aceros más utilizados en las estructuras. El esfuerzo de fluencia y el esfuerzo último son de treinta y seis y cincuenta y ocho ksi en el orden correspondiente. Todos los perfiles y placas, exceptuando los perfiles IR, W o H, están disponibles en A 36. Cabe mencionar que, si el espesor de la placa es mayor a ocho pulgadas, el esfuerzo de fluencia mínimo es de treinta y dos ksi (Gerdau Corsa, 2011).
- ASTM A 529: El acero A529 se utiliza bastante en la construcción de edificaciones, para la elaboración de angulares y perfiles C, así como en la elaboración de barras. Este está disponible en grado cincuenta para los perfiles de ASTM en los grupos uno y dos, placas de hasta una pulgada de espesor y doce pulgadas de ancho y barras de hasta dos y media pulgada de diámetro. Los esfuerzos mínimos de fluencia y último son cincuenta y setenta ksi respectivamente (Gerdau Corsa, 2011).
- ASTM A 572: El acero A572 se encuentra en varios grados dependiendo del tipo de perfil o espesor de la placa. El acero Grado cincuenta ($f_y =$ cincuenta ksi y $f_u =$ sesentay cinco ksi) es el más común en el mercado, sin embargo, está siendo reemplazado por el A 992 para los perfiles W (Gerdau Corsa, 2011).
- ASTM A 588: El acero A588 es un acero para intemperie aprobado en 1998. Los valores mínimos para el límite de fluencia y la resistencia a la tracción en perfiles estructurales y placas de cuatro pulgadas son de cincuenta y setenta ksi en el orden correspondiente (Gerdau Corsa, 2011).

- ASTM A 992: El acero A992 es el acero más reciente en la industria. Se utiliza en la construcción de edificaciones, para la elaboración de perfiles W. Básicamente, este acero es un sustituto del ASTM A 572 pero con controles adicionales. Este tiene un límite de fluencia mayor con un valor de sesenta y cinco ksi, la relación entre el esfuerzo de fluencia y el esfuerzo último no supera el 0.85 y la cantidad de carbono en su composición no excede el 0.47%. Este último parámetro nos permite tener una excelente soldabilidad, alta ductilidad y mayor control en el Molibdeno (Gerdau Corsa, 2011).

4. Grado de acero estructural para secciones estructurales huecas y tubos

Las especificaciones de acero estructural para secciones huecas son ASTM A 500, A 501, A 618 y a 847 y para los tubos de acero es la ASTM A 53 (Gerdau Corsa, 2011).

- ASTM A 500: El acero A500 se utiliza para los perfiles redondos, cuadrados y rectangulares HSS en tres distintos grados para los rolados en frío. Es importante mencionar que las propiedades entre los perfiles redondos y rectangulares o cuadrados son distintas. El grado B es el más común con valores de fluencia de 46 ksi y de resistencia a la tracción de 58 ksi.
- ASTM A 501: El acero A501 comparte las mismas propiedades con el A 36 pero se emplea en secciones circulares, rectangulares o cuadradas.
- ASTM A 53: El acero A53 se encuentra disponible para los tipos E y S. El tipo E muestran una resistencia a la soldadura mientras que el tipo S indican que son tubos sin costuras. Únicamente el grado B es apto para estructuras con esfuerzo de fluencia y resistencia a la tensión de 35 y 50 ksi respectivamente (Gerdau Corsa, 2011).

Tabla 7. Tipos de acero y sus diferentes usos

ASTM A 36	<ul style="list-style-type: none"> • Placas de conexión • Anclajes de barras redondas lisas (OS) y perfiles (U) • Cordones superiores e inferiores de armaduras (LI) • Montantes y diagonales (LI) • Largueros tipo Joist (OS o LI) • Contravientos de cubiertas (OS)
ASTM A 529 G 50	<ul style="list-style-type: none"> • Placas hasta 1” de espesor • Canales pequeños • Cordones de armaduras (LI) • Montantes y diagonales (LI) • Contravientos laterales (LI)
ASTM A 572 G 50	<ul style="list-style-type: none"> • Placas hasta 4” • Columnas y vigas principales y secundarias (IR) • Mezanines
ASTM A 588	<ul style="list-style-type: none"> • Acero patinable • Plataformas marinas
ASTM A 709	<ul style="list-style-type: none"> • Puentes • Torres de transmisión
ASTM A 992	<ul style="list-style-type: none"> • Columnas y vigas principales y secundarias (IR) • Mezanines (IR) • Postes de viento (IR) • Espectaculares (IR)
ASTM A 53	<ul style="list-style-type: none"> • Tubos estructurales

Fuente: (Gerdau Corsa, 2011)

Tabla 8. Tipos de acero y sus diferentes usos

ASTM A 500	- Columnas de secciones huecas cuadradas circulares y rectangulares (HSS, OR u OC)
ASTM A 501	- Bastidores (PTR u OR) - Bases de tanques de gas, de agua, etc (PTR u OR)

Fuente: (Gerdau Corsa, 2011)

5. Propiedades del acero como material estructural

El acero es un material estructural versátil debido a sus propiedades. Dentro de las principales propiedades del acero se puede mencionar su alta resistencia en relación con su peso lo que lo hace ideal para la construcción de edificios y puentes considerablemente largos. De igual forma, el acero no cambia sus propiedades respecto al tiempo y puede durar indefinidamente si se le da el mantenimiento adecuado. En cuanto al comportamiento del acero bajo esfuerzos se puede decir que el acero es un material elástico, dúctil y tenaz lo que le permite resistir grandes esfuerzos y deformaciones sin perder su capacidad de carga. Además, el acero no solo es noble en cuanto a su comportamiento estructural, sino que también representa una simplificación en el proceso constructivo. El acero facilita la ampliación de estructuras existentes, así como agiliza el proceso de montaje ya que los elementos son prefabricados y la unión de estos es sencilla. Es importante mencionar que la versatilidad de acero también incluye la capacidad para laminarse en una gran variedad de tamaños y formas. También es importante incluir que al ser un material tenaz se puede someter a grandes deformaciones incluso en su montaje haciendo posible que se doble, martille, corte y taladre sin ningún inconveniente (McCormac & Csernak, 2012).

Como se puede notar, el acero es un material que tiene propiedades que lo hacen ideal para la construcción, sin embargo, tiene diversas desventajas como la corrosión y el costo de protección contra el fuego. La mayor parte de los aceros son vulnerables a la corrosión por lo que deben pintarse periódicamente o utilizarse aceros intemperizados. Así mismo, sus

propiedades se ven afectadas por altas temperaturas y son excelentes conductores de calor lo que puede causar un incendio en áreas adyacentes o propagar el incendio en la misma área.

A pesar de ser un material con una alta resistencia, el acero presenta susceptibilidad al pandeo cuando se generan esfuerzos de compresión y su resistencia puede reducirse cuando se somete a varios ciclos de esfuerzos de fatiga generando fallas frágiles (McCormac & Csernak, 2012).

Adicional, el acero se asume como un material isotrópico, más los datos experimentales evidencian efectos de anisotropía en términos de resistencia y ductilidad. Esto se debe a la presencia de elemento no metálicos en su composición los cuales se incluyen en el proceso de laminación. Estos generan micro-fisuras planas que debilitan el material, lo cual se denomina desgarramiento laminar. Dicho fenómeno no es significativo si el elemento es liviano y delgado (Crisafulli, 2012).

6. Comportamiento del acero estructural

El comportamiento de las estructuras de acero está definido por sus propiedades. Se puede obtener mucha información del comportamiento estructural a partir del diagrama de esfuerzo-deformación (Mendoza, 2007).

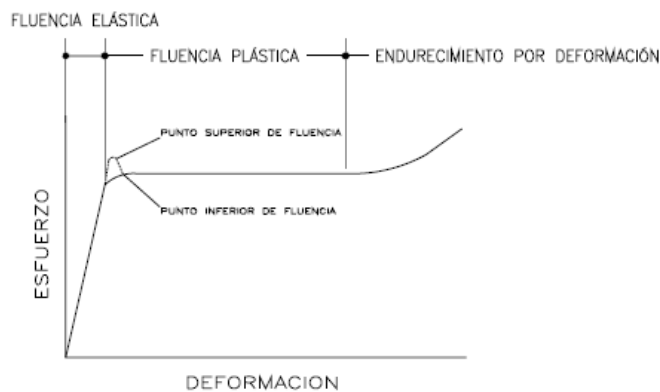
Cuando un elemento de acero estructural dúctil se somete a fuerzas de tensión, este se va alargando de forma proporcional a la fuerza aplicada por lo que dicho comportamiento se ve descrito por la Ley de Hooke. La ley de Hooke es válida hasta que se alcanza el límite proporcional en la gráfica que es cuando el diagrama deja de ser lineal porque alcanza su esfuerzo de fluencia. Si la fuerza de tensión ejercida alcanza un valor igual a tres cuartos de la fuerza última del acero, el alargamiento en el elemento empezará a incrementarse cada vez más rápidamente sin un incremento del esfuerzo, es decir, el elemento alcanza su esfuerzo de fluencia (Mendoza, 2007).

El esfuerzo de fluencia es el primer punto en la gráfica donde la tangente de la curva es horizontal. Esta es de las propiedades más importantes para el análisis ya que muchos

métodos de diseño se basan en dicho valor. La deformación previa a dicho esfuerzo se considera una deformación elástica donde la degradación no es permanente mientras que la deformación que ocurre posterior al esfuerzo de fluencia se considera deformación inelástica o plástica que generalmente es igual a diez a quince veces la deformación elástica. Teniendo en cuenta lo anterior, la fluencia del acero presenta una gran ventaja para el comportamiento estructural ya que se puede decir que las estructuras tienen una provisión de deformación inelástica para resistir esfuerzos adicionales antes de fallar súbitamente (Mendoza, 2007).

La última parte del diagrama esfuerzo-deformación se denomina zona de endurecimiento la cual no es relevante para el diseño estructural (Mendoza, 2007).

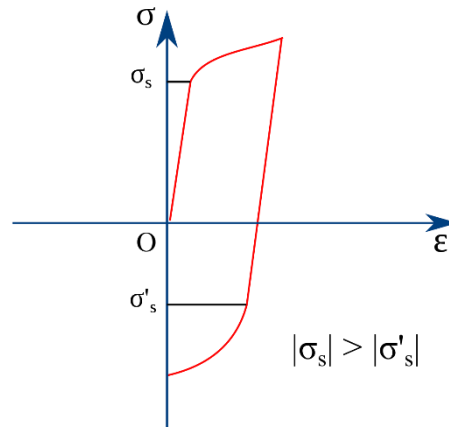
Figura 23. Diagrama de esfuerzo-deformación



Fuente: (Mendoza, 2007)

Otro aspecto importante a tomar en cuenta es el efecto Bauschinger (ver Figura 7), el cual se aplica cuando el acero se somete a cargas de forma cíclica. Cuando el acero incursiona en el rango plástico al estar sometido a una carga monótonica, se ve un quiebre pronunciado en el gráfico de esfuerzo deformación, sin embargo, cuando la carga se aplica de forma cíclica no existe dicho quiebre si no solo un aumento gradual. Esto se explica por la estructura policristalina del material y por los planos de deslizamiento que se generan cuando el material fluye (Crisafulli, 2012).

Figura 24. Efecto Bauschinger en el acero estructural



Fuente: (Crisafulli, 2012)

Por último, el diseño de estructuras en acero debe considerar el comportamiento inestable de zonas localizadas sometidas a esfuerzos de compresión. Los fenómenos de inestabilidad que suceden en todo o gran parte de un miembro de acero se denominan pandeo global mientras que cuando sucede en los componentes de las secciones metálicas se denomina pandeo local. Dentro del pandeo global se incluyen los fenómenos de pandeo flexional, pandeo torsional y pandeo flexo-torsional. Un aspecto fundamental para evitar el pandeo en los miembros de acero es seleccionar secciones con relaciones anchura-espesor pequeñas. Según la relación anchura-espesor de elementos sometidos a flexión, las secciones se clasifican en:

- Secciones compactas: la relación anchura-espesor no excede el valor λ_p .
- Secciones no compactas: la relación anchura-espesor no excede el valor λ_r .
- Secciones esbeltas: la relación anchura-espesor excede el valor λ_r .

Si el elemento está sujeto a compresión, se clasifican en secciones compactas y secciones esbeltas (Crisafulli, 2012).

Alas		Alma	
$\lambda_p = 0.38 \sqrt{\frac{E}{f_Y}}$	$\lambda_r = 1.00 \sqrt{\frac{E}{f_Y}}$	$\lambda_p = 03.76 \sqrt{\frac{E}{f_Y}}$	$\lambda_r = 5.70 \sqrt{\frac{E}{f_Y}}$

Donde:

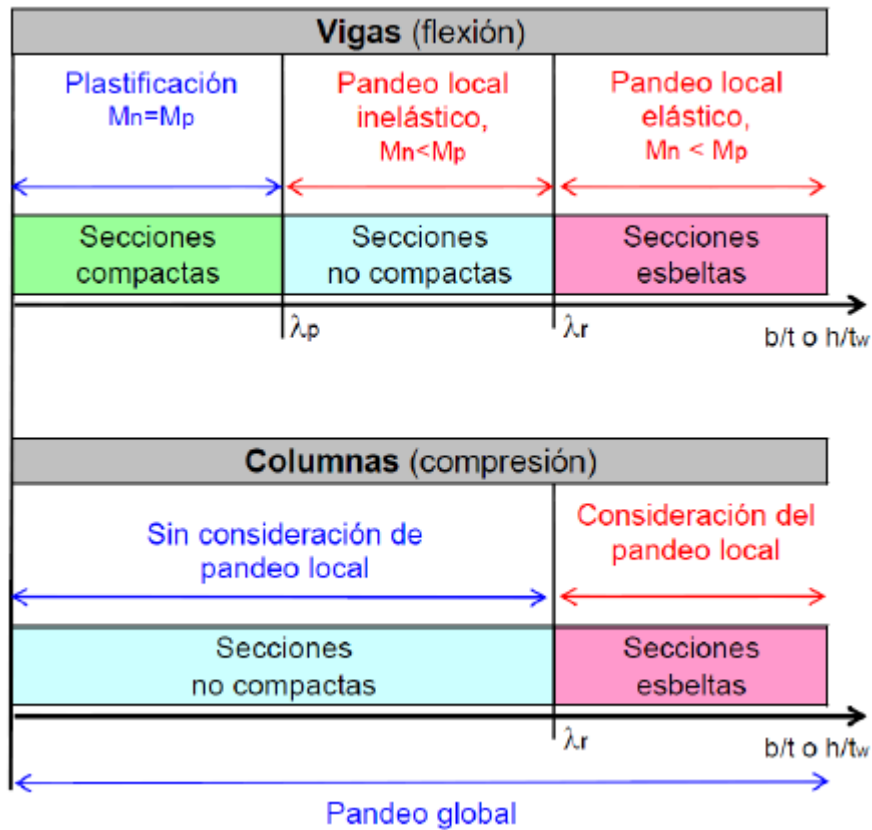
λ_p = Límite que define si una sección es compacta

λ_r = Límite que define si una sección es esbelta

E = Módulo de elasticidad del acero

F_y = Esfuerzo de fluencia del acero

Figura 25. Clasificación de los elementos según su relación anchura-espesor



Fuente: (Crisafulli, 2012)

7. Perfiles disponibles de acero

Existe una gran variedad de perfiles disponibles para la construcción dependiendo la función de cada elemento. Dentro de los mismos podemos mencionar:

- **Perfiles de alas paralelas:** Los perfiles de ala paralela o perfiles W son aquellos que tienen alas perpendiculares al alma y paralelas entre sí. Las alas y el alma tienen

espesores constantes con ángulos redondeados en los puntos de unión entre las alas y el alma. La principal ventaja de estos es la facilidad para realizar conexiones por su simetría (Arquitectura+Acero, 2014).

Los perfiles tipo W se designan por su sigla, su altura nominal y su peso nominal en libras por pie lineal. Por ejemplo, un perfil W24x55 tiene una altura nominal de veinticuatro pulgadas y un peso de cincuenta y cinco libras por pie lineal (American Institute of Steel, 2013)

- Perfiles de alas inclinadas: Los perfiles de alas inclinada son aquellos que tienen alas perpendiculares al alma, pero las alas presentan una inclinación respecto la cara exterior, es decir las alas tiene una pendiente decreciente. El punto de unión entre las caras exteriores e interiores es redondeado al igual que la unión entre el alma y las alas. Estos pueden ser perfiles M, perfiles S, perfiles HS, canales y angulares (Arquitectura+Acero, 2014).
 - Perfiles M: Estos son los perfiles que no se pueden categorizar como W, S O HP
 - Perfiles S: Estos tienen una pendiente de $16\frac{2}{3}\%$ en la superficie de las aletas interiores.
 - Perfiles HP: Las alas y el alma tiene el mismo espesor al igual que la altura y las alas son del mismo ancho.

Los perfiles tipo M, S, y HP se designan por su sigla, su altura nominal y su peso nominal en libras por pie lineal. Por ejemplo, un perfil M12.5x12.4 tiene una altura nominal de doce y media pulgadas y un peso de doce con dos quintas de libra por pie lineal (American Institute of Steel, 2013).

- Canales: Los canales pueden ser tipo C o MC. Los perfiles tipo C son aquellos cuya pendiente es de $16\frac{2}{3}\%$ en la superficie interior de las aletas mientras que los tipos MC son aquellos que tienen una pendiente distinta a $16\frac{2}{3}\%$ en la superficie interior de las aletas. Estos perfiles se designan por su sigla, su altura nominal y su peso nominal en

libras por pie lineal. Por ejemplo, un perfil C12x25 tiene una altura nominal de doce pulgadas y un peso de veinticinco libras por pie lineal (American Institute of Steel, 2013).

- Angulares: Los perfiles tipo L tienen dos “brazos” con igual espesor e igual o desigual largo. Los brazos están a noventa grados uno del otro. Estos se designan por su sigla, el tamaño de sus brazos y su espesor. Por ejemplo, un perfil L4x3x½ tiene un brazo de cuatro pulgadas, otro brazo de tres pulgadas y un espesor de media pulgada (American Institute of Steel, 2013).
- Structural Tees: Los perfiles tipo WT, MT o ST son perfiles elaborados a partir de dividir perfiles W, M o S. Estos perfiles se designan por su sigla, su altura nominal y su peso. Por ejemplo, un perfil WT12x27.5 tiene una altura nominal de doce pulgadas y pesa veintisiete y media libras por pie lineal (American Institute of Steel, 2013).
- Perfiles tubulares: Estos pueden ser de tipo HSS o Pipes.
 - Perfiles HSS: Los perfiles HSS son aquellos con un contorno redondo, rectangular o cuadrado y dos extremos abiertos. Estos se fabrican de acero aleado de calidad para tener un buen comportamiento ante la tracción, compresión y cortante (FerroPlanes, 2017). Se denominan por su sigla, dimensiones ya sea diámetro o aristas y el espesor de sus paredes. Por ejemplo, un perfil HSS 10x10x½ es un perfil cuadrado de dimensiones de diez pulgadas con paredes de media pulgada de espesor (American Institute of Steel, 2013).
 - Perfiles Pipe: Estos perfiles tiene una sección transversal redonda con un espesor uniforme ya sea que tengan costura o sin costura. Se designan por el término Pipe, su diámetro nominal y el tipo de peso. Por ejemplo, un perfil tipo Pipe 5 Std. indica que tiene un diámetro nominal de cinco pulgadas y que corresponde a la serie de peso estándar por lo que tiene un espesor de pared de 0.258 pulgadas (American Institute of Steel, 2013).

- **Perfiles combinados:** Los perfiles combinados son aquellos que se conforman por dos perfiles. Estos pueden ser angulares dobles, canales dobles o perfiles W o S combinado con canales (Arquitectura+Acero, 2014)

8. Fallas en la estructura de acero

Existen diversas causas que generan fallas en las estructuras. Dentro de las fallas más frecuentes se puede mencionar la selección de conexiones muy pequeñas en relación con los elementos conectados. Esto suele suceder porque se desprecian algunos de los esfuerzos internos que ocurren en las conexiones debido a esfuerzos externos. Por ejemplo, en las conexiones de una armadura no solo existen esfuerzos axiales, sino que también existe una excentricidad debido a su colocación lo que genera un momento torsional que debe ser considerado dentro del análisis. De igual forma, un escaso anclaje entre una viga y un muro puede ocasionar el colapso de la estructura (Mendoza, 2007).

Se deben de controlar los asentamientos en la estructura ya que generan degradación del sistema estructural seleccionado. Los asentamientos presentes deben ser lo más uniformes posible para que no generen esfuerzos torsionales considerables. Es importante mencionar que nunca se logran asentamientos totalmente uniformes por lo que siempre deben considerarse dichos esfuerzos (Mendoza, 2007).

Por último, algunas fallas estructurales se deben a la falta de atención en deflexiones, esfuerzos de fatiga, arrostramiento, vibraciones y el pandeo en los elementos (Mendoza, 2007).

9. Conexiones en acero

En el manual *Steel Construction Manual 13th Edition* se estipulan las consideraciones que deben tomarse en cuenta para el diseño de elementos conectores. Los elementos conectores deben ser capaces de transferir la carga de un miembro estructural a otro (American Institute of Steel, 2013).

Las conexiones en acero se pueden dividir en:

- **Conexiones pernadas:** Las conexiones pernadas permiten agilizar el proceso de construcción ya que no se requiere mano de obra especializada. Para dichas conexiones se pueden utilizar dos tipos de pernos, sin tornear o de alta resistencia. Los pernos sin tornear o pernos comunes se fabrican con aceros al carbono con propiedades similares a las del acero A36 mientras que los pernos de alta resistencia son fabricados con acero al carbono tratado térmicamente y con aceros aleados que permiten duplicar la resistencia a tensión en comparación de los tornillos normales. Los tornillos normales se fabrican bajo la norma ASTM A 307 y los tornillos de alta resistencia bajo las normas A 325 y A 490. Si el diámetro supera una y media pulgada se pueden utilizar tornillos A49 y A354 (Centeno, 2017).
- **Conexiones soldadas:** Las conexiones soldadas permiten tener miembros verdaderamente continuos, así como una mayor rigidez debido a que los miembros están directamente soldados unos a otros. Además, es más versátil al momento de realizar cambios y corregir errores durante su montaje (Centeno, 2017).

10. Acero como material sostenible

a. Propiedades del acero como material sostenible

- **Indefinidamente reciclable:** el acero es un material que se puede someter a indefinida cantidad de ciclos de reciclaje ya que no pierde sus características ni su calidad. A diferencia de otros materiales, el acero puede mejorarse a través del reciclaje. Si analizamos la tasa de reciclaje para algunos elementos elaborados de acero, se puede notar que el noventa y tres por ciento del acero es reciclable. La tasa de reciclaje de las vigas elaboradas de acero es del noventa y ocho por ciento mientras que para las barras de refuerzo es del sesenta y cinco al setenta por ciento (Ahmet Alatas Workshop, 2017).
- **Alto contenido de material reciclado en su composición:** El acero está elaborado en porcentajes que varían entre el quince al noventa por ciento de material reciclado lo que repercute en un ahorro de materia prima y un ahorro de energía (Arquitectura + Acero, 2012).

- Proceso de fabricación controlado: al ser un material prefabricado permite el control de residuos y emisiones (Ahmet Alatas Workshop, 2017).
- Material inerte: el acero es un material inerte hablando en términos medioambientales ya que no emite emisiones o residuos una vez se instale (Ahmet Alatas Workshop, 2017).
- Material noble en la fase de construcción: el acero permite reducir la contaminación auditiva en el lugar, así como el impacto medioambiental por el sistema de construcción en seco (ALGECOSA, 2017).
- Alta recuperación para reciclaje: al cumplir la vida útil de una estructura, el noventa y ocho por ciento de los elementos de acero que la componen se pueden reciclar (Arquitectura + Acero, 2012).
- Reutilización de la estructura: los elementos de una estructura se pueden emplear en otras estructuras con pocas modificaciones debido a que se desmonta y arma muy fácil (Arquitectura + Acero, 2012).
- Alta relación peso-resistencia: el acero posee la mejor relación peso-resistencia entre los materiales para construcción lo que indica una reducción del material de construcción sin sacrificar resistencia (Arquitectura + Acero, 2012).

b. Proceso de fabricación del acero

El acero es un material obtenido principalmente a partir de dos materias primas: el arrabio, que es un material obtenido de la primera fusión del hierro en altos hornos y de chatarras férricas e inoxidable. El tipo de materia prima utilizada condiciona el proceso de fabricación (STEELCOM, 2018).

Cuando el acero se fabrica a partir de arrabio se utiliza un convertidor de oxígeno, mientras que cuando se fabrica con chatarra se utiliza un horno de arco eléctrico los cuales pueden usar un cien por ciento de chatarra metálica como materia prima. La chatarra metálica empleada para el proceso de fabricación de acero es sometida a altos controles de calidad donde se toman en cuenta los siguientes factores: facilidad para ser cargada al horno y su comportamiento durante la fusión y su composición.

La chatarra se clasifica en tres distintas categorías:

- Chatarra reciclada: se conforma por rechazos o despuntes originados en la propia fábrica, lo que indica una buena calidad.
- Chatarra de transformación: esta la conforman todas las virutas de máquinas o herramientas, los recortes de prensas y guillotinas.
- Chatarra de recuperación: es la más utilizada. Esta proviene del desmontaje de estructuras existentes (Medina, 2006).

1) Fabricación en horno de arco eléctrico

Este proceso consiste en la fusión de la chatarra férrica e inoxidable por medio de una corriente eléctrica en el horno. El horno eléctrico es un recipiente cilíndrico forrado de material refractario que forma una solera para albergar el acero líquido y la escoria. El espacio restante lo ocupan paneles refrigerados con agua. Cabe mencionar que la bóveda es desplazable lo que facilita la carga de todo el material férrico (Medina, 2006).

La bóveda tiene orificios para introducir los electrodos, generalmente tres, los cuales se van acercando a medida que se van consumiendo. Los electrodos están hechos de grafito y tienen diámetros de hasta setecientos milímetros. Estos se conectan a un transformador con intensidad variable para que se genere el arco eléctrico. Adicionalmente, tiene un orificio para la captación de los gases de combustión, los cuales se depuran posteriormente para reducir la contaminación ambiental. Todo el horno está montado sobre una estructura oscilante que facilita el sangrado de la escoria y el vaciado del acero líquido (Medina, 2006).

En el proceso por horno eléctrico se distinguen dos fases: la fase de fusión y la fase de afino.

La fase de fusión comienza al introducir la chatarra y los agentes reactivos (principalmente cal) en el horno. Los electrodos se colocan en posición, a una distancia apropiada para que se genere el arco eléctrico y se fundan todos los materiales. En la fase de afino se analiza la composición del material líquido para eliminar todas las impurezas y sólidos indeseables como lo es el silicio, manganeso y el fósforo. Asimismo, se incluyen

ferroaleaciones que contengan cromo, níquel, molibdeno, vanadio y/o titanio para mejorar sus propiedades (Medina, 2006)

Posteriormente, se vacía el acero a una cuchara de colada con forro de material refractario para ser llevado a un segundo horno donde termina de ajustarse la composición y temperatura del acero. Al finalizar todo el proceso de afino, el material líquido se vacía en una artesa generalmente de cobre, que dispone de varias líneas de colada. Cada línea de colada contiene un molde con fondo desplazable cuya sección transversal tiene la forma del semi producto que se desea realizar. Es importante que, durante el proceso, el molde se mueva de arriba hacia abajo para despegar la costra que se forma durante el enfriamiento. El proceso de enfriamiento se lleva a cabo mediante duchas de agua fría y después al aire (Medina, 2006).

2) Fabricación en convertidores de oxígeno

El proceso comienza con el transporte del arrabio líquido del alto horno a la acería en unos depósitos llamados torpedos. Posteriormente, se introduce el arrabio, el oxígeno y los materiales fundentes dentro del convertidor, el cual es un horno donde se lleva a cabo el proceso de fusión. A partir de dicho proceso se obtiene el acero líquido, escoria y gases principalmente monóxido de carbono y dióxido de carbono (Medina, 2006).

Posteriormente, se realiza el proceso de colada continua explicado en inciso anterior (Medina, Transformación del arrabio en acero, 2006).

c. Procesos de fabricación de los perfiles de acero

1) Laminación en caliente

El proceso de laminación en caliente consiste en hacer pasar el producto en medio de rodillos o cilindros, que giran a la misma velocidad, pero en sentido opuesto generando que se reduzca la sección transversal debido a la presión ejercida. Este proceso se realiza a una temperatura inicial de 250° C y una temperatura final de 800° C lo que indica una reducción gradual de temperatura a lo largo del proceso (Callo, 2012).

El proceso inicia con el aumento de temperatura de las palanquillas formadas en el proceso mencionado previamente. Estas se introducen al molino de placa donde se recalientan y se reduce el espesor a un cuarto o tres pulgadas, por medio de dos castillos con rodillos horizontales. La placa se enfría, nivela y corta según las dimensiones requeridas. Posteriormente, ingresa al molino de tira donde se recalienta en varios hornos continuos, donde también existen castillos de rodillos en serie que van reduciendo aún más el espesor, entre 0.060 a 0.3 pulgadas. Al tener muy poco espesor, se forma una cinta de acero la cual se enrolla y enfría nuevamente (Callo, 2012).

Después, ingresa al skin pass, donde por medio de otro castillo de rodillos se elonga y mejora su superficie y dureza. Por último, la cinta de acero ingresa al molino de perfiles pesados donde se genera el tocho que es un bloque cuadrado que se convertirá en un perfil estructural. El tocho es sometido a castillos de rodillos dispuestos en forma horizontal y vertical hasta que alcanza la forma y dimensiones deseadas (Callo, 2012).

Una de las limitaciones del proceso es que solo se obtienen elementos de sección constante (Medina, 2006).

2) Laminados en frío

El proceso de laminación en frío consiste en la deformación del acero a alta velocidad, a una temperatura ambiente. El proceso comienza en el molino reductor donde por medio de prensado se modifican las propiedades mecánicas y la calidad de la cinta de acero, la cual se formó por medio de un proceso de laminación en caliente. El molino reductor está conformado por cuatro a cinco castillos de rodillos en serie donde se reduce entre un cincuenta a un noventa por ciento su espesor. Posteriormente, el producto ingresa al molino templador con el fin de alcanzar la dureza y forma requerida. En el molino templador hay rodillos horizontales y bridas de tensión que definen la textura de la cinta de acero. Al finalizar el proceso de templado, se somete a procesos de electrólisis donde se recubre de estaño o cromo para evitar la corrosión. Por último, la cinta de acero es nivelada por medio de rodillos que generan flexión en la cinta y se elonga por medio de las bridas que generan tensión (Callo, 2012).

3) Soldadura

El proceso de soldadura consiste en conectar piezas de acero por medio de calor. El tipo de soldadura más común utilizada para armar perfiles estructurales es la soldadura por fusión. Esta conecta elementos por medio de material fundido que se obtiene a partir de un alambre o varilla que se somete a un calor extremo y se deposita en el punto de unión (Callo, 2012).

d. Flujos de materia del proceso de fabricación del acero

El proceso de fabricación del acero implica el uso de diversos insumos y la generación de residuos o sustancias por las reacciones químicas involucradas (Medina, 2006).

Para producir una tonelada de acero virgen, se emplean mil quinientos kilogramos de hierro, doscientos veinticinco kilogramos de piedra caliza y setecientos cincuenta kilogramos de coque. Además, se generan ciento cuarenta y cinco kilogramos de escoria, doscientos treinta kilogramos de escoria granulada, aproximadamente ciento cincuenta mil litros de agua residual y dos toneladas de emisiones de gases contaminantes incluyendo dióxido de carbono, sulfuros y óxidos de nitrógeno (Medina, 2006).

Figura 26. Flujo de materia del proceso de fabricación del acero

<u>Energía</u>	19	MJ / kg producto
<u>Materias primas</u>		
Ganga de hierro	1500	kg / t producto
Piedra caliza	225	kg / t producto
Carbón (en forma de coque)	750	kg / t producto
<u>Emisiones</u>		
Escoria	145	kg / t producto
Escoria granulada	230	kg / t producto
Agua residual	150000	l / t producto
Emisiones gaseosas (incluyendo dióxido de carbono, óxidos de azufre y óxidos de nitrógeno)	2	t / t producto
[DESGLOSE] :		
Dióxido de carbono (CO ₂)	1,950	t / t producto
Óxido de nitrógeno (NO _x)	0,003	t / t producto
Óxido de sulfúrico (SO ₂)	0,004	t / t producto
Metano (CH ₄)	0,626	kg / t producto
Componentes orgánicos volátiles (COV _{tot})	0,234	kg / t producto
Polvo	15,000	kg / t producto
Metales pesados	0,037	kg / t producto
(Pb,Cd,Hg,As,Cr,Cu,Ni,Se,Zn,V)		

Fuente: (Medina, 2006)

11. Fachadas ecológicas para estructuras de acero

a. Jardines verticales

Los jardines verticales son instalaciones verticales cubiertas de plantas de distintas especies que son cultivadas en estructuras especiales dando la apariencia de un jardín. Estos están conformados por una estructura metálica, panel de soporte, capa de irrigación, plantación, suministro de nutrientes y suministro de agua y bomba de recogida del agua. Las principales ventajas de este tipo de fachada son que el sistema de riego puede ser un circuito cerrado donde se permite reutilizar el agua sobrante, así como la creación de jardines en terrenos que no tienen espacio para áreas verdes.

En los jardines verticales se utilizan plantas aéreas, las cuales tienen la capacidad de prosperar en sustratos livianos o en fibras sintéticas. Dentro de las plantas aéreas podemos mencionar epifitas, bromelias, orquídeas, musgos, líquenes y helechos.

La clasificación de los jardines verticales no es tan marcada, sin embargo, se pueden distinguir dos tipos, los hidropónicos y los de sustrato.

Los jardines verticales hidropónicos son aquellos donde las raíces crecen en medios inertes como lo es el fieltro de poliamida, poliéster, polietileno, entre otros. El factor clave para que este prospere es el aporte de nutrientes por medio del riego. En cuanto a los jardines verticales de sustrato, las raíces crecen en un medio artificial de material poroso que contiene material orgánico por lo que los nutrientes no solo reciben los nutrientes vía riego (Suárez, 2015).

b. Fachada ventilada

Las fachadas ventiladas son sistemas constructivos con excelentes propiedades térmicas y acústicas debido a la separación física entre la fachada y el muro del edificio. Dicha separación crea una cámara de aire entre el revestimiento y la pared del edificio por lo que se genera el efecto chimenea (ATMOSFERAS, 2015). El efecto chimenea sucede cuando se genera un efecto de succión por la diferencia de densidades entre el aire contenido en la

cámara y el aire del exterior lo que permite que se renueve el aire constantemente (Urbina, 2014). Además, parte de la radiación térmica es reflejada por el material de revestimiento.

Las fachadas ventiladas están conformadas por:

- Revestimiento: esto define la cara exterior de la fachada. Está elaborado de gres porcelánico que son baldosas cerámicas de baja absorción de agua, prensadas en seco y fabricadas por mono-cocción.
- Sistema de anclaje: es un conjunto de elementos que resisten los esfuerzos del revestimiento.
- Aislante: situado en el muro del edificio.
- Soporte: es el elemento que trasmite la carga de la fachada a la estructura del edificio.
- Cámara de aire: es el espacio físico entre el revestimiento y el aislante colocado en el muro del edificio (Grespania S.A., 2016).

Dentro de las ventajas de las fachadas ventiladas se puede mencionar:

- Ahorro energético: es de aproximadamente de un quince a un treinta y cinco por ciento.
- Aislamiento térmico: impide la pérdida de calor durante el invierno e impide la entrada del calor en el verano
- Aislamiento acústico: el revestimiento y la cámara de aire reduce entre un diez a un veinte por ciento la incidencia del ruido en el interior.
- Estética: es una fachada versátil ya que permite variedad de colores y texturas.
- Facilidades constructivas: no se necesita realizar ningún tipo de acabado en el muro del edificio ya que va cubierto por el revestimiento. De igual forma, debido al tipo de montaje se puede sustituir fácilmente.
- Durabilidad: al evitar que ingresen la radiación solar al edificio se evita la aparición de grietas por dilatación térmica en la edificación.
- Mantenimiento mínimo: solo requiere mantenimiento en caso de fracturas.

(Grespania S.A., 2016)

c. Placas metálicas

Las placas metálicas son un sistema de fachada conformado por placas maleables y resistentes a impactos las cuales pueden ser de distintos materiales incluyendo zinc, acero inoxidable y tela metálica arquitectónica (CUFA, 2013).

Dentro de las ventajas de las placas metálicas se puede mencionar:

- Resistencia a condiciones ambientales
- Durabilidad y resistencia mecánica de la fachada
- Flexibilidad en el montaje
- Aislamiento acústico y térmico

Un ejemplo de fachada de placas metálicas son los Multipanel Wave.

Los paneles Multipanel Wave son un tipo de recubrimiento metálico para fachadas que permite atractivas soluciones arquitectónicas por su geometría ondulada. Este tipo de fachada no requiere de fijaciones a la vista ya que se fijan con portapapeles o con clips instalados perpendiculares a los paneles. Es importante mencionar que, para el empalme de los paneles, estos cuentan con canterías lisas de veinticinco milímetros en todo el perímetro permitiendo que puedan instalarse en sentido horizontal o vertical según indique la arquitectura (Douglas, 2008).

Tabla 9. Descripción técnica paneles MultiWave

Producto	Material	Espesor (mm)	Peso (kg/m ²)	Largo máximo (m)	Rendimiento paneles (paneles/m)
Multipanel Wave	Aluzinc	0.60	6.08	6	2.27

Fuente: (Douglas, 2008)

Además de ser versátiles en cuanto a la arquitectura, estos presentan una gran capacidad aislante lo que repercute en un ahorro en los sistemas de calefacción y enfriamiento. Adicional, estos están elaborados de Aluzinc proveniente de material reciclado. El material reciclado puede ser material de pre-consumo proveniente de procesos de fundición, de

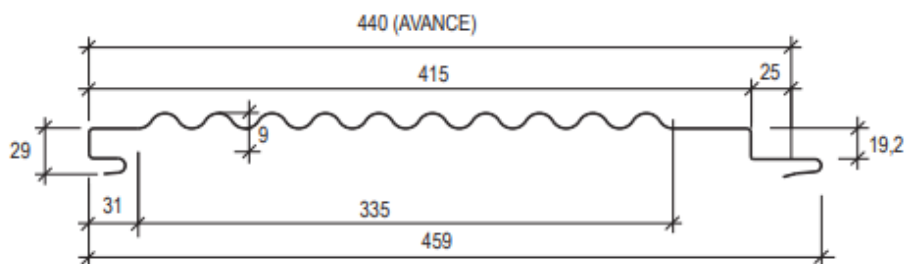
recortes o de procesos de laminado y extrusión y de contenido post-consumo proveniente de chatarra empleada en construcción, conductores o envases (Douglas, 2008).

Tabla 10. Contenido de material reciclado en los paneles MultiWave

Componente	Peso (kg)	Porcentaje del peso total	Porcentaje Pre consumo	Porcentaje Post consumo	Total contenido reciclado Leed (%)
ASTM A792/ASTM A653	6.08	100	5	15	17.5

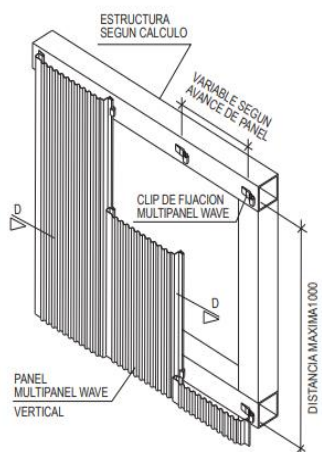
Fuente: (Douglas, 2008)

Figura 27. Detalle del panel con canterías lisas en sus extremos



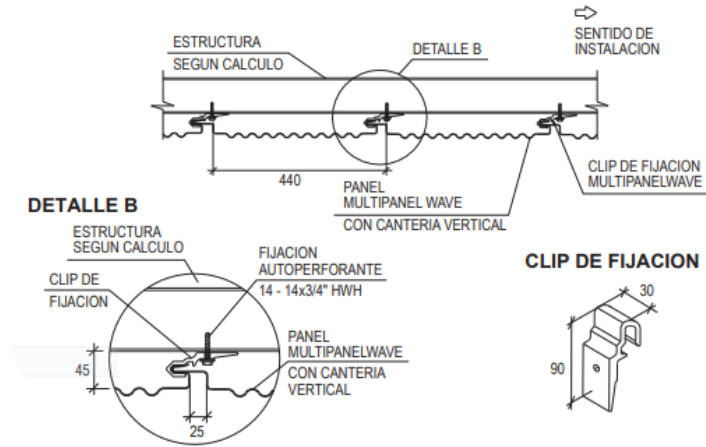
Fuente: (Douglas, 2008)

Figura 28. Sistema de fijación de los paneles con clips



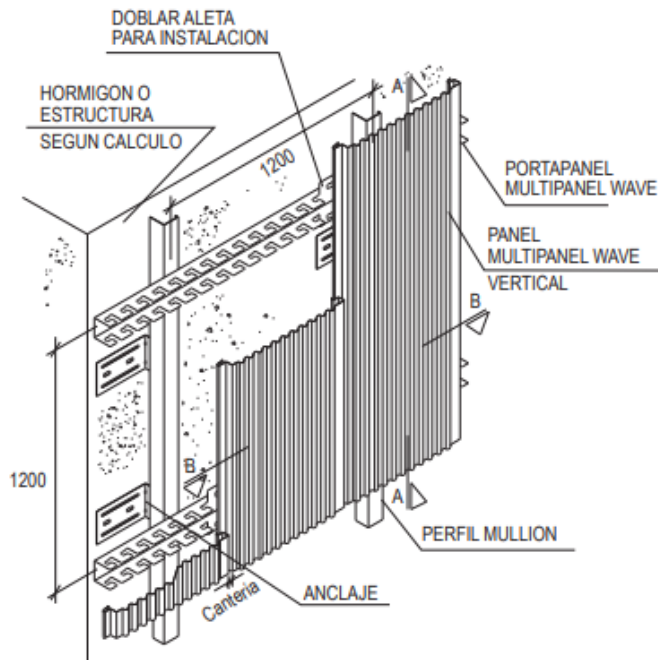
Fuente: (Douglas, 2008)

Figura 29. Detalle del sistema de fijación con clips



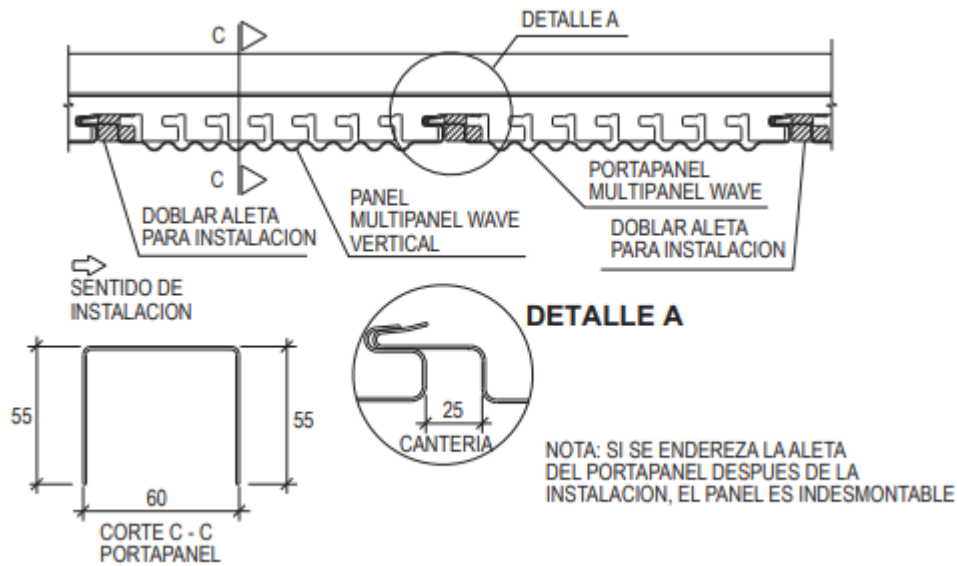
Fuente: (Douglas, 2008)

Figura 30. Sistema de fijación de los paneles con portapaneles



Fuente: (Douglas, 2008)

Figura 31. Detalle del sistema de fijación con portapanel



Fuente: (Douglas, 2008)

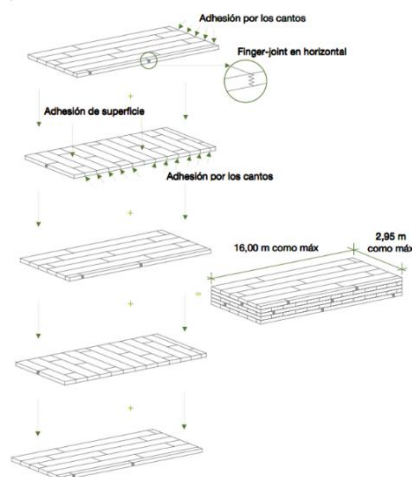
D. Cross Laminated Timber

Cross Laminated Timber o CLT es un tipo de material estructural que consiste básicamente en varias piezas de madera colocadas una sobre otra, unidas mediante la aplicación de adhesivos estructurales en sus caras (Hermoso, Luengo and Cabrero, 2017). A la hora de adherir una lámina con otra estas se colocan de forma entrecruzada en relación a la dirección de la fibra de la madera, como se observa en la Figura 32. Como resultado de la colocación en cruz de las piezas de madera, los paneles finales tienen un mejor comportamiento estructural, debido a que al entrelazar las capas se genera una mejor distribución de las cargas en las dos direcciones del panel.

Las láminas obtenidas de este proceso son posteriormente empalmadas con otras en su longitud hasta lograr las dimensiones requeridas, como se puede observar en la Figura 32. Esta una de las principales ventajas del CLT, ya que se tiene la posibilidad de generar elementos con grandes dimensiones y espesores, generando así una rigidez mayor a cualquier otro tipo de tablero de madera maciza. Asimismo, gracias a esta mayor rigidez se puede reducir considerablemente el uso de vigas y columnas en la estructura.

Es importante mencionar que el sistema estructural de CLT por excelencia es el tipo cajón el cual es definido posteriormente en la sección de Sistemas Estructurales (Conafort, 2010)

Figura 32. Elaboración de paneles de CLT



Fuente: (Conafort, 2010).

Otras de las ventajas que valen la pena mencionar son:

- Aislación térmica y acústica
- No es necesario el uso de fachadas adicionales.
- Buen desempeño ante cargas sísmicas gracias a su ligereza.
- Buen desempeño contra incendios. Los paneles de CLT, desmintiendo todos los prejuicios que se tienen acerca de la madera, tienen un muy buen comportamiento ante el fuego. Se han elaborado diversos ensayos alrededor del mundo en donde los paneles se prueban contra fuego y estos en pueden resistir desde 40 min hasta 1 hora antes de dar paso a un calor excesivo y que se propague el fuego hacia otros paneles. Asimismo, se ha evidenciado que la superficie expuesta al fuego crea una capa carbonizada que protege al resto. Las estructuras de madera poseen incluso una resistencia al fuego superior que la del acero (Andalucía, 2018).

Los principales productores de CLT a nivel mundial se encuentran en Europa, solamente Austria, Alemania y Suiza en conjunto tienen aproximadamente el 90% de la producción a nivel mundial. En 2012 al darse cuenta del gran crecimiento en la producción, era obligatorio generar una normativa que regularizara la producción, ensayo y uso en construcción de este

material. Es aquí cuando se da inicio a una gran cantidad de proyectos de investigación relacionados con CLT dando lugar en octubre de 2015 a la publicación de la norma EN 16351 (ABILIA, 2018).

1. Ajustes a las propiedades de la madera

La madera no es un material homogéneo, por lo que sus propiedades físicas y mecánicas varían en un mismo elemento. Asimismo, factores como la humedad y la temperatura pueden afectar significativamente su resistencia. Es por esto que es necesaria la implementación de factores de ajuste de resistencia nominal en los elementos estructurales de madera (Hernández Lara, Guevara Morán, Juárez Díaz, & Noguera Schiele, 2015).

En la metodología LRFD (Load and Resistance Factor Design) los factores de diseño pueden encontrarse en el NDS (National Design Specification) (Hernández Lara, Guevara Morán, Juárez Díaz, & Noguera Schiele, 2015).

a. Factor de ajuste por humedad

Los factores de humedad deben aplicarse cuando la humedad de la madera sobrepasa el 19% por un tiempo prolongado. Los factores de humedad varían según la propiedad de la madera que se esté analizando (Hernández Lara, Guevara Morán, Juárez Díaz, & Noguera Schiele, 2015).

Tabla 11. Factores de humedad para madera

Factores de humedad C_M					
F_b	F_t	F_V	F_{cperp}	F_c	E y E_{min}
0.8	0.8	0.875	0.53	0.73	0.833

Fuente: (Hernández Lara, Guevara Morán, Juárez Díaz, & Noguera Schiele, 2015)

b. Factor de ajuste por temperatura

Los factores de ajuste por temperatura deben considerarse cuando la madera va a estar expuesta a temperaturas mayores a 100°F (38°C) (Hernández Lara, Guevara Morán, Juárez Díaz, & Noguera Schiele, 2015).

Tabla 12. Factores de temperatura para la madera

Factor de temperatura para madera expuesta a altas temperaturas C_t			
Condición de uso	Temperatura permanente °F		
	$T \leq 100$ °F	100 °F < $T \leq 125$ °F	125 °F < $T \leq 150$ °F
Húmeda o mojada	1.00	0.9	0.9
Seca	1.00	0.8	0.7
Húmeda	1.00	0.7	0.5

Fuente: (Hernández Lara, Guevara Morán, Juárez Díaz, & Noguera Schiele, 2015).

c. Factor de ajuste por volumen

El factor de ajuste por volumen no es general, este varía dependiendo la especie de madera que estemos utilizando. Para poder encontrar el factor se hace uso de la siguiente ecuación:

$$C_v = \left(\frac{21}{L}\right)^{1/x} \left(\frac{1221}{d}\right)^{1/x} \left(\frac{5.125}{b}\right)^{1/x} \leq 1.0$$

En donde:

L = representa el largo del elemento a flexión

d = representa el peralte del elemento a flexión

b = representa el ancho del elemento a flexión

x = 20 para pino del sur y 10 para las demás especies

(Hernández Lara, Guevara Morán, Juárez Díaz, & Noguera Schiele, 2015).

d. Factor de ajuste de resistencia (ϕ)

Los factores de ajuste por resistencia varían según el caso considerado (Hernández Lara, Guevara Morán, Juárez Díaz, & Noguera Schiele, 2015).

Tabla 13. Factores de resistencia para LRFD

Factor de resistencia para la madera			
Aplicación	Propiedad	Símbolo	Valor
Miembro estructural	F_b	ϕ_b	0.85
	F_t	ϕ_t	0.80
	F_v, F_{rt}, F_s	ϕ_v	0.75
	F_c, F_{cp}	ϕ_c	0.90
	E_{min}	ϕ_s	0.85
Todas las conexiones	1.00	ϕ_z	0.65

Fuente: (Hernández Lara, Guevara Morán, Juárez Díaz, & Noguera Schiele, 2015)

e. Factor de efecto del tiempo

Este factor está considerado únicamente para el método de diseño LRFD y tiene un valor de 0.8 (Hernández Lara, Guevara Morán, Juárez Díaz, & Noguera Schiele, 2015).

2. Principales propiedades y diferencias del CLT

a. Construcción

La construcción de pisos mediante CLT no requiere de vigas para soportar la losa. Los paneles tienen la capacidad de soportar las cargas al mismo tiempo que funcionan como losa. Cabe mencionar que un panel de CLT comparado con una viga tiene un peralte mucho menor, se dice que un sistema de vigas puede llegar a requerir aproximadamente un 30% más de peralte que un sistema de CLT (Hernández Lara, Guevara Morán, Juárez Díaz, & Noguera Schiele, 2015).

b. Carga muerta del CLT

Los paneles de CLT en términos de carga muerta se encuentran entre los sistemas convencionales de vigas de madera y los de losas de concreto. Para paneles de CLT de dimensiones mínimas el sistema de losa tiene un peso de entre $50 \frac{kg}{m^2}$ a $150 \frac{kg}{m^2}$. Mientras que un sistema tradicional con vigas tiene un peso que ronda entre $20 \frac{kg}{m^2}$ a $100 \frac{kg}{m^2}$. Las losas de

concreto tienen pesos que ronda los $200 \frac{kg}{m^2}$ (Hernández Lara, Guevara Morán, Juárez Díaz, & Noguera Schiele, 2015).

c. Frecuencia natural

Los paneles de CLT tienen frecuencias para pisos que rondan los 10 Hz. Mientras que los sistemas de madera tradicionales tienen frecuencias naturales satisfactorias con valores de 15 Hz y 10 Hz, cuando están recubiertas con concreto. Cabe recalcar que los humanos solo perciben ondas que rondan entre los 4-8 Hz (Hernández Lara, Guevara Morán, Juárez Díaz, & Noguera Schiele, 2015).

d. Amortiguamiento

El amortiguamiento depende del material utilizado y los detalles constructivos, tanto de los elementos estructurales como los no estructurales. Según estudios hechos por FPInnovations los pisos de CLT de 5 y 7 capas sin acabado tienen un amortiguamiento a las vibraciones del 1%. Por otro lado, los pisos tradicionales con vigas de madera tienen un amortiguamiento del 3% (Hernández Lara, Guevara Morán, Juárez Díaz, & Noguera Schiele, 2015).

3. Fachada y techo de la estructura

Los paneles de CLT pueden funcionar como fachada gracias a que la madera además de sus propiedades estructurales también tiene buen aislamiento térmico, acústico además de ser considerada un material estético. Sin embargo, factores como la humedad, organismos, el sol, temperatura, etc. pueden llegar a causarle daños severos generando que se degrade rápidamente (Clarín Arq, 2015).

Una de las mejores soluciones a esta problemática es la aplicación de lasures, los cuales son recubrimientos que actúan impregnándose en la madera sin tapan los poros, lo cual permite que la madera “respire” para regular la humedad. Cuando la madera se protege contra la humedad se evita la formación de hongos y se previene la putrefacción. El acabado final

es totalmente natural, aunque también se pueden encontrar en acabador brillantes, satinados e incluso en diferentes colores. (Clarín Arq, 2015)

Cabe mencionar que cuando la madera es nueva antes de aplicar el lasur es necesario aplicar un preservador para protegerla de insectos. Así mismo, de ser necesario se debe lijar la superficie para abrir los poros de la madera. Para maderas blandas o semi duras se recomienda utilizar lijas no. 150-180, mientras que para maderas más duras se recomienda utilizar lijas 80-120 (Clarín Arq, 2015).

Si se desea se puede invertir un poco más en adicionar otros materiales para mejorar el desempeño, sin utilizar material que no sean amigables con el medio ambiente, se pueden utilizar materiales como celulosas naturales, fibras de madera, corchos naturales, lanas de oveja, etc. De estas últimas cabe resaltar la fibra de madera las cuales poseen grandes propiedades aislantes. Gracias a que es un material poroso se facilita la evaporación de agua lo cual ayuda grandemente a los problemas térmicos y de humedad. De igual forma, su porosidad le da una gran aislación acústica, incluso pueden llegar a ser utilizados como amortiguadores de ruido cuando son utilizados en superficies horizontales (Madera - Construcción Biopasiva, 2018).

Sobre estos materiales aislantes se pueden colocar un recubrimiento de madera el cual debe ser tratado como se mencionó anteriormente. A continuación, se muestra un esquema de cómo se puede observar las distintas capas, desde las paredes estructurales hasta la fachada final (Arquitectura y Empresa, 2014).

Figura 33. Detalle de capas de aislamiento



Fuente: (Gutex, 2018)

Para este proyecto se decidió utilizar como fachada los mismos paneles de CLT, aplicándoles lasur únicamente.

E. Mampostería de ladrillo

La mampostería es un sistema de construcción estructural que está conformada por muros contruidos con piezas prismáticas macizas o con celdas, unidas con mortero aglutinante. Además, según su requerimiento pueden estar reforzadas interiormente con acero y lechada de cemento, las cuales aportan características que hacen el sistema más resistente a los esfuerzos y sollicitaciones a los que estén expuestos.

1. Mampostería de arcilla

La mampostería de barro se hace cociendo arcilla en un horno en un rango de entre 25 a 35 horas dependiendo del tipo de horno, el tamaño, el volumen de las unidades y otras variables del proceso de fabricación.

La arcilla utilizada para los mampuestos es cocida a una temperatura de fusión de entre 1600°F y 2700°F (870°C – 1480°C), dependiendo del tipo de arcilla. El Manual de Ingeniería de Mampostería Reforzada (Reinforced Masonry Engineering Handbook), hace la comparación de temperaturas para la elaboración de tres ladrillos según el uso que se les da, para la elaboración del ladrillo para construcción, el cual se entiende como el usado para mampuesto, la temperatura oscila entre 1600°F y 2200°F, en este rango también está el ladrillo para fachada. Por último, existe el ladrillo cocido, el cual se utiliza para la construcción de pequeñas estructuras que requieran resistir altas temperaturas, como por ejemplo una chimenea, cámaras de cocimiento, hornos de leña, entre otros. (MIA, 2009).

La arcilla tiene como propiedad que al estar expuesta a elevadas temperaturas se suaviza lentamente y se fusiona permitiendo que al endurecerse la arcilla se forme un material sólido y durable si el proceso es el correcto (MIA, 2009).

2. Unidades de mampostería de arcilla

Según la norma ASTM C126 y ASTM C62, una unidad de mampostería sólida de arcilla o barro es una unidad cuya área transversal neta paralela a cualquier plano de la superficie de apoyo debe ser mayor o igual al 75% de su área gruesa en el mismo plano (MIA, 2009).

Las normas también mencionan que las unidades de ladrillos pueden tener hasta un máximo, si es el caso, de área perforada del 25%.

a. Ladrillos de barro cocido

Las unidades elaboradas de este material están hechas principalmente de barro o arcilla al cual puede agregársele otros materiales para mejorar sus propiedades. Estos mampuestos están moldeados o extruidos con forma de rectangular y son endurecidos a temperaturas altas. Los ladrillos también pueden clasificarse según su proceso de elaboración. (Haase, 2005)

Las unidades de mampostería de ladrillo de barro deben cumplir con la norma COGUANOR NGO 41022.

b. Ladrillos elaborados a mano

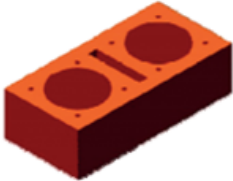
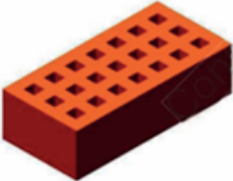

Son ladrillos elaborados por medios artesanales, moldeados a mano o con maquinaria sencilla que no prensa la mezcla de arcilla. (Haase, 2005)

c. Ladrillos elaborados a máquina

Son los ladrillos elaborados por medios y procesos industriales con maquinaria encargada de amasar, moldear y prensar la mezcla de arcilla al vacío (Haase, 2005).

La norma de seguridad estructural (NSE) 7.4 de la Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica (AGIES) establece tres tipos de ladrillo de barro cocido: ladrillo tayuyo, ladrillo tubular y ladrillo perforado.

Tabla 14. Tipos de ladrillo de barro cocido definidos por el AGIES

Imagen	Tipo	Dimensiones (cm)	Unidades por metro cuadrado
	Ladrillo tubular	6.5 X 11 X 23	55.5
		9 X 14 X 29	33.3
	Ladrillo perforado	6.5 X 11 X 23	55.5
		9 X 14 X 29	33.3
	Ladrillo tayuyo	6.5 X 11 X 23	55.5

Fuente: (Normas de Seguridad Estructural 7.4 – 2010, AGIES)

3. Mortero

Mezcla plástica de materiales cementantes y arena bien graduada. La dosificación de la mezcla deberá proveer las condiciones que permitan condiciones adecuadas para su uso durante el proceso constructivo y deberá contribuir a la resistencia a compresión del elemento estructural, por medio de la pega entre las unidades prefabricadas para levantados. (Florián, 2009).

Los morteros pueden clasificarse de distintas formas, según las propiedades de este en dos distintos estados, en estado plástico y estado endurecido. El proceso de elaboración influye en cómo se comportará el mortero al momento de la construcción de mampostería hasta llegar a su estado seco y actuar como elemento resistente. Dicho eso el mortero se clasifica de la siguiente forma:

a. Por sus propiedades

1) En estado plástico

Determinan la adecuación de la construcción de mampostería y a su vez están relacionada con las propiedades del concreto endurecido y por lo tanto con los elementos estructurales terminados. Las propiedades de los morteros plásticos que ayudan a determinar su adecuación constructiva incluyen su trabajabilidad o consistencia la cual proporciona una adecuada manejabilidad del mortero durante su uso en la construcción, el flujo, su capacidad de retención de agua durante el proceso constructivo y las características de endurecimiento para controlar su comportamiento posterior ya fraguado. (COGUANOR, 2012)

2) En estado endurecido

Las propiedades del mortero endurecido que ayudan a determinar el comportamiento final de la mampostería incluyen la adherencia: la cual depende de la resistencia, del grado de adherencia que exista en la mezcla y la durabilidad, en las cuales intervienen muchas variables que surgen durante el proceso constructivo; la extensibilidad y la resistencia a la compresión. (COGUANOR, 2012)

b. Por su resistencia a la compresión

La NSE 7.4 de AGIES menciona que la dosificación, las proporciones de los materiales para elaborar la mezcla del mortero influirá directamente a su resistencia a la compresión. Los morteros pueden clasificarse en base a su capacidad a la compresión y su capacidad de adherencia en tres diferentes tipos:

- Mortero tipo I: Resistencia a la compresión de 175 kg/cm^2
- Mortero tipo II: Resistencia a la compresión de 125 kg/cm^2
- Mortero tipo III: Resistencia a la compresión de 50 kg/cm^2

c. Por tipo de construcción

Las normas ASTM definen varios tipos de mortero según el tipo de obra y las sollicitaciones a las cuales esta esté expuesta.

La nomenclatura por clase de construcción se desarrolló de tal forma que a los tipos de mortero no se la calificara con mayor calidad que otros, se evitó la clasificación de estos en orden alfabético por lo antes mencionado y en lugar se utilizó la simbología M, S, N, O y K, la cual proviene de las letras impares de la palabra en inglés “MASONWORK”, que en español significa albañilería. (Hernández, 2013). El mortero tipo K ya no se utiliza dando lugar a los siguientes tipos de mortero:

1) Mortero tipo M

Utilizado para mampostería sujeta a altos esfuerzos de compresión, congelación severa, o fuerzas laterales altas debido a presiones de suelo, vientos provenientes de huracanes, o sismo severo (terremotos). Estructuras por debajo del nivel o contra el suelo como muros de contención.

Este tipo de mortero posee alta resistencia en compresión y adherencia con unidades.

2) Mortero tipo S

Se utiliza para estructuras que requieren alta resistencia a flexión y está sujeta a compresión y cargas laterales. Este tipo de mortero posee moderada resistencia en compresión y adherencia con unidades.

3) Mortero tipo N

Generalmente es usada en mampostería utilizada en niveles superiores, paredes interiores y particiones no estructurales. Este tipo de mortero posee baja resistencia en compresión y adherencia con unidades.

4) Mortero tipo O

Se utiliza para la elaboración de muros no cargados y particiones. Mampostería sujeta cargas de suelo y esfuerzos de compresión que no exceden los 100 psi y que no está sujeta al desgaste. Este tipo de mortero posee muy baja resistencia en compresión y adherencia con unidades.

4. Grout

Es una mezcla fluida de concreto para llenar cavidades, sin sufrir segregación de sus componentes, demás deberán de tener alta plasticidad para permitir el vaciado y alto asentamiento. (Bonilla, 2009). Bonilla también menciona que por la característica de fluidez es un material autonivelante y en ocasiones de consistencia plástica, el grout es utilizado ampliamente en otros sistemas de construcción diferentes de la mampostería.

Así mismo es una mezcla elaborada a partir de material aglomerante con agregados gruesos y finos y la cantidad correcta de agua para proporcionar una consistencia fluida que permita verterse dentro de las celdas de los mampuestos utilizados contribuyendo así a la resistencia de compresión del muro de mampostería. (Florián, 2009)

Este tipo de material es utilizado para los muros que están reforzados interiormente, es decir que se vierte en las celdas de los elementos prefabricados alrededor del acero de refuerzo. También llamado lechada se puede clasificar en dos clases de que se utilizan en la construcción de mampostería siendo estos: grout fino y grout grueso, esto según el tamaño nominal del agregado que se utilice en la mezcla. (Haase, 2005)

Las características de resistencia compresiva del grout estarán de acuerdo a la proporción de cantidades de materiales para elaborar la mezcla. La NSE 7.4 menciona que el grout utilizado para los muros de mampostería deberá tener un valor máximo de resistencia.

a. Tipos de grout

1) Grout fino

Se utiliza cuando se tiene un espacio de 0.64 cm ($\frac{1}{4}$ ") o más entre el acero de refuerzo y la unidad de mampostería, utiliza únicamente agregado fino. (Bonilla, 2009)

Según el AGIES, la proporción por volumen para esta mezcla deberá ser de 1 parte de cemento y de 2.5 a 3 partes de arena con una cantidad de agua suficiente que garantice un revenimiento de 200 a 250 mm.

2) Grout grueso

Se usa cuando se tiene un espacio de 1.3 cm (½”) o más entre el acero de refuerzo y la unidad de mampostería, utiliza agregado fino y adicionalmente agregado grueso hasta un tamaño máximo nominal de 0.99 (3/8”) (Bonilla, 2009)

Según el AGIES, la proporción por volumen para esta mezcla deberá ser de 1 parte de cemento, 2.25 a 3 partes de arena, y de 1 a 2 partes de grava fina con una cantidad de agua suficiente que garantice un revenimiento de 200 a 250 mm.

b. Revenimiento del grout

Según el Instituto Americano de Mampostería el revenimiento requerido para el concreto de lechada de ser como mínimo 8 pulgadas o 20 centímetros, para garantizar que el concreto fluya de manera libre dentro de la mampostería con el fin de llenar todos los espacios vacíos en las celdas correspondientes y poder confinar el acero a utilizar.

5. Acero de refuerzo

El acero de refuerzo es utilizado en el sistema de mampostería reforzada y confinada, el acero es el encargado de aportar resistencia de esfuerzos a tensión y de trabajar en conjunto con la mampostería para soportar esfuerzos laterales.

En Guatemala la Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR) establece en su norma COGUANOR NGO 36011 la normativa con la cual las barras de acero deben cumplir, así mismo las normas internacionales ASTM 703 o ASTM 615 en las cuales se basa la norma nacional.

El acero de refuerzo se utiliza en la mampostería de tipo reforzada interiormente como refuerzo dentro de las celdas del mampuesto utilizado a la cual se le vierte un grout para unificar las acciones resistivas del muro y el acero. En mampostería confinada el acero se concentra en los elementos de confinamiento como lo son las columnas y vigas. Según la norma AGIES NSE 7.4 las varillas de refuerzo deberán ser corrugadas, únicamente se

admitirán barras lisas en algunos estribos y dispositivos de amarre y quedan prohibidas el uso de barras de acero que sean de alta resistencia.

6. Cimentación utilizada en mampostería

En las construcciones de mampostería por lo general se utiliza cimentación corrida esto debido a que la carga presentada por los muros de mampostería no se presenta de forma puntual concentrada en un área como sucede en los sistemas estructurales marcos en donde la fuerza se transmite mediante las columnas.

La carga que se transmite al suelo debido a los muros se presenta de forma lineal por lo cual la cimentación por zapatas aisladas es imposible utilizarla y la carga no es lo bastante grande como para utilizar algún tipo de cimentación profunda, sin embargo, siempre debe considerarse el tipo de cimentación adecuado a la estructura elaborada.

7. Sistemas de mampostería

La mampostería puede clasificarse según su configuración estructural y los elementos y unidades que la conforman para lograr resistir las solicitaciones a las que está expuesta. Los sistemas estructurales de mampostería pueden estar conformados únicamente por los mampuestos conocida como simple o estar reforzadas con barras de acero.

a. Mampostería sin refuerzo

Este tipo de sistema no utiliza ningún tipo de refuerzo interno o externo de confinamiento en las unidades de mampostería. Este tipo de mampostería carente de refuerzo posee una gran desventaja en cuanto a la resistencia de actividad sísmica ya que al no tener refuerzo interior su resistencia lateral a flexión es muy baja. Así mismo el acero encargado de resistir los esfuerzos de tensión en el caso de otros tipos de mampostería, no se encuentra, haciendo que el muro al agrietarse se comporte de una manera frágil por lo cual en caso de eventos de desastre de magnitud alta puede ocurrir colapso. (Florián, 2009)

Por lo general estos muros son utilizados como particiones y su comportamiento es estrictamente no estructural, sin embargo, es recomendable que se utilice refuerzo y se evite

el uso de este tipo de mampostería en zonas altamente sísmicas como lo es Guatemala debido a su baja capacidad sismorresistente como se ha mencionado anteriormente.

b. Mampostería reforzada interiormente

Se denominan muros reforzados interiormente a los muros reforzados con barras corrugadas de acero, colocadas verticalmente entre los agujeros o celdas de las piezas prefabricadas y horizontalmente entre la junta horizontal del mortero. (AGIES, AGIES NSE 7.4 Mampostería reforzada (NR9:2000), 2010)

El sistema de muros reforzados permite rellenar las celdas de los mampuestos con lechada o grout, según las solicitaciones de la mampostería se pueden llenar todas las celdas o solamente las que llevan refuerzo.

El refuerzo se usa para resistir la totalidad de las fuerzas de tensión y ocasionalmente, para resistir los esfuerzos de compresión y cortante que no pueda resistir la mampostería simple. Los muros que la conforman deben soportar tanto su propio peso como las cargas horizontales y verticales actuantes sobre sus planos. (Bonilla, 2009)

c. Mampostería confinada

Se denominan muros confinados a los muros de mampostería que tienen el refuerzo vertical y horizontal concentrado en elementos de concreto, es la que se realiza a través de la conformación de un muro que luego se confina con vigas y columnas de concreto reforzado vaciadas en sitio.

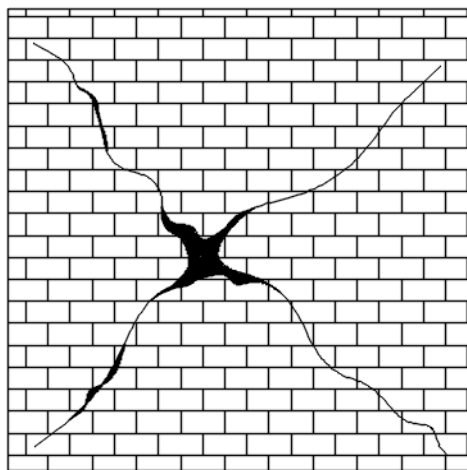
Por lo general estos elementos estructurales se construyen conforme a las dimensiones del muro de mampostería para proporcionar un confinamiento que mejore su ductilidad y le permita soportar repeticiones de carga lateral sin deteriorarse excesivamente. (Ramírez, 2015)

8. Fallas comunes en las estructuras de mampostería

a. Fallas en “X” o diagonales en muros

Estas fallas se producen debido a fuerzas laterales que actúan sobre el plano del muro. Este tipo de falla se presente en forma de grietas a lo largo del muro, por lo general, con ángulos aproximadamente de 45° con respecto de la horizontal. Pueden formarse grietas de esquina a esquina desde ambos laterales que convergen en el centro del muro en forma de “X” o grietas diagonales.

Figura 34. Falla diagonal o en "X"

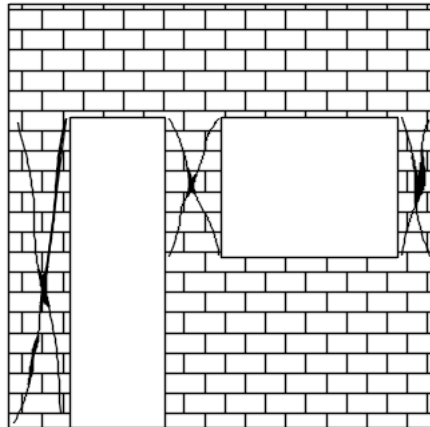


Fuente: (García, 2012)

b. Fallas en “X” entre vanos

Este tipo de fallas al igual que la falla anterior se debe a fuerzas laterales que actúan dentro del plano del muro. Estas fallas se producen en forma de grietas dentro de los espacios de muro que se forman entre vanos de puertas, ventanas u otros.

Figura 35. Falla diagonal o en "X" entre vanos

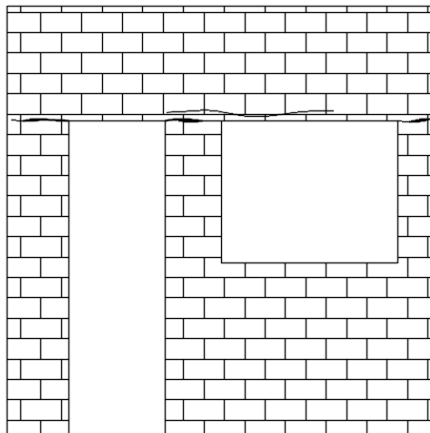


Fuente: (García, 2012)

c. Grietas horizontales

Son ocasionadas por fuerzas laterales que actúan sobre el plano del muro o perpendiculares al mismo. Las grietas se generan en la parte superior o inferior de las regiones entre vanos.

Figura 36. Grieta horizontal en el muro



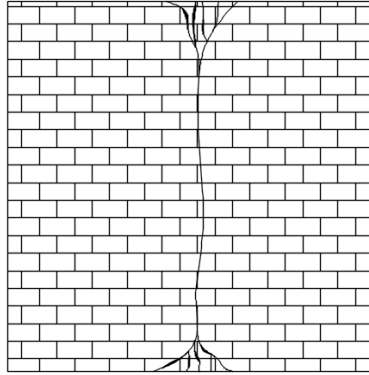
Fuente: (García, 2012)

d. Falla vertical, agrietamiento entre sisas

Este tipo de falla es causado por asentamientos diferenciales, desnivel ocasionado por movimientos del suelo por algún evento, lo cual causa un esfuerzo de corte que produce un rompimiento vertical causando una falla en los elementos formando líneas al centro y grietas

diagonales en donde el muro tiene contacto con losas. Puede haber también una separación entre sisas.

Figura 37. Falla vertical en el muro

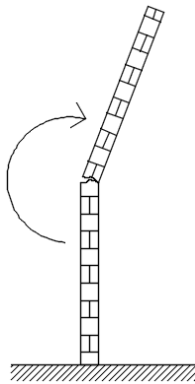


Fuente: (García, 2012)

e. Volteo parcial o total del muro

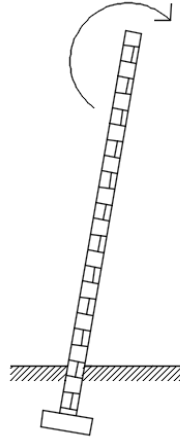
Este tipo de falla produce una formación de grietas a lo largo del muro en la zona de volteo. Según el nivel de gravedad del daño, puede verse afectado el suelo ocasionando asentamientos o levantamientos. Esta falla es ocasionada por fuerzas que actúan perpendicularmente el muro.

Figura 38. Volteo parcial del muro



Fuente: (García, 2012)

Figura 39. Volteo total del muro



Fuente: (García, 2012)

9. Ventajas de la construcción en mampostería

a. Mayor rigidez

Las estructuras compuestas por mampostería de arcilla estructural poseen una alta rigidez con respecto de los desplazamientos horizontales que se generan por las solicitaciones resultantes del análisis sísmico, por tal razón el movimiento que se genera es menor ocasionando que se disminuya el daño en agregados a la estructura.

b. Tendencia a la fisuración baja

A diferencia de las estructuras elaboradas con concreto que tienden a la fisuración debido al fraguado, que no deja de ser un comportamiento natural de este material cuando no afecta las propiedades que garantizan la resistencia y la durabilidad que pueden convertirse en situaciones conflictivas cuando no se realizan correctamente.

Estas fisuras pueden ser problema en cuanto a estética y condiciones de servicio se refiere. El usuario se vuelve susceptible cuando se enfrenta a fisuras expuestas que crean en él un sentimiento de incomodidad e inseguridad. La estructura de mampostería debido a que están elaboradas con mampuestos no presenta este tipo de defecto punteando a favor.

10. Desventajas de la construcción en mampostería

a. Mayor tiempo de construcción

La elaboración de la mampostería se complica en comparación con sistemas como el concreto y acero, ya que la colocación de los mampuestos para construcción de los muros demora el proceso total del proyecto.

b. Nula modificación en la arquitectura

Se requiere hacer una distribución muy detallada ya que debe haber una distribución adecuada que garantice el funcionamiento en ambas direcciones. Debido a que son muros de mampostería estructural, cumplen la función de resistir las solicitaciones de la estructura, por tal razón utilizan toda su área como muros de corte y no es posible hacer modificaciones en los espacios interiores en la edificación don existan estos.

c. Resistencia baja comparada con otros materiales

La mampostería se caracteriza tener la posibilidad de utilizar diferentes tipos de mampuestos según los requerimientos o solicitud del proyecto, estos pueden ser de arcilla, concreto, etc. Dependiendo del tipo de mampuesto la resistencia puede variar.

Si se compara la resistencia de la mampostería (compuesta por el mortero y los mampuestos) con materiales como el acero y concreto su diferencia de capacidad es muy elevada, el concreto puede superar su resistencia en un rango de entre 2 a 3 veces y aún más elevado cuando se compara con el acero, proporcionando una ventaja a estos ya que debido a su capacidad es posible utilizar secciones más pequeñas y luces más amplias, además de elaborar estructuras de mayor tamaño.

11. Propiedades físicas de la mampostería

a. Sonido

El sonido de forma general es la propagación de ondas mecánicas en un medio elástico como el aire, el agua, etc. que produce vibraciones en un cuerpo. La capacidad del

ser humano de percibir estas ondas es que el oído humano es muy sensible lo cual lo hace percibir ondas sonoras incluso de muy baja intensidad. (Young & Freedman, 2013)

Las ondas del sonido son descritas principalmente como ondas mecánicas sin embargo se las prefiere describir como cambios de presión. La variación de la presión y densidad del medio que se produce de forma ondulatoria produce una vibración que puede ser percibida por los órganos auditivos de los seres vivos si estos son producidos a la frecuencia adecuada. (Sastre & Muñoz, 2010)

1) El aislamiento acústico

Las ondas sonoras existen en todas partes, comúnmente estamos expuestos a cualquier tipo de sonido o ruido por lo tanto es importante conocer el comportamiento que tendrá una edificación en cuanto a sonido se trate. Como menciona Sastre & Muñoz cuando estas ondas alcanzan la pared del edificio, en función de la longitud de la onda y de las características físicas del cerramiento, parte de la onda atraviesa el cerramiento debido al fenómeno de transmisión.

Si la energía de onda transmitida es pequeña comparada con la energía de la onda incidente, diremos que el cerramiento es un buen aislante acústico.

La energía de onda acústica que llega al edificio como ya hemos mencionado antes provoca vibraciones produciendo un movimiento en el cerramiento tratando de mover el elemento, esto hace que exista un cambio de presión en el medio que existe, en este caso aire, del otro lado y provoca la aparición de otra onda sonora de la misma frecuencia que la que llega. Como consecuencia cuanto mayor peso posea el cerramiento más difícil se le hará a la onda moverlo y como resultado la intensidad con la que se reproduce es menor del otro lado de este. (Sastre & Muñoz, 2010)

En otras palabras, el aislamiento acústico se puede definir como la diferencia entre el nivel de presión acústica del local donde se produce el sonido y el local donde se recibe.

2) Acondicionamiento acústico

El acondicionamiento acústico son todas las medidas constructivas que se realizan para que el sonido que se pueda percibir en la edificación sea lo más confortable para los usuarios. Con estas medidas se debe lograr que el sonido dentro de la estructura sea claro sin que ocurra interferencia entre otros sonidos, sin el mismo y con una intensidad correcta.

3) Coeficiente de absorción acústica

El coeficiente de absorción acústica se define como la relación entre la energía acústica absorbida por el material y la energía acústica incidente sobre éste, por unidad de superficie dependiendo de la frecuencia.

La medición de la absorción o de la reflexión de un cerramiento se hace a través del coeficiente de absorción de la capa superficial. Este coeficiente varía entre cero y la unidad, siendo cero una absorción nula o una reflexión total, mientras que la unidad representaría lo contrario. (Sastre & Muñoz, 2010)

En pocas palabras se puede definir la absorción acústica como la magnitud que cuantifica la energía extraída del campo acústico cuando la onda atraviesa un medio determinado o con el choque de la onda con las superficies límites del recinto, que depende de la frecuencia. (Sastre & Muñoz, 2010)

b. Comportamiento térmico

1) El calor y la temperatura

El calor es la manifestación de la energía interna de un cuerpo debido al movimiento de sus partículas moleculares. Estos tipos de energía que, como cualquier otra, son capaces de transformarse y manifestarse de diversas maneras tienen una importancia capital en la tecnología de la edificación, ya que afectan, por una parte, a los mismos edificios y, por otra, al confort de sus ocupantes. (Sastre & Muñoz, 2010)

La temperatura es una magnitud que sirve para poner en evidencia este calor, haciendo siempre una comparación con otro cuerpo que nos sirve de referencia. La temperatura de un cuerpo, que puede ser medida con un termómetro, puede tener un valor teórico mínimo (-273°C), que corresponde a la inactividad total de sus moléculas, pero no tiene un valor máximo. De cualquier manera, las temperaturas que nos interesan en la tecnología de la edificación están limitadas por unos valores muy ajustados. (Sastre & Muñoz, 2010)

2) Transmisión de calor

El calor según la física tiende a transmitirse de un cuerpo que cuenta con temperaturas más altas hacia un cuerpo con menor temperatura, esto debido a la ley de equilibrio térmico. El calor puede ser transferido de tres formas: por conducción, por convección y por radiación. Según Sastre & Muñoz todas estas formas de transferencia de energía se dan en una edificación ya sea entre todos los elementos que la conforman como las particiones, chimeneas, sistemas de calefacción, calentadores, etc. como entre la propia estructura y las personas que la habitan. Esta interacción se denomina confort térmico.

El confort térmico se ve influido no solo por la fluctuación de las temperaturas dentro de la edificación, sino que también se ve afectado por la humedad del entorno y el movimiento del aire, para lograr un confort completo deben tomarse en cuenta estos aspectos.

3) La conducción de calor

La conducción del calor es una de las formas de transmisión de la energía por calor. La conducción de calor se da cuando existen dos cuerpos en contacto que poseen un diferencial de temperatura, también puede suceder cuando entre los cuerpos existe otro de forma ininterrumpida sin que exista movimiento entre ellos. Dicho esto, se puede mencionar como se ve afectada la edificación por el calor la conducción es la forma más común de transferencia a través de las particiones y paredes, cuando el aire del interior y exterior del edificio es diferente se genera un flujo entre ambos creando así un diferencial de temperatura con lo cual es necesario obtener un equilibrio entre ellos para garantizar la comodidad del usuario.

Esta transferencia de la energía en forma de calor entre dos cuerpos nunca se comporta de la misma forma, la cantidad de energía que pasa a través de un cuerpo por unidad de tiempo depende de diferentes factores tales como la diferencia de temperatura entre sus dos costados, de la superficie de paso, del grueso o espesor del cuerpo y, finalmente, de una característica o propiedad particular de este cuerpo denominada coeficiente de conductividad térmica. (Sastre & Muñoz, 2010)

El valor del coeficiente de conductividad térmica indica como el material se comportan en cuanto a su capacidad conductiva, se puede decir que cuando un material posee un coeficiente alto es un buen conductor de calor, de otra manera por lo tanto si este posee un coeficiente bajo es un mal conductor térmico y por lo tanto se denomina como aislante. Por lo general el valor dado en muchos ámbitos es la resistividad térmica, la cual no es más que el inverso del coeficiente de conductividad térmica obteniendo así el material sus propiedades como conductor si no como aislante, llegando así a la interpretación de la resistividad en donde más alto el coeficiente mayor aislamiento.

4) Propiedad térmica del ladrillo

El ladrillo es conocido por ser uno de los materiales con mejor aislamiento térmico. Las propiedades que lo caracterizan hacen posible que dentro del ámbito arquitectónico e ingenieril provea ciertos beneficios en cuanto al confort térmico se refiera. El libro de propiedades de los materiales de Sastre & Muñoz brinda una tabla de los coeficientes de conductividad térmica de diferentes materiales, entre ellos se puede encontrar la conductividad térmica de materiales cerámicos donde hace referencia a paredes de distintos ladrillos.

Según la tabla de estos coeficientes térmicos ($W/m \cdot k$) poseen un rango de entre 0.87 y 0.49, que comparados con los hormigones y los aceros con coeficientes de 1.16 y de entre 48-52 respectivamente es un material con poca conducción térmica o con un alto índice de aislamiento.

12. Códigos de diseño estructural para mampostería

a. Normas de seguridad estructural 2017, AGIES

Las Normas de Diseño Estructural para la República de Guatemala son normas elaboradas por la Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica.

Las normas son elaboradas para proporcionar una base para el diseño estructural de edificaciones en suelo guatemalteco. Enseñan metodologías, datos y procesos que ayudan al diseñador a tomar en cuenta factores locales como, clasificación de sitio, aceleraciones de suelo, velocidades de viento, etc.

Las normas de seguridad estructural han utilizado como norma modelo el documento ASCE/SEI 7-10, que es la norma americana elaborada por la Asociación Americana de Ingeniería Civil (ASCE, American Society of Civil Engineering por sus siglas en inglés)

Las normas de seguridad estructural abarcan temas de geotecnia, diseño estructural de edificaciones, evaluación y rehabilitación de obras existentes y diseño de mampostería reforzada.

b. Norma ACI 318-14

Es la norma elaborada por el Instituto Americano del Concreto (ACI, American Concrete Institute por sus siglas en inglés), formalmente nombrada como “Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318-14)

La Norma ACI 318-14 contiene requisitos mínimos para los materiales, diseño y detallado de edificaciones de concreto estructural y, donde sea aplicable, en estructuras diferentes de edificaciones. El Reglamento también cubre sistemas estructurales, miembros y conexiones, incluyendo concreto construido en obra, construcción prefabricada, concreto simple, construcción no pre-esforzada, construcción pre-esforzada y construcción compuesta. Dentro de los temas tratados se encuentran: diseño y construcción para resistencia, funcionamiento y durabilidad, combinaciones de carga, factores de carga y de

reducción de resistencia; métodos de análisis estructural; límites de las deflexiones; anclaje mecánico y adherido al concreto; desarrollo y empalme del refuerzo; información sobre los documentos de construcción; inspección en obra y ensayo de los materiales; y métodos para evaluar la resistencia de estructuras existentes.

c. Manual Ingenieril de Mampostería Reforzada

Este manual fue desarrollado por el Masonry Institute of America (Instituto Americano de Mampostería).

En el manual se detallan los requerimientos de diseño para la mampostería reforzada, la norma se basa en los códigos del IBC (International Building Code), publicado por el Concejo Internacional de Códigos (ICC, International Code Council, por sus siglas en inglés) y también en las normas del ASCE 7, igualmente se incluyen ciertas bases del código de referencia ACI 530, el ASCE 5, y el TMS 402.

El manual abarca diferentes métodos de diseño y análisis haciendo la aclaración que esto puede llevar a diferentes resultados sin embargo muy parecidos y coherentes con lo requerido.

d. Norma ACI 530-11

Esta norma también fue elaborada por el Instituto Americano del Concreto formalmente nombrada como “Requisitos y especificaciones de construcción para estructuras de mampostería” (ACI 530-11)

El código abarca el diseño y construcción de estructuras de mampostería mientras que las especificaciones establecen los requerimientos mínimos que se deben tomar en cuenta.

En el código se tocan temas como definiciones de términos generalmente usados para mampostería, control de calidad, materiales de construcción, análisis y diseño, resistencia y servicio, requerimientos por corte, flexión, muros, columnas, pilastras y demás elementos construidos mediante mampostería.

F. Instalaciones hidrosanitarias

Son el conjunto de tuberías, tanques y accesorios que son emplazados en una edificación con el fin de almacenar, transportar y distribuir agua limpia y recolectarla y evacuarla después de haber sido utilizada.

1. Sistemas domésticos

Los sistemas hidrosanitarios domésticos son los que pueden encontrarse en las viviendas tanto unifamiliares como multifamiliares. La existencia de un sistema de distribución de agua potable y drenaje es un indicador de un nivel socioeconómico básico. En la medida que más viviendas posean estas instalaciones, mejor será la situación socioeconómica del país.

En algunos países, es obligatorio la instalación de más sistemas. Todos estos son descritos en el siguiente capítulo.

a. Sistema de distribución de agua potable

El agua potable es aquella que se puede ingerir y consumir en actividades domésticas y de higiene personal (Organización Mundial de la Salud, 2018) de tal manera que ningún daño es provocado a la salud e integridad física de las personas (Riffo Contreras, 2005). El suministro de agua potable proviene del 2.4% de la superficie de la tierra que contiene agua que no es salada (University of Illinois, 1997); es decir, que no proviene de los océanos.

La Organización Mundial de la Salud cuenta con un reglamento en el cual se basan los distintos países para conformar sus normativas y estándares de calidad del agua potable. Los parámetros incluidos en dicho manual son físicos y organolépticos, químicos y biológicos. El agua potable debe cumplir con ciertos niveles de concentración de estos parámetros para no ser dañina para el consumo humano.

1) Definición

La instalación domiciliar de agua potable abarca desde la dotación de este servicio en la llave de paso hasta cada uno de los artefactos de aprovechamiento del servicio (Ministerio de Obras Públicas, 2003).

2) Función

Este sistema es el encargado de tomar el agua entrante de la red pública de agua potable y distribuirlo a los distintos elementos en el domicilio que aprovechan este servicio (Servicio Nacional para la Sostenibilidad de Servicios en Saneamiento Básico, 2015).

3) Elementos básicos

a) Acometida

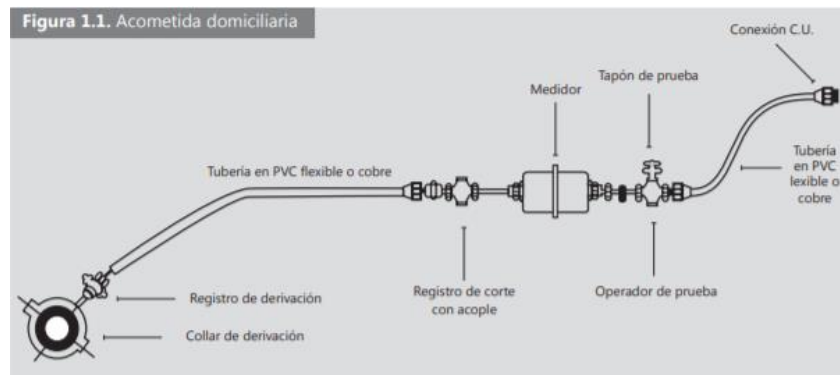
llave de paso general o particular según el caso (Diseños Mecánicos, S.A., 2018).

La tubería derivada debe ser de un menor diámetro que la de la red general de distribución y estar hecha de polietileno o PVC, con un collarín de hierro fundido (Instalaciones en Viviendas, S.f.).

Según el portal de la Municipalidad de la Ciudad de Guatemala, el costo de la instalación domiciliar de agua potable es de Q1,136.80. Adicionalmente, se requieren Q56.00 para una inspección de campo y Q112.00 para un estudio de determinación de la presencia de una red de distribución de agua potable en las cercanías de la propiedad. El portal de la municipalidad de Fraijanes, municipio en el que se encuentra el inmueble de este proyecto, no especifica costos de la instalación de acometida de agua potable.

En Guatemala, aunque se cuente con red propia de agua potable, se debe instalar, por ley una acometida municipal.

Figura 40. Partes de una acometida domiciliar



Fuente: (Pérez Carmona, 2010)

b) Llave de paso

Este es el punto donde finaliza el arranque de la línea de agua potable domiciliar. Este elemento también es conocido como llave de corte, ya que su función primordial es la de permitir o cortar el paso del líquido al domicilio. Por lo general, se coloca en la fachada o en la banqueta próxima al inmueble para que la entidad suministradora pueda interrumpir o habilitar el servicio.

Esta llave puede ser una llave tipo globo, compuerta o bola (Riffo Contreras, 2005).

Dentro del domicilio existen otras llaves de paso para cada uno de los dispositivos que hacen uso de agua. Tales como lavamanos, lavaplatos, pilas, inodoros, lavadoras de ropa, etc.

c) Contador

El contador o caudalímetro es el instrumento que mide el gasto volumétrico de agua en un inmueble. Esto facilita el cobro por utilización del servicio de agua potable. En algunos de los limitados lugares de Guatemala donde existe un servicio de agua potable distribuido por la municipalidad, el cobro mensual es por una cuota fija. Por lo general el contador, si llegara a existir uno, se utiliza para cobrar el sobreconsumo del servicio sobre la cuota fija establecida.

Figura 41. Contador volumétrico de agua



Fuente: (Genebre, 2014)

d) Tuberías

Las tuberías son los conductos por los que se transporta el agua a lo largo de toda la red doméstica. Para un sistema doméstico, como el de este proyecto, los diámetros de las tuberías van en un rango de 6" a ½".

Dependiendo del nivel socioeconómico de la vivienda; es decir, el tipo de calentador a instalarse, si se instalara uno, puede existir red de agua para agua fría y para agua caliente. Esta última puede ser únicamente en la parte saliente del calentador a los dispositivos que lo requieran.

Figura 42. Tubería de distribución de agua potable expuesta en una edificación



Fuente: (Albinson, 2018)

e) **Dispositivos aprovechadores**

Estos son los dispositivos que representan las salidas de agua en la red. Posteriormente, estos dispositivos también generan aguas grises o negras que deben ser integradas a la red de evacuación de aguas grises y negras. Ej: lavamanos, duchas, tinas, urinarios, inodoros.

Figura 43. Ejemplo de dispositivos aprovechadores de agua potable



Fuente: (Green Barcelona, 2011)

4) **Parámetros de diseño**

a) **Dotación**

Es la cantidad de agua que se asigna a una persona para su subsistencia diaria (Herrera Quezada, 2005). Este parámetro permite determinar si la fuente de suministro posee la suficiente capacidad para abastecer a los usuarios y así mismo determinar el volumen de almacenamiento (Rodríguez Soza, 2007).

En el diseño de edificios, la dotación depende de algunos factores como: uso del edificio, área, costumbres y hábitos de sus ocupantes, uso de medidores, necesidades profesionales, etc. (Rodríguez Soza, 2007).

Tabla 15. Dotaciones mínimas para distintos tipos de usos de edificaciones

Tipo de uso de edificio	Dotación
Habitación en zonas rurales	85 litros/hab/día
Habitación tipo popular	150 litros/hab/día
Habitación interés social	200 litros/hab/día
Departamentos de lujo	250 litros/hab/día
Residencias con piscina	500 litros/hab/día
Edificios de oficina	70 litros/hab/día
Hoteles	500 litros/hab/día
Cines	2 litros/espectador/función
Fábricas	60 litros/obrero/día
Baños públicos	500 litros/bañista/día
Escuelas	100 litros/alumno/día
Clubes	500 litros/bañista/día
Restaurantes	15-30 litros/comensal/día
Lavanderías	40 litros/Kg. De ropa seca
Hospitales	500 litros/cama/día
Riego de jardines	5 litros/m ²
Riego de patios	2 litros/m ²

Fuente: (Rodríguez Soza, 2007)

b) Uso simultáneo de dispositivos

Se debe contemplar el caudal máximo probable que se puede presentar en una instalación en un mismo momento. Para esto se pueden utilizar métodos empíricos, semi-empíricos y probabilísticos.

Tabla 16. Métodos para el cálculo de caudal simultáneo en edificaciones

Métodos empíricos	Métodos semi-empíricos	Métodos Probabilísticos
Método Británico	Método Alemán de la Raíz Cuadrada	Método de Hunter
Método de Dawson y Bowman	Método del Factor de Simultaneidad	Método de Hunter Modificado
	Método Racional o Español	

Fuente: (Elaboración Propia, 2018)

En Guatemala el método más utilizado, y recomendado, para el cálculo del caudal máximo probable es el de Hunter.

“El método pretende evaluar el caudal máximo probable y se basa en el concepto de que únicamente unos pocos aparatos, de todos los que están conectados al sistema, entrarán en operación simultánea en un instante dado. El efecto de cada aparato que forma parte de un grupo numeroso de elementos similares, depende de:

- Caudal del aparato, o sea la rata de flujo que deja pasar el servicio (q).
- Frecuencia de uso: tiempo entre usos sucesivos (T).
- Duración de uso: tiempo que el agua fluye para atender la demanda del aparato (t).”

(Castro Ladino, Garzón Garzón, & Ortiz Mosquera, 2006)

c) Limitación de uso

La delimitación de la cantidad de usuarios de los elementos aprovechadores es importante para la determinación de la dotación y el caudal máximo probable. La limitación de uso puede ser privada o pública.

5) Normativas, reglamentos y regulaciones

a) Bolivianas

El Reglamento Nacional de Instalaciones Sanitarias Domiciliarias fue revisado por tercera vez en noviembre de 2011 por el Ministerio de Ambiente y Agua. Dividido en dos secciones, este reglamento abarca todos los aspectos administrativos que debe cumplir una instalación hidrosanitaria de agua potable y alcantarillado. Es decir, cada plano para cada tipo de instalación y los aspectos que el inmueble debe cumplir.

b) Chilenas

El Reglamento de Instalaciones Domiciliarias de Agua Potable y Alcantarillado (RIDDA) fue aprobado en 2003. Este documento está dividido en dos partes formados por 5 títulos y 13 títulos respectivamente. La primera parte abarca el procedimiento legal que se necesita para poder ejecutar un proyecto de instalación de red doméstica de agua potable y

alcantarillado. La segunda parte especifica las normas que los materiales deben cumplir y los criterios de diseño de los sistemas.

6) Avances en el área del desarrollo sostenible

Existen diversos dispositivos comerciales que hacen posible el ahorro de agua potable en los sistemas domésticos sin tener que alterar la red de distribución. Uno de los dispositivos más utilizados en las construcciones modernas son los inodoros ahorradores, que en vez de utilizar 8 o 12 litros de agua limpia por descarga, utiliza únicamente 4 a 5 litros de este líquido.

7) Sistema de recolección y deshecho de aguas grises y negras

a) Definición

Después de aprovechar el agua potable en los distintos dispositivos (lavamanos, lavadoras de ropa, duchas, inodoros, etc.) esta se convierte en aguas residuales que deben ser evacuadas del domicilio para evitar la concentración de olores y factores biológicos que puedan afectar la salud de los habitantes del domicilio.

Esta es una red que va aumentando progresivamente de un dispositivo, a una vivienda, a un conjunto de viviendas que resulta constituyendo una instalación que va recogiendo los residuos y los concentra en un punto para darles salida a un nivel urbano (Vázquez Arenas, S.f.).

b) Función

El sistema de evacuación cumple el propósito de alejar las aguas de los aparatos sanitarios, impidiendo el paso del aire y de los organismos patógenos de nuevo al interior de la vivienda. Este sistema debe estar instalado de tal forma que el movimiento del edificio no provoque alteraciones en sus elementos. (Rodríguez Soza, 2007)

c) Elementos básicos

- **Tuberías de evacuación**

Las tuberías cumplen la función de evacuar las aguas y desechos producidos por los dispositivos que previamente aprovecharon el agua potable.

- **Derivaciones**

Son todos los accesorios que enlazan los aparatos sanitarios con las tuberías bajantes, recogiendo las aguas servidas y llevándolas hacia las bajantes correspondientes (Monge y Redondo, S.f.).

- **Bajantes**

Son todas las tuberías verticales que conducen las aguas servidas hacia los colectores (Monge y Redondo, S.f.).

- **Colectores**

Es toda la red horizontal en cada planta de la edificación (Monge y Redondo, S.f.). Como lo dice su nombre, colectan las aguas servidas provenientes de las bajantes y las conducen hacia el punto final de la red. Esto puede ser una fosa séptica o la red municipal o privada de recolección de aguas servidas.

Figura 44. Ejemplo de ensamble de tubería de drenaje (gris) y agua potable (blanco)

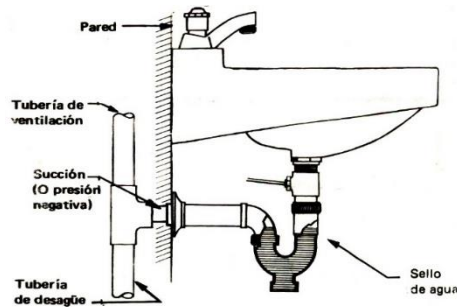


Fuente: (Rivas, 2017)

- **Sifones o trampas**

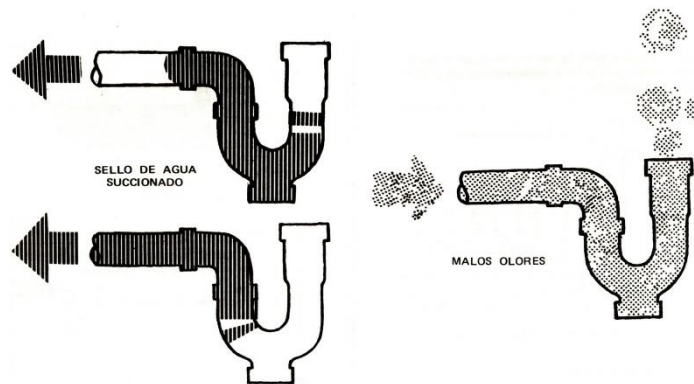
Son los dispositivos que impiden el paso de las emanaciones gaseosas a las tuberías (Rodríguez Soza, 2007) para evitar los cambios de presión y otros efectos en las bajantes y en los colectores. A su vez, estos dispositivos deben permitir que los sólidos suspendidos en el agua pasen fácilmente, sin quedar retenidas. Se colocan en todos los dispositivos.

Figura 45. Ejemplo de colocación y funcionamiento de un sifón en un lavamanos



Fuente:(Hernández, 2010)

Figura 46. Esquema de los efectos de la instalación de un sifón



Fuente:(Hernández, 2010)

- **Tuberías de ventilación**

Son tuberías continuas a las bajantes que tienen contacto con el aire exterior (Rodríguez Soza, 2007) para evitar sifonamientos por aspiración (Vásquez Arenas, 2011).

En edificios con más de diez plantas se requiere una red de ventilación secundaria, para evitar acumulamientos y saturación de la red principal por la alta carga de gases que conlleva un diseño con más elementos (Vásquez Arenas, 2011).

8) Parámetros de diseño

Se consideran los mismos parámetros que para el sistema de distribución de agua potable, ya que depende de este abastecimiento, la cantidad de deshechos generados.

9) Normativas, reglamentos y regulaciones

Los reglamentos descritos en el capítulo anterior corresponden de igual forma a esta sección.

a) Bolivianas

Existe un programa de desarrollo comunitario que muestra diversas herramientas para el manejo sostenible del recurso hídrico. El módulo 8 de estas herramientas explica la importancia de que los hogares posean una conexión intradomiciliaria de evacuación de aguas servidas. Además, cuenta con un anexo útil acerca de las conexiones de este tipo.

10) Avances en el área del desarrollo sostenible

Esta red ahora puede ser diseñada para el reciclaje de las aguas que recolecta. El agua recolectada de las duchas, lavamanos, lavavajillas y lavaplatos puede ser recolectada y conducida hacia los inodoros (después de haber pasado por un tratamiento simple), por último, es recolectada desde los inodoros para ser tratada antes de liberarse a la red principal.

b. Sistema anti-incendios

La creciente demanda de dispositivos eléctricos conectados a la red doméstica implica un riesgo latente de incendio en los domicilios y en cualquier edificación que albergue personas. Con el fin de resguardar las vidas humanas presentes en la estructura, se pueden tomar distintas medidas para apagar incendios o mitigar el riesgo de que estos ocurran. La elección sobre la utilización de un sistema de alarma de incendio depende de la estructura del edificio, el uso de la misma y el marco legal actual del país (Fire Safety Advice Centre, 2011).

1) Función

El sistema de protección contra incendios busca la forma de eliminar uno de los elementos que intervienen en la combustión para extinguir el fuego. El mecanismo por utilizar depende del elemento que se desee eliminar.

La protección contra incendios puede ser pasiva o activa. La forma pasiva se refiere a la forma en la que pueden los elementos estructurales presentar una barrera contra la propagación del incendio (RNDS). Estos elementos por lo general son techos, muros de cerramiento o de separación, con el mínimo de separación entre ellos y con los debidos elementos de acceso y ventilación que también sean capaces de cortar el fuego. Utilizando estos elementos, el incendio es confinado a un sector, generalmente en el que se generó el mismo, para reducir el nivel de daño que se podría generar a toda la estructura.

La protección activa es la que involucra acciones directas e instalaciones mecánicas que almacenen, transporten y distribuyan un agente que elimine el fuego (RNDS). Este tipo de protección es el que será descrito posteriormente en este capítulo.

2) Elementos básicos

a) Detector

Dispositivo análogo o digital que detecta partículas procedentes de combustión, ya sean visibles o invisibles. Envía una señal al siguiente elemento del sistema al sentir la presencia de estas partículas.

b) Alarma

Es el dispositivo que recibe la señal del detector y por medio de sonidos, pulsos y timbres indica la presencia de fuego o humo en el edificio.

c) Unidad propulsora

Es el accesorio que impulsa el agente extintor, por lo general se utilizan bombas hidráulicas.

d) Rociadores o tomas de agua

Sirven como medio para apuntar o esparcir a la zona de riesgo el agente extintor, por lo general, agua.

e) Unidad de almacenamiento de agente extintor

Tanques, cilindros o canecas que almacenan el agente extintor.

f) Drenajes para expulsión de agente extintor

Sistema de tuberías que permiten la evacuación del agente extintor una vez este haya sido esparcido/utilizado.

g) Mecanismo de disparo

Son los accesorios como bulbos o válvulas que accionan el paso del agente extintor para ser esparcido. Así mismo, funcionan para labores de mantenimiento.

h) Unidades portátiles

Accesorios que permiten la extinción de eventos menores sin la activación de las alarmas y el sistema principal. También pueden funcionar como primera línea de acción para la contención de un evento mayor.

3) Parámetros de diseño

a) Altura del edificio

Se debe considerar la altura desde el nivel más bajo de acceso para el vehículo de bomberos hasta el piso de cada planta ocupable (National Fire Protection Association, 2007).

- Clasificación de ocupación del área por piso

Dependiendo del tipo de uso y ocupación del piso, puede variarse el sistema o la cantidad de elementos de prevención.

- Tasa de flujo requerida

Es el caudal que se requiere para cada tipo de sistema (National Fire Protection Association, 2007).

4) Normativas, reglamentos y regulaciones

a) Guatemaltecas

Guatemala no cuenta con una norma de diseño de redes de aspersores u otros sistemas anti-incendio. La Norma de Reducción de Desastres Número Dos (NRD2) de la Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres (CONRED) es la que abarca el tema de la protección de una estructura ante incendios en una breve sección de la misma. En el mismo documento, se hace la referencia a la norma americana NFPA 101.

b) Estadounidenses

La entidad autora de las normas de seguridad anti-incendios en estructuras de Estados Unidos es la NFPA (National Fire Protection Association). Las normas tienen un nivel de solicitud alto en países hispanohablantes por lo que cuentan con traducción al idioma español.

- NFPA 101

Es el Código de Seguridad Humana, la edición más reciente es la 2015, pero esta debe ser comprada a través del portal de la NFPA. La última traducción al español disponible en línea es la 2000.

La norma cuenta con 40 capítulos que abarcan contenidos básicos de seguridad como para cada una de las ocupaciones para distintos tipos de edificaciones, con la excepción de tres capítulos que no han sido revelados. Esto incluye ubicación de salidas de emergencia, señalización, y sistemas anti-incendios.

- NFPA 10 a 22

Esta serie de normas abarcan todos los sistemas anti-incendios disponibles.

- NFPA 10: Extintores de Fuego Portátiles
- NFPA 11: Espumas de Baja-, Media- y Alta-Expansión
- NFPA 11A: Sistemas de Espuma de Mediana- y Alta-Expansión
- NFPA 11C: Aparatos Móviles de Espuma
- NFPA 12: Sistemas de Extinción de Dióxido de Carbono
- NFPA 12A: Sistemas de Extinción Halon 1301
- NFPA 13: Instalación de Sistemas de Rociadores
- NFPA 13D: Instalación de Sistemas de Rociadores en Hogares y Viviendas Manufacturadas de Una o Doss Familias
- NFPA 13E: Prácticas Recomendadas para el Departamento de Bomberos en Propiedades Protegidas por Sistemas de Rociadores y Tubería Vertical
- NFPA 13R: Instalación de Sistemas de Rociadores en Ocupaciones Residenciales de Baja Densidad
- NFPA 14: Instalación de Sistemas de Tubería Vertical y Mangueras
- NFPA 15: Sistemas Fijos de Atomización de Agua
- NFPA 16: Instalación de Rociadores de Espuma-Agua y Atomizadores de Espuma-Agua
- NFPA 17: Sistemas Extintores de Químicos Secos
- NFPA 17A: Sistemas Extintores de Químicos Húmedos
- NFPA 18: Agentes Humedecedores
- NFPA 18A: Aditivos de Agua para Control de Incendios y Mitigación de Vapor
- NFPA 20: Instalación de Bombas para Protección Contra Incendios
- NFPA 22: Tanques de Agua para Protección Contra Incendios

c) Mexicanas

Existe un Proyecto de Norma que abarca seguridad, equipo de protección contra incendio, sistemas fijos, sistemas de rociadores automáticos y el diseño e instalación de estos últimos. Se le conoce como PROY-NMX-S-066-SCFI-2015 y su aplicación es voluntaria. Es una traducción en puntos aplicables para el país, de la norma NFPA 13, descrita en el inciso anterior.

5) Avances en el área del desarrollo sostenible

En países europeos se empiezan a utilizar las aguas grises o pluviales como agente extintor, después de haber pasado por un tratamiento primario.

c. Sistema de recolección de aguas pluviales

La captación y aprovechamiento de aguas pluviales se vuelve esencial en un tiempo cuando es claro que la demanda de agua subterránea es alta y a su vez, no será suficiente para toda la población futura. Esta presenta ventajas que las dotaciones de agua comúnmente utilizadas carecen o poseen de una forma vaga; tales como el ahorro de energía, bajo costo y facilidad de mantenimiento (Área de Desarrollo Sostenible , 2004).

6) Función

El sistema de recolección de agua pluvial debe ser capaz de captar en un área el agua de lluvia para luego ser aprovechada. Dependiendo del diseño y necesidad puede ser integrado o independiente a la red hidráulica del domicilio.

7) Elementos básicos

a) Área de capacitación

superficie necesaria para alcanzar el volumen necesario que cumpla con la demanda. Además, tener una pendiente adecuada para su fácil escurrimiento hacia el sistema de conducción.

- *Techos*: los materiales ideales para un techo funcional para la recolección de agua de lluvia son concreto, lámina galvanizada y madera. En general, se puede utilizar cualquier superficie impermeable que no desprenda contaminantes o residuos como una reacción al contacto con el agua.
- *Techos cuenca*: son estructuras que funcionan para la recolección y almacenamiento de agua con la ayuda de un tanque o de una cisterna. El agua es conducida hacia el sistema de almacenamiento por gravedad, debido a la inclinación del techo.

- *Laderas*: superficie que requiera la mínima actividad de movimiento de tierras para ser cubierta y tratada con material impermeabilizante (Redacción, S.f.)

b) Sistema de conducción

Son todos los canales y tubos que conducen el agua desde el área de captación hasta el sistema de almacenamiento. Está conformado por la conducción horizontal y/o vertical, se aprovechan todas las pendientes posibles para que el sistema trabaje por gravedad.

c) Infraestructura de almacenamiento

Es cualquier tipo de cisterna o tanque prefabricado o fabricado in-situ que almacenan el agua recolectada antes de ser tratada.

d) Filtración y tratamiento

El tratamiento de aguas pluviales debe ser por medio de la filtración y sedimentación de sólidos suspendidos. La misma unidad de almacenamiento puede ser la unidad filtrante, al añadirse una rejilla previa a la caída a la unidad de almacenamiento y un sistema de limpieza de sedimentos. También puede agregarse un filtro a la conducción anterior al almacenamiento.

e) Sistema de distribución

Como en los otros tipos de sistemas hidráulicos domésticos, se debe distribuir el agua a través de tuberías a presión.

8) Parámetros de diseño

f) Número de usuarios

El objetivo de la instalación de este sistema es poder satisfacer la necesidad del vital líquido de las personas en el domicilio.

g) Coeficiente de escorrentía

Este es un valor que depende del material del que está hecho el área de captación. Los materiales metálicos producen escorrentías mayores que los materiales naturales.

h) Demanda

Basado en la cantidad de personas, nivel socioeconómico y aplicación, se determina el caudal de diseño del sistema.

9) Normativas

No existen normativas vigentes en ningún país que hagan referencia al aprovechamiento de las aguas pluviales. Existen manuales y diversos documentos de organizaciones que conciernen a este tema.

10) Consideraciones

a) Técnicas

Se debe considerar si existe la precipitación estacional suficiente en el área para lograr captar el agua necesaria para la satisfacción de las necesidades de la población. Estos datos pueden ser consultados con la autoridad competente; en Guatemala, esta autoridad es el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH) (Área de Desarrollo Sostenible , 2004).

b) Económicas

El aporte inicial puede parecer muy costoso, ya que el sistema debe ser diseñado para al menos 20 litros diarios por familia (Área de Desarrollo Sostenible , 2004) .

En el presente proyecto, el sistema de agua pluvial no representa el único ingreso de agua del edificio, y se añade únicamente para ahorrar costos. El alto costo inicial no es un factor que represente una restricción para la vivienda.

c) Sociales

Se deben tomar en cuenta los hábitos y costumbres de los involucrados para determinar si la implementación de este sistema es el más adecuado para la población.

“Los análisis deben considerar la conveniencia de adoptar soluciones individuales y colectivas, el tipo de material empleado en la fabricación de sus techos, la existencia de materiales alternativos en el lugar o sus alrededores y el grado de participación de la comunidad en la implementación del proyecto.”

-Organización Panamericana de la Salud

Se reitera que, en el presente proyecto, el agua pluvial no será utilizado por los habitantes para sus necesidades personales, este ajuste se considera adecuado para lograr un proyecto con una mejor huella ambiental.

11) Avances en el área del desarrollo sostenible

La sola implementación de este tipo de sistema representa un gran salto en el área de la sostenibilidad en la construcción. Si bien, este sistema solo ha sido modernizado y de cierta forma estandarizado, ha existido por siglos. La modernización y la facilidad de captar aguas subterráneas o de afluentes hizo que la captación de agua pluvial se convirtiera en obsoleta y anticuada.

Actualmente, se aprovechan mayormente las aguas pluviales para cultivos; sin embargo, no es descabellado implementar un sistema de captación de agua pluvial en los domicilios para aliviar algunas necesidades que no requieren de agua 100% limpia.

d. Sistema de irrigación

1) Definición

Un sistema de riego presurizado es el conjunto de dispositivos técnicos que aportan agua a un terreno de forma artificial, para proporcionar la humedad necesaria para cultivos y sembradillos (Durand-Dastes & Haghe, 2014).

2) Función

Establecer o restablecer la humedad necesaria para garantizar el crecimiento y nutrición adecuada de los cultivos. Además, intensifica la probabilidad de crecimiento vegetal en un espacio desprovisto de recursos hídricos (Durand-Dastes & Haghe, 2014).

3) Elementos básicos

a) Bombeo

Proceso de proporcionar agua y presión al sistema. Abarca todos los accesorios necesarios y la fuente de energía (Secretaría de Economía, 2011)

b) Unidad de control

Son las conexiones y accesorios que facilitan el manejo del flujo, presión y garantizan la operación segura del sistema de riego (Secretaría de Economía, 2011).

c) Línea lateral de aspersión

Rama de la tubería que abastece a los emisores (Secretaría de Economía, 2011).

d) Emisor

Dispositivo que suministra el agua sobre el suelo o planta.

e) Colector

Conjunto de tuberías y accesorios que previenen la acumulación de limos y arcillas y facilitan su salida de las ramas distribuidoras (Secretaría de Economía, 2011).

4) Parámetros de diseño

a) Superficie proyectada

Área vegetal o de tierra que se pretende cubrir con el sistema de riego.

b) Evapotranspiración real

Efecto combinado de la evaporación del suelo y de la transpiración de las plantas.

c) Gasto del sistema

Gasto proyectado a la entrada del cabezal de riego para el funcionamiento del sistema (Secretaría de Economía, 2011).

5) Normativas

a) Mexicanas

En 2011 fue publicada la tercera versión de la norma NMX-O-177-SCFI, que lleva por título: Lineamientos Generales para Proyectos de Sistemas de Riego Presurizado. Esta es una norma que involucra a entidades mexicanas, a diferencia de la norma para protección contra incendios que solo era una traducción de la norma NFPA 14.

Esta norma establece el tipo de sistema de irrigación a utilizar según el área a cubrir, los requisitos de diseño y de los materiales y de ante-proyecto que conlleva cada tipo. Cabe mencionar que esta norma solo abarca sistemas de irrigación agrícolas.

b) Chilenas

Existen tres grupos de normas que abarcan los sistemas de riego agrícola. El primer grupo de normas establece los parámetros de calidad que deben cumplir los distintos elementos que conforman un sistema de irrigación.

El segundo grupo de normas abarca el diseño de riego tecnificado, según el tipo de sistema: riego por aspersión (NCh3293) o riego localizado (NCh3319).

El tercer grupo abarca la instalación de los sistemas de riego de cualquier tipo.

6) Consideraciones

a) Culturales

Se deben considerar los usos y costumbres que afectan al proyecto; así mismo las prácticas agrícolas y las leyes, reglamentos y lineamientos aplicables para la ubicación del proyecto (Secretaría de Economía, 2011).

b) Generales

Es necesario mapear todos los obstáculos e infraestructura existente en el terreno para prevenir accidentes o poder tomar una ruta distinta (Secretaría de Economía, 2011).

c) Cultivo

Los requerimientos para la fertilización influyen en la cantidad de agua a distribuir para cada planta o área vegetal (Secretaría de Economía, 2011).

- Suelo: Se deben de tomar en cuenta todos los aspectos geológicos del terreno para determinar el método de riego a utilizar (Secretaría de Economía, 2011).
- Clima: Es necesario tomar en cuenta el historial de los factores climáticos como temperatura, evaporación y precipitación para determinar la dotación de agua necesaria para cubrir el cultivo (Secretaría de Economía, 2011).
- Topografía: La planimetría y altimetría permiten encontrar la ubicación ideal del sistema para el aprovechamiento de la caída de agua.

7) Avances en el área del desarrollo sostenible

En los últimos años se ha estado utilizando agua gris o pluvial como principal fuente de abastecimiento para el riego, utilizando agua captada de fuentes como ríos, lagos y acuíferos solo cuando la precipitación no es suficiente.

2. Materiales utilizados en sistemas hidráulicos domésticos

a. Policloruro de Vinilo (PVC)

Es un polímero termoplástico compuesto por cloruro de vinilo y cloruro de etileno (Universitat de Barcelona, S.f.).

El alto uso en la construcción de este tipo de tuberías se debe por su durabilidad y resistencia química (Habasit, 2018). Esta tubería se encuentra disponible en un rango de diámetros de ½” hasta 30”, según la cédula y el uso.

Figura 47. Distintos diámetros en PVC con coplas para fácil inserción



Fuente: (Goelbra, 2017)

Figura 48. Accesorios para unión de tuberías de PVC



Fuente: (G y R Hidromedicación, S.f.)

b. Policloruro de Vinilo Clorado (CPVC)

Comparte varias propiedades del PVC. Es apropiado para redes que transportarán fluidos a temperaturas hasta 93°C (Boedeker Plastics, Inc., 2018). Esta tubería se encuentra disponible en un rango de diámetros de ½” hasta 2”, según la cédula.

Figura 49. Disponibilidad de tuberías y accesorios de CPVC



Fuente: (Padmavati Pipes & Fittings Inc., S.f.)

c. Polietileno (PE)

La polimerización del etileno conlleva la desestructuración de etano, propano, nafta y aceite de gas. Ahora puede producirse a partir de eteno, que es proveniente del bioetanol extraído de la caña de azúcar (University of York Centre for Industry Education Collaboration, 2016).

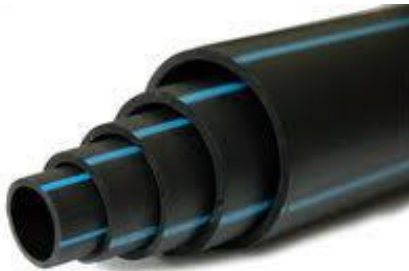
Este plástico es producido en forma de baja y alta densidad. Como todos los plásticos, el polietileno de alta densidad no se corroe, lo que lo hace un material ideal para el transporte de agua potable, aguas grises o servidas.

Figura 50. Poliducto



Fuente: (Ibero Gerden, 2016)

Figura 51. Variedad de diámetros de tubería de polietileno



Fuente: (Materiales de riesgo y suministros materiales, S.f.)

Figura 52. Tubería corrugada de polietileno para alcantarillado sanitario y pluvial



Fuente: (CONHSIBA Mexicana s de RL de CV, S.f.)

d. Hierro galvanizado

El hierro es un material proveniente de la naturaleza que se corroe prontamente al estar en contacto con el agua, aire, sal, arena, etc. Para prevenir esto, es sometido al proceso de galvanización, el cual consiste en un baño en zinc a altas temperaturas. Existen diversos tipos

de galvanización; sin embargo, son utilizados para otros tipos de elementos constructivos como láminas y barroses.

Figura 53. Tubería de hierro galvanizado con coplas



Fuente: (Suimport , S.f.)

Figura 54. Accesorios de tubería de hierro galvanizado

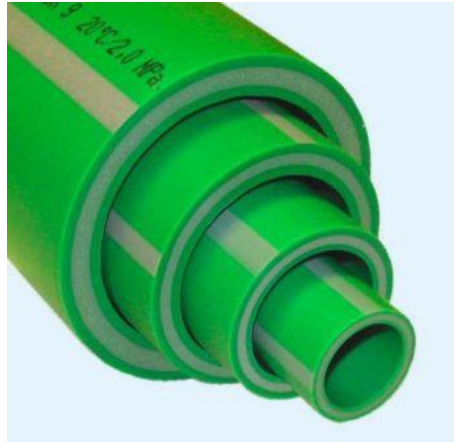


Fuente: (COPE Construcción y potencia Eléctrica, S.f.)

e. Polipropileno

Es un plástico fibroso con un alto punto de fusión, lo cual lo hace apto para trabajar a altas presiones y temperaturas. Es un material que está siendo introducido al ámbito de la hidráulica, su versatilidad hace factible la utilización de un solo material para la instalación hidráulica completa. No requiere accesorios ya que es flexible y es unido a otras piezas de polipropileno mediante fusión térmica.

Figura 55. Diámetros de tubería de polipropileno



Fuente: (POLYPRO S.A.S. Tuberías en Polipropileno PP-R y Valvulas Especializadas , S.f.)

f. Cobre

Este metal es uno de los mejores conductores de calor y corriente eléctrica que existen. En el campo sanitario e hidráulico es utilizado para la conducción de agua caliente o para el proceso de calefacción de agua.

Figura 56. Tubería de cobre para instalaciones menores



Fuente: (IUSA, s.f.)

Figura 57. Diámetros para tubería de cobre



Fuente: (DINCORSA, 2016)

Figura 58. Accesorios para tubería de cobre



Fuente: (Copper Group, S.f.)

3. Equipo de bombeo

El equipo de bombeo es implementado cuando se necesita conducir, transportar y distribuir un fluido de un punto a otro punto más alto que este. Una bomba transforma la energía mecánica en energía de un fluido incompresible. Este equipo es utilizado para incrementar la presión de un líquido, añadiendo energía al sistema hidráulico, para mover el fluido de una zona de menor presión o altitud a otra de mayor presión o altitud.

Existen diversos tipos de bombas que permiten el transporte de los fluidos, adecuándose a las necesidades del proyecto.

a. Bombas de desplazamiento fijo

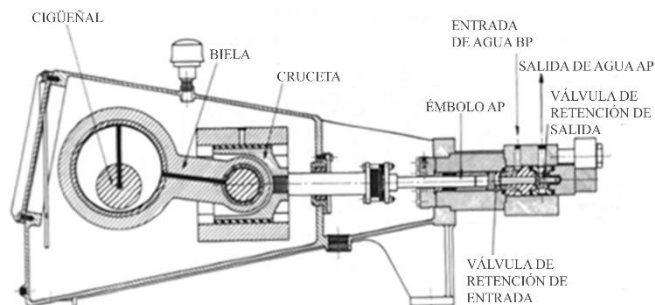
1) Reciprocantes

Estas son las que funcionan mediante la descarga de un volumen constante de fluido. Aquí entra el fluido por una cavidad la cual después es forzada a salir por la tubería de descarga. La velocidad de rotación que tenga la bomba va a depender del caudal que esta genere.

a) Émbolo

El movimiento alternativo entre el émbolo y la membrana llena y vacía sucesivamente el cabezal de la bomba. El retroceso del émbolo permite la entrada del fluido, el avance expulsa la dosis (PCM Group, S.f.). El mecanismo de succión y expulsión es análogo al émbolo de una jeringa médica.

Figura 59. Modelo de bomba de émbolo

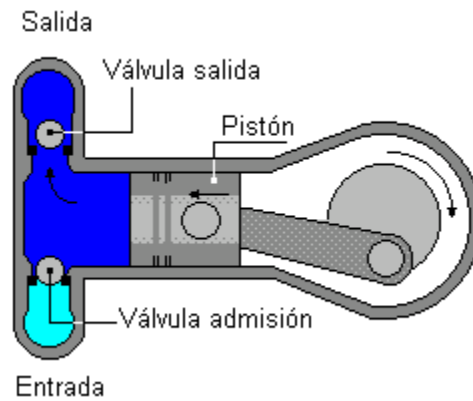


Fuente:(Erazo, 2014)

b) Pistón

El movimiento rotativo de un eje produce un movimiento de vaivén en un pistón, que al retroceder absorbe el líquido y al avanzar lo expulsa. Por lo general, se utilizan varios pistones para siempre mantener un caudal constante; en lo que unos absorben agua, otros la expulsan y viceversa (Olagorta, S.f.).

Figura 60. Modelo de bomba de pistón



Fuente: (Paz Tadeo, 2014)

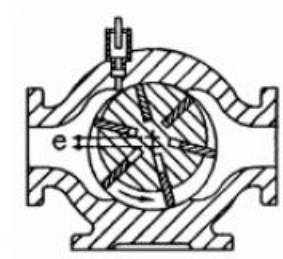
2) Rotatorias

Estas bombas son las que succionan el fluido y lo desplazan por un determinado elemento móvil. Normalmente se utilizan cuando se trabaja con líquidos viscosos, pero si se pueden utilizar con cualquier líquido mientras que no se haya presencia de sólidos.

a) Aspas

Estas son las que tienen un rotor con aspas las cuales giran de forma radial dentro de una caja circular con el rotor colocado de forma excéntrica.

Figura 61. Diagrama de funcionamiento de bomba de aspas.

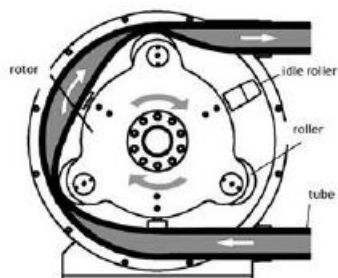


Fuente: (mecantech, 2013)

b) Peristálticas

Estas son las que no entran en contacto con el fluido. Se encuentra un tubo flexible el cual se comprime por varios rodillos o zapatas. Esto hace que el tubo se cierre al mismo tiempo que bombea el fluido a través de él. Estas se dividen en las de alta presión en las que se usan lubricantes para evitar abrasión y las de baja presión que se tienen rodillos secos.

Figura 62. Diagrama de funcionamiento de bomba peristáltica

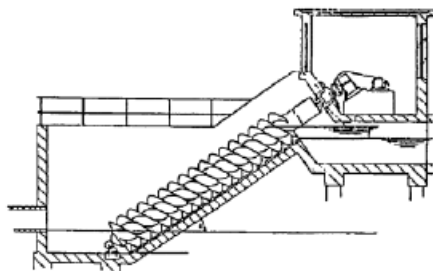


Fuente: (VerderFlex, 2015)

c) Tornillo

Estas están compuestas por un tornillo helicoidal que se encuentra en el centro de una caja. Este es el que permite que el fluido pase entre el tornillo y la caja. Existen bombas de un tornillo, de tornillo doble y de tornillo triple.

Figura 63. Diagrama de funcionamiento de bomba de tornillo

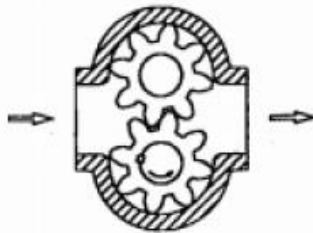


Fuente: (QuimiNet , 2008)

d) Engranajes

Estas son las que mantienen el caudal fijo con presiones de hasta 250 bares y velocidades de hasta 6000 rpm. Estas bombas se caracterizan por tener un alto rendimiento y una resistencia alta a las temperaturas debido a su diseño compacto lo cual ayuda también a que tengan una alta durabilidad. Existen 2, las bombas de engranajes externos que cuenta con dos engranajes acoplados que se encienden en forma de cadena. Y también están las bombas de engranajes internos que tiene engranajes adentro también los cuales generan un caudal menor por lo mismo que la velocidad es menor.

Figura 64. Diagrama de funcionamiento de bomba de engranajes



Fuente: (Ingemecánica, S.f.)

b. Bombas dinámicas

Estas son aquellas bombas que conforme el fluido se va desplazando se le imparten presiones y velocidades transformando la velocidad en energía de presión. Estas se basan en el principio de la transferencia de energía centrífuga.

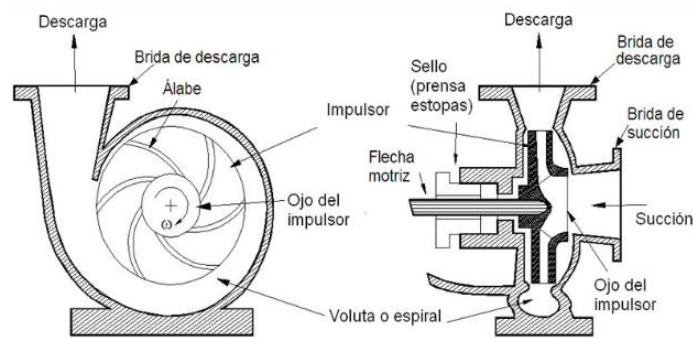
1) Centrífugas

Estas se conforman de un impulsor que gira dentro del campo que aprovecha la velocidad del fluido para generar desplazamiento y elevación.

2) Flujo radial

Utilizan caudales pequeños para que el movimiento se genere paralelo al eje de giro del impulsor.

Figura 65. Diagrama de bomba de flujo radial

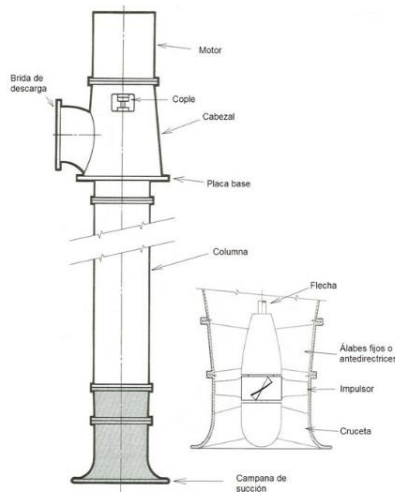


Fuente: (Fluidos.eia, S.f.)

3) Flujo axial

Utilizan caudales grandes para que la energía se traslade al fluido por la impulsión generada.

Figura 66. Diagrama de funcionamiento de bomba de flujo axial



Fuente: (Aprendamos Ingeniería, S.f.)

G. Aguas grises y pluviales

1. Caracterización de las aguas grises

a. Origen

Las aguas grises son un sub-grupo de las aguas residuales generadas en un inmueble debido a las distintas actividades que ocurren dentro del mismo. Estas provienen del uso de los dispositivos de lavado tales como lavamanos, duchas, lavaplatos, bañeras, etc. Es decir,

que tuvieron un uso ligero, por lo que están lo suficientemente limpias como para aprovechar en otros tipos de usos como riego (Allen, 2015), sistemas de enfriamiento, lavado de equipos y materiales, sanitarios y procesos industriales (Rodríguez Briceño, 2008).

Para fines de este trabajo se considerarán las aguas grises como las provenientes de duchas, lavamanos, fregaderos y lavaderos de platos y ropa.

b. Composición químico

1) Parámetros físicos y organolépticos

Tabla 17. Rango aceptable de contaminación en parámetros físicos y organolépticos

Aspecto	Rango
C.E	0.33 dS/m – 1.48 dS/m
SST	20 mg/l – 1500 mg/l
SDT	420 mg/l – 1700 mg/l
Turbiedad	20 – 200

Fuente: (Franco Alvarado, 2007)

2) Parámetros químicos

Tabla 18. Rango aceptable de contaminación en parámetros químicos

Aspecto	Rango
DBO ₅	26 mg/l – 550 mg/l
DQO	77 mg/l – 1135 mg/l
Fósforo (P)	0.28 mg/l – 27.3 mg/l
Nitrógeno Total	1.7 mg/l – 50 mg/l
Nitrógeno Kjeldahl	0.5 mg/l – 50 mg/l
Nitrato (NO ₃ ⁻)	0 mg/l – 11.5 mg/l
pH	5 – 8.7

Fuente: (Franco Alvarado, 2007)

3) Parámetros microbiológicos

Tabla 19. Rango aceptable de contaminación en parámetros microbiológicos

Aspecto	Rango
Coliformes fecales	10^1 ufc/100ml – 10^7 ufc/100ml
Coliformes totales	10^2 ufc/100ml – 8.03×10^7 ufc/100ml

Fuente: (Franco Alvarado, 2007)

c. Tratamiento para su neutralización

1) Tratamiento primario

a) Lagunas de sedimentación

Grandes porciones de terreno donde se genera sedimentación de sólidos y degradación de material orgánico. Es un sistema simple y económico.

Figura 67. Laguna de sedimentación

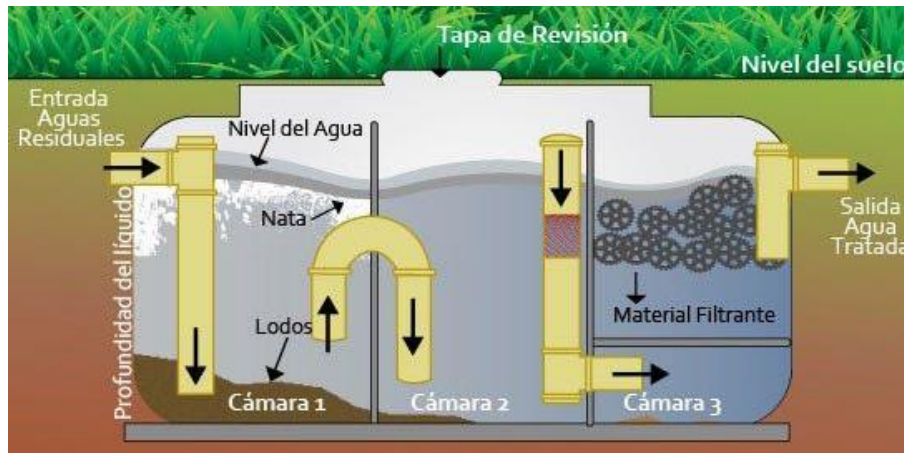


Fuente: (Adminmgv, 2014)

b) Tanque séptico

Remueven los lodos de mayor tamaño a través de un proceso que se lleva a cabo en 3 cámaras. Primero se sedimentan los lodos y luego son estabilizados mediante un proceso de digestión anaerobia. Estos tanques necesitan ser vaciados con una frecuencia de tiempo para garantizar la remoción de DQO.

Figura 68. Diagrama de funcionamiento de tanque séptico



Fuente: (Aspyma S.A., S.f.)

c) Estanques sedimentarios

Ocurre decantación de partículas por gravedad, algunos microorganismos son removidos debido a su adherencia a las partículas decantadas.

Figura 69. Estanque sedimentador



Fuente: (Limitada, 2006)

2) Tratamiento secundario

a) Humedales y biofiltros

Al haber filtrado previamente las partículas de gran tamaño y contaminantes externos del agua, se utilizan porciones de terreno para filtrar y purificar el agua removiendo patógenos y materia orgánica disuelta.

Se debe de dejar una distancia mínima de tres metros sobre el nivel freático para no contaminarlo.

Figura 70. Humedal de tratamiento secundario

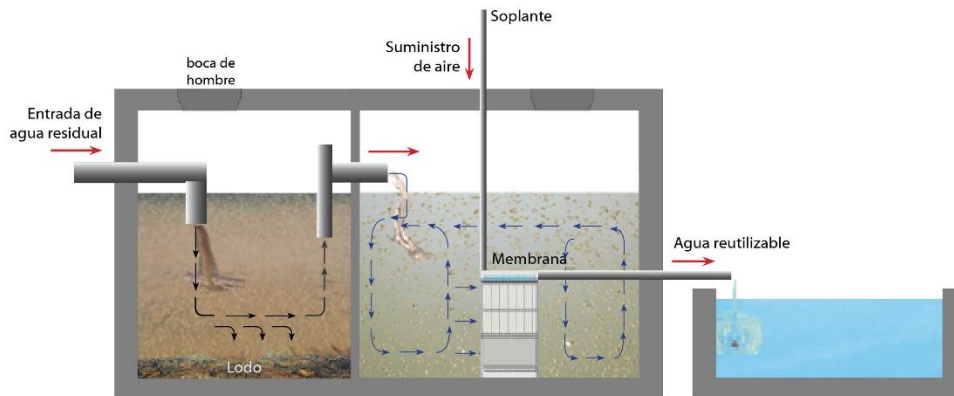


Fuente: (Aguamarket, 2011)

b) Membranas

Consta de una membrana semipermeable por la cual pasa el agua por la diferencia de presión y se eliminan sólidos. Se pueden llevar a cabo los procesos de microfiltración, ultrafiltración, nanofiltración y ósmosis inversa; dependiendo del tipo de materia y organismo que se desea remover.

Figura 71. Ejemplo de biorreactor de membrana



Fuente: (BIOAZUL, S.f.)

c) Lodos activados

Existe una mezcla predeterminada de microorganismos dentro de un estanque que, al ser mezclados con los lodos, actúan debido a la agitación y forman los lodos activados. El licor de mezclado (aguas servidas y lodos activados) es llevado a una cámara de sedimentación donde los lodos son decantados y el efluente de agua es clarificado. Parte de los lodos son devueltos al estanque para seguir el ciclo y mantener el equilibrio de microorganismos.

Figura 72. Reactor de lodos activados



Fuente: (Blog Fibras y Normas de Colombia S. A. S., S.f.)

d) Importancia de su reutilización

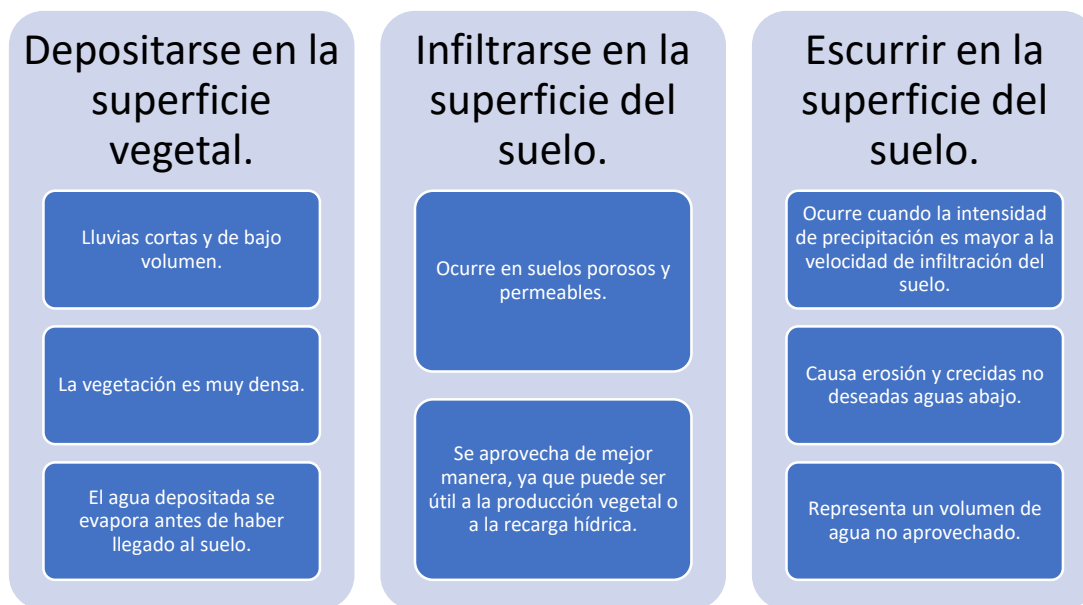
La reutilización de las aguas grises representa un avance en el campo del manejo sostenible de los recursos hídricos. En diversas ciudades del mundo se pueden observar iniciativas que la población ha tomado para reciclar este tipo de aguas servidas de forma manual. Inclusive, en Sudáfrica las personas no han tenido más opción que reutilizar las aguas grises de forma obligatoria debido a una prolongada canícula y la sequía de su mayor presa de agua (AJ+, 2018).

2. Aguas pluviales

a. Origen

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación, el agua que cae en forma de lluvia puede tomar cualquiera de las siguientes tres rutas:

Figura 73. Rutas del agua pluvial sobre la superficie terrestre



Fuente: (Área de Desarrollo Sostenible , 2004)

b. Tratamiento de filtrado para su reutilización

Se recomienda que el agua pluvial no sea utilizada para consumo humano, sino para riego de plantaciones y patios. Para poder almacenarse y conservarse de forma higiénica, el tratamiento debe estar dirigido a la remoción de las partículas que no fueron retenidas por el

dispositivo de intercepción. El tratamiento puede efectuarse por medio de filtros de mesa de arena seguida de la desinfección con cloro (Área de Desarrollo Sostenible , 2004).

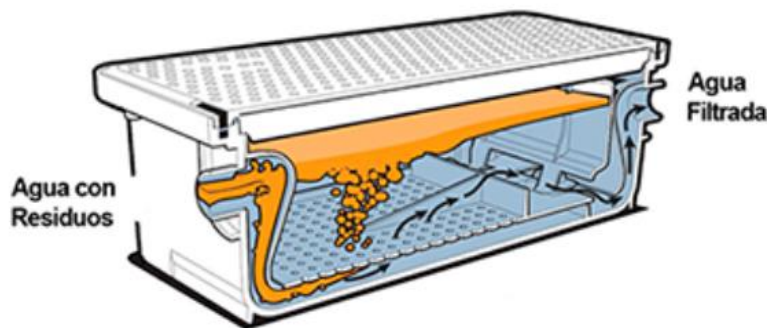
3. Plantas de tratamiento prefabricadas

a. Trampa de grasa

Están diseñados para evitar que las grasas y aceites lleguen a los desagües lo cual puede provocar problemas a largo plazo ya que la grasa hace que se obstruyan los drenajes. Generalmente son fabricadas en acero o cemento, sus dimensiones irán en proporción a las necesidades de cada establecimiento.

La tubería se conecta a un lavamanos y el agua entra por la tubería hasta llegar a la trampa después de llegar a la trampa se baja el material pesado y sube todas las grasas, en medio se queda el agua que servirá para los cultivos. No se debe conectar a aguas sanitarias o aguas negras ya que se debe separar los residuos sólidos (QUIMA, 2018)

Figura 74. Trampa de grasa



Fuente: (QUIMA, 2018)

b. Planta de tratamiento

Abarca los sistemas descritos anteriormente como tratamiento secundario.

c. Filtro biológico de una fase

En el primer compartimento del filtro biológico compacto se realiza la homogenización del agua, la sedimentación primaria de los sólidos y una parcial digestión de la materia

orgánica por parte de organismo y bacterias anaeróbicas. Con estos tratamientos se obtiene también una buena clarificación del agua, gracias a la eliminación de la mayoría de las sustancias sólidas. A la salida de este primer tratamiento se puede establecer un rendimiento en torno a un máximo de aproximadamente un 80% de retención de sólidos en suspensión y un 30 % de reducción de DBO5.

El segundo compartimiento corresponde al filtro biológico y está formado por un relleno de material plástico esférico de elevado rendimiento, donde se realiza la oxidación biológica de la materia orgánica, gracias a la acción de microorganismos aeróbico. El agua viene distribuida de forma homogénea sobre toda la superficie del material plástico filtrante mediante un sistema de distribución compuesto por una canaleta de PVC de perfil dentado y penetra en el interior de los cuerpos filtrantes, que sirven también de soporte a los microorganismos aerobios que se adhieren a ellos y van degradando la materia orgánica disuelta en suspensión coloidal que el agua contiene. Una tubería de aire con tiro natural desde el exterior atraviesa la masa filtrante y favorece la correcta y suave aireación de la biomasa, aportando oxígeno suficiente para permitir la oxidación de la materia orgánica, además de facilitar el desarrollo y la reproducción de las colonias de bacterias aeróbicas degradando la materia orgánica disuelta en suspensión coloidal que el agua contiene. Una tubería de aire con tiro natural desde el exterior atraviesa la masa filtrante y favorece la correcta y suave aireación de la biomasa, aportando oxígeno suficiente para permitir la oxidación de la materia orgánica, además de facilitar el desarrollo y la reproducción de las colonias de bacterias aeróbicas (ECODENA, 2018).

Figura 75. Filtro biológico de una fase



Fuente: (ECODENA, 2018)

H. Energías alternativas

En los últimos años, el uso los combustibles fósiles y sus derivados ha tenido un gran impacto en el medio ambiente, creando o agravando problemas como el efecto invernadero o la capa de ozono en la atmósfera. Estas situaciones han producido un cambio de conciencia en las personas, en donde se ha producido una tendencia, en los últimos años, de buscar energías alternativas para mitigar estos problemas ambientales.

Las energías alternativas pueden ser tomadas en cuenta como energías renovables, limpias o verdes. Todas estas provienen de recursos naturales e inagotables y tienen una característica en común, en el proceso de producción, no contaminan al medio ambiente.

Estas energías producen un gran reto y oportunidad para su uso. La oportunidad, que estas presentan, es una solución para tratar de frenar la gran cantidad de emisiones de CO₂ que dan las fábricas y productoras de energía de combustibles fósiles. Esta oportunidad busca tratar de darle una estabilidad al cambio climático tan drástico que ha ocurrido recientemente en los últimos años. (Factor Energía, 2016))

También está el reto de establecer nuevos paradigmas para la producción de electricidad a partir de recursos naturales. El sistema eléctrico se ha sostenido mayormente por plantas nucleares y térmicas. El objetivo de esto es cambiar la mentalidad de los consumidores para darles a conocer que existen alternativas menos dañinas y económicas que pueden cambiar el mercado ya establecido con estas nuevas tendencias.

1. Energías aplicables en un edificio

a. Energía solar

La Energía solar es la que llega a la Tierra en forma de radiación electromagnética (luz, calor y rayos ultravioleta principalmente) procedente del Sol, donde ha sido generada por un proceso de fusión nuclear. El aprovechamiento de la energía solar se puede realizar de dos formas: por conversión térmica de alta temperatura (sistema fototérmico) y por

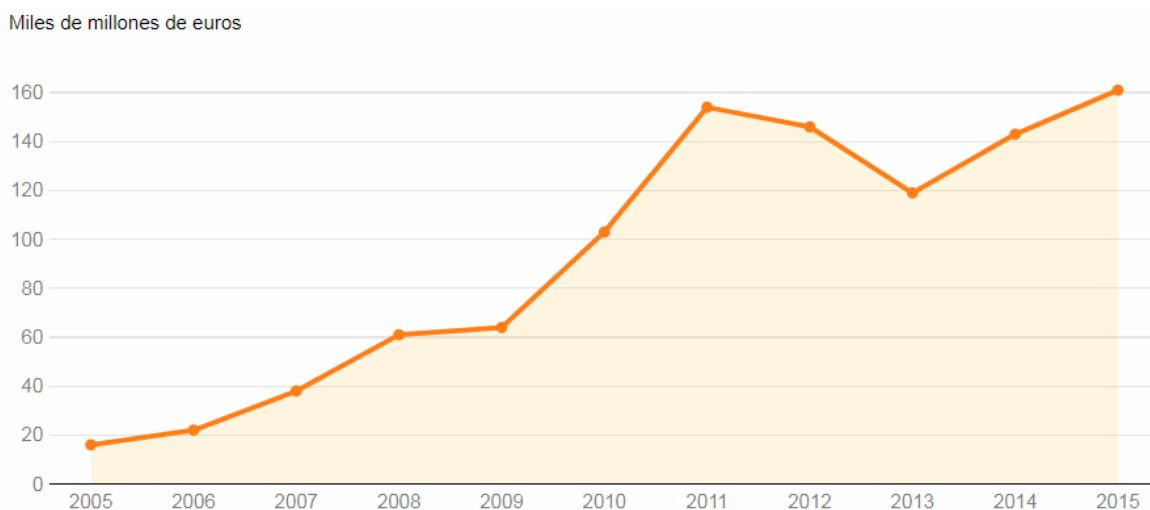
conversión fotovoltaica (sistema fotovoltaico). Las ventajas y desventajas de la misma se muestran a continuación. (Solar, 2016).

Tabla 20. Ventajas y desventajas de la energía solar

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> ● No contamina ● Es una fuente inagotable ● Bajo costo ● Se puede aprovechar de distintas maneras ● Fácil mantenimiento 	<ul style="list-style-type: none"> ● Costo de instalación ● Bajos rendimientos ● Área de instalación extendida ● Incapacidad de grandes acumulaciones en días nublados

Fuente: (Elaboración propia)

Figura 76. Inversión mundial en energía solar



Fuente: (Minue, 2016)

b. Energía eólica

La energía eólica es la energía obtenida del viento, consiste en convertir la energía que produce el movimiento de las aspas de un aerogenerador impulsadas por el viento en energía eléctrica. El equipo utilizado es una turbina eólica situada en la parte superior de una torre de soporte y un generador eléctrico, cuyo funcionamiento es el mismo al que tenían los

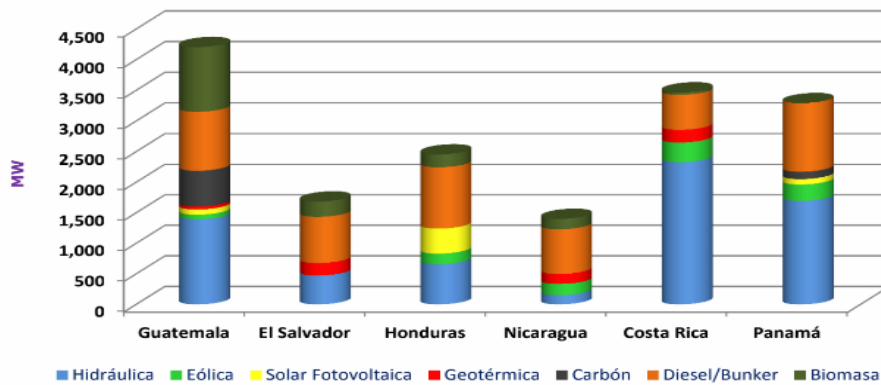
antiguos molinos de viento El término “eólico” proviene del latín “aeolicus”, perteneciente o relativo a Eolo, Dios de los vientos en la mitología griega. (Marimar, 2018)

Tabla 21. Ventajas y desventajas de la energía eólica

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> ● El viento es un recurso presente en todo el mundo y, dado que su energía proviene indirectamente del sol, es ilimitado. ● La energía eléctrica producida a través del viento no implica ninguna forma de emisión de gases contaminantes hacia el ambiente. Esto se debe a que en el proceso sólo intervienen elementos mecánicos y eléctricos, dejando de lado componentes químicos como combustibles. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Se deben hacer estudios previos con mediciones de viento, se llevan a cabo mediante instalaciones meteorológicas que recogen los datos de velocidad media cada cierto tiempo, por lo general cada 10 minutos o 1 hora, para controlar las variaciones del viento de un año a otro, a lo largo de un año, un mes, un día, etc. ● Da un impacto en el paisaje local ya que poseen turbinas de viento de entre 50 a 80 metros de altura con aspas giratorias que lo elevan otros 40 metros que hace que sea visible desde una gran distancia ● Afecta a la población de aves del lugar ya que estas no son capaces de reconocer las aspas giratorias y resulta en que chocan fatalmente contra ellas.

Fuente: (Elaboración propia)

Figura 77. Generación eléctrica de Centroamérica para el 2016



Fuente: (Marimar, 2018)

c. Energía hidroeléctrica

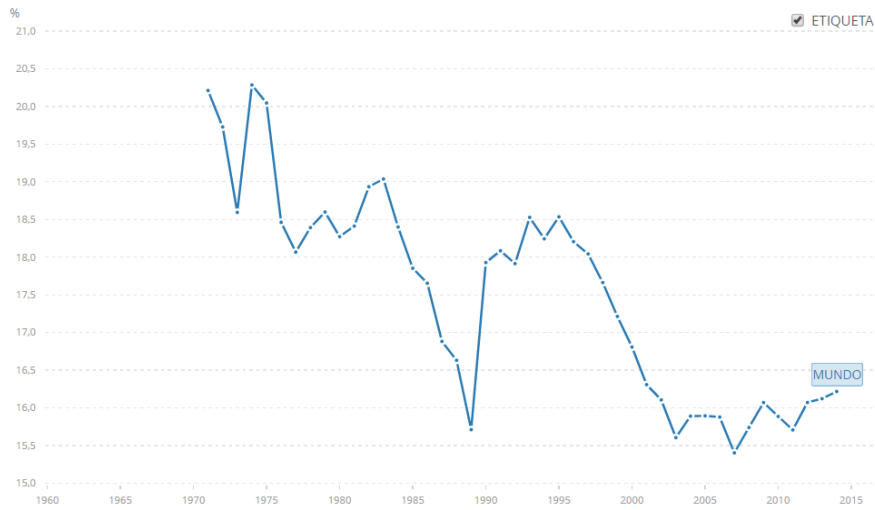
Es la electricidad generada por medio del movimiento de agua. Esta es una de las energías más utilizadas en el mundo ya que proporciona casi un veinte por ciento de la electricidad de todo el mundo. A continuación se muestra una tabla con las ventajas y desventajas de esta energía. (Martinez N. , 2013)

Tabla 22. Ventajas y desventajas de la energía hidroeléctrica

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> ● Energía renovable de alto rendimiento ● Disponibilidad inagotable debido al ciclo del agua ● No emite gases, emisiones tóxicas y no causa lluvia ácida ● Permiten el almacenamiento del agua ● Regule el caudal de los ríos 	<ul style="list-style-type: none"> ● La construcción de grandes presas puede inundar grandes porciones de terreno ● Las presas y embalses pueden ser disruptivas en el ecosistema acuático ● Cambia el ecosistema en las aguas bajas de los ríos ● El caudal del río sufre cambios drásticos al abrir y cerrar turbinas repetidas veces

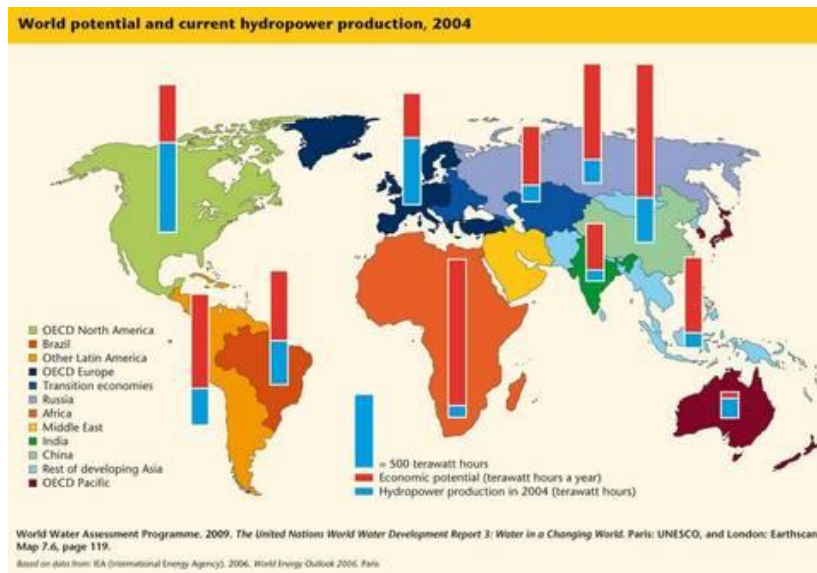
Fuente: (Elaboración propia)

Figura 78. Porcentaje de energía hidroeléctrica producida sobre el total de energía



Fuente: (Martinez N. , 2013)

Figura 79. Producción de energía hidroeléctrica en el mundo



Fuente: (UNESCO, 2010)

I. Eficiencia energética

Actualmente, el desarrollo y la sociedad avanza en ritmos incontrolables. La producción o el uso de maquinaria aumenta día con día, así como el uso energético para realizar nuevos

trabajos. De esta forma nace una forma de contribuir a la sostenibilidad del planeta a través de la eficiencia energética. Esto es de suma importancia ya que ayuda a reducir costos y genera conciencia sobre el medio ambiente.

La eficiencia energética se puede definir como un uso inteligente de la energía. Un aparato, proceso o instalación es eficiente en su uso de energía cuando este consume una cantidad inferior a la media energética para realizar una actividad específica. Otro factor importante que define la eficiencia energética es que el producto o servicio que busca ahorrar energía también busca abastecerse, lo más que se pueda, con energías renovables.

Como todo proceso innovador, esta lucha con factores que no la ayudan a un mayor uso. El principal problema que afecta a la eficiencia energética es que todavía es una elección. Este se observa claramente en los productos que se compran, ya que la opción eficiente del producto resulta tener un costo inicial más elevado. Este costo inicial más alto tiene una razón, y es que, con el tiempo este costo se traduce en un ahorro de uso eléctrico que favorece a la economía rápidamente.

El propósito de la eficiencia energética es proteger el medio ambiente mediante una reducción de la intensidad del uso energético y acostumbrando a los usuarios a consumir lo necesario. Actualmente es un tema de consciencia ambiental y por eso es fundamental fomentar este método ya que, aparte de ayudar al medio ambiente, es la forma más económica, segura y limpia de utilizar la energía. (FactorEnergía, 2017)

Figura 80. Eficiencia energética



Fuente: (FactorEnergía, 2017)

El uso eficiente de la energía eléctrica tiene tres grandes puntos en la que es favorecida:

- El primero es que permite ahorrar dinero. Esto resulta en que reduce el consumo del combustible en el transporte, también los costos de operación o producción de grandes empresas resultando en una mejora de su competitividad y los gastos de la energía en los hogares, que es el punto más relevante para los usuarios comunes que buscan mejorar su economía familiar.
- Ayuda al medio ambiente. Esto se logra al poder disminuir el consumo de recursos naturales no renovables que emiten gases de efecto invernadero, también el deterioro

al medio ambiente que está asociado con estos mismos gases de efecto invernadero y el daño ambiental y a la contaminación que a su vez disminuye el cambio drástico de cambio climático que ha existido en los últimos años.

- No solo se puede beneficiar uno personalmente con este uso eficiente si no que también se beneficia el país propio. Al disminuir la vulnerabilidad del país de depender de fuentes energéticas externas, aumenta la seguridad de abastecimiento de energía del país, lo que logra una mejora que puede resultar en una oportunidad de crear empleos y oportunidades de innovación tecnológica para desarrollar el sector en un nuevo mercado y también fomentar un turismo ecológico en el país. (Agencia de Eficiencia Energética, 2012)

Figura 81. Beneficios energéticos



Fuente: (Agencia de Eficiencia Energética, 2012)

J. Tendencia energética en el mercado

Con la tendencia actual de buscar ser siempre amigables con el medio ambiente, el sector energético busca seguir este camino en donde más usuarios están optando por utilizar energías alternativas más baratas y que cumplan con el objetivo de que sean “verdes”. Estas alternativas son cada vez más comunes y disponibles para un usuario promedio ya que debido al gran avance tecnológico que existe año con año, se destinan importantes recursos para idear nuevas formas de mitigar el cambio climático que también aumenta con el paso del tiempo.

Hay estudios que especifican cinco tendencias clave que serán de mucha influencia para el mercado energético global a partir del año 2018:

- Europa, que es actual líder y pionera en el uso de energía renovable, está llegando a un punto de inflexión para potencializar la energía renovable en electricidad. La mayor parte de Europa ya logró este punto de inflexión y la mayor parte de sus usuarios está usando energía solar y eólica debido a que la producción de estas energías es más económica que la que se produce con las nuevas plantas de gas o carbón. También, siguiendo el comportamiento de los precios, el costo de estas energías disminuirá más en la próxima década.
- Existe un modelo de subastas competitivas para beneficiar el mercado actual de energía solar. Estas subastas se basan en la Ley de Energía Renovable que promueve un modelo para que empresas puedan entrar a subastas donde se darán oportunidades de montajes a gran escala de estaciones de energías renovables
- Existe un incremento de interés por parte de instituciones y empresas de invertir en energías bajas en carbono para acelerar los movimientos de transición que de una economía que depende únicamente del uso de energías limpias, esto resulta ya que las pioneras en este campo dominaran la economía en los próximos años. Un estudio realizado por “Hong Kong And Shanghai Banking Corporation” (HSBC) muestra que el 68% de inversoras globales quiere participar en estas actividades.
- Actualmente los esfuerzos para tomar acciones y medidas para reducir las emisiones de contaminantes alrededor del mundo están siendo tomadas en cuenta por los grandes gobiernos del mundo al destinarles más fondos para que estas medidas resultan tangibles. En Europa, por dar un ejemplo, se realizó el Acuerdo de Paris o COP21 que establece la lucha contra el cambio climático en un marco global. También Inglaterra está tomando grandes medidas en este rubro, al eliminar todas sus plantas de carbón para el año 2025.
- El mercado automovilístico está cambiando de la misma manera hacia un uso más “verde”. La innovación y surgimiento de grandes empresas automovilísticas que buscan ser amigables con el medio ambiente, como Tesla, está creando un cambio en

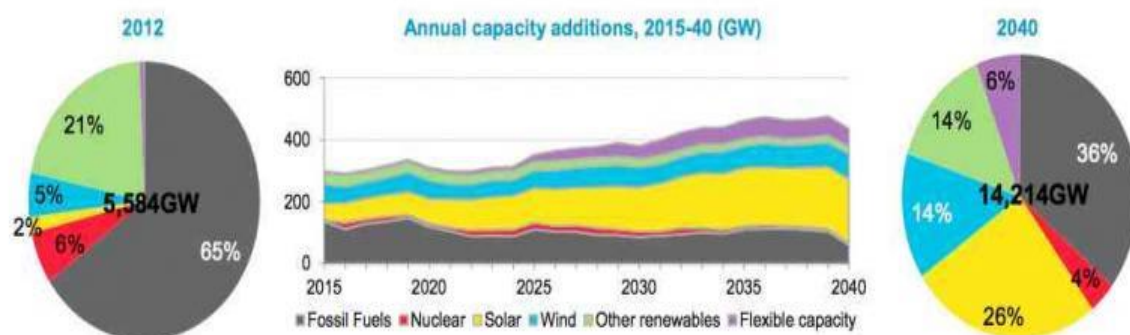
el mercado en donde se está facilitando la llegada de los vehículos eléctricos a todas partes. Se previene que aumentarán la cantidad de puntos de carga en supermercados y gasolineras. Esto aumentará la demanda eléctrica que a su vez promoverá la búsqueda de nuevas soluciones para la energía. (Stock, 2018)

Siguiendo las tendencias del mercado actual, los costos de los usuarios de energía solar decrecerán en un 60% durante la próxima década. Este pronóstico de la caída de precios es analizada por la Agencia Internacional de Energía Renovable (IRENA), que basa su análisis en que cada año se generarán hasta 90 GW de nuevas instalaciones solares en todo el mundo, manteniendo la tasa de crecimiento durante cinco o seis años.

Este pronóstico realizado por la Agencia Internacional de Energía Renovable (IRENA) apoya más que todo en un pilar central, y es que, la mejora e innovación tecnológica facilitarán la creación de nuevas instalaciones. También la caída de los costos de las baterías ofrecerá que sea más viable obtener estas energías para nuevos usuarios. (Stock A. N.-T., 2017)

Figura 82. Tendencias del uso energético para 2040

Figure 1: Global installed capacity in 2014 and 2040 and projected capacity additions, by technology (GW)



Source: Bloomberg New Energy Finance

Fuente: (Santa Cruz, 2015)

1. Precios y porcentajes de uso

El consumo de la energía aumenta año con año, es por esto que cada vez se tratan de idear nuevas formas menos costosas para su producción. Se estima que para el año 2035, el consumo promedio aumentará en 35%. La unidad de medida de energía, de acuerdo al Sistema Internacional de unidades (SI), es el Joules (J) que es definido como el trabajo realizado por una fuerza de 1 newton al desplazar su punto de aplicación 1 metro. También se pueden utilizar los voltios (V) que son la energía que adquiere un electrón al pasar de un punto entre otro. Para la producción de energía eléctrica se utiliza como unidad el kilovatio-hora (kWh), que se define como el trabajo realizado durante una hora por una maquina que tiene una potencia de un kilovatio. (Foro Nuclear, 2010)

Un dato importante sobre el consumo de energía es que al año se producen más de 500 millones de Tera Jolues de energía. La mayoría de esta energía consumida proviene del uso de combustibles fósiles. El petróleo, carbón y el gas natural proveen del 81% de la energía total que se consume en la Tierra. De esta energía, solo el 35% que se obtiene por la combustión del carbón es transformada en electricidad. El resto se pierde en calor residual que se disipa hacia la atmosfera que conlleva a ser una de las causas principales de la contaminación y calentamiento global.

Otro dato importante es que solo un 2% o 3% de la energía consumida proviene de fuentes de energías renovables. Con las tendencias actuales, se espera que estas cifras cambien y que la producción de energía renovable aumente. Las predicciones establecen que para el año 2030 el consumo de energía limpia se duplique, aumentando su uso de 3% hasta un 6%. Aparte de aumentar la producción de energías limpias para combatir la contaminación creada por la combustión del carbón, es importante crear consciencia en los usuarios ya que un 8% a 10% del consumo total de energía en el mundo corresponde a la electricidad que es usada por aparatos electrónicos que están en stand-by o hibernación, que se traduce a energía que es desperdiciada. (Martinez, 2017)

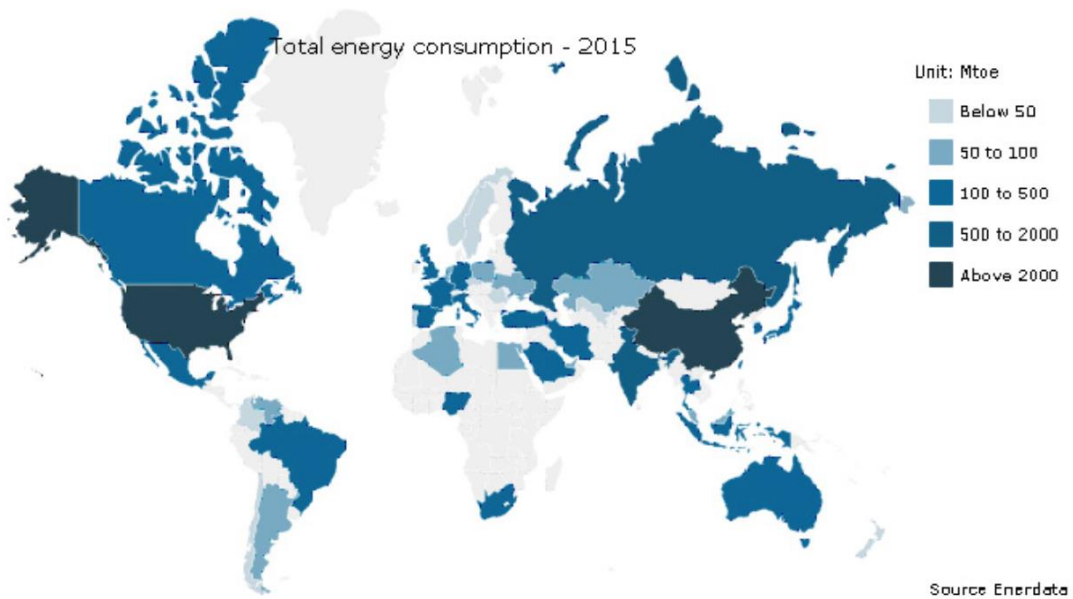
De acuerdo a datos recogidos por la Agencia Internacional de Energía, en el año 2016 se produjeron los siguientes porcentajes en consumo de energía.

- 31.3% del petróleo.
- 28.6% del carbón, la turba y el esquisto.
- 21.2% del gas natural.
- 10.3% de los biocombustibles.
- 4.8% de tipo nuclear.
- 2.4% de estaciones hidroeléctricas.
- 1.4% de otras fuentes de energía renovable.

(Martinez, 2017)

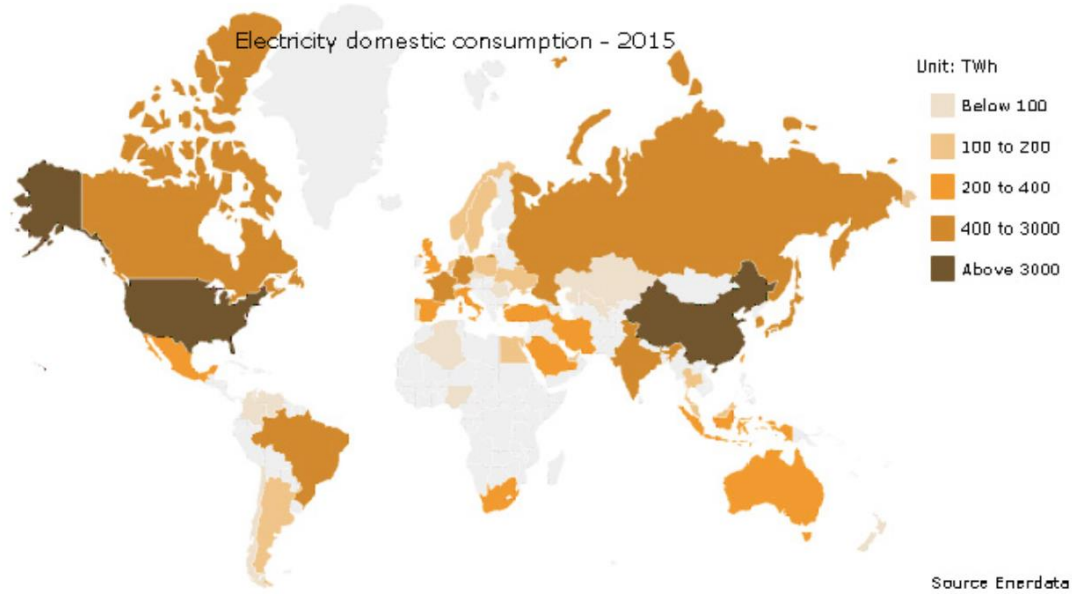
Los siguientes mapas muestran las formas de consumo de energía en el planeta:

Figura 83. Mapa del consumo total de energía por país en el año 2015



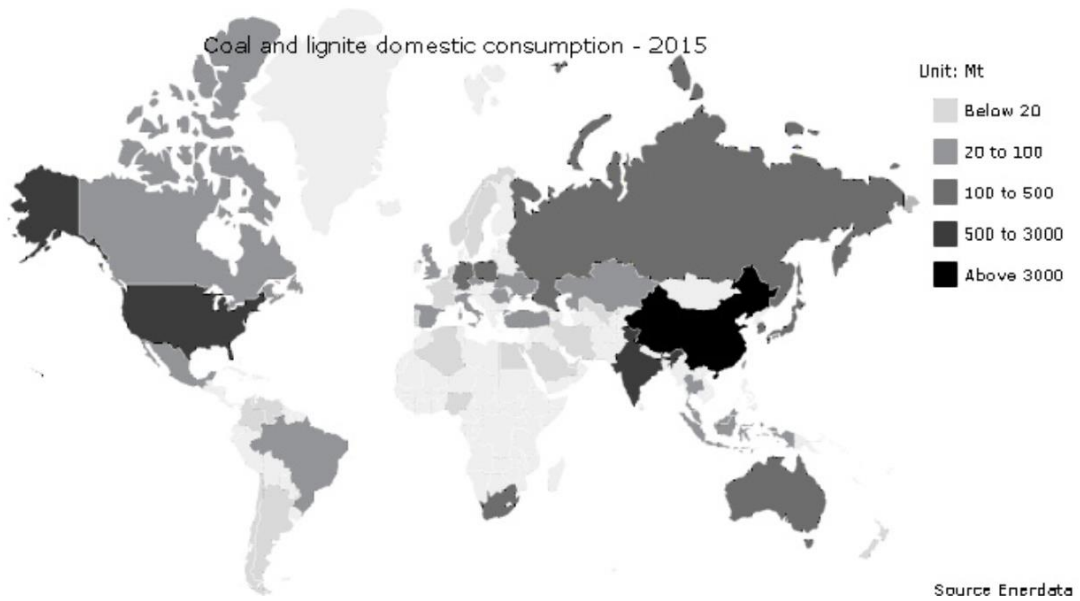
Fuente: (Martinez, 2017)

Figura 84. Mapa del consumo de electricidad en hogares y domicilios



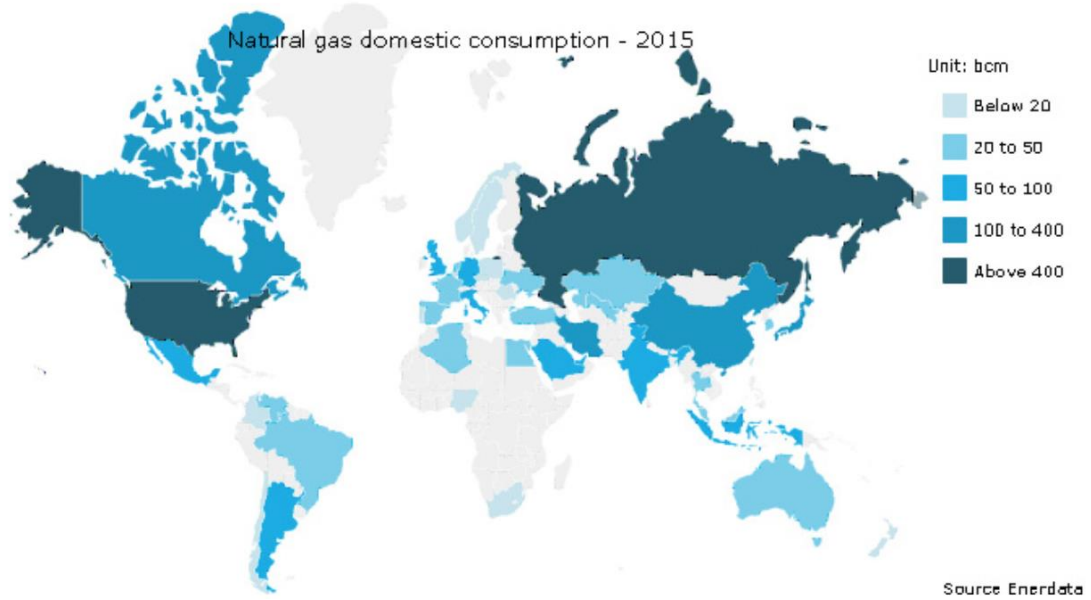
Fuente: (Martinez, 2017)

Figura 85. Mapa de las cantidades de consumo de carbón



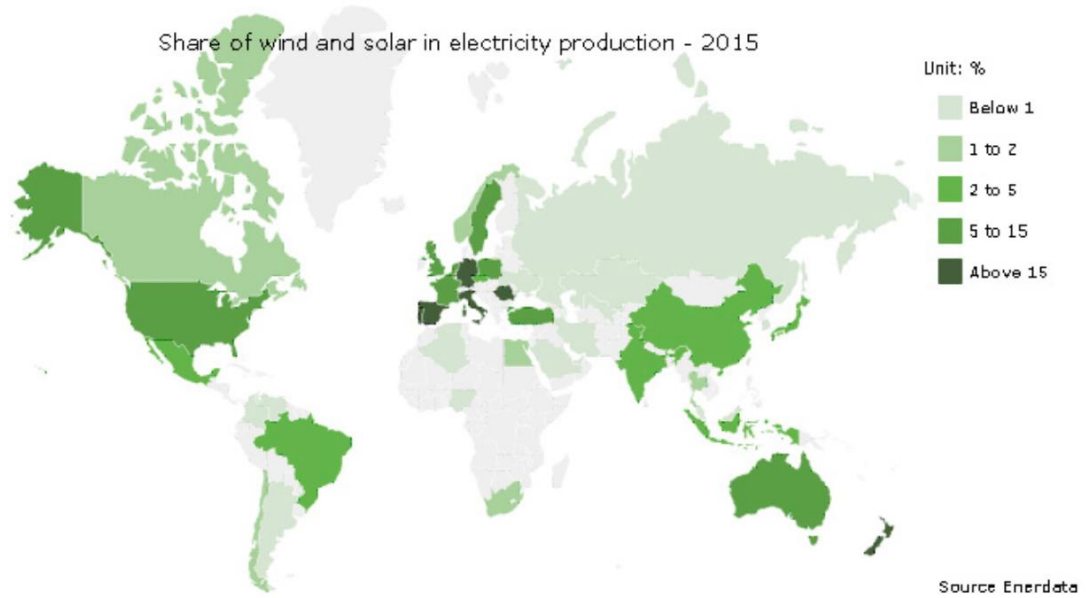
Fuente: (Martinez, 2017)

Figura 86. Mapa del consumo de gas para domicilios



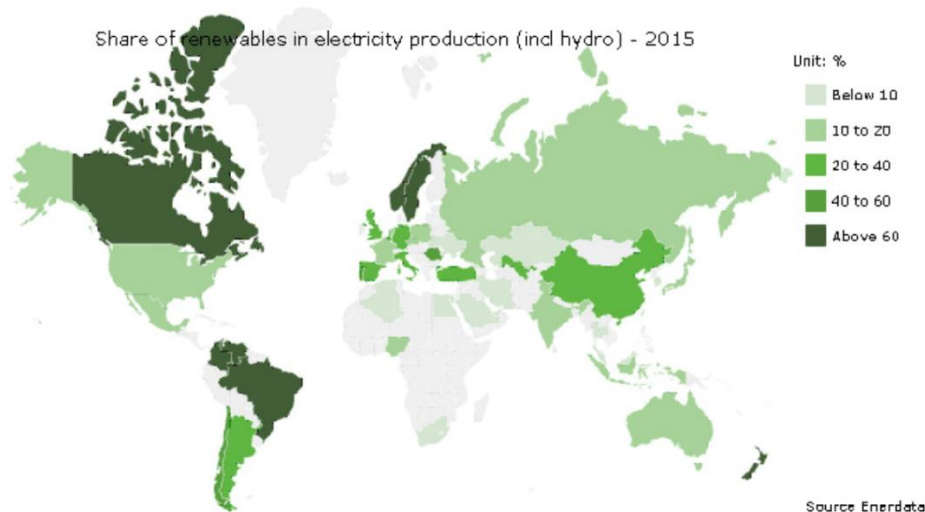
Fuente: (Martinez, 2017)

Figura 87. Mapa del porcentaje de producción por plantas solares o eólicas



Fuente: (Martinez, 2017)

Figura 88. Mapa de producción de energía hidroeléctrica renovable

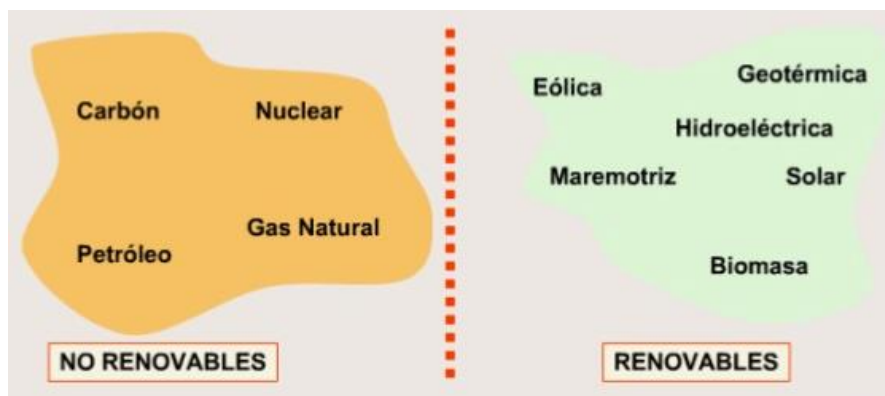


Fuente: (Martinez, 2017)

Otro aspecto importante es acerca de los costos de la energía dependiendo de los tipos de donde provenga. Estos costos se pueden dividir en costos internos y costos externos. Los costos internos se deben al funcionamiento del sistema energético, de su producción y distribución. Los costos externos se derivan del impacto, que tiene la explotación de recursos sobre el medio ambiente y los ser vivos.

Las distintas fuentes de producción de energía que pueden ser explotadas se establecen en la siguiente imagen, en donde se separan las fuentes renovables y las fuentes no renovables.

Figura 89. Energías renovables y no renovables



Fuente: (Capilla, 2014)

La siguiente tabla se exponen los costos de producción de electricidad tomando como ejemplo España en el año 2013.

Tabla 23. Costos de producción de energía en España, 2013

Tecnologías	Inversión (€/kWe inst.)	Vida útil (años)	Potencia tipo (MW)	Producción (GWh)	Horas operación equivalentes	Combustible+ CO2 (€/MWh)	O&M (€/MWh)	Coste Marginal (€/MWh)	Coste produc. B.C. (€/MWh)	Transmisión y pérdidas €/MWh	Coste B.U. (€/MWh)
Nuclear	5.000	40,00	1.000	7.500	7.500	9,66	6,20	15,87	65,87	31,428	101,80
Carbón	3.000	40,00	100	300	3.000	43,28	8,48	51,75	126,76	34,658	168,17
	3.000	40,00	100	600	6.000	43,28	8,48	51,75	89,26	34,658	127,29
C. Comb	700	20,00	700	700	1.000	75,07	6,66	81,73	147,81	37,356	191,11
	700	20,00	700	2.100	3.000	75,07	6,66	81,73	103,76	37,356	143,10
	700	20,00	700	4.200	6.000	75,07	6,66	81,73	92,74	37,356	131,09
Hidráulica	1.900	60,00	100	230	2.300	0,00	9,28	9,28	68,12	30,835	104,25
Cogeneración	900	20,00	15	60	4.000	60,22	12,00	72,22	93,45	9,125	103,06
	900	20,00	15	90	6.000	60,22	12,00	72,22	86,37	3,500	90,19
	900	20,00	15	120	8.000	60,22	12,00	72,22	82,84	2,094	85,17
Eólica	1.400	20,00	50	100	2.000	0,00	15,30	15,30	81,37	31,377	118,70
Solar fotovoltaica	1.400	20,00	4	7	1.800	0,00	8,24	8,24	81,65	30,741	119,00
Solar termoeléctrica	6.000	20,00	50	100	2.000	0,00	26,54	26,54	309,72	32,389	367,59
Biomasa	2.500	20,00	20	104	5.200	68,80	24,86	93,66	139,04	38,429	181,55

Precios de los combustibles:

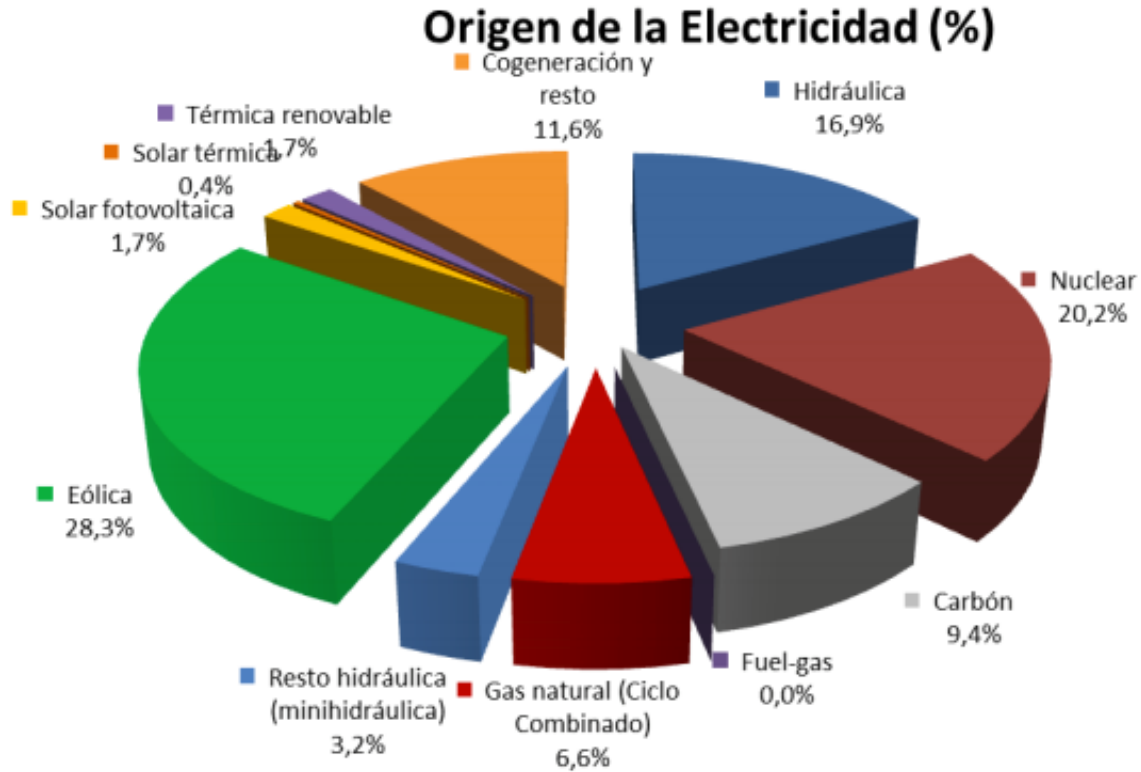
- Gas natural= 38 €/MWh_{pci}; Carbón = 14,9 €/Mwh_{pci} (100 €/t); Uranio = 3,3 €/MWh_{pci}; Biomasa = 17,2 €/Mwh_{pci}
 - CO₂ = 7 €/t

Fuente: (Capilla, 2014)

De esta tabla se puede observar que la energía más económica, en 2013 en España, fue la de la cogeneración. Esto se debe a a que este tipo, posee una gran eficiencia ya que se aprovecha tanto el calor como la energía mecánica en un único proceso que resulta en una mayor obtención de energía que proporciona precios más bajos.

Para lograr ejemplificar más este caso, la siguiente gráfica muestra cada porcentaje de cada tipo del total de la electricidad producida. (Capilla, 2014)

Figura 90. Porcentajes de electricidad



Fuente: (Capilla, 2014)

El siguiente cuadro muestra de manera más detallada el precio promedio del costo de la energía general para cada mes del año 2014 en España.

Tabla 24. Precios medios por mes

Precios medios ponderados mensuales del Mercado Diario en España (€/MWh). Año 2014

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Mínimo	Máximo
Precio Mensual	33,34	16,12	25,42	26,46	42,97	51,94	49,05	50,80	59,70	56,38	-	-	16,12	59,70

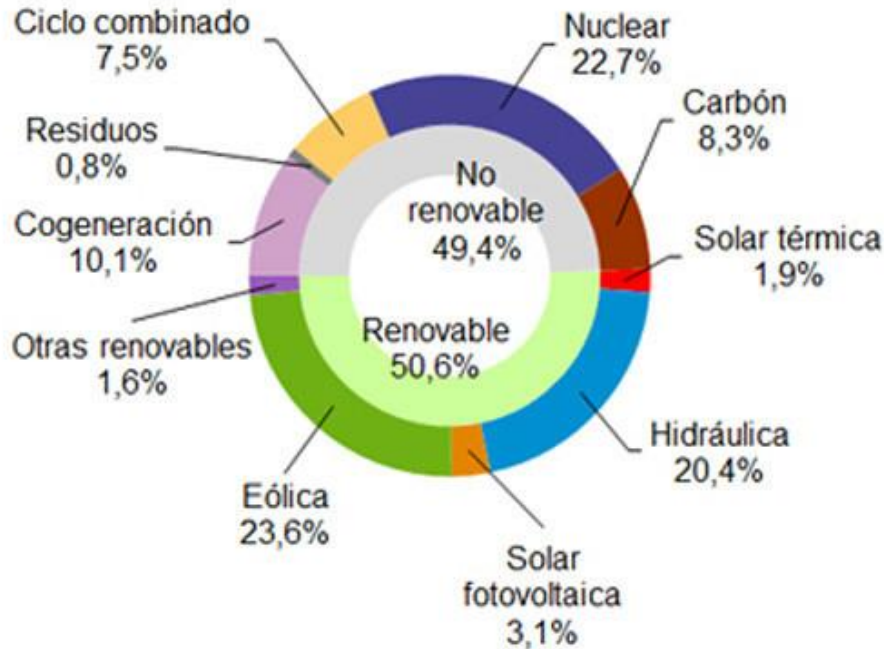
Registros 1 a 1 de 1

La fuente de la información que proporciona esta consulta es el Operador del Mercado Ibérico, Polo Español (OMIE)

Fuente: (Capilla, 2014)

Figura 91. Generación de energía del primer semestre en 2016 en España

Generación 1^{er} semestre 2016 en España

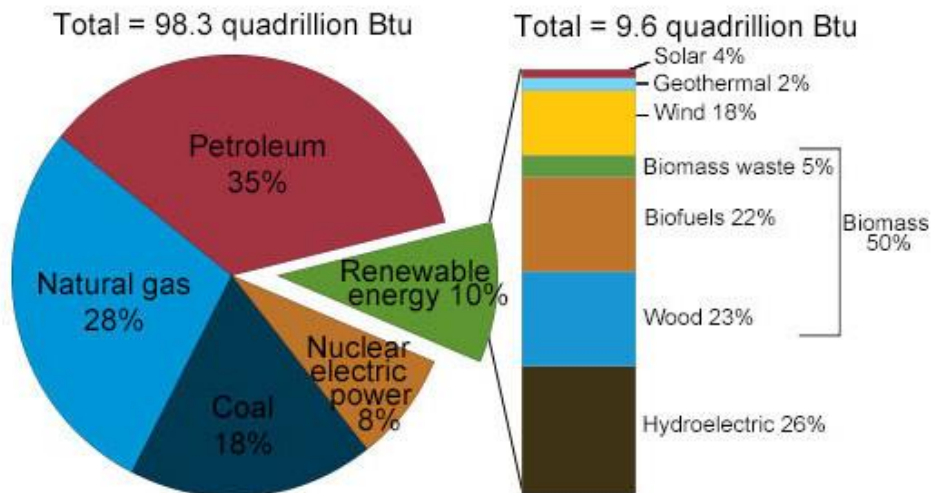


Fuente: (Capilla, 2014)

La pregunta que se busca responder en los próximos años es ¿Cuándo las energías renovables serán más baratas y eficientes que las no renovables? Es importante saber que para el consumo privado, las energías renovables ya se encuentran en un umbral de la rentabilidad. La rentabilidad y el costo es la clave para conseguir una mayor penetración de este tipo de energías en el mercado. Para esto es necesario que la producción de estas energías aumente. En España las renovables suponen aproximadamente un 50% de la generación total mientras en Estados Unidos la generación de energía renovable ronda el 10%. Los bajos números de generación de energía renovable en Estados Unidos se deben a que el costo de la energía solar, en este país, está todavía por encima de otras fuentes de energía como el petróleo, carbón, gas natural o energía nuclear que son las que ocupan el mayor porcentaje de generación con un 35%, 28%, 18% y 8% respectivamente. (Minue, 2016)

Figura 92. Energía consumida en USA por cada tipo de energía

U.S. energy consumption by energy source, 2014



Note: Sum of components may not equal 100% as a result of independent rounding.

Source: U.S. Energy Information Administration, *Monthly Energy Review*, Table 1.3 and 10.1 (March 2015), preliminary data

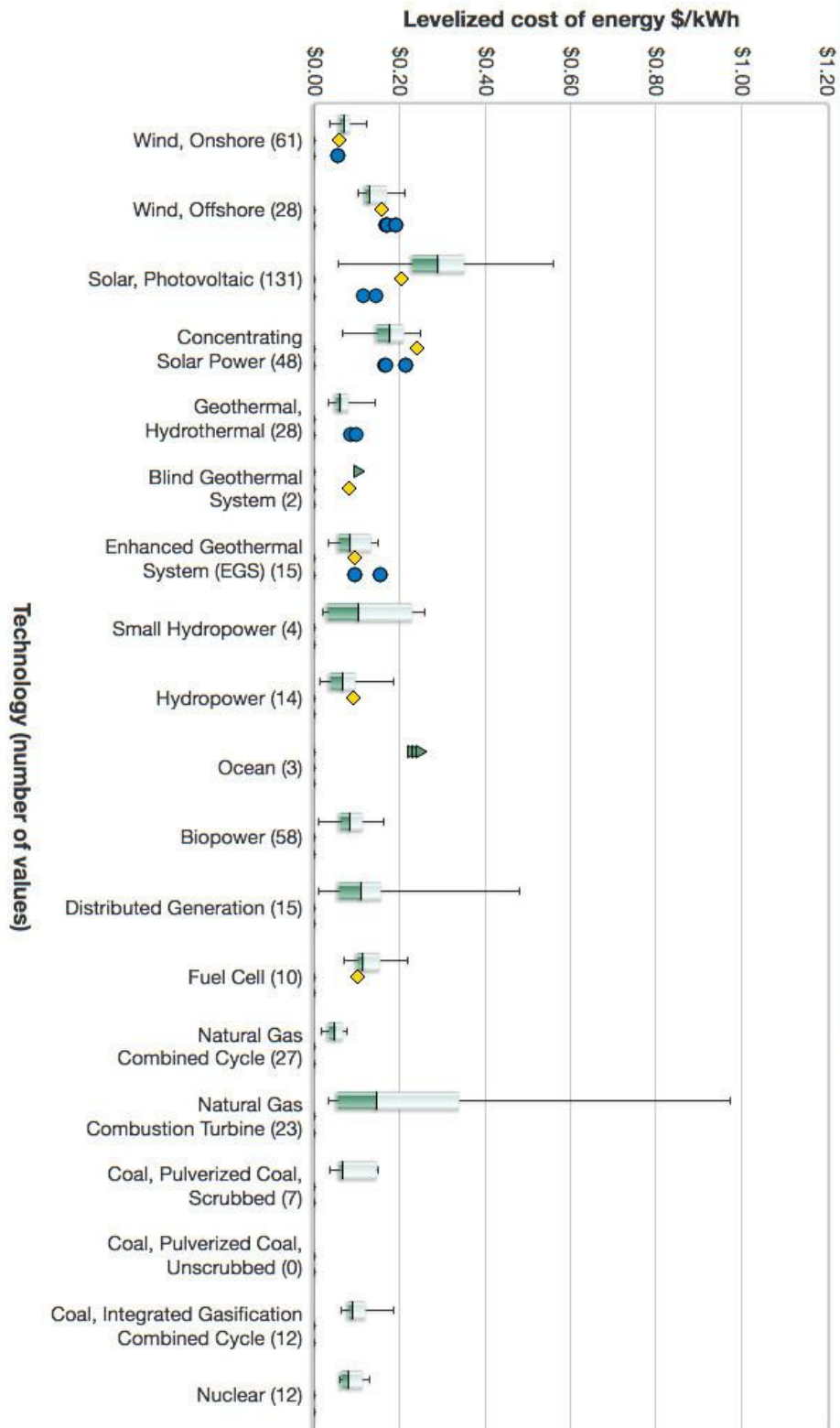


Fuente: (Minue, 2016)

Comparar cada fuente de energía de acuerdo a su costo no es una tarea fácil, pero existe una medida bastante aceptada por expertos de este medio, la cual es Levelized Cost of Energy o LCOE. Este es un cálculo del coste teórico de generar energía eléctrica teniendo en cuenta el costo total de una planta de energía durante todo su ciclo de vida, como la construcción, su mantenimiento o combustibles si son necesarios, dividido por toda la electricidad que dicha planta es capaz de producir en ese mismo periodo. El resultado es una unidad ya comparable entre varios tipos expresados en dólares por kilo watt por hora producido (\$/kWh).

El siguiente gráfico muestra la comparación entre los precios de distintos tipos de energías. (Minue, 2016)

Figura 93. Coste de energía según la fuente



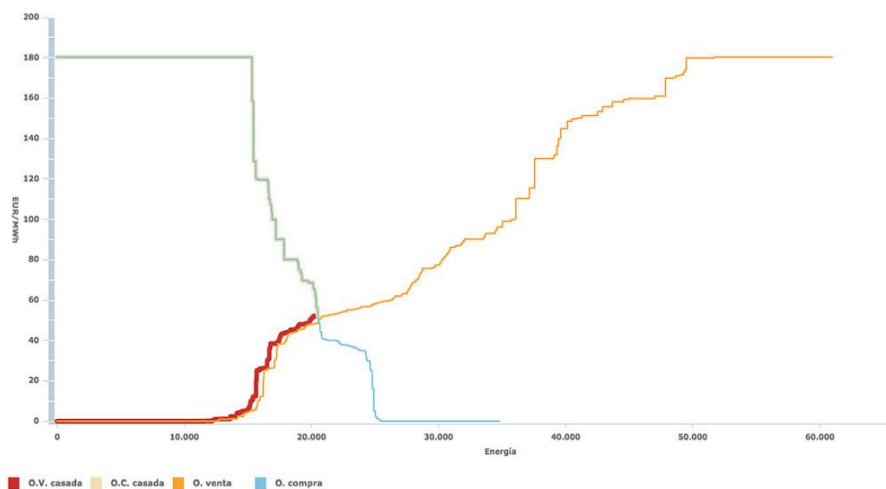
Fuente: (Minue, 2016)

De acuerdo a este gráfico se puede observar que solo la energía eólica marina y terrestre y la energía hidroeléctrica, con 0.07\$/kWh, 0.13\$/kWh y 0.10\$/kWh respectivamente. Son comparables con la producción del carbón, con 0.07\$/kWh, el gas natural, con 0.15\$/kWh, o el petróleo, con 0.15\$/kWh. Un dato que resalta es que la energía solar fotovoltaica es la más cara de todas con una mediana de 0.29\$/kWh.

Actualmente el costo de una planta fotovoltaica está en torno a los 1.25\$ por W de potencia instalado, según las estimaciones pensadas, en 2040, se situaría en torno a los 0.75\$ por W instalado lo que reduciría su LCOE a niveles competitivos de mercado. Sin embargo, no todos los expertos opinan lo mismo, ya que consideran que se debe llegar a un precio de 0.25\$ por W instalado para que este sea más competitivo. Este argumento se basa en un término llamado *value deflation* que dice que a mayor penetración en el mercado de energía tenga esta, su rentabilidad será menor.

Esto se explica según cómo funciona el mercado eléctrico mayorista. Este se trata de una subasta en la que cada empresa productora ofrece electricidad al precio que está dispuesta a producirla. Luego, las comercializadoras eléctricas ponen en el mercado la demanda estimada. Cuando las curvas de precios entre la oferta y demanda se cruzan, se fija el precio al que se pagará por toda la electricidad producida durante esa hora. (Minue, 2016)

Figura 94. Curva de oferta y demanda de energía



Fuente: (Minue, 2016)

Se puede decir, que las compañías eléctricas van comprando la electricidad a las productoras más baratas, avanzando en precios hasta llegar a las caras hasta completar sus requerimientos. Una vez completado este proceso, la electricidad se vende al precio de la más cara que se compró.

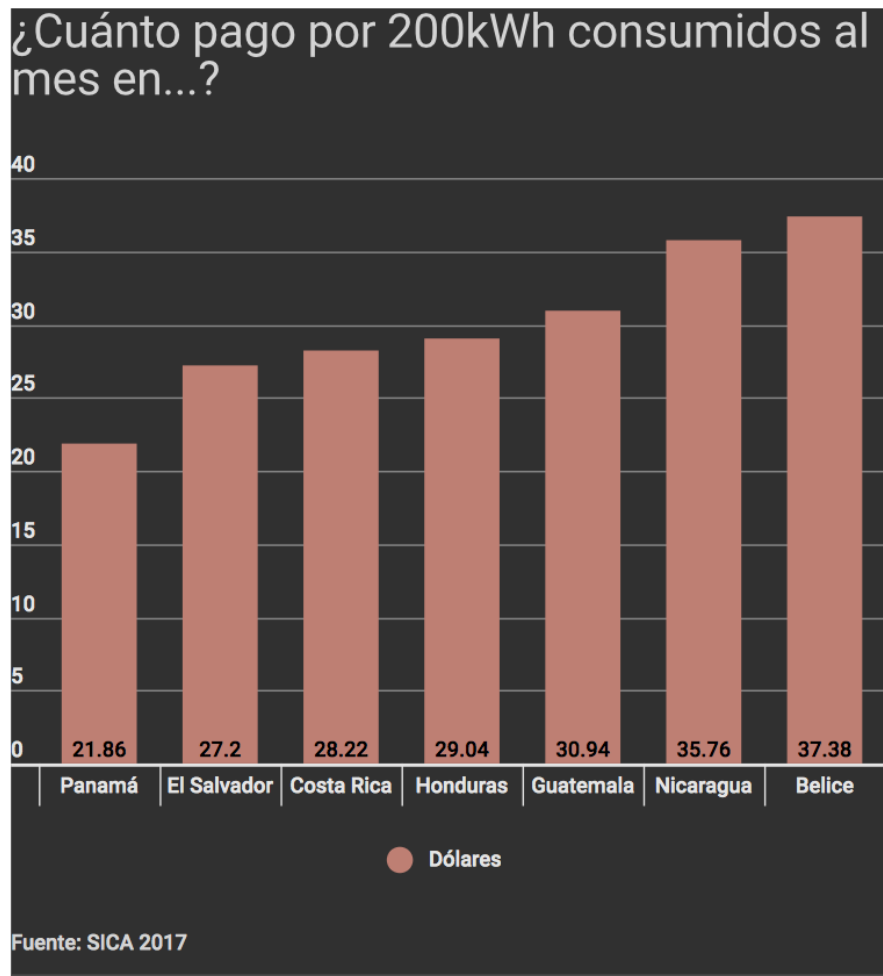
Como la energía solar no se puede regular como un central de gas o de petróleo, su precio de partida es cero. A medida que su cuota se incremente en el mercado, se darán situaciones en la que la energía producida cubrirá más que toda la demanda y esta no se pague, y también otras en las que no se alcancen los precios de electricidad más caros y por lo tanto las rentabilidades bajen. Por esto es que cada nueva instalación solar creada reduce el valor del conjunto, y el motivo por el que muchos analistas le dan mucha importancia al *value deflation* del mercado de energía solar, incluso a pesas de que los costos de energía solar y eólica se reduzcan significativamente. (Minue, 2016)

Para el caso de Guatemala, este es el país centroamericano que más energía eléctrica genera, llegando al punto que cada año tiene un importante excedente de energía para exportar y vendérsela a países vecinos.

Aunque suceda esto, la electricidad es más barata en otros países de la región que en Guatemala. Por ejemplo, una familia promedio en Guatemala que consume al mes 200kWh de electricidad paga en promedio \$30.94, mientras que según el estudio Estadísticas en el Sector Sub-eléctrico del Sistema de Integración Centroamericana (SICA) 2017, esa misma familia en países como Costa Rica o Nicaragua pagaría un precio mensual mucho menor.

El Ministerio de Energía y Minas explicó que este fenómeno se debe a que en los otros países se subsidia el consumo para todas las familias, mientras que en Guatemala la tarifa social solo aplica para un segmento de la población. (Caubilla, 2018)

Figura 95. Precio promedio de electricidad en Centroamérica



Fuente: (SICA, 2017)

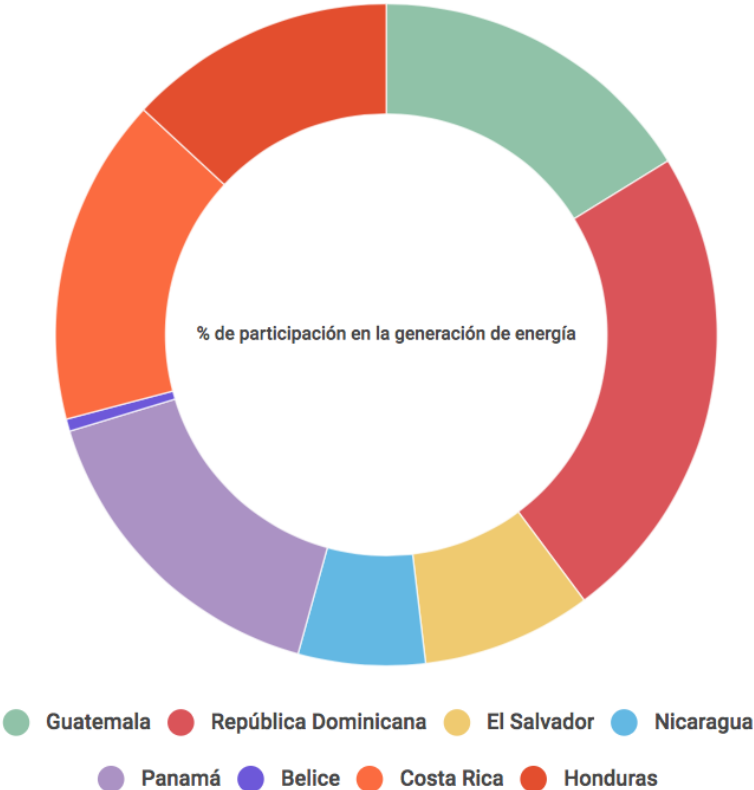
Este fenómeno no es malo para Guatemala, ya que establece un modelo competitivo. Según el politólogo Javier Calderón:

“Ningún otro país de Centroamérica tiene un modelo eléctrico más eficiente porque cada vez es más barata, porque usamos más energía renovable y porque no tiene apagones y, a su vez, eso provoca que también les vendamos a precio más barato. En el resto de Centroamérica tienen sistemas eléctricos menos seguros, diversos y que tienen más subsidios hacia los consumidores. En algunos países el consumidor paga menos, pero eso no quiere decir que el sistema sea mejor. Ellos están perdiendo dinero con los subsidios que podrían usar en mejorar el sistema.”

Debido a estos precios más altos, el reto es incentivar la modernización de las plantas y, a nivel urbano, mejorar la eficiencia del consumo para que el gasto mensual por hogar sea menor para los usuarios. Esto se consigue con el tema de la innovación. Se logra innovando y renovando electrodomésticos y cambiando focos incandescentes por bombillas led. Esto no disminuye la cantidad de electricidad que se consume si no que mejora o disminuye el gasto por kilovatio por hora que se tendrá.

El siguiente gráfico demuestra los porcentajes de generación de energía eléctrica en Centroamérica y República Dominicana. Los datos demuestran una participación de 16% para Costa Rica, 13.1% para Honduras, 0.6% para Belice, 16.2% para Guatemala, 23.6% para República Dominicana, 8.3% para El Salvador, 6.2% para Nicaragua y 16% para Panamá. Con esta grafica se comprueba que de Centroamérica, Guatemala es el país que mas energía genera. (Caubilla, 2018)

Figura 96. Porcentajes de generación de energía en Centroamérica



Fuente: (SICA, 2017)

En Guatemala hay una gran diferencia entre la energía que se paga entre los distribuidores, que es distribuida por EEGSA, Energuate y municipalidades que se las vende el Instituto de Electrificación y que a su vez es suministrada por un contra de duración mínima de dos años, y la energía en el mercado. De acuerdo a este caso, se realizó otro estudio que demuestra que Guatemala tiene el mejor sistema eficiente de energía de la región en donde obtiene el promedio más bajo en cuanto a precio con \$51.69 por MWh. (Caubilla, 2018)

Figura 97. Tarifas de energía a consumidores

Cuadro 8
SICA: TARIFAS VIGENTES A CONSUMOS SELECCIONADOS AL 30 DE JUNIO DE CADA AÑO, 2015-2016
(En centavos de dólar/ kWh)

	Belice (BEL)	Costa Rica (ICE)	El Salvador (CAESS)	Guatemala (EEGSA)	Honduras (ENEE)	Nicaragua (DisNorte y DisSur)	Panamá (ENSA)
2016							
Residencial	50 kWh	14,14	14,11	7,28	9,19	10,84	10,76
	99 kWh	19,20	14,11	7,46	11,15	13,27	8,49
	200 kWh	18,69	14,11	13,60	15,47	14,52	17,88
Comercial	751 kWh	19,80	22,41	18,02	14,99	15,42	22,95
	1 000 kWh	19,90	21,25	13,46	14,94	17,43	19,36
	15 000 kWh, 41 kW	19,12	18,46	11,02	17,89	14,08	20,29
Industrial	50 000 kWh, 137 kW	15,29	18,47	11,02	11,52	12,77	19,98
	15 000 kWh, 41 kW	19,12	18,46	11,02	15,27	14,08	18,43
	50 000 kWh, 137 kW	15,29	18,47	11,04	11,65	12,77	16,00
	100 000 kWh, 274 kW	15,23	18,47	11,03	11,54	12,52	16,45
Tipo de cambio a junio de 2016	1,98	549,65	1,00	7,64	22,90	28,56	1,00

Fuente: (Caubilla, 2018)

Estos precios son debido a que Guatemala está empezando a cambiar su matriz modelo para darle paso a la generación de energía renovable para que ayude a abaratar los costos. Estos costos disminuyen considerablemente cada vez que se firman nuevos contratos de energía.

Guatemala tienen un modelo energético incomparable en la región, ya que otros países tienen modelos altamente subsidiados o altamente politizados. Para el caso de Guatemala, se pagan tarifas negociados con contratos de dos años. Estas tarifas cubren el consumo, como el tiempo encendido del foco, y una potencia, los watts que ocupan ese mismo foco, mientras que otros países solo cubren el consumo. Guatemala en vez de subsidiar al ciudadano y trasladar las ineficiencias del sistema al consumidor final, usa el extra de las tarifas más altas para invertir en su propia red y mejorarla. (Caubilla, 2018)

2. Formas de ahorro

El costo de energía para ciertos hogares puede resultar en un esfuerzo económico para ciertas familias. También pueden existir familias o comercios que traten de economizar gastos. Por estas situaciones existen maneras en las que uno puede ahorrar energía y a su vez disminuir el gasto a fin de mes. Algunas de estos métodos son tan sencillos como apagar un bombillo cuando no se esté utilizando.

Los siguientes puntos son diez sencillas maneras de ahorrar energía que cualquiera puede tomar en cuenta

- Apagar las luces al dejar una habitación. Al no usar luces por gusto se pueden ahorrar entre un 8% a 20% de la energía utilizada en una habitación.
- Mantener limpias las lámparas. Esto supone un ahorro de 20% ya que un foco sucio pierde hasta un 50% de su luminosidad.
- Sustituir focos incandescentes por focos LED que utilizan hasta 80% menos energía y duran más tiempo.
- Utilizar sensores de iluminación para que las luces se prenden solo cuando haya alguien en la habitación.
- Utilizar los aires acondicionados a una temperatura de 21 grados centígrados para un uso más eficiente .
- Desconectar los cargadores de dispositivos electrónicos al no ser necesario su uso.
- Colocar la refrigeradora a 15 centímetros de la pared para una mejor circulación del aire del motor y abrir y cerrar la puerta varias veces.
- Utilizar la lavadora con la carga llena y en intervalos cortos.
- Apagar los electrodomésticos que estén en modo stand by ya que consumen todavía un 10% de la energía.
- Configurar el modo de ahorro de energía para aparatos que no se pueden apagar.

(10 consejos para ahorrar energía eléctrica, 2016)

3. Certificaciones ambientales de energía

En Guatemala, la energía está regida por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE). Esta comisión es un órgano técnico del Ministerio de energía y Minas, con independencia funcional para el ejercicio de sus funciones. Esta comisión es nombrada por el presidente de la República de Guatemala para un periodo de 5 años, la actual durando de 2017 a 2022. Esta comisión fue creada de acuerdo a lo estipulado por la Ley General de Electricidad.

Esta comisión es un agente estatal, creada en 1996, que se dedica a regular y dirigir el desarrollo de las actividades de generación, transporte, distribución y comercialización de energía eléctrica en el país. Su principal función reguladora es el establecimiento de las tarifas de distribución, el control de calidad de servicio y la correcta comunicación entre los clientes y las empresas de distribución eléctrica.

La misión de la CNEE es velar por el cumplimiento de la Ley General de Electricidad y su Reglamento, regulando a favor de la eficiencia, estabilidad y sostenibilidad del subsector eléctrico en Guatemala. Su visión es liderar el desarrollo del subsector eléctrico de Guatemala propiciando un ambiente de competencia, eficiencia e inversión bajo los más altos estándares de calidad mundial. (Comisión Nacional de Energía Eléctrica, 2017)

A finales del año 2015 se firmó en París, un acuerdo histórico, COP21, para luchar contra el cambio climático en el planeta. Estos acuerdos fueron firmados por 195 países con un objetivo general de limitar el aumento de la temperatura promedio a 1.5 grados centígrados en comparación a la era pre-industrial. Estos acuerdos son las bases en las que los países del mundo se comprometieron a disminuir sus emisiones de gases de efecto invernadero. Con este acuerdo se comprometieron a darle un inicio a gestionar la transición hacia una economía con bajos usos del carbono. Esto quiere decir que con los años el uso de las energías alternativas cobra más importancia y este acuerdo compromete a todos sus participantes a tomar acción. Los países más poderosos del mundo están comprometidos

incluso en dar financiamiento a países más pobres para luchar juntos con esta problemática. (BBC Mundo, 2015)

4. Certificados

Existen certificaciones que califican la eficiencia energética de un edificio y que tan amigable con el medio ambiente es este. La Certificación de la Eficiencia Energética o CEE es un certificado proporcionado a edificios que se vendan o alquilen después del 1 de junio de 2013 en Europa. Este certificado mide la eficiencia energética del edificio teniendo en cuenta el consumo de energía que se estima necesario para satisfacer la demanda energética del edificio cuando este en condiciones normales. De esta manera, cuando menos eficiente sea un edificio, más elevados serán los gastos derivados de su uso.

De acuerdo con las normativas para desarrollar la certificación energética de los edificios existen labores que se deben de tomar en cuenta como:

- Análisis y comparativas de sistemas
- Análisis de consumos energéticos
- Auditoria energética y registro de sistemas
- Emisión del certificado
- Tramitación del procedimiento de certificación ante autoridades

Las calificaciones que un edificio puede obtener de acuerdo a este certificado son de acuerdo a letras del alfabeto siendo A la mejor calificación y G la peor. De acuerdo a esto las calificaciones de A hasta D generan un ahorro de consumo para los usuarios del edificio mientras las calificaciones de D hasta G generan más gasto en energía para los usuarios. (Pichenergy, 2013)

Figura 98. Calificaciones del CEE



Fuente: (Pinchenergy, 2013)

Un edificio produce durante todo su ciclo de vida un importante impacto en el medio ambiente, demandando muchos recursos naturales y generando gran cantidad de residuos. El aumento de la conciencia social en este sentido proporciona una magnífica oportunidad para cambiar la filosofía de los edificios, desde su concepción en la fase de diseño hasta su demolición final, pasando por la construcción, operación, mantenimiento y renovación.

En este sentido se encuentra cada vez más ejemplos de edificaciones diseñadas atendiendo a criterios medio ambientales, así como metodologías de evaluación de sostenibilidad, entre las que destacan la certificación americana LEED, la británica BREEAM y la española VERDE.

Esta sostenibilidad ofrece un valor añadido a los edificios, un ahorro de costes a medio y largo plazo y es una excelente oportunidad que diferencia el producto final respecto a la competencia.

Es importante mencionar que una certificación medio ambiental como las anteriormente mencionadas, se deben comenzar a plantear desde el inicio de planeación del edificio a construir. La certificación ambiental a obtener debe servir no solo para obtener una marca sobre el edificio, si no que para aconsejar todas las estrategias de diseño para que sea más amigable con el medio ambiente y necesite de un consumo de energía menor para su funcionalidad. (Pinchenergy, 2013)

a. LEED

Diseño Medioambiental Líder en Energía o LEED por sus siglas en inglés (*Leadership in Energy and Environmental Design*) es la certificación más usada en el mundo para calificar a los edificios verdes. Está disponible para cualquier edificio, comunidad o proyectos domésticos. Esta certificación provee un campo para crear edificios sanos, altamente eficientes y ahorrrativos. La certificación LEED es un símbolo de sostenibilidad. (US Green Building Council, 2018)

b. BREEAM

BREEAM (*Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology*) es un método de evaluación y certificación de la sostenibilidad de un edificio con mas de 20 años en el mercado. Esta certificación favorece una construcción más sostenible que se traduce en una mayor rentabilidad para quien construye, opera o mantiene el edificio. Reduce su impacto en el medio ambiente y da un mayor confort y salud para quien usa las instalaciones del edificio.

Esta certificación evalúa diez categorías que son: gestión, salud y bienestar, transporte, agua, materiales, residuos, uso ecológico del suelo, contaminación e innovación. De acuerdo a estas categorías otorga una puntuación final tras aplicar un factor de ponderación ambiental que tiene en cuenta la importancia relativa de cada área de impacto. (Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology, 2013)

c. VERDE

La certificación VERDE tiene como objetivo dotar una metodología de evaluación de la sostenibilidad del edificio. Estas herramientas tratan de cubrir las necesidades del sector constructivo de España principalmente. Esta certificación está dada por la *GBCe* que es una asociación sin fines de lucro que junta a representantes de todos los agentes del sector de la construcción con el fin de contribuir a la transformación del mercado hacia edificaciones verdes.

El sistema de evaluación se basa sobre un método prestacional de acuerdo con la filosofía del Código Técnico de la Edificación y las Directivas Europeas. En la base están los principios de la bio-arquitectura y que el edificio tiene que ser construido respetando el medio ambiente, compatible con el entorno y con altos niveles de confort y de calidad de vida para los usuarios. (Green Building Council España, 2018)

5. Sistemas de captación

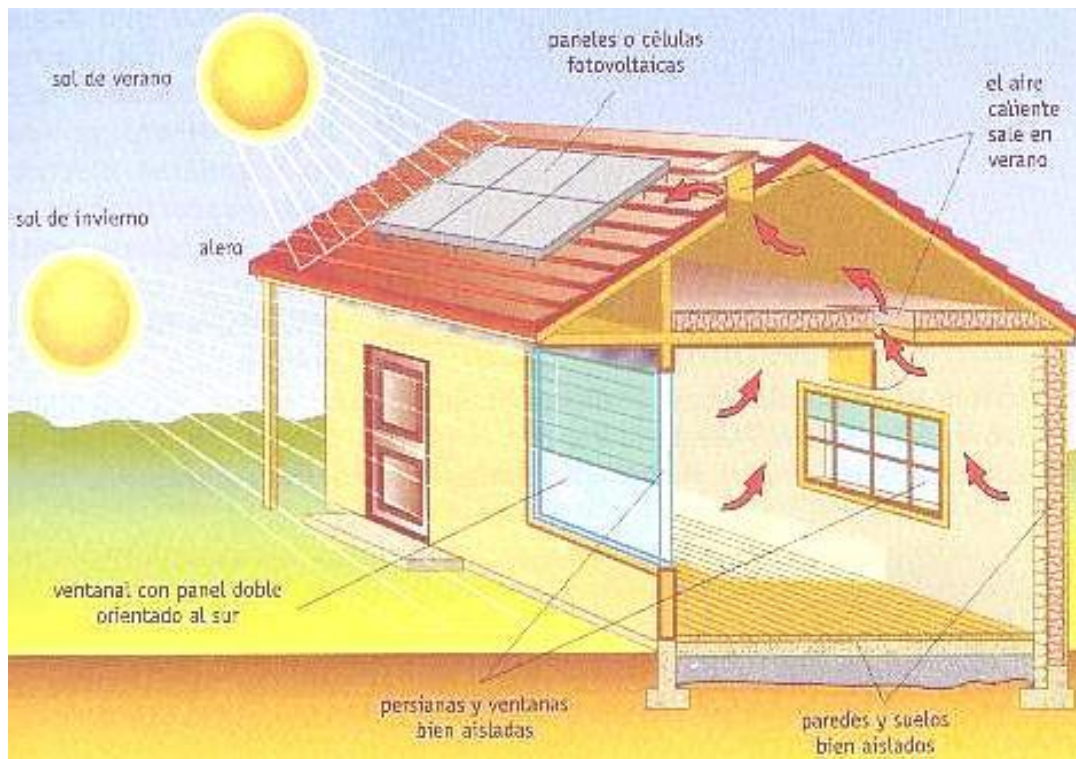
Con el paso de los años se han buscado maneras alternativas de transformar recurso en electricidad. De acuerdo tendencias se han encontrado maneras eficientes de transformar recursos naturales como el agua, luz o viento en electricidad. Estos sistemas de captación pueden variar de acuerdo al tipo de recurso que se está aprovechando para obtener electricidad. Un edificio puede tener sistemas de generación de energía, estos sistemas de generación pueden ser con paneles solares al aprovechar la luz del sol, o turbinas eólicas e hidráulicas de acuerdo a las características del edificio o las características del terreno donde se encuentra localizado.

a. Paneles solares

Los paneles solares son dispositivos que transforman la energía del sol a través de un proceso en que la luz, en forma de fotones, impacta sobre una superficie construida principalmente por silicio y que este emite electrones que al ser capturados producen una corriente eléctrica. Este proceso se llamó efecto fotoeléctrico y utiliza una célula fotoeléctrica que es el dispositivo electrónico que transforma la energía luminosa en energía eléctrica.

En la actualidad se está experimentando con celdas fotovoltaicas de doble cara, que son capaces, con la ayuda de superficies reflectantes de llegar a duplicar la eficiencia del panel al ampliar la cantidad de material que puede absorber rayos solares. Estos paneles solares fotovoltaicos emplean una tecnología muy avanzada y precisa que son muy pocas las empresas en el mundo que cuentan con la capacidad y los recursos técnicos para producirlas. (eRenovable, 2018)

Figura 99. Proceso de captación de luz

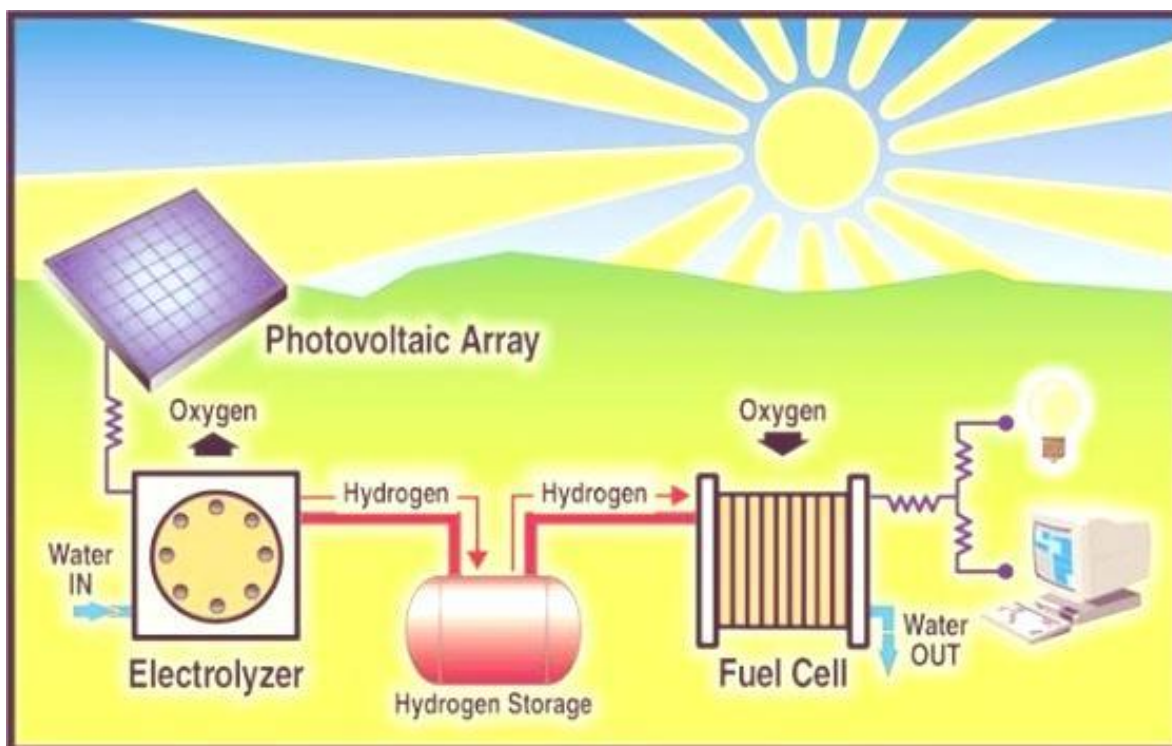


Fuente: (eRenovable, 2018)

El funcionamiento de los paneles solares, basada en el efecto fotovoltaico, se produce cuando la radiación solar incide sobre los materiales semiconductores del panel. Al momento que estos materiales se exponen a la radiación solar, los diferentes contenidos en la luz transmiten su energía a los electrones de los materiales semiconductores que pueden romper la barrera de la unión P-N (protón-neutrón) y salir del semiconductor a través de un circuito exterior en forma de corriente eléctrica.

Las células fotovoltaicas se combinan de distintas formas para lograr el voltaje y la potencia deseadas para que de este modo convertir la energía solar en electricidad que pueda ser consumida. (eRenovable, 2018)

Figura 100. Proceso de paneles solares



Fuente: (eRenovable, 2018)

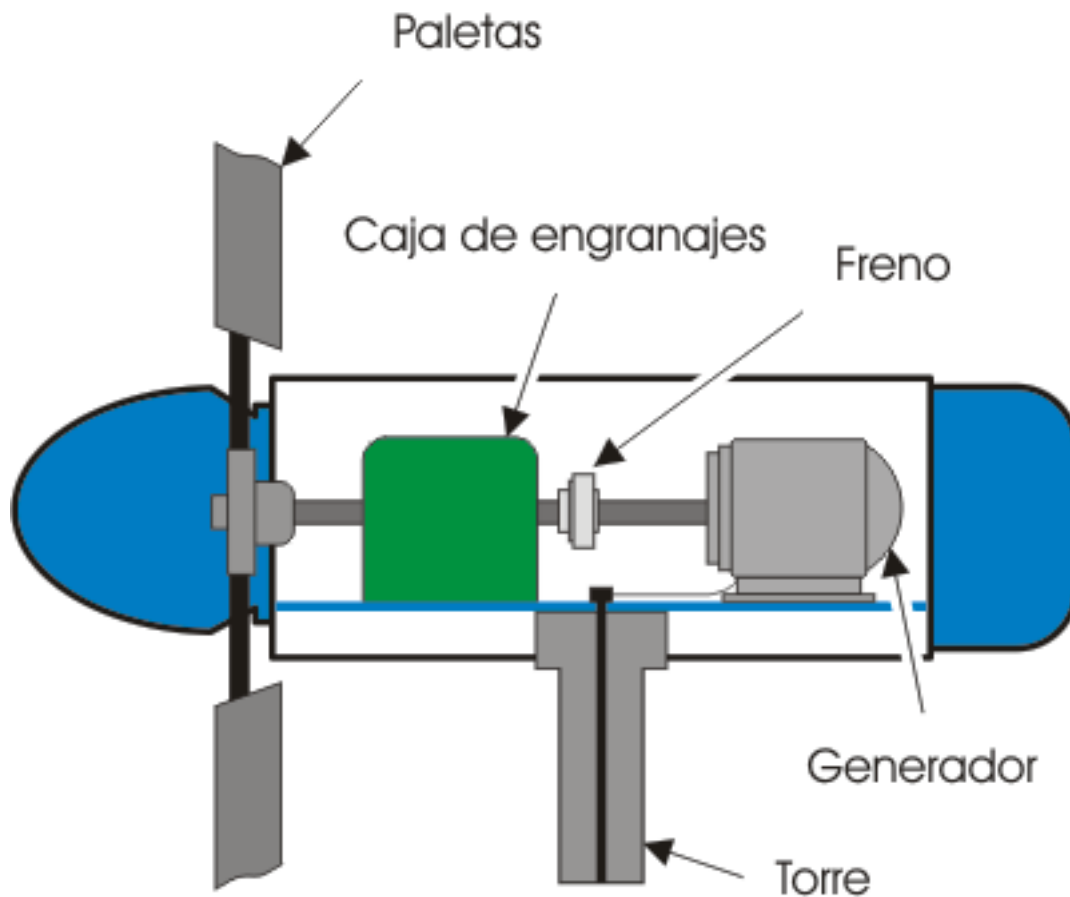
b. Turbinas eólicas

Una turbina eólica es un dispositivo mecánico que convierte la energía que proporciona el viento en electricidad. Estas turbinas se diseñan para convertir la energía cinética proveniente del viento en energía mecánica a través del movimiento de uno o varios ejes. Luego en los generadores, esta energía mecánica se convierte en electricidad. Esta electricidad que se genera se puede almacenar en baterías o utilizar directamente en otra fuente.

Para aprovechar la energía que proporciona el viento, existen tres leyes básicas que gobiernan la cantidad de energía aprovechable. La primera ley dice que la energía generada por la turbina es proporcional a la velocidad del viento al cuadrado. La segunda ley indica que la energía disponible es directamente proporcional al área barrida de las paletas. La tercera ley indica que existe una eficacia teórica máxima de los generadores eólicos de 59%. La mayoría de las turbinas eólicas son menos eficientes que este porcentaje y se diseñan

diversos tipos para obtener la máxima eficacia posible a distintas velocidades del viento. Los mejores generadores eólicos tienen eficiencias de 35% hasta 40%. (Textos Científicos, 2005)

Figura 101. Turbina eólica

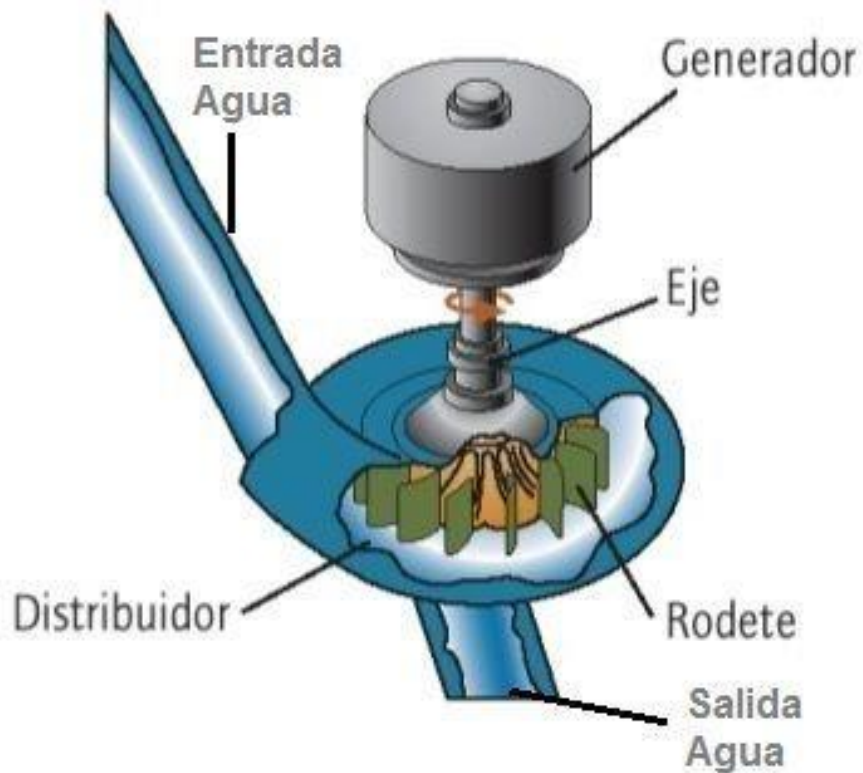


Fuente: (Textos científicos, 2005)

c. Turbinas hidráulicas

Una turbina hidráulica es un dispositivo capaz de captar la energía cinética producida por el movimiento de una corriente de agua constante y transformarla en electricidad. Esta transformación de energía se logra mediante un generador en las centrales hidráulicas. El paso del agua hace girar la turbina o su eje y este al estar acoplado al generador, hace que gire produciendo energía eléctrica. Estas turbinas eléctricas tienen una eficiencia muy alta al llegar a tener hasta 90% de eficacia.

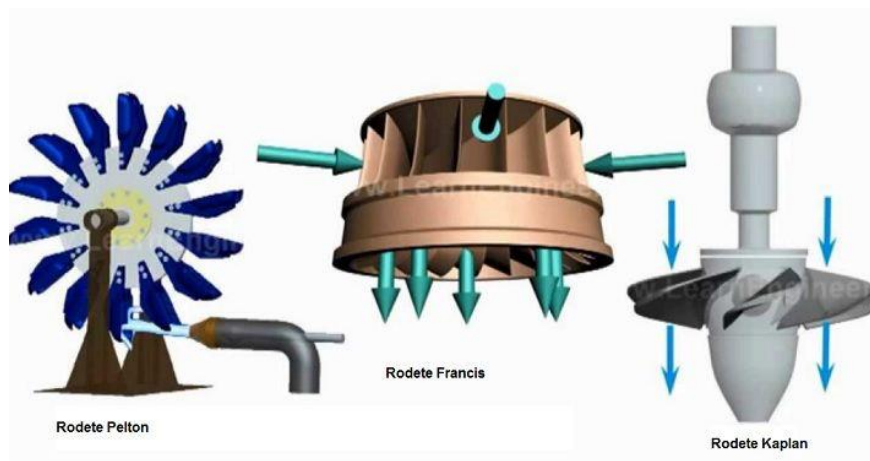
Figura 102. Partes de una turbina hidráulica



Fuente: (Textos Científicos, 2005)

En el mercado existen tres tipos de turbinas mayormente utilizadas dependiendo del caudal y la altura del agua con la que se trabajará.

Figura 103. Tipos de turbinas hidráulicas

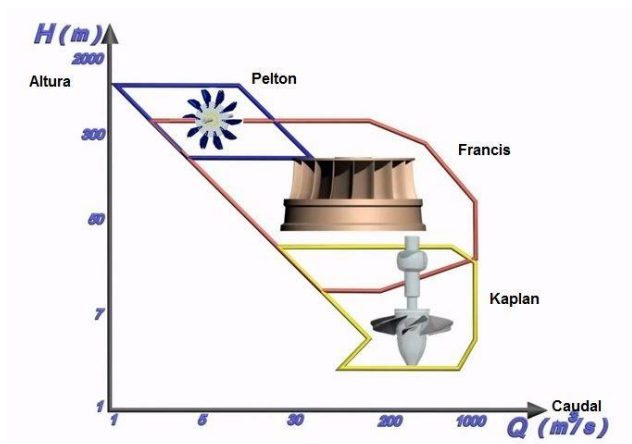


Fuente: (Textos Científicos, 2005)

- Turbina Pelton: es una turbina de acción con eje horizontal. Se utiliza con saltos de agua de gran altura superiores a 200 metros y con pequeños caudales de agua de hasta 10 metros cúbicos por segundo. El distribuidor esta formado por una o varias entradas de agua al rodete. La fuerza del impulso del agua es la responsable del giro de la turbina
- Turbina Francis: es una turbina de reacción normalmente con eje vertical. Se utiliza con saltos de agua de altura intermedia hasta 200 metros y con caudales variados de agua de entre 2 y 200 metros cúbicos por segundo. El distribuidor está compuesto de aletas móviles para regular el caudal que conduce hasta al rodete. El agua entra perpendicularmente al eje de la turbina y sale paralela a esta. Esta turbina es la más versátil ya que se utiliza en un gran rango de saltos y caudales de agua.
- Turbina Kaplan: es una turbina de reacción pura y normalmente con eje vertical. Sus características técnicas son parecidas a ambos tipos anteriormente mencionados. Se utiliza en saltos de pequeña altura de agua de hasta 50 metros y con caudales que suelen superar los 15 metros cúbicos por segundo. Esta turbina es la mejor opción cuando se tiene un caudal grande a poca altura.

La siguiente gráfica muestra el tipo de turbina ideal en función del caudal y altura de caudal del agua.

Figura 104. Turbina según caudal y altura



Fuente: (Textos Científicos, 2005)

K. Domótica

La domótica es el conjunto de tecnologías aplicadas al control y la automatización inteligente de las viviendas. Estas tecnologías permiten una gestión eficiente del uso de la energía, aparte seguridad y confort a los usuarios y además proporciona una manera de comunicación entre el usuario y el sistema. (Asociación Española De Dómotica E Innótica, 2018)

La domótica en términos generales se refiere a las plataformas que incluyen la creación de controles automatizados para los hogares, por esto también se lo conoce como los sistemas de casas inteligentes. La domótica incluye sistemas de hardware y software que dan lugar a un posible desarrollo de plataformas personalizadas. Esto quiere decir que pueden ser construidas de acuerdo a distintos aspectos, incluyendo las necesidades puntuales de los usuarios que van a utilizar el sistema.

Esta nueva plataforma posee grandes ventajas ya que la tecnología permite lograr un real ahorro energético, mejorar el acceso a elementos por parte de personas con discapacidades, incluye la posibilidad de aportar un sistema de seguridad con vigilancia autónoma y otros aspectos que resuelvan problemáticas para el hogar. (Tecnología Fácil, 2017)

Figura 105. Domótica en una casa



Fuente: (Tecnología Fácil, 2017)

1. Innovación

La domótica permite dar respuesta a los requerimientos que plantean los nuevos cambios sociales y las nuevas tendencias de nuestra forma de vida, a su vez de facilitar el diseño de casas y hogares más humanos, personales, poli funcionales y flexibles en donde los usuarios puedan interactuar con su espacio. (Asociación Española De Dómotica E Inmótica, 2018)

Un sistema de domótica en un hogar se puede controlar sin inconvenientes a través de paneles de control centralizado que se incorporan a la casa, como también utilizando computadoras e incluso dispositivos portátiles como tabletas y teléfonos inteligentes. Al disponer de un panel de control integrado, las aplicaciones de domótica a las cuales accede el usuario son mucho más amplias, ya que permite utilizar la red con equipos remotos, brindando de esta forma mayor comodidad y dar órdenes a distancia.

Uno de los aspectos esenciales de la domótica reside en que la red del control del sistema se puede integrar con la red de energía eléctrica del edificio y al mismo tiempo se coordina con el resto de redes con las que se pueda tener relación como la telefonía, televisión o tecnologías de información.

De esta forma se puede disponer de un sistema que proporcione un sistema de seguridad, un sistema donde se pueda mantener la comunicación todo el tiempo, tener mayor accesibilidad, lograr un mayor confort para los usuarios gracias a la programación de eventos cotidianos y lo más importante, hacer posible un considerable ahorro de energía y costos. (Tecnología Fácil, 2017)

Figura 106. Innovación de la domótica



Fuente: (Tecnología Fácil, 2017)

2. Formas de ahorro energético y confort para los usuarios

El propósito más importante de la domótica y la que sus consumidores buscan aprovechar al máximo y por lo que vale el gasto al adquirir estos sistemas es el ahorro energético significativo que representa tener esta tecnología en apartamentos. Hay varias maneras que la domótica contribuye a la mejor calidad de vida del usuario y al ahorro energético. (Asociación Española de Dómotica e Inmótica, 2018)

- La domótica aporta un ahorro energético al gestionar inteligentemente la iluminación, climatización, agua caliente sanitaria, el riego del jardín o los electrodomésticos con computadoras incorporadas. Estos sistemas aprovechan también mejor los recursos naturales al localizar y utilizar tarifas horarias donde se encuentre el menor costo y reduciendo así la factura de electricidad. Por medio de un monitoreo constante de los consumos realizados, estos sistemas también son capaces de obtener la información necesaria para dar recomendaciones para modificar hábitos y aumentar el ahorro y la eficiencia.

- La domótica fomenta la accesibilidad del hogar. Facilita el manejo de los elementos del hogar a las personas con discapacidades de la forma que mas se ajuste a sus necesidades. También ofrece servicios de asistencia para quienes necesiten en caso de emergencia.
- Convierte el espacio en un lugar más cómodo y simple para las personas a través de la gestión de dispositivos y actividades domésticas. La domótica permite abrir, cerrar, apagar, encender o hasta regular los electrodomésticos, la climatización o ventilación del lugar, mejorar la eficiencia entre la luz natural o artificial y puede manejar el suministro de agua de forma eficiente dando un ahorro de gastos en la factura del servicio de agua.
- Esta tecnología también garantiza una comunicación segura mediante el control y supervisión remota de la vivienda a través de un teléfono o computadora. Esto permite que la recepción de avisos de anomalías e información del funcionamiento de equipos e instalaciones. Permite la transmisión de voz y datos, como textos, imágenes y sonidos con redes locales y compartiendo acceso a internet. Puede tener acceso a recursos en todos los dispositivos como obtener accesos a servicios de telefonía, televisión, video conferencias y dar un diagnostico remoto de las actividades que se realizan.
- Otro punto importante de la domótica que da tranquilidad a los usuarios es que mejora la seguridad del hogar. Estos sistemas aportan seguridad mediante vigilancia automática de personas, animales y bienes mediante sensores. Posee controles de intrusión, cierre automático de todas las aberturas, fachadas dinámicas, cámaras de vigilancia, alarmas personales y sensores que permiten detectar incendios, fugas de gas, inundaciones de agua, fallos en el suministro eléctrico y hasta sismos (Asociación Española de Dómotica e Inmótica, 2018).

Figura 107. Aportes de la domótica



Fuente: (Asociación Española de Dómotica e Inmótica, 2018)

3. Historia de la domótica

La domótica se empezó a considerar como una integración de sistemas de manera comercial en la década de 1980. En ese entonces se trabajaba únicamente con edificios denominados “edificios inteligentes”. El sector doméstico se empezó a desarrollar en la década de 1990 con la evolución y el despliegue del internet en el mundo. Esta tecnología empezó en Estados Unidos, Japón y algunos países de Europa.

Durante mucho tiempo la inclusión de tecnología en el hogar se ha venido realizando a través de un aumento de las prestaciones o funciones propias de los equipos domésticos. Esto se da habitualmente al tratar de agregarle un valor añadido a los equipos que uno posee de forma aislada, sin establecer una capacidad de comunicación entre otros dispositivos. Esta situación dio, un desarrollo de mercado en donde se comercializaban equipos domésticos

tecnológicos, pero con un desarrollo totalmente independiente. Esta clase de productos a la larga dificultó el desarrollo de servicios del hogar y al propio usuario.

Para tratar de integrar los equipos domésticos como un solo sistema entró en acción el desarrollo de la domótica en el mercado. La domótica al inicio no rompió con el mercado de la forma como lo está haciendo ahora. En vez de esto, se dio un fenómeno en donde la automatización de equipos se realizaba mediante un control de la alimentación eléctrica de una manera sencilla y sin mucho avance tecnológico. Los equipos domésticos no tenían ningún tipo de comunicación eficiente con el sistema. Por ello la domótica se concentraba en un mercado muy reducido y con precios altos de adquisición que no podían ser comprados por muchos y se limitaba a dar respuestas únicamente al control de la vivienda.

Recientemente, con el avance del internet en los hogares se formó una nueva manera de aplicar esta tecnología a las viviendas. Debido a este movimiento la tecnología ha pasado a asegurar las necesidades y deseos de los usuarios a través de servicios. Los usuarios controlan todo desde un dispositivo como su propio teléfono y han encontrada más facilidades para su uso y adquisición. La domótica está siendo vista como una manera inteligente y ver para las viviendas que buscan ahorrar energía. (Meza, 2008)

4. Tendencias tecnológicas actuales

La domótica es un campo que con los años cada vez se incluye más en el diseño y construcción de las viviendas, ya que los usuarios con el paso de los años y con la evolución de la tecnología optan por disponer de un sistema que ya esté integrado con la edificación, lo cual hace que sea una plataforma mucho más barata y fácil de mantener. Este tipo de sistemas de automatización pueden ser agregados a casas ya existentes. (Tecnología Fácil, 2017)

5. Tendencias en el mercado global

Las tendencias en la modernización y avances de la tecnología predisponen a la adquisición de equipos y sistemas de último modelo para el hogar, como teléfonos, televisiones, redes de datos, electrodomésticos y sistemas de seguridad. La domótica ayuda para empezar un

proceso de integración de estos equipos mediante redes y sistemas. Estos sistemas integrados dan paso a una casa inteligente.

Con estos nuevos dispositivos disponibles en el mercado, aparecen factores que ayudan a la domótica para que cada vez más sean los usuarios que opten por tener una casa inteligente. Estos factores clave como la oferta disponible, la demanda real y el entorno en donde se encuentra afectan las tendencias que puedan surgir.

El mercado de este sistema se basa en cambios o necesidades que tienen la nueva generación de personas que están acostumbradas a tener acceso al mundo entero desde su dispositivo móvil y con el que quieren controlar la mayor cantidad de aparatos desde un solo control para simplificar operaciones. El mercado en cinco puntos clave. Estos puntos clave son cambios en los grupos de convivencia que ocupan las viviendas; la evolución de los hábitos de convivencia y de utilización, como consecuencia del trabajo y ocio; las necesidades específicas de un grupo en un hogar; la situación del entorno financiero en donde cada hogar busca maneras de ahorrar dinero a fin de mes; y la situación de la demanda de vivienda donde cada vez hay más personas en busca de hogares nuevos y cómodos.

Estos factores han hecho que la oferta y la demanda del mercado de la domótica cobre más fuerza con el paso de los años. El factor más importante que contribuye a este fenómeno es la capacidad del sistema de abaratar costes de energía al dar una automatización ahorrativa en los electrodomésticos y cableado eléctrico. Con la tendencia actual de empresas de buscar soluciones ecológicas para trabajar, la domótica sigue este mismo paso en donde cada vez cobra más fuerza y se vuelve indispensable para viviendas nuevas y modernas. (Meza, 2008)

6. Tendencias en el mercado local

En Guatemala la tendencia es otra. Guatemala está en una etapa inicial de la implementación de la domótica. Actualmente solo algunas de las viviendas de un nivel económico alto están incorporando sistemas de seguridad y sistemas de control de energía.

Este fenómeno se ha dado en el país desde inicios de la década de los 2000 porque expertos sugieren que se ha distorsionado el concepto de domótica como tal. Usuarios en el país piensan que las casas inteligentes no dan del todo un valor agregado al hogar si no que lo consideran como un lujo. Algunas empresas en el país ofrecen servicios de domótica, pero no en su totalidad, ya que no manejan todos los sistemas. Solamente trabajan con un sistema unificado de teléfono internet y televisión y cámaras de seguridad en su mayoría. Los usuarios deben de contratar por separado el sistema de iluminación, riego y otros.

Los guatemaltecos no han considerado la domótica como un sistema que puede ayudarles a facilitar la vida cotidiana y darles efectos positivos en la economía al reducir ciertos gastos del hogar todavía. Esta tendencia esta cambiando, pero en pequeños pasos debido a la situación económica que vive la mayoría de la población, las personas solo quieren tener un techo donde vivir y no han considerado, todavía, maneras de cómo simplificar su día a día.

Con el paso de los años, la tendencia se espera que cambia de manera más drástica para los guatemaltecos. La idea es crear un deseo de que cada consumidor que este en busca de viviendas nuevas se interese más en la domótica, hasta el punto de implementar en sus hogares la automatización. Esto se logrará con el ahorro energético significativo que genera poseer un sistema de estos en casa. (Meza, 2008)

IV. Marco práctico

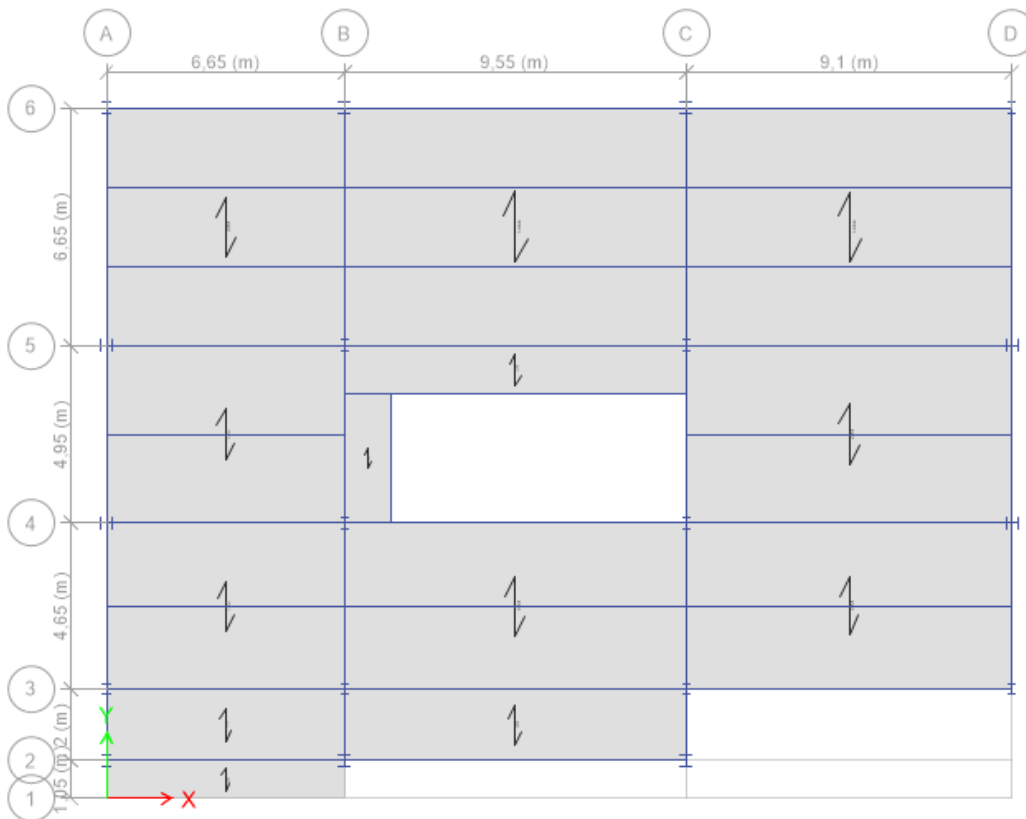
A. Diseño estructural en acero

1. Características de la estructura

La edificación está ubicada en Fraijanes en el departamento de Guatemala. Esta cuenta con cuatro niveles iguales con una altura de tres metros cada uno, dando una altura total de la edificación de doce metros. El edificio tiene un área por nivel de 350.78 m².

El sistema estructural seleccionado para el edificio es un sistema de marcos de acero con tramos arriostrados con breizas especiales concéntricas en ambas direcciones.

Figura 108. Planta típica de la edificación



Fuente: Elaboración propia

2. Diseño estructural de la edificación

El edificio fue diseñado bajo los códigos ASCE 7-10 Minimum Design Load for Buildings and Other Structures, AGIES NSE 2-10 “Demandas estructurales, condiciones de sitio y niveles de protección, ACI 318-14, código AISC 341-16 Seismic Provisions for Structural Buildings y el manual AISC 13th Steel Construction Manual. Las consideraciones de los materiales contemplados para el diseño fueron; esfuerzo de compresión del concreto a veintiocho días ($f'c$) de cuatro mil psi para zapatas, esfuerzo de compresión del concreto a veintiocho días ($f'c$) de tres mil psi para losa, densidad del concreto (γ) ciento cincuenta pcf y esfuerzo a fluencia del acero (f_y) de sesenta mil psi. El diseño se realizó en hojas de cálculo de excel y el software de diseño ETABS V. 16i.

3. Integración de cargas

Las cargas de diseño se obtuvieron a partir de las tablas C3-1 y 4-1 del código ASCE 7-10 Minimum Design Load for Buildings and Other Structures. Las cargas consideradas se presentan a continuación.

Tabla 25. Integración de cargas de entrepiso

INTEGRACIÓN DE CARGAS ENTREPISO		
DL=	81.30	psf
peso propio	42.00	psf
contrapiso, 2 in	16.00	psf
piso ceramico	16.00	psf
instalaciones	4.00	psf
cielo suspendido	3.30	psf
DL=	55.00	psf
Apartamentos	40.00	psf
Tabicaciones	15.00	psf

Fuente: Elaboración propia

INTEGRACIÓN DE CARGAS TECHO		
DL=	78.80	psf
peso propio	42.00	psf
Pañuelos	24.00	psf
Impermabilización	5.50	psf
instalaciones	4.00	psf
cielo suspendido	3.30	psf
DL=	20.00	psf
Apartamentos	20.00	psf

Fuente: Elaboración propia

4. Diseño de losa

Para el diseño de la losa se mayoraron las cargas con las combinaciones gravitacionales del código ASCE 7-10, sección 2.3.2, y se diseñó por pie lineal de metal deck.

Tabla 26. Determinación de carga última

Combinaciones de carga			Combinaciones de carga		
Ancho tributario	1.00	ft	Ancho tributario	1.00	ft
WDL= DLx A.t	81.30	lb/ft	WDL= DLx A.t	78.80	lb/ft
WLL= LL x A.t	55.00	lb/ft	WLL= LL x A.t	20.00	lb/ft
1.4D	113.82	lb/ft	1.4D	110.32	lb/ft
1.2D+1.6L	185.56	lb/ft	1.2D+1.6L	126.56	lb/ft
Wu=	185.56	lb/ft	Wu=	126.56	lb/ft

Fuente: Elaboración propia

Posteriormente, se obtuvieron los efectos máximos de servicio y resistencia considerando la losa más crítica, la cual se ubicada entre los ejes A-B y 5-6.

Tabla 27. Chequeo de efectos máximos de servicio y resistencia

Efectos máximos (entrepiso)			Efectos máximos (techo)		
Lcrit=	7.27		Lcrit=	7.27	
Mu (+)=	784.73	lb-ft	Mu (+)=	535.22	lb-ft
Mu (-)=	980.92	lb-ft	Mu (-)=	669.03	lb-ft
Vu=	809.49	lbf	Vu=	552.11	lbf
Flexión positiva			Flexión positiva		
Mu=	9.42	kip-in	Mu=	6.42	kip-in
ϕ Mn=	40.27	kip-in	ϕ Mn=	40.27	kip-in
Relación D/C	0.23		Relación D/C	0.16	
Flexión negativa			Flexión negativa		
Mu=	11.77	kip-in	Mu=	8.03	kip-in
ϕ Mn=	25.59	kip-in	ϕ Mn=	25.59	kip-in
Relación D/C	0.46		Relación D/C	0.31	
ϕ	0.90		ϕ	0.90	
Barra No.	3.00		Barra No.	3.00	
As		in ²	As	0.20	in ²
Fy	60.00	ksi	Fy	60.00	ksi
d= h - 3/4	3.75	in	d= h - 3/4	3.75	in
h	4.50	in	h	4.50	in
a=	0.26	in	a=	0.26	in

Efectos máximos (entrepiso)			Efectos máximos (techo)		
b	12.00	in	b	12.00	in
fc	3.00	ksi	fc	3.00	ksi
Corte			Corte		
Vu=	809.49	lbf	Vu=	552.11	lbf
$\phi Vu=$	5,030.00	lbf	$\phi Vu=$	5,030.00	lbf
Relación D/C	0.16		Relación D/C	0.11	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 28. Chequeo de deflexiones en losa

Chequeo de deflexiones (entrepiso)			Chequeo de deflexiones (techo)		
Carga viva			Carga viva		
L _{CRÍTICA}	87.25	in	L _{CRÍTICA}	87.25	in
I _{sección}	5.90	in ³	I _{sección}	5.90	in ³
ΔP	0.01	in	ΔP	0.00	in
LL=	0.0046	kip/in		0.0017	
$\Delta p= L/360$	0.24	in	$\Delta p= L/360$	0.24	in
Relación D/C	0.04		Relación D/C	0.02	
Carga viva+muerta			Carga viva+muerta		
L _{CRÍTICA}	141.70	in	L _{CRÍTICA}	141.70	in
I _{sección}	5.90	in ³	I _{sección}	5.90	in ³
ΔP	0.18		ΔP	0.13	
DL+LL	0.01	kip/in	DL+LL	0.01	kip/in
$\Delta p= L/240$	0.59	in	$\Delta p= L/240$	0.59	in
Relación D/C	0.31		Relación D/C	0.23	

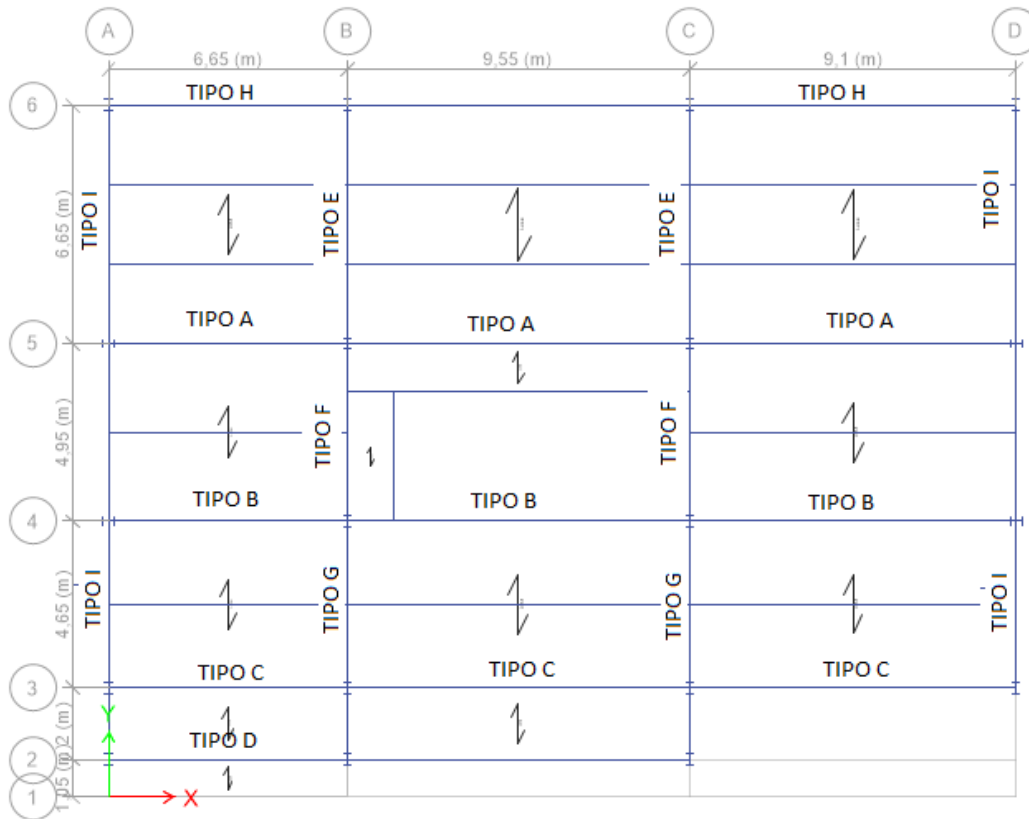
Fuente: Elaboración propia

5. Diseño de vigas principales y secundarias

Se revisó su capacidad a flexión y su capacidad a cortante conforme a la sección F y G del código AISC 360-10 Specifications for Structural Steel Buildings. Se chequearon las deflexiones con el caso de carga viga y el caso de carga viva más muerta.

Las vigas principales se clasificaron por letras, las cuales se indican en la figura 109 mientras que las secundarias se clasificaron en números (Ver figura 110). Se diseñó únicamente la viga secundaria más crítica ya que tenían las mismas condiciones.

Figura 109. Clasificación de vigas principales por letra



Fuente: Elaboración propia

Tabla 29. Cálculo de vigas principales

Parámetro	Valor	Unidad
L=	31.32	ft
Ancho tributario=	8.04	ft
Cargas		
DL=	78.80	psf
LL=	20.00	psf
WDL=	0.63	kips/ft
WLL=	0.16	kips/ft
Combinaciones de carga		
1.4DL	0.89	kips/ft
1.2DL+1.6LL	1.02	kips/ft
Wu=	1.02	kips/ft

Parámetro	Valor	Unidad
<u>Efectos máximos</u>		
$M_u = WL^2/8 =$	124.74	kip-ft
$V_u = WL/2 =$	15.93	kips
<u>Condiciones de servicio</u>	-	-
<i>CARGA VIVA</i>		
$I =$	510.00	in ⁴
$\delta = (5/384)PL^4/EI =$	0.24	in
RELACIÓN D/C	0.23	
COMPROBACIÓN	OK	
CARGA MUERTA+CARGA VIVA		
$I =$	510.00	in ⁴
$\delta = (5/384)PL^4/EI =$	1.16	in
RELACIÓN D/C	0.74	
COMPROBACIÓN	OK	
COMPACIDAD DE LA SECCIÓN		
<i>Compacidad de los patines</i>		
$b/t =$	7.06	
$\lambda_p = 0.38\sqrt{E/F_y} =$	9.15	
$\lambda_r = 1\sqrt{E/F_y} =$	24.08	
Conclusion	compacta	
<i>Compacidad del alma</i>		
$h/t_w =$	53.50	
$\lambda_p = 3.76\sqrt{E/F_y} =$	90.55	
$\lambda_r = 5.70\sqrt{E/F_y} =$	137.27	
Conclusion	compacta	
<i>Calcular $M_n =$</i>		
Si $L_b < L_p$, $M_n = F_y Z_x =$	3325.00	kip-in
$Z_x =$	66.50	in ³

Parámetro	Valor	Unidad
Si $L_p < L_b < L_r$, $M_n =$	3858.69	kip-in
Si $L_b > L_r$ $M_n =$	264569.55	kip-in
$F_{cr} =$	4593.22	ksi
Finalmente		
$M_n =$	3325.00	kip-in
$\phi M_n =$	249.38	kip-ft
Relación D/C	0.50	
CHEQUEO	OK	
Revisión por corte		
$\phi V_n = \phi 0.6 F_y A_w C_v$	159.30	kip
$C_v =$	1.00	
Finalmente		
$\phi V_n =$	159.30	kip
Relación D/C	0.10	
CHEQUEO	OK	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 30. Cálculo de vigas secundarias

Parámetro	Valor	Unidad
$L =$	31.32	ft
Ancho tributario= $$	7.63	ft
<u>Cargas</u>	-	-
$DL =$	81.30	psf
$LL =$	55.00	psf
$WDL =$	0.62	kips/ft
$WLL =$	0.42	kips/ft
<u>Combinaciones de carga</u>		
1.4DL	0.87	kips/ft
1.2DL+1.6LL	1.42	kips/ft
$W_u =$	1.42	kips/ft
<u>Efectos máximos</u>	-	-
$M_u = WL^2/8 =$	173.56	kip-ft
$V_u = WL/2 =$	22.16	kips

Parámetro	Valor	Unidad
Condiciones de servicio		
CARGA VIVA		
$\Delta_p=L/360$	1.04	in
$I_{x\min}=\frac{5}{384}WL^4/E\Delta=$	300.05	in ⁴
CARGA MUERTA+VIVA		
$\Delta_p=L/240$	1.57	in
$I_{x\min}=\frac{5}{384}WL^4/E\Delta=$	495.72	in ⁴
CARGA VIVA		
$I=$	612.00	in ⁴
$\delta=(5/384)PL^4/EI=$	0.51	in
RELACIÓN D/C	0.49	
COMPROBACIÓN	OK	
CARGA MUERTA+CARGA VIVA		
$I=$	612.00	in ⁴
$\delta=(5/384)PL^4/EI=$	1.27	in
RELACIÓN D/C	0.81	
COMPROBACIÓN	OK	
COMPACIDAD DE LA SECCIÓN		
Compacidad de los patines		
$b/t=$	7.06	
$\lambda_p=0.38\sqrt{E/F_y}=$	9.15	
$\lambda_r=1\sqrt{E/F_y}=$	24.08	
Conclusion	COMPACTA	
Compacidad del alma		
$h/t_w=$	53.50	
$\lambda_p=3.76\sqrt{E/F_y}=$	90.55	
$\lambda_r=5.70\sqrt{E/F_y}=$	137.27	
Conclusion	COMPACTO	
Calcular $M_n=$		
Si $L_b < L_p$, $M_n=F_y Z_x=$	3325.00	kip-in
$Z_x=$	66.50	in ³
Si $L_p < L_b < L_r$, $M_n=$	3858.69	kip-in

Parámetro	Valor	Unidad
Si $L_b > L_r$ $M_n =$	264569.55	kip-in
$F_{cr} =$	4593.22	ksi
<i>Finalmente</i>		
$M_n =$	3325.00	kip-in
$\phi M_n =$	249.38	kip-ft
Relación D/C	0.70	
CHEQUEO	OK	
DISEÑO DE LA SECCIÓN CON ACCIÓN COMPUESTA		
SECCION	W16x31	
<i>Ancho efectivo</i>		
$b_e =$	7.63	ft
$luz/8 =$	3.92	ft
Luz libre= l	31.32	ft
Espaciamiento/2	3.81	ft
Distancia al borde= a	NO APLICA	ft
<i>Capacidad de los pasadores de corte</i>		
Diámetro= d	0.75	in
Cantidad= n	8.00	unidades
Distancia máxima= s	15.66	ft
Espaciamiento= e	24	in
$Q_n =$	17.20	kips
$\sum Q_n =$	137.60	kips
<i>Profundidad del bloque de compresión</i>		
$a =$	0.59	in
$F_c =$	3.00	ksi
$b_e =$	91.51	in
$Y_2 = t_{losa} - a/2$	4.21	in
$t_{losa} =$	4.50	in
<i>Información de la tabla</i>		
$M_1 =$	289	kip-ft
$M_2 =$	311.5	kip-ft
$\sum Q_n =$	$M_n, ki-ft$	
164	311.5	
114	289	

Parámetro	Valor	Unidad
$\sum Q_n =$	137.6	kips
$\phi M_n =$	299.62	kip-ft
$\mu =$	173.56	$\mu = WL^2/8 =$
Relación D/C =	0.58	
Conclusión	OK	
<i>Revisión de la deflexiones</i>		
$I_1 =$	733.5	in ⁴
$I_2 =$	646	in ⁴
$\sum Q_n =$	I in ⁴	
164	670	
114	600	
$\sum Q_n =$	137.6	kips
I_b	633.04	in⁴
<u>Condiciones de servicio</u>		
CARGA VIVA		
$I =$	633.04	in ⁴
$\delta = (5/384)PL^4/EI =$	0.49	in
RELACIÓN D/C	0.47	
COMPROBACIÓN	OK	
CARGA MUERTA+CARGA VIVA		
$I =$	633.04	in ⁴
$\delta = (5/384)PL^4/EI =$	1.23	in
RELACIÓN D/C	0.78	
COMPROBACIÓN	OK	
Revisión del proceso constructivo		
$L =$	31.32	ft
Ancho $T =$	7.63	ft
<u>Cargas</u>	-	-
$DL =$	42.00	psf
$LL =$	50.00	psf
$WDL =$	0.32	kip/ft
$WLL =$	0.38	kip/ft

Parámetro	Valor	Unidad
<u>Combinaciones de carga</u>		
1.4DL	0.45	kip/ft
1.2DL+1.6LL	0.99	kip/ft
Pu=	0.99	kip/ff
<u>Efectos máximos</u>		
Mu=WL ² /8=	121.97	kip-ft
Vu= WL/2=	15.57	kips
Lb=	10.44	ft
<i>Calcular Mn=</i>		
Si Lb < Lp, Mn=FyZx=	2700.00	kip-in
Zx=	54.00	in ³
Si Lp < Lb < Lr, Mn=	1842.29	kip-in
Si Lb>Lr Mn=	2040.09	kip-in
Fcr=	43.22	ksi
<i>Finalmente</i>		
Mn=	1842.29	kip-in
φMn=	138.17	kip-ft
Relación D/C	0.88	
CHEQUEO	OK	
<i>Revisión por corte</i>		
φ Vn = φ0.6 Fy Aw Cv	131.18	kip
Cv1=	1.00	
<i>Finalmente</i>		
Relación D/C	0.17	
CHEQUEO	OK	

Fuente: Elaboración propia

6. Diseño de columnas

Las columnas se clasificaron en 3 tipos según el área tributaria: tipo A, tipo B y tipo C.

Tabla 31. Tipos de columnas en la edificación

ejes	At, m ²	Techo		Nivel 4		Nivel 3		Nivel 2		Nivel 1	
		DL, PSF	LL, PSF	DL, PSF	LL, PSF	DL, PSF	LL, PSF	DL, PSF	LL, PSF	DL, PSF	LL, PSF
B4	30.34	78.8	20	81.3	55	81.3	55	81.3	55	81.3	55
C4	32.52	78.8	20	81.3	55	81.3	55	81.3	55	81.3	55
B5	38.88	78.8	20	81.3	55	81.3	55	81.3	55	81.3	55
C5	48.26	78.8	20	81.3	55	81.3	55	81.3	55	81.3	55
B2	26.94	78.8	20	81.3	55	81.3	55	81.3	55	81.3	55
C2	26.27	78.8	20	81.3	55	81.3	55	81.3	55	81.3	55
D2	10.66	78.8	20	81.3	55	81.3	55	81.3	55	81.3	55
A2	11.38	78.8	20	81.3	55	81.3	55	81.3	55	81.3	55
A1	7.12	78.8	20	81.3	55	81.3	55	81.3	55	81.3	55
A3	10.68	78.8	20	81.3	55	81.3	55	81.3	55	81.3	55
D3	15.47	78.8	20	81.3	55	81.3	55	81.3	55	81.3	55

Fuente: Elaboración propia

Tabla 32. Carga última, esbeltez y relación demanda capacidad en columnas tipo A

Nivel	At, f ²	LL, PSF	PLL, kips	Carga acumulada		Combinaciones LRFD		PU max
				PDL, kips	PLL, kips	1.4DL	1.2DL +1.6LL	
Techo	519.20	20.00	10.38	40.91	10.38	57.28	65.71	65.71
N3	519.20	55.00	28.56	83.12	38.94	116.37	162.05	162.05
N2	519.20	55.00	28.56	125.33	67.50	175.47	258.40	258.40
N1	519.20	55.00	28.56	167.55	96.05	234.56	354.74	354.74
Esbeltez								
Nivel	Long, (ft)	Kx	KLx,ft	Ky	KLy,ft	D/C		
Techo	10.00	0.80	8.00	0.80	8.00	0.12		
N3	10.00	0.65	6.50	0.65	6.50	0.28		
N2	10.00	0.65	6.50	0.65	6.50	0.44		
N1	10.00	0.80	8.00	0.80	8.00	0.64		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 33. Carga última, esbeltez y relación demanda capacidad en columnas tipo B

				Carga acumulada		Combinaciones LRFD		
Nivel	At, f2	LL, PSF	PLL, kips	PDL, kips	PLL, kips	1.4DL	1.2DL+ 1.6LL	PU max
Techo	289.83	20.00	5.80	22.84	5.80	31.97	36.68	36.68
N3	289.83	55.00	15.94	46.40	21.74	64.96	90.46	90.46
N2	289.83	55.00	15.94	69.97	37.68	97.95	144.24	144.24
N1	289.83	55.00	15.94	93.53	53.62	130.94	198.02	198.02
		.						
Esbeltez								
Nivel	Long, (ft)	Kx	KLx,ft	Ky	KLy,ft	D/C		
Techo	10.00	0.80	8.00	0.80	8.00	0.07		
N3	10.00	0.65	6.50	0.65	6.50	0.15		
N2	10.00	0.65	6.50	0.65	6.50	0.25		
N1	10.00	0.80	8.00	0.80	8.00	0.36		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 34. Carga última, esbeltez y relación demanda capacidad en columnas tipo C

				Carga acumulada		Combinaciones LRFD		
Nivel	At, f2	LL, PSF	PLL, kips	PDL, kips	PLL, kips	1.4DL	1.2DL+ 1.6LL	PU max
Techo	166.43	20.00	3.33	13.11	3.33	18.36	21.06	21.06
N3	166.43	55.00	9.15	26.65	12.48	37.30	51.95	51.95
N2	166.43	55.00	9.15	40.18	21.64	56.25	82.83	82.83
N1	166.43	55.00	9.15	53.71	30.79	75.19	113.71	113.71
		.						
Esbeltez								
Nivel	Long, (ft)	Kx	KLx,ft	Ky	KLy,ft	D/C		
Techo	10.00	0.80	8.00	0.80	8.00	0.04		
N3	10.00	0.65	6.50	0.65	6.50	0.09		
N2	10.00	0.65	6.50	0.65	6.50	0.14		
N1	10.00	0.80	8.00	0.80	8.00	0.21		

Fuente: Elaboración propia

El chequeo realizado para las columnas está basado en el capítulo E, sección E3 del código A360-16 Specification for Structural Buildings.

Tabla 35. Cálculo de la capacidad de las columnas ante fuerza axial

Parámetro	Valor	Unidad
COMPACIDAD DE LA SECCIÓN		
<u>Esbeltez de los patines</u>		
b/t=	6.31	
$\lambda_r=0.56\text{Raiz}(E/f_y)=$	13.49	
$f_y=$	50	ksi
E	29000	ksi
conclusion	No Esbelto	
<u>Esbeltez del alma</u>		
h/tw	26.8	
$\lambda_r=1.94\text{Raiz}(E/f_y)=$	46.72	
conclusion	No Esbelto	
<u>Esbeltez crítica</u>		
KL/rx	18.53	
KLx=	96.00	in
rx=	5.18	in
KL/ry	48.98	
KLy=	96.00	in
ry=	1.96	in
KL/r critico	48.98	
<u>Determinación del esfuerzo crítico</u>		
4.71 Raiz (E/fy)	113.43	
Fe=	119.19	ksi
Fcr1=	41.95	ksi
Fcr2=	104.53	ksi
Fcr=	41.95	
<u>CAPACIDAD AXIAL</u>		
$\Phi P_n=F_{cr}A_g$	551.20	kip
$A_g=$	14.6	in ²
$\phi=$	0.9	

Fuente: Elaboración propia

7. Integración de la carga sísmica

Como ya se mencionó anteriormente, el edificio está situado en Fraijanes, Departamento de Guatemala por lo que los coeficientes de sitio utilizados fueron $S_s=1.5$ y $S_1=0.55$ obtenidos de la tabla A-1, código AGIES NSE 2-10 “Demandas estructurales, condiciones de sitio y niveles de protección. La clase de sitio utilizado fue D, por el tipo de suelo presente en el lugar. El edificio tiene una categoría de riesgo III correspondiente a edificaciones que podrían representar un riesgo para la vida humana, por lo tanto, el factor de importancia es de 1.25.

Tabla 36. Parámetros sísmicos y periodos de vibración de la estructura

Parámetro	Valor	Unidad
Ubicación	Fraijanes	
Coeficientes de aceleración del sitio		
$S_s=$	1.5	
$S_1=$	0.55	
Clase de sitio	D	
Clase de obra=	Ordinaria	
$F_a=$	1.00	
$F_v=$	1.50	
Aceleración espectral de diseño		
$SMS=$	1.50	
$SM_1=$	0.83	
$SDS=$	1.00	
$SD_1=$	0.55	
Categoría de riesgo=	III	
Categoría de diseño sísmico	D	
Factor de importancia=	1.25	
Periodos de vibración		
$T_s=$	0.55	s
$T_o=$	0.11	s
$T_a=$	0.31	S
$C_u=$	1.40	
$T=$	0.440	s
$C_T=$	0.05	
$x=$	0.75	
$h_n=$	12.00	m

Fuente: Elaboración propia

El sistema estructural son marcos especiales con breizas concéntricas por lo que el factor de modificación de respuesta es de 6, el factor de amplificación de deflexiones es de 5 y el factor de sobre resistencia es de 2. A partir de lo siguiente, se procedió a determinar el coeficiente sísmico según sección 12.8.1 del código ASCE 7-10 Minimum Design Loads for Building and Other Structures.

Tabla 37. Determinación del coeficiente sísmico

Parámetro	Valor
B- Steel Special Concentrically braced frames	
R=	6.00
Ω =	2.00
Cd=	5.00
Cs	0.21
Csmin 2.1.4-1	0.06
Csmin 2.1.4-2	0.04
Csmax=	0.26
Cs	0.208

Fuente: Elaboración propia

Se calculó de forma manual el peso sísmico, para poder distribuir el sismo verticalmente y horizontalmente según sección 12.8.3 del mismo código. De igual forma, se procedió a graficar el espectro de respuesta en base a la sección 11-4-5.

Tabla 38. Peso sísmico de la estructura

Nivel	Área. Sf	WDL,kips	LL, psf	%LL	LL,kips	Ws, kips
4.00	4,849.67	463.60	20.00	0.25	24.25	487.84
3.00	4,849.67	465.93	55.00	0.25	66.68	532.61
2.00	4,849.67	468.39	55.00	0.25	66.68	535.08
1.00	4,849.67	450.71	55.00	0.25	66.68	517.39
						2,072.92

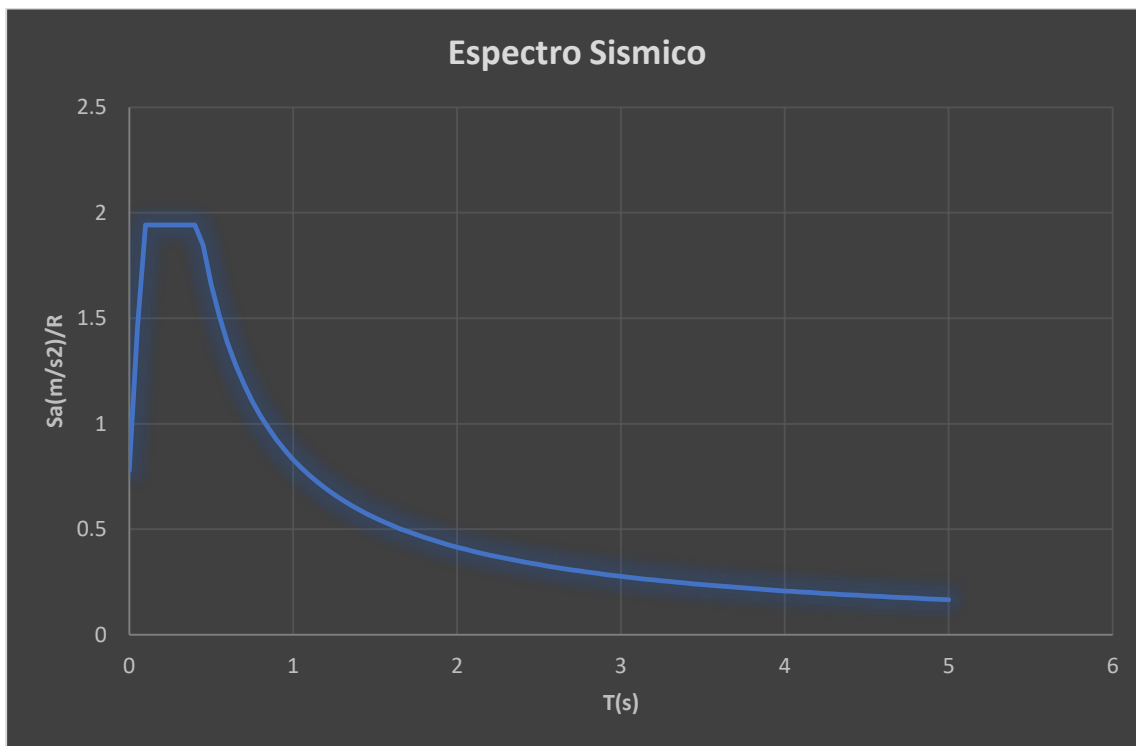
Fuente: Elaboración propia

Tabla 39. Distribución vertical y horizontal de la fuerza sísmica

nivel	w _i , kips	H, ft	h _i , ft	k	w _i h _i ^k	Factor, C _v x	F nivel, kips	C/ nivel/ eje
4.00	487.84	10.00	40.00	1.00	19,513.74	0.38	196.87	98.43
3.00	532.61	10.00	30.00	1.00	15,978.27	0.31	161.20	80.60
2.00	535.08	10.00	20.00	1.00	10,701.55	0.21	107.96	53.98
1.00	517.39	10.00	10.00	1.00	5,173.89	0.10	52.20	26.10
						51,367.45	1.00	

Fuente: Elaboración propia

Figura 110. Espectro de respuesta



Fuente: Elaboración propia

8. Diseño de los marcos embreizados

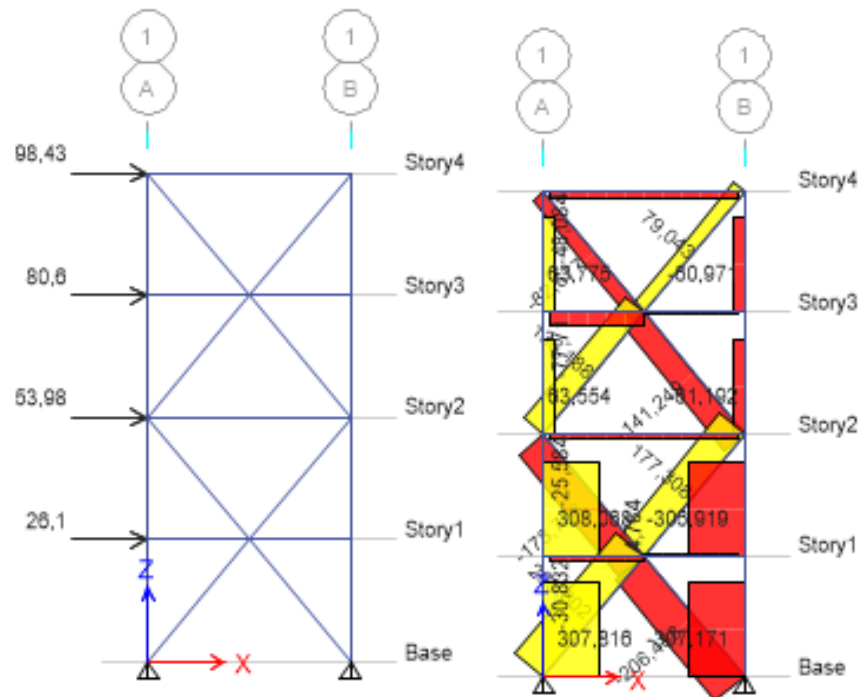
Para el diseño de las breizas se realizó un modelo en 2D de los marcos en el software ETABS para poder obtener las cargas de tensión y compresión en los elementos, los cuales se muestran en las figuras 111 y 112. Estos se realizaron únicamente aplicando una carga en el nudo que corresponde a la distribución vertical y horizontal del sismo.

Tabla 40. Secciones seleccionadas para las breizas en eje X

Nivel	Long B, ft	F _{niv} , kips	r _{min} , in	Compr, kips	Tensión, kips	Sección
4.00	12.75	98.43	0.77	85.00	80.00	HSS5X0.312
3.00	12.75	80.60	0.77	143.00	140.00	HSS5.5X0.5
2.00	12.75	53.98	0.77	182.00	180.00	HSS6X0.5
1.00	12.75	26.10	0.77	210.00	208.00	HSS6.625X0.5

Fuente: Elaboración propia

Figura 111. Marco embreizado en la dirección X en 2D



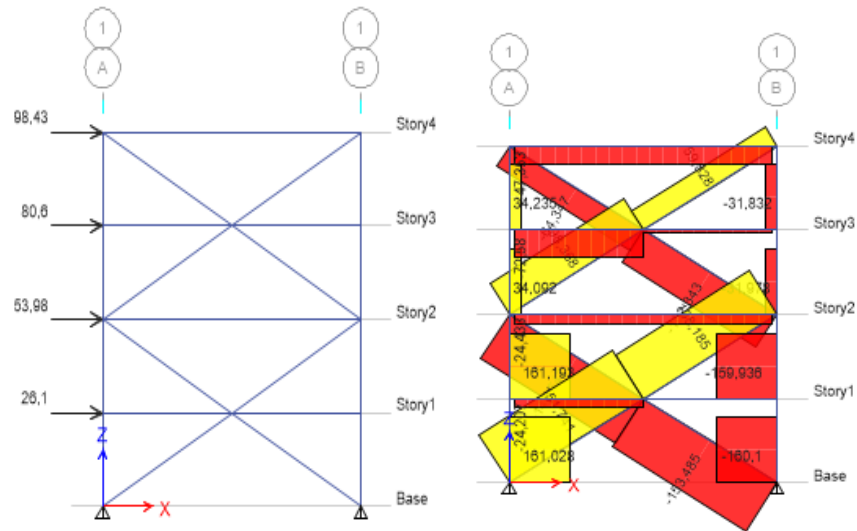
Fuente: Elaboración propia

Tabla 41. Secciones seleccionadas para las breizas en eje Y

Nivel	Long B, ft	F _{niv} , kips	r _{min} , in	Compr, kips	Tensión, kips	Sección
4.00	18.58	98.43	1.11	66.00	61.00	HSS5.5X0.375
3.00	18.58	80.60	1.11	104.00	100.00	HSS5.5X0.5
2.00	18.58	53.98	1.11	142.00	140.00	HSS6X0.5
1.00	18.58	26.10	1.11	155.00	153.00	HSS6.625X0.5

Fuente: Elaboración propia

Figura 112. Marco embreizado en la dirección Y en 2D



Fuente: Elaboración propia

Tabla 42. Ejemplo de cálculo de resistencia a compresión de las breizas

Nivel	Sección	long, ft	A_g , in ²	r, in	kl/r	<200?	$4.71\sqrt{E_f y}$	F_{cr} , ksi	$\phi F_{cr} A_g$
4.00	HSS5X0.312	12.75	4.30	1.67	91.62	OK	123.76	25.08	97.07
3.00	HSS5.5X0.5	12.75	7.36	1.61	95.03	OK	123.76	24.12	159.77
2.00	HSS6X0.5	12.75	8.09	1.96	78.06	OK	123.76	28.89	210.33
1.00	HSS6.625X0.5	12.75	9.00	2.18	70.18	OK	123.76	31.04	251.39

Sección	ΦP_n , kips	D/C
HSS5X0.312	97.07	0.84
HSS5.5X0.5	159.77	0.88
HSS6X0.5	210.33	0.85
HSS6.625X0.5	251.39	0.82

Fuente: Elaboración propia

Tabla 43. Ejemplo de cálculo de resistencia a tensión de las breizas

A_g , in ²	$\Phi F_y A_g$	D/C
4.30	162.54	0.49
7.36	278.21	0.50
8.09	305.80	0.58
9.00	340.20	0.60

Fuente: Elaboración propia

Tabla 44. Ejemplo de cálculo de máxima capacidad de las breizas a tensión

Nivel	Sección	Ag, in ²	Ry	Fy, ksi	Ry Fy Ag,, kips	hl, ft	Cos(φ)	Ry Fy Ag cos(φ)
4.00	HSS5X0.312	4.30	1.40	42.00	252.84	10.00	0.78	198.31
3.00	HSS5.5X0.5	7.36	1.40	42.00	432.77	10.00	0.78	339.43
2.00	HSS6X0.5	8.09	1.40	42.00	475.69	10.00	0.78	373.09
1.00	HSS6.625X0.5	9.00	1.40	42.00	529.20	10.00	0.78	415.06

Fuente: Elaboración propia

Tabla 45. Ejemplo de cálculo de máxima capacidad de las breizas a compresión

Capacidad de la breiza en compresión					Compresión	Pandeo post elástico
Nivel	Sección	1.14 F _{cre} Ag	P _n , kips	0.3 P _n , kips	P _n Cos(φ)	0.3P _n Cos(φ)
4.00	HSS5X0.312	140.06	140.06	42.02	109.85	32.95
3.00	HSS5.5X0.5	226.94	226.94	68.08	177.99	53.40
2.00	HSS6X0.5	321.13	321.13	96.34	251.86	75.56
1.00	HSS6.625X0.5	394.99	394.99	118.50	309.79	92.94

Fuente: Elaboración propia

Tabla 46. Ejemplo de cálculo de resistencia a compresión de las columnas

Diseño de las columnas			Comb. Especiales							
Nivel	hl, ft	At, f ²	(1.2+0.2SSDS)DL +LL+EQ			Sección	φP _n , kips	Relación D/C		
4.00	10.00	207.48	265.05			w12x50	438.39	0.60		
3.00	10.00	207.48	300.12			W12x50	438.39	0.68		
2.00	10.00	207.48	996.49			w12x120	1,219.16	0.82		
1.00	10.00	207.48	1,031.56			w12x120	1,226.07	0.84		
Nivel	hl, ft	Sección	Ag, in ²	Ky	ry	KL/ry	<200?	4.71√Efy	F _{cr} , ksi	φF _{cr} Ag
4.00	10.00	w12x50	14.60	1.00	1.96	61.22	OK	113.43	33.36	438.39
3.00	10.00	W12x50	14.60	1.00	1.96	61.22	OK	113.43	33.36	438.39
2.00	10.00	w12x120	35.30	1.00	3.13	38.34	OK	113.43	38.37	1,219.16
1.00	10.00	w12x120	35.50	1.00	3.13	38.34	OK	113.43	38.37	1,226.07

Fuente: Elaboración propia

Tabla 47. Ejemplo de cálculo de resistencia a tensión de las columnas

Nivel	(0.9-0.25SDS)DL-EQ	Sección	$\Phi F_y A_g$	Relación D/C
4.00	98.38	W12x50	657.00	0.15
3.00	86.55	W12x50	657.00	0.13
2.00	666.02	W12x120	1,588.50	0.42
1.00	654.19	W12x120	1,597.50	0.41

Fuente: Elaboración propia

Tabla 48. Cálculo de vigas para los marcos embreizados

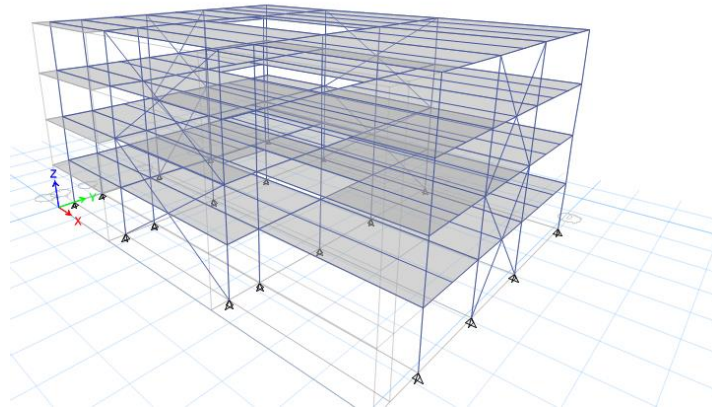
Parámetro	Valor	Unidad
Longitud=	16.24	ft
SECCIÓN	W18X40	
Flexión en el elemento	0	
PDL=	9.55	kips
PLL=	2.42	kips
Wfachada=	0.01	Ksf
h=	5.00	ft
MDL=	39.90	kip-ft
MLL=	9.84	kip-ft
MEQ= PL/4=	0.00	kip-ft
COMBINACIÓN CRÍTICA		
(1.2+0.2SSDS)DL+LL+EQ	65.70	kip-ft
1.2DL+1.6LL	63.62	kip-ft
Mu=	65.70	kip-ft
Lb=L/2	8.12	ft
ΦM_n=	186.03	kip-ft
ΦM_{px} =	294.00	kip-ft
Bf=	13.30	
Lp=	4.49	ft
Lb=	8.12	ft
Mrx/Mcx=	0.35	
CAPACIDAD EN CARGA AXIAL		
PDL=	0.00	
PLL=	0.00	
PEQ=	125.08	

Parámetro	Valor	Unidad
$\sin\theta$	0.64	
$1.14F_{cr}A_g\sin\theta$	89.18	
$R_yF_yA_g\sin\theta$	160.98	
F_{nivel}	250.16	kips
Esbeltez crítica		
KL/r_x	27.02	
K_x	1.00	
L	194.83	in
r_x	7.21	in
KL/r_y	61.36	
K_y	0.80	
L	97.42	in
r_y	1.27	in
KL/r crítico	61.36	
Esfuerzo crítico		
$4.71BE/F_y$	113.43	
F_e	76.01	ksi
E3-2, F_{cr}	37.97	ksi
E3-3, F_{cr}	66.66	ksi
F_{cr}	37.97	ksi
Capacidad axial		
$\phi F_{cr} A_g$	403.20	kips
A_g	11.80	in ²
P_r/P_c	0.31	
Ecuaciones de interacción		
H1-1a	0.62	
H1-2a	0.51	
Relación D/C	0.62	

Fuente: Elaboración propia

9. Elaboración de modelo en ETABS

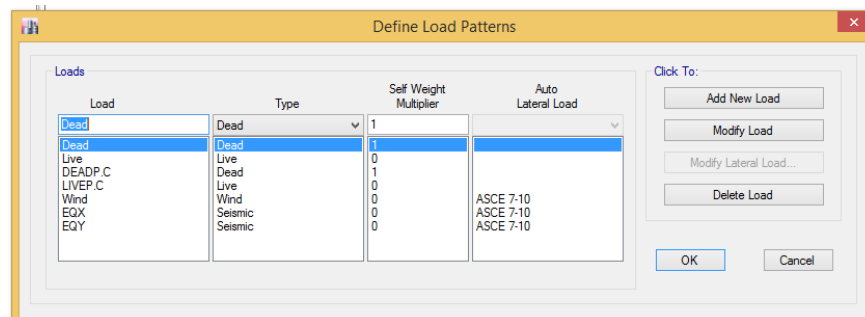
Figura 113. Modelo en 3D de la edificación en el software ETABS



Fuente: Elaboración propia

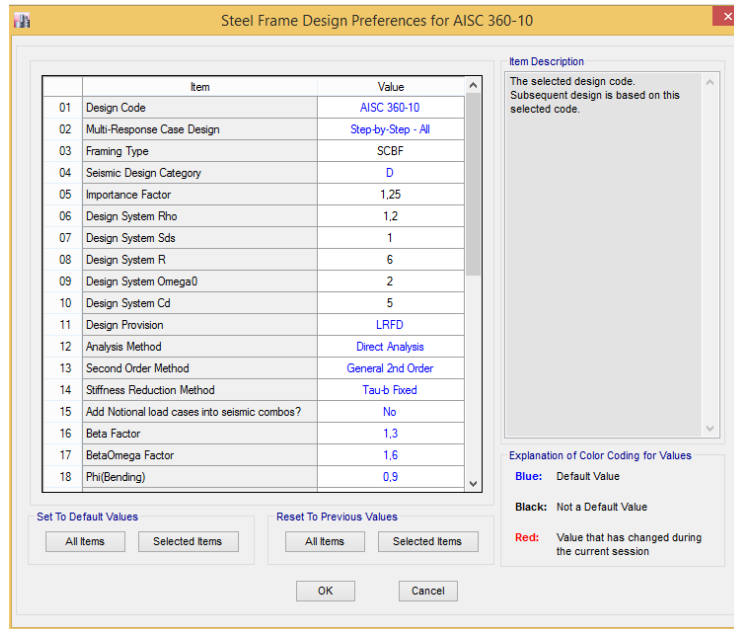
Se elaboró un modelo en el software de diseño Etabs V16. Primero, se procedió a definir la geometría del edificio y los perfiles y losa previamente revisados en excel. Posteriormente, se definieron los patrones de carga donde se incluyó carga viva, carga muerta, carga de viento, carga de sismo y cargas de construcción. Se asignó a la losa las cargas muertas y vivas definidas anteriormente. Se introdujo el sismo dinámico a través del espectro de respuesta. Adicional, se definieron los parámetros correspondientes al sistema estructural.

Figura 114. Definición de los patrones de carga en el software ETABS



Fuente: Elaboración propia

Figura 115. Cambio de parámetros según el sistema estructural



Fuente: Elaboración propia

10. Corrección del sismo dinámico

La corrección del sismo dinámico se realizó según la sección 12.9.4 del código ASCE 7-10, donde establece que el sismo dinámico debe ser al menos un 85% del sismo estático.

Tabla 49. Corrección del sismo dinámico

X	Vestat,kips	0.85 Vest	Vd, kips	Factor	Vd, kips
X	431.86	367.079402	366.92	1.00	366.469
y	431.86	367.079402	366.92	1.00	366.715

Fuente: Elaboración propia

11. Chequeo de derivas y estabilidad

El chequeo de derivas y estabilidad se realizó en base a la sección 12.8.8 del mismo código empleado en sección anterior. Para el análisis, se utilizó el modelo realizado en ETABS.

Tabla 50. Chequeo de derivas y torsión en ambos ejes

Dirección X								
Nivel	hi, ft	Despl, in	δ , in	$\delta Cd / Ie$, in	$\Delta p = 0.015hi$, in	Rel Der		Torsión
4.00	10.00	0.260	0.06	0.24	1.80	0.13	OK	0.91667
	10.00	0.240	0.05	0.20	1.80	0.11		
3.00	10.00	0.200	0.06	0.24	1.80	0.13	OK	1.00000
	10.00	0.190	0.06	0.24	1.80	0.13		
2.00	10.00	0.140	0.07	0.30	1.80	0.16	OK	0.94595
	10.00	0.130	0.07	0.26	1.80	0.15		
1.00	10.00	0.066	0.07	0.26	1.80	0.15	OK	0.98485
	10.00	0.064	0.06	0.26	1.80	0.14		
Dirección Y								
4.00	10.00	0.410	0.12	0.48	1.80	0.27	OK	1.00000
		0.390	0.12	0.48	1.80	0.27		
3.00	10.00	0.290	0.10	0.40	1.80	0.22	OK	0.95000
		0.270	0.09	0.36	1.80	0.20		
2.00	10.00	0.190	0.11	0.44	1.80	0.24	OK	1.00000
		0.180	0.11	0.44	1.80	0.24		
1.00	10.00	0.080	0.08	0.32	1.80	0.18	OK	0.93750
		0.070	0.07	0.28	1.80	0.16		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 51. Chequeo de estabilidad

Dirección X					
hs, in	Δ , in	P, kips	V, kips	θ	$\theta < 0.1$
120.00	0.26	479.14755	196.87	0.000272	OK
120.00	0.20	1140.1578	358.07	0.000159	OK
120.00	0.14	1801.168	466.03	0.000085	OK
120.00	0.07	2462.1782	518.23	0.000036	OK
Dirección Y					
hs, in	Δ , in	P, kips	V, kips	θ	$\theta < 0.1$
120.00	0.41	479.14755	196.87	0.002079	OK
120.00	0.29	1140.1578	358.07	0.001115	OK
120.00	0.19	1801.168	466.03	0.000561	OK
120.00	0.08	2462.1782	518.23	0.000213	OK

Fuente: Elaboración propia

12. Diseño de conexiones

a. Conexiones gravitacionales

Todas las conexiones gravitacionales se diseñaron a corte, es decir no transmiten momento. Para revisar las conexiones viga-viga (C-1) se utilizó la sección J3-10 y J4-3 el código AISC 360-16 mientras que para las conexiones viga-columna (C-2) se utilizó la tabla 10-1 del manual AISC 13th Steel Construction Manual donde ya están tabulados los criterios del código AISC 360-16.

Tabla 52. Diseño de conexión C-1

Parámetro	Valor	Unidad
Viga ppal=	w16x31	
d=	15.90	in
bf=	5.53	in
k1=	0.75	in
tw=	0.28	in
Viga sec=	w16x31	
d=	15.90	in
T=	13.63	in
dc=	2.00	in
k=	0.84	in
tw=	0.275	in
CORTANTE DE DISEÑO		
Vu=	20.97	kips
Dimensiones de la conexión		
Lmin= d/2=	7.95	in
Lmax=d-k-dc=	13.06	in
Capacidad de los pernos		
N pernos=	3	
S=	3	in
Lev=	1.5	in
Long. Conexión	9	in
Lcon>Lmin?	OK	
Lcon<Lmax?	OK	
Tipo de pernos		
Material=	A325 N	
Diámetro=	0.75	in

Parámetro	Valor	Unidad
$F_{nv} =$	54	ksi
$A_b =$	0.44	in ²
$\phi R_n = F_{nv} A_b \phi$	17.89	kips
ϕ	0.75	
$C \phi R_n =$	35.61	kips
$C =$	1.99	
Relación D/C	0.59	
Comprobación	ok	
Revisión en el angular		
Material	A36	
$F_y =$	36	ksi
$F_u =$	58	ksi
$t =$	0.375	in
<i>Aplastamiento y ruptura en el angular</i>		
ϕR_n	79.52	kips
ϕ	0.75	
R_n	106.03	kips
Perno exterior		
R_n	27.73	kips
$2.4 d t F_u$	39.15	kips
d	0.75	in
t	0.38	in
F_u	58.00	ksi
$1.2 L_c t F_u$	27.73	kips
L_c	1.06	in
Pernos interiores		
$N R_n$	78.30	kips
Cantidad, N	2.00	
R_n	39.15	kips
$2.4 d t F_u$	39.15	kips
d	0.75	in
t	0.38	in
F_u	58.00	ksi
$1.2 L_c t F_u$	55.46	kips

Parámetro	Valor	Unidad
Lc	2.13	in
Relación D/C	0.26	
Comprobación	OK	
Ruptura del Bloque de Corte		
ϕR_n	62.89	kips
ϕ	0.75	
Rn	83.86	kips
0.6 Fu Anv + Fu Ant	92.44	
0.6 Fy Agv + Fu Ant	83.86	
Fy	36.00	ksi
Fu	58.00	ksi
Agv	2.81	in ²
Anv	1.99	in ²
Ant	0.40	in ²
Relación D/C	0.33	
Comprobación	OK	
Revisión en el alma de la viga		
Material	A992	
Fy=	50	ksi
Fu=	65	ksi
tw=	0.275	in
<i>Aplastamiento y ruptura en el alma de la viga</i>		
ϕR_n	65.36	kips
ϕ	0.75	
Rn	87.14	kips
Perno exterior		
Rn	22.79	kips
2.4 d t Fu	32.18	kips
1.2 Lc t Fu	22.79	kips
Pernos interiores		
N Rn	64.35	kips
Cantidad, N	2.00	
Rn	32.18	kips
2.4 d t Fu	32.18	kips

Parámetro	Valor	Unidad
1.2 Lc t Fu	45.58	kips
Lc	2.13	in
Relación D/C	0.32	
Comprobación	OK	
Ruptura del Bloque de Corte		
ϕR_n	59.49	kips
ϕ	0.75	
Rn	79.32	kips
0.6 Fu Anv + Fu Ant	79.32	
0.6 Fy Agv + Fu Ant	80.87	
Relación D/C	0.35	
Comprobación	OK	
Despatinado de la viga		
<i>Momento en la sección crítica</i>		
Mu = Ru e	68.47	kip-in
Ru	20.97	kips
$e = bf / 2 + 1/2 =$	3.27	in
bf	5.53	in
<i>Capacidad de la sección en el despatinado</i>		
Fcr Snet	598.50	kip - in
ϕ	0.90	
Snet	13.30	in ³
Fcr=	50.00	
Fcr	112.73	ksi
ho = d - dc	13.90	in
f =	0.35	
c	2.77	in
c/d	0.17	
Si c/d <= 1, f= 2c/d	0.35	
Si c/*d > 1, f=1+c/d	1.17	
k=	31.59	
c/h0	0.20	
Si c/h0 <= 1, k= $2.2(h0/c)^{1.65}$	31.59	

Parámetro	Valor	Unidad
Si $c/h_0 > 1$, $k=2.2 * h_0/c$	11.06	
Relación D/C	0.11	
Chequeo	OK	
Revisión del alma de la viga de soporte		
Material	A992	
Fy=	50	ksi
Fu=	65	ksi
tw=	0.28	in
<i>Aplastamiento y ruptura en la placa</i>		
ϕR_n	98.72	kips
ϕ	0.75	
Rn	96.53	kips
Perno exterior		
Rn	0.00	kips
$2.4 d t F_u$	32.18	kips
d	0.75	in
t	0.28	in
Fu	65.00	ksi
Pernos interiores		
N Rn	96.53	kips
Cantidad, N	3.00	
Rn	32.18	kips
$2.4 d t F_u$	32.18	kips
d	0.75	in
t	0.28	in
Fu	65.00	ksi
$1.2 L_c t F_u$	45.58	kips
Lc	2.13	in
Relación D/C	0.21	
Comprobación	OK	

Fuente: Elaboración propia

b. Conexiones de los marcos de resistencia lateral

Dichas conexiones se diseñaron para transmitir momento. Para predimensionar y revisar las conexiones de los marcos (C-3) se utilizó la sección J2-4, J3-10 y J4-3 del código AISC 360-16.

Tabla 53. Valores tabulados para la resistencia de la soldadura según su espesor

TAMAÑO		RESISTENCIA ϕR_n (Kg/cm)		
(plg)	(mm)	E60XX	E70XX	E90XX
1/8	3	403	470	603
3/16	5	672	783	1006
1/4	6	806	940	1207
5/16	8	1075	1253	1609
3/8	9	1209	1409	1810
1/2	13	1746	2036	2615
5/8	16	2149	2506	3218

Fuente: (Crisafulli, 2012)

Tabla 54. Diseño de conexión típica viga-columna para los marcos embreizados

Dimensiones de la conexión			Capacidad de la soldadura		
$L_{min}=d/2=$	8.95	in	E90XX		
$L_{max}=T$	15.50	in	ϕR_n	67.50	kips
$V_u=$	64.78	kips	ϕR_n	6.75	kips/in
			t soldadura=	0.25	in
			L=	5	in
Capacidad de los pernos			Relación D/C	0.92	
N pernos=	3		Comprobación	ok	
S=	3	in			
Lev=	1.5	in	Capacidad del metal base		
Long. Conexión	9	in	E90XX		
$L_{con}>L_{min}?$	OK		ϕR_n	145.80	kips/in
$L_{con}<L_{max}?$	OK		t soldadura=	0.25	in
			L=	15	in
			$f_y=$	36	ksi
Tipo de pernos			Relación D/C	0.44	
Material=	A325 N		Comprobación	ok	
Diámetro=	0.75	in			

Dimensiones de la conexión				Capacidad de la soldadura		
F _{nv} =	54	ksi		Resistencia de la placa		
Ab=	0.44	in ²		M=	92.63	kip-ft
φR _n = F _{nv} Ab φ	17.89	kips		P=	62.10	kips
φ	0.75			F _{nv} =	54	ksi
N φR _n =	107.35	kips		Ab=	0.44	in ²
N=	3			φR _n =2 x F _{nv} Ab φ	35.78	kips
Relación D/C	0.60			φ	0.75	
Comprobación	ok			N, pernos	3	
Revisión en la placa a corte				Revisión en la placa a momento		
Material	A36			Material	A36	
F _y =	36	ksi		F _y =	36	ksi
F _u =	58	ksi		F _u =	58	ksi
t=	0.5	in		t=	0.5	in
<i>Aplastamiento y ruptura en el angular</i>				<i>Aplastamiento y ruptura en el angular</i>		
φR _n	117.45	kips		φR _n	234.90	kips
φ	0.75			φ	0.75	
R _n	156.60	kips		R _n	156.60	kips
Perno exterior				Perno exterior		
R_n	0.00	kips		R_n	0.00	kips
2.4 d t F _u	52.20	kips		2.4 d t F _u	52.20	kips
1.2 L _c t F _u	36.98	kips		1.2 L _c t F _u	-15.23	kips
L _c	1.06	in		L _c	-0.44	in
Pernos interiores				Pernos interiores		
N R_n	156.60	kips		N R_n	156.60	kips
Cantidad, N	3.00			Cantidad, N	3.00	
R _n	52.20	kips		R _n	52.20	kips
2.4 d t F _u	52.20	kips		2.4 d t F _u	52.20	kips
1.2 L _c t F _u	73.95	kips		1.2 L _c t F _u	126.15	kips
L _c	2.13	in		L _c	3.63	in
Relación D/C	0.55			Relación D/C	0.28	
Comprobación	ok			Comprobación	ok	
Ruptura del Bloque de Corte				Ruptura del Bloque de Corte		
φR _n	83.86	kips		φR _n	305.87	kips
φ	0.75			φ	0.75	
R _n	111.81	kips		R _n	203.91	kips

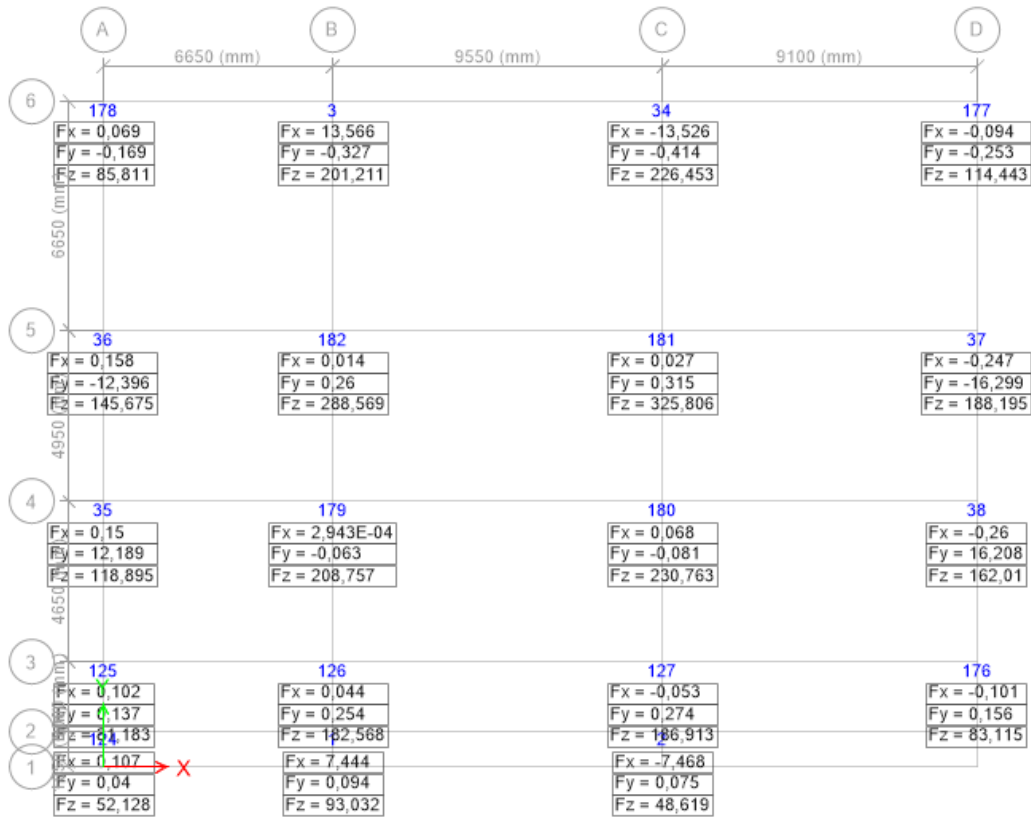
Dimensiones de la conexión			Capacidad de la soldadura		
0.6 Fu Anv + Fu Ant	123.25		0.6 Fu Anv + Fu Ant	245.05	
0.6 Fy Agv + Fu Ant	111.81		0.6 Fy Agv + Fu Ant	203.91	
Relación D/C	0.77		Relación D/C	0.21	
Comprobación	ok		Comprobación	ok	
Capacidad de la soldadura en placa a corte					
E90XX					
ϕR_n	75.02	kips			
ϕR_n	6.82	kips/in			
t soldadura=	0.31	in			
L=	5.5	in			
Relación D/C	0.86				
Comprobación	ok				
Capacidad del metal base en placa corte					
E90XX					
ϕR_n	180.79	kips/in			
t soldadura=	0.31	in			
L=	15	in			
fy=	36	ksi			
Relación D/C	0.36				
Comprobación	ok				

Fuente: Elaboración propia

13. Predimensionamiento de zapatas

El predimensionamiento de la zapata se realizó utilizando el capítulo 13 del código ACI 318-14. Según estudio de suelos presentado, la capacidad del suelo de 2 kip/ft². Se utilizaron las reacciones obtenidas del modelo de ETABS en los apoyos 181 y 37 (ver ilustración No. 23), las cuales eran las más críticas. En los apoyos donde llegaban columnas del sistema de resistencia lateral, también se generaba una fuerza de arranque por lo que se tomó en consideración para definir el acero en la zapata.

Figura 116. Reacciones en los apoyos obtenidas del modelo de ETABS



Fuente: Elaboración propia

Tabla 55. Diseño de zapatas

Parámetro	Valor	Unidad
CARGAS EN NUDO 181		
PD=	232.00	kips
PL=	95.40	kips
Eq=	0.00	kips
Combinaciones de carga		
1.4D+1.2EQ+L	420.197	kips
1.4D	324.80	kip
1.2D+1.6L	431.04	kips
Pu=	431.04	kips
z=	78.72	in
qa=	2.00	kip/ft2
FS=	3.00	

Parámetro	Valor	Unidad
Yc=	0.15	kip/ft3
Ys=	0.08	kip/ft3
Asumimos		
rec=	4.50	in
d=	19.50	in
hzapata=	24.00	in
hpedestal =	54.72	in
Qe=	1.33	kip/ft2
A=	246.89	ft2
Areal=	256.00	ft2
b=	16.00	ft
qu=	1.75	tonf/m2
a1=	18.00	in
a2=	18.00	in
b0=	150.00	in
β =	1.00	
α =	40.00	
fc	4000.00	psi
λ =	1.00	
qu=	1.68	kips/ft
Corte en dos direcciones		
Vu=	414.59	kips
Lcorte=	37.50	in
d1=	14.57	in
d2=	0.00	in
d3=	8.09	in
d=	14.57	in
Corte en una dirección		
Vu=	151.54	kips
Lcort=	5.63	ft
d=	8.32	in
Chequeo	CHEQUEO POR CORTE EN UNA DIRECCIÓN ES CORRECTO	

Parámetro	Valor	Unidad
Flexión		
M=	734.13	kip-ft
Lmomento=	7.25	ft
$M_u/\phi b d^2$ =	134.07	
ρ =	0.00225	
ρ_{min} =	0.00333	
ρ =	0.00333	
As	12.36	in ²
10 Varillas No. 10		

Fuente: Elaboración propia

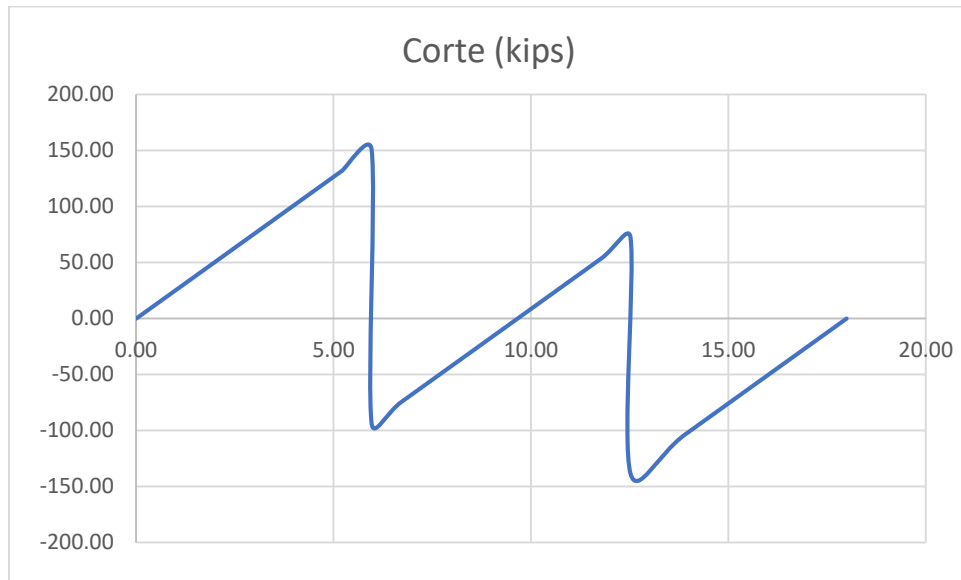
Tabla 56. Diseño de zapata combinada

Parámetro	Valor	Unidad		Parámetro	Valor	Unidad
DL1=	66.42	kips		Pu1=	-129.70	kips
PL2=	22.75	kips				
EQ=	172.45	kips		As=	2.40	in ²
NODO 127		kips		fy=	60.00	ksi
DL2=	133.51	kips		ϕ	0.90	
PL2=	52.68	kips				
EQ=	0.00	kps		Asmin=	14.00	in ²
				Asmin=	13.12	in ²
Pu1=	244.50	kips		As=	14.00	in ²
Pu2=	210.93	kips				
z=	78.72	in		14 varillas No 9 en ambas direcciones		
qa=	2.00	kip/ft ²				
FS=	3.00					
Yc=	0.15	kip/ft ³				
Ys=	0.08	kip/ft ³				
Asumimos						
rec=	3.50	in				
d=	20.50	in				
hzapata=	24.00	in				
hpedestal =	54.72	in				

Parámetro	Valor	Unidad		Parámetro	Valor	Unidad
Qe=	1.63	kip/ft ²				
A=	275.39	ft ²				
Ubicación de la resultante						
x=	32.73	in				
Ltotal=	208.50	in				
Ltotal=	18.00	ft				
Ancho	16.00	ft				
Diseño de la resistencia en dirección longitudinal						
Qu=	25.30	kip/ft				
Mu/φ _{bd2}	74.39					
Mu=	450.166286	kip-ft				
ρ=	0.00180					
ρ _{min} =	0.00333					
ρ=	0.00333					
As	13.12	in ²				
14 varillas No 9 en ambas direcciones						
Diseño de cortante en una dirección						
Vu=	107.71	kips				
φ _{vc} =	373.40	kips				
Relación D/C	0.29	kips				
Comprobación	OK					
Diseño de cortante en una dirección						
Vu=	107.71	kips				
bo=	113.00	in				
φ _{vc} =	439.52	kips				
Relación D/C	0.25	kips				
Comprobación	OK					

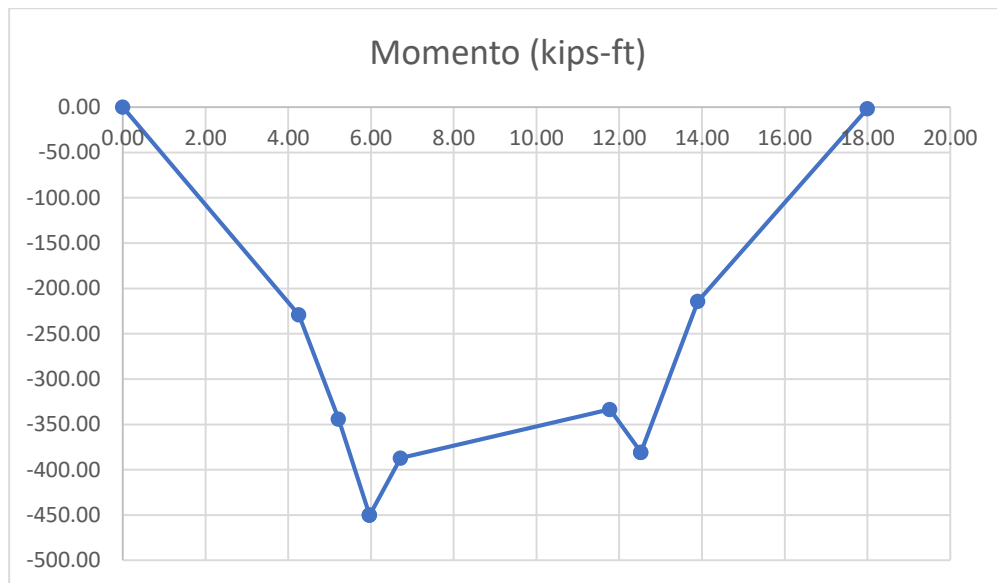
Fuente: Elaboración propia

Figura 117. Diagrama de corte de zapata combinada



Fuente: Elaboración propia

Figura 118. Diagrama de momento de zapata combinada



Fuente: Elaboración propia

El pedestal de la zapata se revisó bajo el criterio de carga axial de la sección 24.4.2.2 del código ACI 318-14.

Tabla 57. Chequeo por aplastamiento del pastel de las columnas

Parámetro	Valor	Unidad
ϕP_n =	719.992	kips
ϕ =	0.65	
A_g =	324	in ²
b =	18.00	in
A_{st} =	5	in ²
f_y =	60000	psi
f_c	4000	psi
P_u =	431.04	kps
D/C	0.60	
Chequeo=	OK	
4 varillas No. 10		
Diseño de los estribos		
Estribos	No. 3	
db =	0.375	in
$48db$ =	18	in
16db longitudinal	18	in
Menor d columna=	18.00	in
S_{min}	18	in
Chequeo de requisitos		
A_{min} =	3.24	in ²
A_{max} =	25.92	in ²
No de Varillas min	4	
Tamaño min del estribo	No. 3	

Fuente: Elaboración propia

14. Cálculo de la huella de carbono

El cálculo de la huella de carbono se realizó mediante la herramienta de Environment Agency tomando en cuenta los perfiles de acero, el concreto de la losa, zapatas y vigas de cimentación, pernos, fachada de Aluzinc y madera de construcción.

15. Costo de la estructura

El costo es un estimado del sistema estructural de la edificación incluyendo instalación, fachada, material estructural y mano de obra. No se toma en cuenta gastos indirectos, acabados y gastos preliminares.

Tabla 58. Costo de la estructura en acero

Elemento		Precio total
Acero de refuerzo no .9	Q	247,499.78
Viga de cimentación	Q	230,547.74
Zapata combinada	Q	16,952.04
Acero de refuerzo no. 10	Q	105,270.12
Pedestal	Q	8,176.32
Zapata de 15 x 15	Q	61,322.40
Zapata de 16x16	Q	35,771.40
Acero de refuerzo no. 3	Q	39,642.24
Losaacero	Q	39,333.40
Pedestal	Q	308.84
Acero de refuerzo no. 4	Q	16,971.29
Viga de cimentación	Q	16,971.29
Angular de 4 x 4 x 3/8	Q	18,052.10
Conexiones	Q	18,052.10
Fachadas	Q	492,160.00
Fachada hunter douglas	Q	123,040.00
Losacero	Q	22,466.88
Losaacero	Q	22,466.88
Pasadores de corte	Q	47,638.15
Losaacero	Q	47,638.15
Perfil de acero	Q	754,051.44
Hss round: hss5.5x.375	Q	5,182.27
Hss round: hss5.5x.500	Q	12,535.29
Hss round: hss5x.312	Q	2,736.36
Hss round: hss6.625x.500	Q	13,506.02
Hss round: hss6x.500	Q	12,512.36
W shapes: W12x14	Q	6,581.03
W shapes: W12x19	Q	8,866.43
W shapes: W12x30	Q	31,024.85
W shapes: W14x22	Q	16,112.44

Elemento		Precio total
W shapes: W14x30	Q	3,118.54
W shapes: W16x31	Q	332,139.43
W shapes: W18x35	Q	138,362.13
W shapes: W18x40	Q	121,309.54
W shapes: W21x50	Q	29,656.67
W shapes: W21x55	Q	20,408.07
Pernos de 1"	Q	24,576.00
Conexiones	Q	24,576.00
Pernos de 3/4"	Q	152,144.00
Conexiones		
Conexiones	Q	152,144.00
Concreto 3000	Q	186,896.00
Losa acero	Q	186,896.00
Madera de construcción	Q	42,915.24
Formaleta	Q	42,915.24
Placa de 9 in x 4	Q	57.75
Conexiones	Q	57.75
Placa de 5.5 x 9	Q	127.06
Conexiones	Q	127.06
Estructura metálica	Q	582,371.70
Instalación	Q	582,371.70
Concreto 3000 (incluye colocación)	Q	72,876.80
Losa acero	Q	72,876.80
Concreto 4000 (incluye colocación)	Q	644,047.04
Pedestal	Q	4,335.22
Viga de cimentación	Q	352,846.23
Zapata combinada	Q	78,119.04
Zapata de 16x16	Q	208,746.55
Armado	Q	224,021.20
Viga de cimentación	Q	13,328.00
Zapatillas	Q	12,350.00
Losa	Q	198,343.20
Total general	Q	3,595,388.16

Fuente: Elaboración propia

B. Diseño estructural en CLT

1. Propiedades de la madera

El tipo de madera considerado para el diseño fue la C18 del manual BS EN 338:2003. Se decidió utilizar este tipo de madera ya que a partir de pruebas de laboratorio se ha determinado que el pino de Guatemala se puede clasificar fácilmente como una C18 o mayor.

Tabla 59. Propiedades de la madera C18

Propiedades mecánicas		
fb	18.00	Mpa
Fv	2.00	MPa
FvR	1.77	MPa
ρmad	380.00	kg/m ³
Gs	0.38	
<u>Datos de paneles</u>		
Espesor pegamento	2.50	mm
-		
<u>Capas paralelas</u>		
E	9.00	Gpa
ncapas	2.00	
F'c	18.00	Mpa
t	3.00	cm
lpar		cm
G	0.56	GPa
<u>Capas perpendiculares</u>		
E	0.30	Gpa
ncapas	1.00	
F'c	2.20	Mpa
t	3.00	cm
lper	1.22	m
G	0.06	Gpa

Fuente: Elaboración propia

2. Integración de cargas

Para la integración de cargas se hizo uso de las cargas del ASCE 7-10 Minimum Design Loads For Buildings and Other Structures. Cabe mencionar que las cargas mencionadas de impermeabilización se deben al tratamiento que se le debe dar a la madera antes mencionado.

Tabla 60. Integración de cargas

Entrepiso		
CM	16.51	psf
Peso propio	7.01	Psf
Instalaciones	4.00	psf
Impermeabilización	5.50	psf
CV	55.00	psf
Tabicaciones	15.00	psf
Carga viva residencia	40.00	psf
Combinaciones LRFD		
1.4CM	23.11	psf
1.2CM+CV	74.81	psf
1.2CM+1.6CV	107.81	psf
CU	107.81	psf
Techo		
CM	16.51	psf
Peso propio	7.01	psf
Impermeabilización	5.50	psf
Instalaciones	4.00	psf
CV	20.00	psf
Combinaciones LRFD		
1.4CM	23.11	psf
1.2CM+CV	39.81	psf
1.2CM+1.6CV	51.81	psf
CU	51.81	psf

Fuente: Elaboración propia

3. Diseño de losa de entrepiso

Para el diseño de las losas se chequeo que satisficiera las solicitudes de flexión, corte y servicio.

Tabla 61. Datos de panel y efectos máximo en losa de entrepiso

Datos paneles		
largo	6.71	m
ancho	1.22	m
Efectos máximos		
Luz libre	6.71	m
Atrib	1.22	m
Wu	431.23	lb/ft
Mu	26.12	kip-ft
Vu	4.75	kip

Fuente: Elaboración propia

Tabla 62. Diseño a flexión losa de entrepiso

Flexión		
Seff	0.01	m3
Factores de ajuste		
<i>Humedad</i>		
Cmflex	0.80	
CMEI	0.83	
CMv	0.88	
<i>Factor kf</i>		
<i>Kfflex</i>	1.00	
KFv	1.00	
<i>Factor tiempo</i>	0.80	
Factor de resistencia		
ϕ_{flex}	0.85	
ϕ_v	0.75	

Momento resistente		
$M_n = \phi \lambda S_{eff} F_b K_{flex}$	110876.04	N m
ϕ	0.85	
S_{eff}	0.01	m ³
λ	0.80	
F_b	18000000.00	Pa
<i>Chequeo</i>		
M_u	35419.27	N- m
D/C	32%	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 63. Diseño a corte losa de entrepiso

Corte		
V_{rl} =	1231405.61	N
F_v	2000000.00	Pa
ϕ	0.75	
E_{ieff}	3537344.25	Pa*m ⁴
b	1.22	m
E_Q	5253423.49	
V_{rR}	1535549.58	N
F_{vR}	1770000.00	Pa
ϕ	0.75	
E_{ieff}	3537344.25	Pa*m ⁴
b	1.22	m
V_r = min(V_{rL}, V_{rR})	1231405.61	N
Chequeo		
V_u	21114.22	N
D/C	1.71%	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 64. Chequeo por servicio losa de entrepiso

Deflexion		
GAeff	1.50E+06	N
Eiapp	3361816.23	Pa*m4
Eleff	3537344.25	Pa*m4
Ks	1.00	
L	6.71	m
$\delta_{panel} = 5/384 wL^4 / Eiapp$	0.0010	m
W	121.03	N/m
L	6.71	m
$\delta_{adm} = L/360$	0.0186	m
L	6.71	m
Chequeo		
D/C	5%	

Fuente: Elaboración propia

4. Diseño de losa de techo

Para el diseño de las losas se chequeo que satisficiera las solicitudes de flexión, corte y servicio.

Tabla 65. Datos de paneles y efectos máximos para losa de techo

Datos paneles		
largo	6.71	m
ancho	1.2192	m
Efectos máximos		
Luz libre	6.71	m
Atrib	1.22	m
Wu	207.23	lb/ft
Mu	12.55	kip-ft
Vu	2.28	kip

Fuente: Elaboración propia

Tabla 66. Diseño por flexión losa de techo

Flexión		
Seff	0.01	m3
Factores de ajuste		
<i>Humedad</i>		
Cmflex	0.80	
CMEI	0.83	
CMv	0.88	
<i>Factor kf</i>		
<i>Kfflex</i>	1.00	
KFv	1.00	
<i>Factor tiempo</i>	0.80	
Factor de resistencia		
ϕ flex	0.85	
ϕ v	0.75	
Momento resistente		
$M_n = \phi \lambda \text{ Seff } F_b \text{ Kfflex}$	110876.04	N m
ϕ	0.85	
Seff	0.01	m3
λ	0.80	
Fb	18000000.00	Pa
Chequeo		
Mu	17021.10	N- m
D/C	15%	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 67. Diseño por corte losa de techo

Corte		
VrL =	1231405.61	N
Fv	2000000.00	Pa
φ	0.75	
Eieff	3537344.25	Pa*m4
b	1.22	m
EQ	5253423.49	
VrR	1535549.58	N
FvR	1770000.00	Pa
φ	0.75	
Eieff	3537344.25	Pa*m4
b	1.22	m
Vr = min(VrL, VrR)	1231405.61	N
Chequeo		
Vu	10146.66	N
D/C	1%	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 68. Chequeo por servicio losa de techo

Deflexion		
GAeff	1.50E+06	N
Eiapp	3361816.23	Pa*m4
Eieff	3537344.25	Pa*m4
Ks	1.00	
L	6.71	m
$\delta_{panel} = 5/384 wL^4 / Eiapp$	0.0007	m
W	86.03	N/m
L	6.71	m
$\delta_{adm} = L/360$	0.0186	m
L	6.71	m
Chequeo		
D/C	4%	

Fuente: Elaboración propia

5. Diseño de muro crítico nivel 4

Para el diseño de los muros se chequeo que el muro cumpliera con los criterios de corte y pandeo.

Tabla 69. Datos de panel y factores de corrección muro N4

Datos del panel		
h nivel	2.85	m
Factores de ajuste		
<i>Humedad</i>		
CMc	0.73	
CMEI	0.83	
<i>Factor kf</i>		
<i>Kfc</i>	1.00	
KFEI	1.00	
<i>Factor tiempo</i>	0.80	
Factor de resistencia		
ϕ_c	0.90	
ϕ_{EI}	0.85	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 70. Diseño a corte muro N4

Efectos máximos			
Pu		147540.55	N
	Cu	3781.15	N/m ²
	Atrib	39.02	m ²
	L pared	5.93	m
F'c Ap		1617796.80	N
	F'c CMc Kfc λ ϕ_c	9460800.00	Pa
	Ap	0.17	m ² /m
D/C		9.12%	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 71. Diseño a pandeo muro N4

Pandeo de Euler		
PcE	1154832.79	N
le	2.85	m
Eiappmin KFEI CMEI φEI	950405.81	Pa- m4
Eiapp	2589286.82	Pa- m4
ks	2.00	
Eieff	1060457568.75	Pa- m4
Gaeff	639119.60	N
L	2.85	m
Factor de estabilidad de la columna		
CP	0.6154	
$(1+(PcE/P*c)/2c$	0.95	
PcE	1154832.79	N
P*C	1617796.80	N
c	0.90	
$(PcE/P*c)/c$	0.79	
Chequeo de pandeo		
D/C = (Pp/f'c Ap Cp)	14.82%	

Fuente: Elaboración propia

6. Diseño muro crítico nivel 3

Para el diseño de los muros se chequeo que el muro cumpliera con los criterios de corte y pandeo.

Tabla 72. Datos de panel y factores de ajuste muro N3

Datos panel		
h nivel	2.85	m
Factores de ajuste		
<i>Humedad</i>		
CMc	0.73	
CMEI	0.83	
<i>Factor kf</i>		
<i>Kfc</i>	1.00	
KFEI	1.00	
<i>Factor tiempo</i>	0.80	
Factor de resistencia		
ϕ_c	0.90	
ϕ_{EI}	0.85	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 73. Diseño por corte muro N3

Corte		
Pu=Pu3+Pu4	348957.90	N
Pu4	147540.55	N/m
Cu	5161.90	N/m ²
Atrib	39.02	m ²
L pared	5.93	m
F'c Ap	1617796.80	N
F'c CMc Kfc λ ϕ_c	9460800.00	Pa
Fcpar	18000000.00	Pa
Ap	0.17	m ² /m
D/C	21.57%	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 74. Diseño a pandeo muro N3

Pandeo de Euler		
PcE	1921593.39	N
le	2.85	m
Eiappmin KFEI CMEI φEI	1581435.45	Pa- m4
Eiapp	4308464.81	Pa- m4
ks	1.20	
Eieff	1060457568.75	Pa- m4
Gaeff	639119.60	N
L	2.85	m
Factor de estabilidad de la columna		
CP	0.8185	
$(1+(PcE/P*c)/2c$	1.22	
PcE	1921593.39	N
P*C	1617796.80	N
c	0.90	
$(PcE/P*c)/c$	1.32	
Chequeo de pandeo		
D/C = (Pp/f'c Ap Cp)	26.35%	

Fuente: Elaboración propia

7. Diseño muro crítico nivel 2

Para el diseño de los muros se chequeo que el muro cumpliera con los criterios de corte y pandeo.

Tabla 75. Datos panel y factores de ajuste N2

Datos panel		
h nivel	2.85	m
Factores de ajuste		
<i>Humedad</i>		
CMc	0.73	
CMEI	0.83	
<i>Factor kf</i>		
<i>Kfc</i>	1.00	
KFEI	1.00	
<i>Factor tiempo</i>	0.80	
Factor de resistencia		
φ_c	0.90	
φ_{EI}	0.85	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 76. Diseño por corte muro N2

Efectos máximos		
Pu = Pu+Pu4+Pu3	550375.25	N
Pu4+Pu3	348957.90	N/m
Cu	5161.90	N/m ²
Atrib	39.02	m ²
L pared	5.93	m
F'c Ap	1617796.80	N
F'c CMc Kfc λ φ_c	9460800.00	Pa
Fcpar	18000000.00	Pa
Ap	0.17	m ² /m
D/C	34.02%	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 77. Diseño por pandeo muro N2

Pandeo de Euler		
PcE	1921593.39	N
le	2.85	m
Eiappmin KFEI CMEI φEI	1581435.45	Pa- m4
Eiapp	4308464.81	Pa- m4
ks	1.20	
Eieff	1060457568.75	Pa- m4
Gaeff	639119.60	N
L	2.85	m
Factor de estabilidad de la columna		
CP	0.8185	
$(1+(PcE/P*c))/2c$	1.22	
PcE	1921593.39	N
P*C	1617796.80	N
c	0.90	
$(PcE/P*c)/c$	1.32	
Chequeo de pandeo		
D/C = (Pp/f'c Ap Cp)	41.56%	

Fuente: Elaboración propia

8. Diseño de muro crítico en nivel 1

Tabla 78. Datos de panel y factores de ajuste muro N1

Datos de panel		
h nivel	2.85	m
Factores de ajuste		
<i>Humedad</i>		
CMc	0.73	
CMEI	0.83	
<i>Factor kf</i>		
<i>Kfc</i>	1.00	
KFEI	1.00	
<i>Factor tiempo</i>	0.80	
Factor de resistencia		
φ_c	0.90	
φ_{EI}	0.85	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 79. Diseño por corte muro N1

Efectos máximos		
Pu = Pu+Pu4+Pu3+p2	751792.60	N
Pu4+Pu3+pu2	550375.25	N/m
Cu	5161.90	N/m ²
Atrib	39.02	m ²
L pared	5.93	m
F'c Ap	1617796.80	N
F'c CMc Kfc λ φ_c	9460800.00	Pa
Fcpar	18000000.00	Pa
Ap	0.17	m ² /m
D/C	46.47%	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 80. Diseño por pandeo muro N1

Pandeo de Euler		
PcE	1921593.39	N
le	2.85	m
Eiappmin KFEI CMEI φEI	1581435.45	Pa- m4
Eiapp	4308464.81	Pa- m4
ks	1.20	
Eieff	1060457568.75	Pa- m4
Gaeff	639119.60	N
L	2.85	m
Factor de estabilidad de la columna		
CP	0.8185	
$(1+(PcE/P*c))/2c$	1.22	
PcE	1921593.39	N
P*C	1617796.80	N
c	0.90	
$(PcE/P*c)/c$	1.32	
Chequeo de pandeo		
D/C = (Pp/f'c Ap Cp)	56.77%	

Fuente: Elaboración propia

9. Diseño de dinteles

Para el diseño de los dinteles se consideraron los efectos a flexión, así como deflexiones.

Tabla 81. Datos y efectos máximos dintel

Datos dinteles		
Planta:	ENTREPISO	
largo	1.60	m
htot	0.09	m
H	0.50	m
Efectos máximos		
Luz libre	1.60	m
Atrib	5.24	m

Efectos máximos		
Wu	1853.40	lb/ft
Mu	6.38	kip-ft
Vu	4.86	kip

Fuente: Elaboración propia

Tabla 82. Factores de ajuste para dinteles

Factores de ajuste		
<i>Humedad</i>		
Cmflex	0.80	
CMEI	0.83	
CMv	0.88	
<i>Factor kf</i>		
<i>Kfflex</i>	1.00	
KFv	1.00	
<i>Factor tiempo</i>	0.80	
Factor de resistencia		
ϕ_{flex}	0.85	
ϕ_v	0.75	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 83. Diseño por flexión dinteles

Flexión		
Mr	14450.00	N-m
ϕ	0.85	
Fb,eff	5666666.67	Pa
Sgross	0.0038	m ³
htot	0.09	m
H	0.50	m
Chequeo		
Mu	8655.47	N-m
Mr	14450.00	N-m
D/C	60%	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 84. Chequeo deflexiones en dinteles

Deflexiones		
$\delta_{panel} = 5/384 wL^4 / E_{iapp}$	0.0002	m
W	520.17	N/m
L	1.60	m
E	300000000.00	Pa
I	0.00	m ⁴
$\delta_{adm} = L/400$	0.0040	m
L	1.60	m
Chequeo		
D/C	3.95%	

Fuente: Elaboración propia

10. Análisis sísmico

Tabla 85. Análisis sísmico 1

NSE 2			
	Ubicación	Fraijanes	
4.5.1	Anexo A		
	Io	4.20	Índice de sismicidad
	Scr	1.50	g
	S1r	0.55	g
	Clase de obra	Ordinaria	
4.20	Tabla 4.2.2		
	Nivel de protección sísmica	D	
	Probabilidad de excedencia	10.00	% en 50 años
4.5.2	Ajuste por clase de sitio		
	Tabla A-1		
	Clase de sitio	D	
	Tabla 4.5.1		
	Fa	1.00	
	Fv	1.70	
4.5.3			

Intensidades sísmicas especiales			
	Tabla 4.6.2.2		
	Na	1.00	
	Tabla 4.6.2.3		
	Nv	1.00	
	Parametros del Espectro		
	Scs =Scr*Fa*Na	1.50	g
	S1s =S1r*Fv*Nv	0.94	g
4.5.5			
	Kd	0.66	
4.5.5 (c)			
	Scd = Kd Scs	0.99	g
	S1d = kd S1s	0.62	g
4.5.4			
	Ts = S1s/Scs	0.62	s
	To =0.2 Ts	0.12	s
NSE 3			
	Tabla 1-1		
	Sis. Estructural	E2	MUROSESTRUCTURALES DE MADERA
	R	6.50	
	Ωr	3.00	
	Cd	4.00	
	ρ	1.20	
2.1.4.1			
	hn	11.40	m
	K_T	0.05	
	x	0.75	
2.1.6	Ta = Kt hn ^x	0.30	s
2.1.9	1.4 Ta(Tmax)	0.424	s
	Sa	0.990	g
	Cs = (Sa/r)	0.152	
	Cs min1 = 0.044 Scd	0.044	2-2a
	Cs min2 = 0.75 Kd S1r/R	0.042	2-2b
	Ws = M + 0.25V	342.70	Ton
	Vs = Ws Cs	52.20	Ton

Fuente: Elaboración propia

Tabla 86. Análisis sísmico 2

Dirección	Cs	Ws, kgf	V, tonf		Σ EQ	e, m
X	0.15	342.70	52.20	1.20	62.6358584	1.50
Y	0.15	342.70	52.20	1.20	62.6358584	1.22

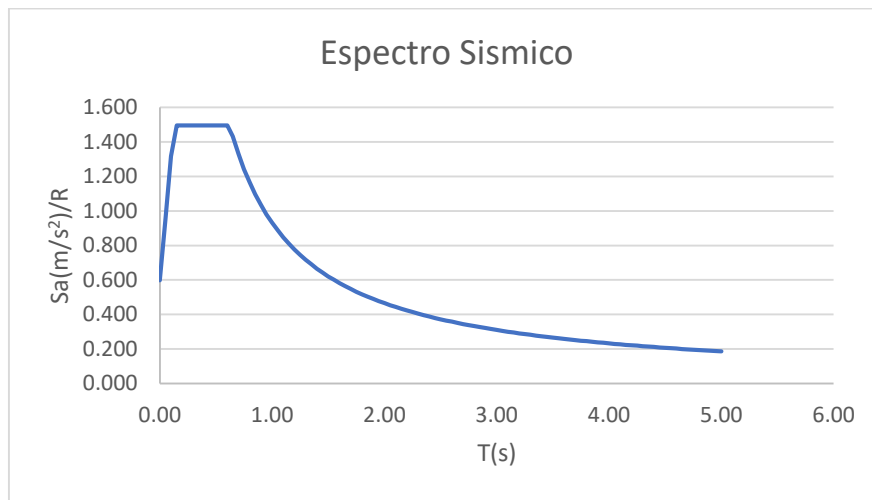
Fuente: Elaboración propia

Tabla 87. Corrección para corte y derivas

Corrección para corte		
fx = Vd/vl	1.00	
Cs(x) (Tx<1.4Ta)	0.009	
Csx	0.044	
Vex = Csx*Ws	14.93	Ton
V1x	20.40	Ton
Vdx	20.40	Ton
fy= Vd/vl	1.00	
Cs(y)(Tx<1.4Ta)	0.050	
Csy	0.050	
Vey= Csy*Ws	16.98	Ton
V1y	20.76	Ton
Vdy	20.76	Ton
Corrección para Derivas		
Fx	1.50	
Cs(x)d	0.105	
CsXd	0.105	
VeXd	35.95	Ton
V1x	20.40	Ton
Vdx	30.56	Ton
Fy	2.14	
CS(y)d	0.152	
CsYd	0.152	
VeYd	52.20	Ton
V1y	20.76	Ton
Vdy	44.37	Ton

Fuente: Elaboración propia

Figura 119. Espectro de respuesta



Fuente: Elaboración propia

11. Corte sísmico total en muros

Se calcularon los cortes sísmicos, considerando los efectos de la torsión para cada muro del edificio. Finalmente se tomaron los muros por nivel en donde este corte total era más crítico.

Tabla 88. Muros con corte sísmico crítico

Nivel	Muro	V, N
NIVEL 4	D2	13,229.35
NIVEL 3	D2	23,154.86
NIVEL 2	D2	29,771.86
NIVEL 1	D2	33,095.36

Fuente: Elaboración propia

Tabla 89. Corte sísmico total en muros

eje x			
Muro	V, tonf	Vt, tonf	vt, tonf
A1	0.85	0.96	1.80
B1	1.69	0.96	2.65
B2	0.98	0.96	1.94
B3	2.50	0.96	3.46
C1	0.89	0.96	1.84
D1	1.62	0.96	2.58

Muro	V, tonf	Vt, tonf	vt, tonf
D2	2.76	0.96	3.72
E1	0.68	0.96	1.64
F1	1.62	0.96	2.58
F2	1.62	0.96	2.58
G1	1.16	0.96	2.12
H1	0.97	0.96	1.93
H2	1.04	0.96	2.00
H3	1.04	0.96	2.00
H4	0.97	0.96	1.93
L1	0.97	0.96	1.93
L2	2.00	0.96	2.95
L3	1.69	0.96	2.65
L4	1.69	0.96	2.65
L5	2.00	0.96	2.95
L6	0.97	0.96	1.93
eje y			
Muro	V, tonf	Vt, tonf	vt, tonf
1.10	0.94	0.77	1.71
1.20	1.90	0.77	2.67
1.30	1.62	0.77	2.39
1.40	0.86	0.77	1.63
6.10	1.55	0.77	2.33
6.20	2.61	0.77	3.39
7.10	0.94	0.77	1.71
7.20	1.03	0.77	1.80
8.10	1.60	0.77	2.37
9.10	1.55	0.77	2.33
10.10	1.55	0.77	2.33
11.10	0.85	0.77	1.62
13.10	0.85	0.77	1.62
13.20	1.55	0.77	2.33
14.10	2.76	0.77	3.54
14.20	0.95	0.77	1.73
14.30	2.23	0.77	3.00
15.10	2.61	0.77	3.39
15.20	1.55	0.77	2.33
19.10	0.94	0.77	1.71
19.20	1.62	0.77	2.39
19.30	0.86	0.77470238	1.63

Fuente: Elaboración propia

12. Chequeo de muros a corte sísmico y gravitacional

Se chequearon los muros más críticos utilizando tanto los efectos gravitacionales como los sísmicos combinados para verificar la efectividad de los muros como sistema sismo resistente.

Tabla 90. Datos y factores de ajuste muro H4

Datos de muro		
<i>MURO</i>	H4	
h nivel	2.85	m
L pared	5.93	m
Atrib	39.02	m ²
Factores de ajuste		
<i>Humedad</i>		
CMc	0.73	
CMEI	0.83	
<i>Factor kf</i>		
<i>Kfc</i>	1.00	
KFEI	1.00	
<i>Factor tiempo</i>	0.80	
Factor de resistencia		
φ_c	0.90	
φ_{EI}	0.85	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 91. Chequeo a corte muro H4

Efectos maximos		
<i>Corte grav.</i>		
Vu	751,792.60	N
Pu4+Pu3	550,375.25	N/m
Cu	2,480.61	N/m2
Atrib	39.02	m2
L pared	5.93	m
Corte sismico		
V	17,156.75	N
F'c Ap	1,617,796.80	N
F'c CMc Kfc λ φc	9,460,800.00	Pa
Fcpar	18,000,000.00	Pa
Ap	0.17	m2
D/C	48%	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 92. Chequeo pandeo muro H4

Pandeo de Euler		
PcE	1,921,593.39	N
le	2.85	m
Eiappmin KFEI CMEI φEI	1,581,435.45	Pa-m4
Eiapp	4,308,464.81	Pa-m4
ks	1.20	
Eieff	1,060,457,568.75	Pa-m4
Gaeff	639,119.60	N
Factor de estabilidad de la columna		
CP	0.82	
(1+(PcE/P*c)/2c	1.22	
PcE	1,921,593.39	N
P*C	1,617,796.80	N
c	0.90	
(PcE/P*c)/c	1.32	
Chequeo de pandeo		
D/C = (Pp/f'c Ap Cp)	58.07%	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 93. Datos de muro y factores de ajuste muro D2

Datos de muro		
<i>MURO</i>	D2	
h nivel	2.85	m
L pared	2.08	m
Atrib	17.93	m ²
Factores de ajuste		
<i>Humedad</i>		
CMc	0.73	
CMEI	0.83	
<i>Factor kf</i>		
<i>Kfc</i>	1.00	
KFEI	1.00	
<i>Factor tiempo</i>	0.80	
Factor de resistencia		
ϕ_c	0.90	
ϕ_{EI}	0.85	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 94. Chequeo a corte muro D2

Efectos maximos		
<i>Corte grav.</i>		
Vu	177,879.27	N
Cu	2,480.61	N/m ²
Atrib	17.93	m ²
L pared	2.08	m
Corte sismico		
V	33,095.36	N
F'c Ap	1,180,707.84	N
F'c CMc Kfc λ ϕ_c	9,460,800.00	Pa
Fcpar	18,000,000.00	Pa
Ap	0.12	m ² /m
D/C	18%	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 95. Chequeo pandeo muro D2

Pandeo de Euler		
PcE	1,921,593.39	N
le	2.85	m
Eiappmin KFEI CMEI φEI	1,581,435.45	Pa-m4
Eiapp	4,308,464.81	Pa-m4
ks	1.20	
Eieff	1,060,457,568.75	Pa-m4
Gaeff	639,119.60	N
L	2.85	m
Factor de estabilidad de la columna		
CP	0.89	
$(1+(PcE/P*c))/2c$	1.46	
PcE	1,921,593.39	N
P*C	1,180,707.84	N
c	0.90	
$(PcE/P*c)/c$	1.81	
Chequeo de pandeo		
D/C = (Pp/f'c Ap Cp)	17%	

Fuente: Elaboración propia

13. Diseño de conexión panel de pared – panel de pared

Tabla 96. Datos de pernos utilizados conexión panel p-p

Pernos		
Diametro	0.38	in
L perno	3.00	in
E(Lpunta)	0.22	in
Dr	0.27	in
Gs	0.38	
Fepar= 11200 Gs	4256.00	psi
Feper= 6100 Gs ^{1.45} / D ^{0.5}	2449.07	psi
Fes	2449.07	psi
Fyb	45000.00	psi

Fuente: Elaboración propia

Tabla 97. Efectos máximos y chequeo de longitudes de pernos conexión panel p-p

Corte ultimo		
Nivel	Muro	V(N)
4.00	D2	13229.35
3.00	D2	23154.86
2.00	D2	29771.86
1.00	D2	33095.36
<i>V critico</i>		
Vc	33095.36	N
Chequeo p mínimo		
pmin = lm > 4D		
4D	0.03	m
Chequeo		OK

Fuente: Elaboración propia

Tabla 98. Modos de falla conexión panel p-p

Cálculo de modos de falla			
Corte doble			
n, pernos		2.00	
Im	Im = D lm Fem / Rd	1835.54	N
Is	Is = 2 D ls Fes / Rd	6104.25	N
II	k1 D ls Fes / Rd	1065.39	N
III_m	k2 D lm Fem / (1+2Re)Rd	949.01	N
III_s	2 k3 D ls Fem / (2+Re)Rd	2773.15	N
Iv	2 (D²/Rd) * √2 Fem Fyb / 3(1+Re)	1893.32	N

Fuente: Elaboración propia

Tabla 99. Falla dominante y espaciamiento de pernos

Falla Dominante		
III_m	949.01	N
Corrección		
CD	1.60	
V	1518.41	N
n pernos		
n, pernos	21.80	
h	2.85	m
pernos/m	8.00	
S	0.13	m

Fuente: Elaboración propia

14. Conexión de panel losa – losa

Tabla 100. Datos pernos conexión panel de losa a panel de losa

Diametro perno	0.44	in
Pernos		
L perno	3.00	in
E(Lpunta)	0.28	in
D	0.44	in
Dr	0.33	in
Gs	0.38	
Fepar= 11200 Gs	4256.00	psi
Feper= 6100 Gs ^{1.45} / D ^{0.5}	2267.39	psi
Fes	2267.39	psi
Fyb	45000.00	psi

Fuente: Elaboración propia

Tabla 101. Efectos máximos conexión panel L-L

Efectos maximos		
Lmuros x	99.70	m
Lpared x	10.48	m
Lmuros y	93.92	m
Lpared y	6.95	
q= VQ/ I	22745.71	N/m
V/Panel	1023.56	N
Vu	4.75	kip
Q= Ay	0.00	m3
Ieff	0.00007407	m4

Fuente: Elaboración propia

Tabla 102. Chequeo de longitudes de muro conexión panel L-L

Longitud		
ls	0.03	m
p	0.05	m
lm	0.04	m
Chequeo p mínimo		
pmin = lm > 4D		
4D	0.03	m
Chequeo	OK	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 103. Cálculos de modos de falla conexión panel L-L

Cálculo de modos de falla			
<i>Corte</i>	Doble		
<i>n, Pernos</i>		2.00	
Im	Im = D Im Fem / Rd	3646.37	N
Is	Is = 2 D Is Fes / Rd	7430.22	N
II	k1 D Is Fes / Rd	1524.73	N
III_m	k2 D Im Fem / (1+2Re)Rd	1725.91	N
III_s	2 k3 D Is Fem / (2+Re)Rd	3501.93	N
Iv	2 (D²/Rd) * √2 Fem Fyb / 3(1+Re)	2790.89	N

Fuente: Elaboración propia

Tabla 104. Falla dominante y datos de pernos conexión panel L-L

Falla Dominante		
II	1524.73	N
<i>Corrección</i>		
CD	1.60	
V	2439.56	N
<i>n pernos</i>		
n, pernos / m	9.32	
n, pernos / m	10.00	
S	0.10	m

Fuente: Elaboración propia

15. Diseño de conexión muro – losa

a. Diseño de pernos inferiores

Tabla 105. Efectos máximos, datos de pernos de muro – losa

<u>V crítico</u>		
Vc	16547.68	N
<i>Corte</i>		
Perno	0.38	in
Platina	0.25	in
Ltotal	0.10	m
<i>Pernos</i>		
L perno	3.00	in
E (Lpunta)	0.22	in

<u>V critico</u>		
D	0.38	in
Dr	0.27	in
Gs	0.38	
Fepar= 11200 Gs	4256.00	psi
Feper= 6100 Gs ^{1.45} / D ^{0.5}	2449.07	psi
Fes	2449.07	psi
Fyb	45000.00	psi
<i>Longitud</i>		
ls	0.01	m
lm	0.07	m
Ls-aj	0.07	m
Lm-aj	0.11	m

Fuente: Elaboración propia

Tabla 106. Cálculo de modos de falla pernos inferiores conexión muro – losa

Cálculo de modos de falla			
<i>Corte</i>	Simple		
<i>n, Pernos</i>	2.00		
Im	Im = D lm Fem / Rd	4889.12	N
Is	Is = D ls Fes / Rd	3052.13	N
II	k1 D ls Fes / Rd	1719.31	N
III_m	k2 D lm Fem / (1+2Re)Rd	2109.80	N
III_s	k3 D ls Fem / (2+Re)Rd	1386.57	N
Iv	(D²/Rd) * √2 Fem Fyb / 3(1+Re)	946.66	N

Fuente: Elaboración propia

Tabla 107. Falla dominante y número de pernos en conexión de muro – losa

Falla Dominante		
Iv	946.66	N
<i>Corrección</i>		
CD	1.60	
V	1514.65	N
<i>n pernos</i>		
n, pernos	10.93	
n, pernos / m	5.25	
n,pernos/m	6.00	
S	0.17	m

Fuente: Elaboración propia

b. Diseño de perno superior

Tabla 108. Datos de pernos y longitudes perno inferior, conexión muro – losa

Perno superior		
<i>Perno</i>		
diámetro	0.38	in
Platina	0.25	in
Ltotal	0.09	m
Corte		
Perno	4.00	in
Pernos		
L perno	4.00	in
D	0.63	in
Dr	0.51	in
Gs	0.38	
Fepar= 11200 Gs	4256.00	psi
Feper= 6100 Gs ^{1.45} / D ^{0.5}	1897.04	psi
Fes	1897.04	psi
Fyb	45000.0 0	psi
Longitudes		
ls	0.03	m
lm	0.07	m
Ajuste de longitudes		
Ls-aj	0.03	m
Lm-aj	0.07	m

Fuente: Elaboración propia

Tabla 109. Cálculo de los modos de falla perno inferior, conexión muro – losa

Cálculo de modos de falla			
<i>Corte</i>	Doble		
<i>n, Pernos</i>		1.00	
Im	Im = D lm Fem / Rd	2505.83	N
Is	Is = 2 D ls Fes / Rd	1832.28	N
II	k1 D ls Fes / Rd	835.92	N
IIIIm	k2 D lm Fem / (1+2Re)Rd	1404.99	N
IIIIs	2 k3 D ls Fem / (2+Re)Rd	2216.72	N
Iv	2 (D²/Rd) * √2 Fem Fyb / 3(1+Re)	3134.48	N

Fuente: Elaboración propia

Tabla 110. Falla dominante y número de pernos, perno inferior conexión muro – losa

Falla Dominante		
II	835.92	N
Corrección		
CD	1.60	
V	1337.47	N
n pernos		
n, pernos	12.37	
n, pernos / m	5.95	
n, pernos / m	6.00	
S	0.17	m

Fuente: Elaboración propia

c. Chequeo en la placa

Tabla 111. Revisión de placa inferior conexión muro – losa

Revisión de la placa		
Material	A36	
Fy	36.00	ksi
Fu	58.00	ksi
t	0.25	in
Aplastamiento en la placa 1		
ϕR_n	19.58	kips
ϕ	0.75	
Rn	26.10	kips
Perno exterior		
Rn	0.00	kips
2.4 d t Fu	13.05	kips
d	0.38	in
t	0.25	in
Fu	58.00	ksi
1.2 Lc t Fu	3.48	kips
Lc	0.20	in
Pernos interiores		
N Rn	26.10	kips
Cantidad, N	2.00	
Rn	13.05	kips
2.4 d t Fu	13.05	kips

Perno exterior		
d	0.38	in
t	0.25	in
Fu	58.00	ksi
1.2 Lc t Fu	26.10	kips
Lc	1.50	in
Relación D/C	0.19	
Chequeo	OK	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 112. Revisión de placa superior conexión muro – losa

Revisión de la placa 2		
Material	A36	
Fy	36.00	ksi
Fu	58.00	ksi
t	0.25	in
<i>Aplastamiento en la placa 1</i>		
ϕR_n	9.79	kips
ϕ	0.75	
Rn	13.05	kips
Perno exterior		
Rn	0.00	kips
2.4 d t Fu	13.05	kips
d	0.38	in
t	0.25	in
Fu	58.00	ksi
1.2 Lc t Fu	3.48	kips
Lc	0.20	in
Pernos interiores		
N Rn	13.05	kips
Cantidad, N	1.00	
2.4 d t Fu	13.05	kips
d	0.38	in
t	0.25	in
Fu	58.00	ksi
1.2 Lc t Fu	26.10	kips
Lc	1.50	in
Relación D/C	0.38	
Chequeo	OK	

Fuente: Elaboración propia

16. Conexión muro – techo

Tabla 113. Corte crítico y datos de pernos conexión muro – techo

V critico		
Vc	6614.68	N
<i>Perno</i>		
diámetro	0.38	in
Platina	0.25	in
<i>Corte</i>		
<i>Pernos</i>		
L perno	3.00	in
E (Lpunta)	0.22	in
D	0.38	in
Dr	0.27	in
Gs	0.38	
Fepar= 11200 Gs	4256.00	psi
Feper= 6100 Gs ^{1.45} / D ^{0.5}	2449.07	psi
Fes	2449.07	psi
Fyb	45000.00	psi
<i>Longitud</i>		
ls	0.01	m
p	0.07	m
lm	0.07	m
<i>Chequeo p mínimo</i>		
pmin = lm > 4D		
4D	0.03	m
Chequeo	OK	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 114. Cálculo de modos de falla pernos superiores conexión muro – techo

Cálculo de modos de falla			
<i>Corte</i>	Simple		
<i>n, Pernos</i>	2.00		
Im	Im = D lm Fem / Rd	4889.12	N
Is	Is = D ls Fes / Rd	B52*(C54*C61*C62)/C63	N
II	k1 D ls Fes / Rd	1719.31	N
IIIIm	k2 D lm Fem / (1+2Re)Rd	2109.80	N
IIIIs	k3 D ls Fem / (2+Re)Rd	1386.57	N
Iv	(D²/Rd) * √2 Fem Fyb / 3(1+Re)	946.66	N

Fuente: Elaboración propia

Tabla 115. Falla dominante y número de pernos para conexión muro – techo

Falla Dominante		
Iv	946.66	N
Corrección		
CD	1.60	
V	1514.65	N
n pernos		
n, pernos	4.37	
n, pernos/m	2.10	
n,pernos/m	3.00	
S	0.33	m

Fuente: Elaboración propia

Tabla 116. Datos de perno inferior en conexión de muro – techo

Perno		
diámetro	0.38	in
Platina	0.25	in
Ltotal	0.09	m
<u>Corte</u>		
Perno	0.38	in
<u>Pernos</u>		
L perno	4.00	in
E (Lpunta)	0.31	in
D	0.50	in
Dr	0.37	in
Gs	0.38	
Fepar= 11200 Gs	4256.00	psi
Feper= 6100 Gs ^{1.45} / D ^{0.5}	2120.95	psi
Fes	2120.95	psi
Fyb	45000.00	psi
ls	0.03	m
lm	0.07	m
Ajuste de longitudes		
Ls-aj	0.03	m
Lm-aj	0.07	m

Fuente: Elaboración propia

Tabla 117. Cálculo de modos de falla en pernos superior conexión muro – techo

Cálculo de modos de falla			
<i>Corte</i>	Doble		
<i>n, Pernos</i>		1.00	
Im	Im = D Im Fem / Rd	2065.67	N
Is	Is = 2 D Is Fes / Rd	1478.62	N
II	k1 D Is Fes / Rd	688.86	N
IIIIm	k2 D Im Fem / (1+2Re)Rd	999.44	N
IIIIs	2 k3 D Is Fem / (2+Re)Rd	1256.32	N

Fuente: Elaboración propia

Tabla 118. Falla dominante y número de pernos, perno inferior conexión muro – techo

Falla Dominante			
II		688.86	N
<i>Corrección</i>			
CD		1.60	
V		1102.18	N
<i>n pernos</i>			
n, pernos		6.00	
n,pernos/m		2.89	
n, pernos / m		3.00	
S		0.33	m

Fuente: Elaboración propia

Tabla 119. Revisión de placa de pernos superiores conexión muro – techo

Revisión de la placa			
Material		A36	
Fy		36.00	ksi
Fu		58.00	ksi
t		0.25	in
<i>Aplastamiento en la placa</i>			
φRn		19.58	kips
φ		0.75	
Rn		26.10	kips
Perno exterior			
Rn		0.00	kips
2.4 d t Fu		0.00	kips
d		0.25	in
t		0.00	in
Fu		0.00	ksi
1.2 Lc t Fu		0.00	kips
Lc		0.00	in

Pernos interiores		
N Rn	26.10	kips
Cantidad, N	2.00	
Rn	13.05	kips
2.4 d t Fu	13.05	kips
d	0.38	in
t	0.25	in
Fu	58.00	ksi
1.2 Lc t Fu	26.10	kips
Lc	1.50	in
Relación D/C	0.08	
Chequeo	OK	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 120. Revisión de placa inferior conexión muro – techo

Revisión de la placa 2		
Material	A36	
Fy	36.00	ksi
Fu	58.00	ksi
t	0.25	in
<i>Aplastamiento en la placa</i>		
ϕRn	9.79	kips
ϕ	0.75	
Rn	13.05	kips
Perno exterior		
Rn	0.00	kips
2.4 d t Fu	13.05	kips
d	0.38	in
t	0.25	in
Fu	58.00	ksi
1.2 Lc t Fu	3.48	kips
Lc	0.20	in
Pernos interiores		
N Rn	13.05	kips
Cantidad, N	1.00	
Rn	13.05	kips
2.4 d t Fu	13.05	kips
d	0.38	in
t	0.25	in
Fu	58.00	ksi
1.2 Lc t Fu	26.10	kips
Lc	1.50	in
Relación D/C	0.30	
Chequeo	OK	

Fuente: Elaboración propia

17. Conexión a cimentación

Para la cimentación se decidió utilizar HILTI adhesivo HY 200 y varillas HAS.

Tabla 121. Corte crítico en conexión a cimentación

V,N	Muro	Lmuro, m
25676.96	D2	2.08
<i>V crítico</i>		
Vc	12838.48	N

Fuente: Elaboración propia

Tabla 122. Chequeo de extracción de las varillas en conexión a cimentación

Extracción		
Perno	0.38	in
Platina	0.25	in
L	4.37	in
ts	0.01	m
L-ts	0.10	m
Chequeo		
Capacidad a la extracción	4855.00	kip
Arranque	36589.66	N
<i>Relación D/C</i>		
Chequeo	13%	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 123. Datos de varillas a corte conexión a cimentación

Corte		
Perno	0.38	in
Platina	0.25	in
Pernos		
L perno	4.37	in
D	0.38	in
Dr	0.30	in
Gs	0.38	
Fepar= 11200 Gs	4256.00	psi
Feper= 6100 Gs ^{1.45} / D ^{0.5}	2449.07	psi
Fes	2449.07	psi
Fyb	45000.00	psi
Madera		
t1	0.03	m
t2	0.03	m
t3	0.03	m
Total	0.09	m
Longitud		
ls	0.01	m
lm	0.10	m
Chequeo		
L-ts	4.36	
T	2.00	in
Chequeo		OK

Fuente: Elaboración propia

Tabla 124. Cálculo de modos de falla para placa inferior conexión a cimentación

Cálculo de modos de falla			
<i>Corte</i>	Simple		
<i>n, Pernos</i>		2.00	
Im	Im = D lm Fem / Rd	5350.07	N
Is	Is = D ls Fes / Rd	3432.20	N
II	k1 D ls Fes / Rd	1892.47	N
III_m	k2 D lm Fem / (1+2Re)Rd	2335.08	N
III_s	k3 D ls Fem / (2+Re)Rd	1592.49	N
Iv	(D²/Rd) * √2 Fem Fyb / 3(1+Re)	1197.11	N

Fuente: Elaboración propia

Tabla 125. Falla dominante y número de pernos conexión a cimentación

Falla Dominante		
Iv	1197.11	N
<i>Correccion</i>		
CD	1.60	
V	1915.38	N
<i>n pernos</i>		
n, pernos	6.70	
n,pernos/m	3.22	
n, pernos / m	4.00	
S	0.25	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 126. Datos de perno superior conexión a cimentación

Perno superior		
<i>Perno</i>		
diámetro	0.38	in
Platina	0.25	in
Ltotal	0.09	m
Corte		
Perno	0.38	in
Pernos		
L perno	4.00	in
D	0.38	in
Dr	0.30	in
Gs	0.38	
Fepar= 11200 Gs	4256.00	psi
Feper= 6100 Gs ^{1.45} / D ^{0.5}	2449.07	psi
Fes	2449.07	psi
Fyb	45000.00	psi

Fuente: Elaboración propia

Tabla 127. Cálculo de modos de falla para perno superior conexión a cimentación

Cálculo de modos de falla			
<i>Corte</i>	Doble		
<i>n, Pernos</i>		1.00	
Im	Im = D Im Fem / Rd	1975.02	N
Is	Is = 2 D Is Fes / Rd	1371.41	N
II	k1 D Is Fes / Rd	658.43	N
III_m	k2 D Im Fem / (1+2Re)Rd	893.95	N
III_s	2 k3 D Is Fem / (2+Re)Rd	932.40	N
Iv	2 (D²/Rd) * √2 Fem Fyb / 3(1+Re)	1197.11	N

Fuente: Elaboración propia

Tabla 128. Falla dominante y número de pernos perno inferior conexión a cimentación

Falla Dominante		
II	658.43	N
<i>Correccion</i>		
CD	1.60	
V	1053.49	N
n, pernos	12.19	
n, pernos / m	5.86	
n, pernos / m	6.00	
S	0.17	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 129. Revisión de placa inferior conexión a cimentación

Aplastamiento en la placa		
φRn	19.58	kips
φ	0.75	
Rn	26.10	kips
Perno exterior		
Rn	0.00	kips
2.4 d t Fu	0.00	kips
d	0.25	in
t	0.00	in
Fu	0.00	ksi
1.2 Lc t Fu		
Lc	0.00	in
Pernos interiores		
N Rn	26.10	kips
Cantidad, N	2.00	

Rn	13.05	kips
2.4 d t Fu	13.05	kips
d	0.38	in
t	0.25	in
Fu	58.00	ksi
1.2 Lc t Fu	26.10	kips
Lc	1.50	in
Relacion D/C	0.15	
Chequeo	OK	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 130. Revisión de placa superior conexión a cimentación

Aplastamiento en la placa		
ϕRn	9.79	kips
ϕ	0.75	
Rn	13.05	kips
Perno exterior		
Rn	0.00	kips
2.4 d t Fu	0.00	kips
d	lm	in
t	0.25	in
Fu	58.00	ksi
1.2 Lc t Fu	3.48	kips
Lc	0.20	in
Pernos interiores		
N Rn	13.05	kips
Cantidad, N	1.00	
Rn	13.05	kips
2.4 d t Fu	13.05	kips
d	0.38	in
t	0.25	in
Fu	58.00	ksi
1.2 Lc t Fu	26.10	kips
Lc	1.50	in
Relacion D/C	0.29	
Chequeo	OK	

Fuente: Elaboración propia

18. Diseño de la losa de cimentación

Tabla 131. Dimensiones de la losa de cimentación

Dimensiones		
L	27.40	m
B	21.39	m

Fuente: Elaboración propia

Tabla 132. Carga neta admisible

Capacidad de carga del suelo		
qu = cNc Fcs + q N1 Fqs + 1/2 γ B NY FYs	6573.32	lb/ft²
c	390.20	lb/ft ²
q	53.27	lb/ft ²
γ	81.96	lb/ft ³
Nc	8.35	
Nq	2.47	
NY	1.22	
B	70.18	ft
Df	0.65	ft
φ	10.00	
Fcs	1.23	
Fqs	1.14	
FYs	0.69	
q_{net} adm		
q_{net}	2.19	kips/ft²
Fs	3.00	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 133. Presiones máximas en puntos críticos

Punto	Area	DLt	Dle	LLt	Lle	PDL	PLL	1.4DL	1.2DL+1.6LL	PU,max	
1.00	115.16	16.51	16.51	20.00	55.00	7604.04	21305.17	10645.65	43213.11	43213.11	
19.00	134.86	16.51	16.51	20.00	55.00	8904.66	24949.29	12466.52	50604.46	50604.46	
20.00	50.25	16.51	16.51	20.00	55.00	3317.66	9295.50	4644.72	18853.99	18853.99	
									Total	1746154.68	lbf

Fuente: Elaboración propia

Tabla 134. Chequeo de esfuerzo crítico en el suelo

Presiones		
q _{critico}	0.37	kip/ft ²
Chequeo	OK	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 135. Peralte de la losa y diseño de acero

Chequeo por punzonamiento		
$bo = 2((c1+d)+(c2+d))$		
c1	6.33	m
c2	0.09	m
ϕVu	119.79	kips
ϕ	0.75	
Vu	159.72	
d=	0.04	ft
t, usar=	5.00	in
rec	0.25	in
d, usar=	4.75	in
<i>Acero</i>		
As	0.19	in ²
ρ	0.00330	
d=	4.75	in
Varillas No. 3 @ 7 in		

Fuente: Elaboración propia

19. Costos

Tabla 136. Precio total de materiales

Resumen de costos	
Madera	Q 1,689,553.29
Protección para madera	Q 438,852.45
Platinas	Q 27,878.29
Varillas Has	Q 16,365.89
Pernos y tornillos	Q 111,994.34
Concreto losa	Q 90,737.45
Varillas Losa	Q 29,019.66
Mano de obra	Q 528,147.27
Precio Total	Q2,932,548.65

Fuente: Elaboración propia

Tabla 137. Precio de la madera

Madera			
	Precio/m3	4640.35	Q
NIVEL	Elemento	Volumen,m3	Precio
4.00	Muros	50.48	Q234,241.16
	Losa	40.55	Q188,147.17

Madera			
3.00	Muros	50.48	Q234,241.16
	Losa	40.55	Q188,147.17
2.00	Muro	50.48	Q234,241.16
	Losa	40.55	Q188,147.17
1.00	Muro	50.48	Q234,241.16
	Losa	40.55	Q188,147.17
		Total	Q1,689,553.29

Fuente: Elaboración propia

Tabla 138. Protección para la madera

Proteccion de madera					
	Lasur	33.26	Q/m2		
	Insecticida	36.41	Q/m2		
Elemento	Capad de Lasur	Capas de insectisida	Area/nivel	Niveles	Precio
Muro exterior	2	1	255.246	4	Q105,089.88
Muro interior	0	1	866.514	4	Q126,199.10
Losa entrepiso	0	1	901.02	3.5	Q114,821.48
Losa de techo	2	1	901.02	1	Q92,741.99
				Total	Q438,852.45

Fuente: Elaboración propia

a. Conexiones

Tabla 139. Costo de platinas

Platinas				
Tipo	Peso, ton	Peso, lb	Precio/lb	Precio total
Acero A36 t=1/4"	4.10	8199.50	Q 3.40	Q27,878.29

Fuente: Elaboración propia

Tabla 140. Comparación de perfiles al largo del muro vs. Secciones

		ρ_{aceroa36}	7860.00	kg/m ³			
Platinas	t=0.25 in	0.01	m				
N, de placas	L,placa	Lplacas,m	Lperfiles,m	%dif	Peso, ton	Peso con perfiles, ton	%dif
4723.20	0.08	359.91	787.20	46%	2.98	6.52	46%
590.40	0.08	44.99	196.80	23%	0.37	1.63	23%
1180.80	0.08	89.98	196.80	46%	0.75	1.63	46%
		494.87	1180.80	42%	4.10	9.78	42%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 141. Costo de varillas de anclajes, pernos y tornillos

Varillas Has					
N, de varillas	Precio/Varilla	Total			
2361.60	6.93	Q16,365.89			
Tornillos					
Tipo de conexion	Tipo de pernos	N,elementos totales	N, de docenas	Precio/docena	Precio total
	Total 3/8" bolt	5313.60	444.00	59.97	26626.68
	Total 3/8"N	18105.60	1609.00	29.99	48253.91
	Total 7/16"	13480.45	1125.00	32.99	37113.75
					Q111,994.34

Fuente: Elaboración propia

Tabla 142. Precio de concreto para losa de cimentación

Concreto						
Base,m	Longitud,m	peralte,m	% desperdicio	V,m ³	Precio/m ³	Precio total
21.39	27.40	0.13	0.05	78.15	1161.00	Q90,737.45

Fuente: Elaboración propia

Tabla 143. Costo de las varillas de losa de cimentación

Varillas									
N, varillas/m	Longitud	N, varillas/lado	Longitud de lado	Longitud de varillas	% desp	Varillas desp	Varillas 3"x 9m	Precio/varilla	Precio total
5.62	21.39	120.30	27.40	3296.32	0.05	3461.13	384.57	37.73	14509.8305
5.62	27.40	154.11	21.39	3296.32	0.05	3461.13	384.57	37.73	14509.8305
									Q29,019.66

Fuente: Elaboración propia

b. Mano de obra

Tabla 144. Precio total de mano de obra

Mano de obra				
Elemento	Area,m2	Tiempo, días	Tiempo, meses	Precio
CLT	4045.56	216.34	7.21	446095.23
Losa de cimentación	586.09	19.54	0.65	82052.04
		235.88	7.86	Q528,147.27

Fuente: Elaboración propia

Tabla 145. Costo de mano de obra para paneles CLT

Descripción	Area,m2	Precio	Tiempo, días	Tiempo, meses
Losas	1802.04	Q198,707.09	96.37	3.21
Muros	2243.52	Q247,388.14	119.97	4.00
	4045.56	Q446,095.23		7.21

Fuente: Elaboración propia

Tabla 146. Costo de mano de obra para losa de cimentación

Losa de cimentación			
Area,m2	Precio	Tiempo, días	
586.09	Q82,052.04	19.54	

Fuente: Elaboración propia

20. Huella de carbono

Para el cálculo de la huella de carbono se llevó a cabo el cálculo de toneladas de dióxido de carbono que se emiten debido a los materiales utilizados. Para esto se hizo uso de la

herramienta de cálculo de huella de carbono de Enviroment Agency. El resultado obtenido fue de 137 toneladas de CO2. Cabe mencionar que este dato proviene de la consideración de la emisión de carbono de: Madera, pernos, varillas y tornillos, platinas y concreto. Asimismo, también se consideraron los fletes de los materiales. Para los tornillos, pernos , varillas, concreto se asumió que estos serían distribuidos desde la capital por un medio de transporte terrestre el cual recorrería aproximadamente 28 km para llegar al proyecto. En cuanto a la madera se estableció que esta seria distribuida desde el rancho, el progreso, por lo que la distancia es de 65km.

Tabla 147. Huella de carbono del proyecto incluyendo fletes

Material	Volumen,m3	peso,ton	Tonn CO2	% huella	% Volumen
Madera	364.10	138.36	59.071	49.65%	81.75%
Concreto	78.15	187.57	16.891	14.20%	17.55%
Placas	0.52	4.10	6.818	5.73%	0.12%
Pernos	0.61	4.88	30.765	25.86%	0.14%
Varillas	1.97	3.88	5.44	4.57%	0.44%
	445.36		118.985		

Fuente: Elaboración propia

Cabe mencionar que solo en 13 toneladas de acero compuestas por los tornillos, platinas, pernos, y varillas. Los cuales en volumen representan menos del 1% de los materiales se encuentra más del 30% de la huella de carbono.

C. Diseño estructural en mampostería de ladrillo

Como parte esencial de las solicitudes básicas de una edificación se establecen las cargas que actuarán sobre la estructura debido a su peso y a la función que desempeñará. Haciendo uso de la tabla 3.7.1 de la NSE 2-2017 del AGIES se establecen las cargas muertas adicionales al peso de la estructura y las cargas vivas según a su utilización.

Haciendo uso de las Normas de Seguridad Estructural de las Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica se integraron todos los factores que actúan sobre la estructura de acuerdo al sismo.

De acuerdo a la ubicación del edificio se recopilaron los datos de aceleración del suelo tabulados para la República de Guatemala en las Tabla A-1 de la NSE 2-2017.

Tabla 148. Fragmento de la tabla A-1 NSE-2-2017, datos de aceleración del suelo

No.	Municipio	Departamento	Amenaza sísmica			Velocidad básica del viento (kph)
			Io	Scr	S1r	
70	Flores Costa Cuca	Quetzaltenango	4.3	1.65 g	0.60 g	110
71	Fraijanes	Guatemala	4.2	1.50 g	0.55 g	100
72	Fray Bartolomé de las Casas	Alta Verapaz	3.1	0.9 g	0.35 g	110

Fuente: Elaboración propia

Posteriormente de acuerdo a los parámetros de aceleración se clasificó la obra según la clase de sitio, que debió a que no se describía dentro del estudio de suelos, se consultó con profesionales y se estableció una clase de sitio D.

Siguiendo los requisitos y las guías de las normas guatemaltecas del AGIES se estableció la clase de obra, el sistema estructural, el nivel de protección sísmica, el índice de sismicidad, los parámetros de espectro, los factores de escala del sismo, la calibración del espectro de diseño, el periodo de transición, el periodo de la estructura y el coeficiente sísmico.

Tabla 149. Aspectos sísmicos de la estructura

Aspectos sísmicos del edificio		
Ubicación del proyecto		
Departamento:	Guatemala	
Municipio:	Fraijanes	
ID:	71.00	
Parámetros de aceleración del sitio		
Scr =	1.5000	g
S1r =	0.5500	g
Información del edificio		
Clase de Sitio	D	
Clase de obra	Importante	
Sistema estructural	E2	
Nivel de protección sísmica	D	
Io =	4.2000	
Parámetros de espectro		
Scs =	1.5	g
S1s =	0.935	g
Factores de escala		
Kd	0.80	%
Espectro calibrado al nivel de diseño req.		
Scd = Kd * Scs =	1.2000	g
S1d = Kd * S1s =	0.7480	g
Período de transición		
Ts = S1s/Scs =	0.6233	s
To = 0.2 * Ts =	0.1247	s
Período de la estructura		
T =	0.2879	s
Coeficiente sísmico		
Cs =	0.3	

Fuente: Elaboración propia

Se utilizó el método de la fuerza estática equivalente para la distribución de las fuerzas surgidas debido a las sollicitaciones del sismo, que a grandes rasgos es como el corte basal o la resultante de las fuerzas del evento modelada en la base de la estructura se distribuye a lo alto de toda la edificación.

Para lograr la distribución se obtuvo el peso total de la estructura el cual lograría posteriormente definir el peso sísmico y así establecer el valor del corte basal que se reparte dependiendo del peso de cada nivel modelándolo como un porcentaje del total. (Ver Anexo 1).

Tabla 150. Peso sísmico de la estructura

Peso sísmico de la estructura						
Nivel	Área (m ²)	W _{CM} (kgf)	CV (kgf/m)	% CM	CM (kgf/m)	W _s (kgf)
4	428.67	328098.97	500	0.25	10716.75	338815.72
3	428.67	328098.97	200	0.25	21433.5	349532.47
2	428.67	328098.97	200	0.25	21433.5	349532.47
1	428.67	328098.97	200	0.25	21433.5	349532.47
Σ						1387413.13

Fuente: Elaboración propia

Tabla 151. Fuerzas resultantes del análisis sísmico

Fuerzas resultantes del análisis sísmico							
Dirección	C _s	W _s , kgf	V, kgf	ρ	ρ EQ	e, m	T, kgf-m
X	0.30	1387413.13	416223.94	1	416223.94	2.62	1089294.32
Y	0.30	1387413.13	416223.94	1	416223.94	2.25	936608.416

Fuente: Elaboración propia

Tabla 152. Fuerzas horizontales por piso debido al sismo

Distribución vertical de la carga sísmica									
Dirección	Nivel	w _i , kgf	H, m	h _i , m	k	w _i (h _i ^k)	C _{xy}	F, kgf	T, kgf-m
X	4.00	338815.72	2.65	10.60	1.00	3591446.64	0.3926	163388.78	367665.80
	3.00	349532.47	2.65	7.95	1.00	2778783.14	0.3037	126417.58	284471.31
	2.00	349532.47	2.65	5.30	1.00	1852522.10	0.2025	84278.39	189647.54
	1.00	349532.47	2.65	2.65	1.00	926261.05	0.1012	42139.19	94823.77
	Σ	1387413.13				9149012.93	1.0000	416223.94	
Y	4.00	338815.72	2.65	10.60	1.00	3591446.64	0.3926	163388.78	427602.68
	3.00	349532.47	2.65	7.95	1.00	2778783.14	0.3037	126417.58	330845.82
	2.00	349532.47	2.65	5.30	1.00	1852522.10	0.2025	84278.39	220563.88
	1.00	349532.47	2.65	2.65	1.00	926261.05	0.1012	42139.19	110281.94
	Σ	1387413.13				9149012.93	1.0000	416223.94	

Fuente: Elaboración propia

Haciendo uso de la integración de cargas gravitacionales y sísmicos se diseñaron las losas de los niveles de acuerdo a las cargas aplicadas. De acuerdo a sus dimensiones las losas resultantes fueron losas que actuaban en dos sentidos por lo tanto se diseñó para los momentos negativos y positivos actuantes. Haciendo uso de las normas ACI 318-14 y el libro de diseño de concreto reforzado de Jack C. McCormack y Russel H. Brown se obtiene la cantidad de acero requerido para el caso más crítico. Debido a la naturaleza del edificio se diseñó para las condiciones de techo y entrepiso. (Ver Anexo 2). De igual manera para las vigas de la edificación (Ver Anexo 3)

Tabla 153. Diseño de losa de entrapiso

Integración de carga - Entrepiso		
Carga muerta		
Total CM =	390.00	kgf/m ²
Carga viva		
Total CM =	200.00	kgf/m ²
Diseño de losa en dos sentidos		
W _u =	788.00	kgf/m
	161.14	psf
Momentos negativos y positivos en la losa, y aceros respectivos		
M (+) =	910.32	lbf·ft
Varillas No.3 @ 0.25 m		
M (-) =	1820.64	lbf·ft
Varillas No.3 @ 0.20 m		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 154. Diseño de losa de techo

Integración de carga - Techo		
Carga muerta		
Total CM =	390.00	kgf/m ²
Carga viva		
Total CM =	500.00	kgf/m ²
Diseño de losa en dos sentidos		
W _u =	1268.00	kgf/m
	259.30	psf
Momentos negativos y positivos en la losa, y aceros respectivos		
M (+) =	1464.83	lbf·ft
Varillas No.3 @ 0.25 m		
M (-) =	2929.66	lbf·ft
Varillas No.4 @ 0.25 m		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 155. Diseño de viga

Diseño de viga		
Momento positivo en la viga		
M (+) =	12614.419	lbf·ft
Momento negativo en la viga		
M (-) =	25228.839	lbf·ft
Refuerzo superior		
2 Varillas No.5		
Refuerzo inferior		
2 Varillas No.4		
Refuerzo a cortante		
Est. No.2 @ 0.175 cm		

Fuente: Elaboración propia

También se encontraron los centros de masa y rigidez como parte del proceso de obtención de la excentricidad en la estructura y así definir la fuerza debido al momento torsional en cada dirección.

Tabla 156. Centro de masa de la estructura

Centro de masa			
Elemento	Peso total	Peso por coordenadas totales	
		X	Y
Muros	100955.42	1283699.82	1004981.17
Losas	125463.42	1565044.69	1331487.67
Centro de masa		12.58	10.32

Fuente: Elaboración propia

Tabla 157. Centro de rigidez de la estructura

Centro de rigidez			
Elemento	Rigidez total	Rigidez por coordenadas	
		X	Y
Muros	15883812.81	221163572.19	143732338.70
Centro de rigidez		13.92	9.05

Fuente: Elaboración propia

Tabla 158. Excentricidades teóricas y reales de la estructura

Excentricidad resultante		
Excentricidad en X		
Excentricidad	1.34	m
Excentricidad real (+5%)		
Positiva	2.62	m
Negativa	0.07	m
Excentricidad en Y		
Excentricidad	1.27	m
Excentricidad real (+5%)		
Positiva	2.25	m
Negativa	0.29	m

Fuente: Elaboración propia

Debido a que se deben diseñar los elementos de resistencia lateral sísmica es necesario repartir las sollicitaciones sísmicas encada uno de los elementos que es la suma de las fuerzas laterales del análisis estático equivalente y las fuerzas provocadas por las torsiones debido a la excentricidad de la estructura.

Para la fuerza lateral en el muro se obtiene la rigidez respectiva de cada muro y se divide dentro del total de la rigidez del piso multiplicado por la fuerza del piso (Ver Anexo 4).

$$F_n = F_t \cdot \frac{R_n}{\sum R}$$

Donde:

F_n = Es la fuerza que llega al muro de análisis

F_t = Es la fuerza total que llega al nivel de análisis

R_n = Es la rigidez del muro de análisis

$\sum R$ = Es la sumatoria de la rigidez de todos los muros analizados en la misma dirección.

De igual manera se obtiene la fuerza provocada por la torsión que no es más que la relación de la rigidez del muro por su profundidad y la sumatoria de la rigidez por su profundidad al cuadrado multiplicada por la fuerza total torsional del nivel. (Ver Anexo 5)

$$T_n = T_t \cdot \frac{R_n \cdot d}{\sum R \cdot d^2}$$

Donde:

T_n = Es la fuerza torsional que llega al muro de análisis

T_t = Es la fuerza total que llega al nivel de análisis

R_n = Es la rigidez del muro de análisis

d = Es la profundidad del muro de análisis

$\sum R \cdot d^2$ = Es la sumatoria del producto de la rigidez por la profundidad al cuadrado de todos los muros analizados en la misma dirección.

Tabla 159. Fuerzas últimas en muros de primer nivel

Fuerzas últimas - Nivel 1 Eje X				Fuerzas últimas - Nivel 1 Eje Y			
Muro	P _u (kgf)	V _u (kgf)	M _u (kgf·m)	Muro	P _u (kgf)	V _u (kgf)	M _u (kgf·m)
A	3632.92	311.06	8244.30	1	3472.81	310.98	824.11
B	4763.81	211.87	561.86	2	3472.81	310.98	824.11
C	2876.41	250.91	664.92	3	13316.31	887.35	2351.47
D	2170.51	173.89	460.82	4	3385.99	302.75	802.28
E	6341.91	577.71	1390.92	5	3717.67	331.68	878.95
F	2351.57	192.75	510.78	6	37401.56	2800.09	7420.24
G	31523.24	4648.17	12317.66	7	40565.20	1583.29	4195.72
H	40453.97	1707.98	4526.14	8	3154.22	229.69	608.67
I	5509.72	211.87	561.86	9	3232.74	229.69	608.67
J	13233.62	507.55	1345.01	10	8747.99	524.58	1390.15
K	12476.99	855.46	2266.98	11	25343.22	911.83	2416.35
L	10661.83	507.55	1345.01	12	8114.83	458.95	1216.22
M	6028.57	270.83	717.71	13	2068.13	217.70	576.89
N	26216.31	1707.98	4526.14	14	18444.57	911.83	2416.35
Ñ	42238.70	1811.71	4801.04	15	20110.67	1280.78	3394.07
O	17758.24	802.56	2126.79	16	79789.91	4689.32	12426.71
P	11231.55	802.56	2126.79	17	23286.04	1526.96	4046.44
Q	3644.95	211.87	561.86	18	11355.87	800.44	2121.16
R	13280.51	1106.70	2832.76	19	17758.24	800.44	2121.16
S	5169.60	270.83	717.71	20	42238.70	1668.90	4422.58
T	28997.10	1707.98	4526.14	21	37450.71	1583.29	4195.72
U	30729.95	2769.42	7388.95	22	17385.28	800.44	2121.16
V	27452.71	1507.71	3995.43	23	45374.45	1668.90	4422.58
W	13086.32	802.56	2126.79	24	14194.01	5224.10	13843.88
X	10441.60	882.31	2388.13	25	42238.70	1668.90	4422.58
Y	25630.83	1811.71	4801.04	26	11447.59	872.71	2312.71
Z	11831.73	4415.35	11700.67	27	5990.23	290.44	769.66
AA	29885.30	4492.48	11905.06	28	10661.83	524.58	1390.15
BB	20733.46	2405.46	6374.46	29	6077.45	290.44	769.66
CC	12632.97	1411.17	3739.61	30	12742.78	5566.03	14749.97
DD	20733.46	2405.46	6374.46	31	14079.44	6216.89	16474.76
EE	63241.61	4492.48	11905.06	32	67912.50	2972.37	7876.77
FF	10952.76	3783.22	10025.54	33	14194.01	5224.10	13843.88
GG	20110.67	1348.15	3572.59	34	37450.71	1583.29	4195.72
HH	3369.47	200.37	530.97	35	42238.70	1668.90	4422.58
II	4168.47	439.79	1165.45	36	17758.24	800.44	2121.16
JJ	4168.47	439.79	1165.45	37	48902.11	2401.72	6364.56
KK	3369.47	200.37	530.97	38	4893.66	270.04	715.60
LL	14982.56	1348.15	3572.59	39	4468.48	3169.08	8398.06
MM	12889.58	925.83	2453.44	40	53020.66	30763.87	81524.26
NN	13288.00	925.83	2453.44	41	4573.15	2775.04	7353.85
ÑÑ	13288.00	925.83	2453.44	42	8747.46	848.48	2248.48
OO	12889.58	925.83	2453.44	43	19197.17	1149.20	3045.37
PP	2821.66	211.26	612.83	44	11853.14	800.44	2121.16
QQ	3472.81	291.02	771.20	45	3743.10	229.69	608.67
RR	13316.31	898.55	2381.16	46	40453.97	1583.29	4195.72
SS	3394.96	282.91	749.72	47	37401.56	2800.09	7420.24
TT	3232.74	278.88	739.02	48	3150.52	229.69	608.67
UU	12976.07	898.55	2381.16	49	12575.67	524.58	1390.15
VV	3472.81	291.02	771.20	50	3689.86	331.68	878.95
WW	2821.66	211.26	612.83	51	6009.89	394.65	1045.82
				52	18444.57	911.83	2416.35
				53	8367.48	569.08	2646.22

Fuente: Elaboración propia

Tabla 160. Fuerzas últimas en muros de segundo nivel

Fuerzas últimas - Nivel 2 Eje X				Fuerzas últimas - Nivel 2 Eje Y			
Muro	P _u (kgf)	V _u (kgf)	M _u (kgf-m)	Muro	P _u (kgf)	V _u (kgf)	M _u (kgf-m)
A	27861.39	9561.96	25339.19	1	2647.81	329.92	874.30
B	3658.76	809.11	2144.13	2	2647.81	329.92	874.30
C	2192.93	951.42	2521.26	3	10197.83	1015.38	2690.76
D	1654.88	668.93	1772.65	4	2581.61	320.75	849.99
E	4835.82	2086.72	5529.80	5	2894.79	353.06	935.61
F	1792.55	738.75	1957.69	6	28665.08	3647.14	9664.92
G	25601.43	13663.83	36209.15	7	31199.10	1925.39	5102.30
H	3113.13	5599.70	14839.21	8	2410.67	240.54	636.90
I	4231.29	809.11	2144.13	9	2471.36	240.54	636.90
J	10153.96	1850.06	4982.67	10	6702.37	574.60	1522.69
K	9552.74	2995.48	7988.03	11	19491.46	1046.09	2772.15
L	8181.62	1850.06	4982.67	12	6239.81	498.09	1319.93
M	4625.54	1023.37	2711.94	13	1569.47	227.31	602.37
N	20108.48	5599.70	14839.21	14	14159.31	1046.09	2772.15
Ñ	32485.76	5903.51	15644.30	15	15414.32	1521.16	4031.07
O	13639.30	2825.45	7487.46	16	61314.31	6312.97	17259.36
P	8598.67	2825.45	7487.46	17	17848.16	1849.23	4900.47
Q	2789.96	809.11	2144.13	18	8690.75	907.27	2404.27
R	10153.32	3786.98	10035.51	19	13639.30	907.27	2404.27
S	3961.58	1023.37	2711.94	20	32485.76	2041.86	5410.92
T	22257.83	5599.70	14839.21	21	28791.83	1925.39	5102.30
U	23533.46	8621.77	22847.68	22	13951.04	907.27	2404.27
V	21077.78	5006.48	13267.17	23	34909.46	2041.86	5410.92
W	10035.99	2825.45	7487.46	24	10848.01	5739.43	15209.50
X	7977.26	3081.29	8165.43	25	32485.76	2041.86	5410.92
Y	19649.12	5903.51	15644.30	26	8754.82	997.10	2642.31
Z	9035.80	16394.80	42916.22	27	4549.48	307.08	813.77
AA	22178.06	13256.10	35128.66	28	8181.62	574.60	1522.69
BB	15827.41	7604.82	20152.77	29	4663.27	307.08	813.77
CC	9614.60	4717.06	12500.21	30	9739.03	6144.24	16282.24
DD	15827.41	7604.82	20152.77	31	10738.51	6922.77	18345.34
EE	48578.33	13256.10	35128.66	32	52236.37	3900.43	10336.14
FF	7906.92	14010.04	37126.61	33	10848.01	5739.43	15209.50
GG	15414.32	4526.78	11995.97	34	28791.83	1925.39	5102.30
HH	2578.40	766.83	2032.10	35	32485.76	2041.86	5410.92
II	3166.48	1618.21	4288.25	36	13639.30	907.27	2404.27
JJ	3166.48	1618.21	4288.25	37	37581.46	3069.43	8133.99
KK	2578.40	766.83	2032.10	38	3750.57	284.54	754.03
LL	11450.67	4526.78	11995.97	39	9415.11	3371.37	8939.43
MM	9804.37	3219.70	8532.21	40	40439.33	40774.26	108051.78
NN	10173.67	3219.70	8532.21	41	3466.42	2934.09	7775.34
ÑÑ	10173.67	3219.70	8532.21	42	6670.09	966.86	2562.18
OO	9804.37	3219.70	8532.21	43	14739.63	1349.25	3575.51
PP	2151.34	880.00	2331.99	44	9875.11	987.27	2404.27
QQ	2647.81	1095.86	2904.04	45	2865.82	240.54	636.90
RR	10197.83	3133.04	8302.55	46	3113.13	1925.39	5102.30
SS	2542.17	1066.80	2827.03	47	28665.08	3647.14	9664.92
TT	2509.57	1052.31	2788.61	48	2562.39	240.54	636.90
UU	9934.85	3133.04	8302.55	49	9660.88	574.60	1522.69
VV	2647.81	1095.86	2904.04	50	2833.30	353.06	935.61
WW	2151.34	880.00	2331.99	51	4599.37	424.24	1124.24
				52	14159.31	1046.09	2772.15
				53	6403.71	627.08	1661.77

Fuente: Elaboración propia

Tabla 161. Fuerzas últimas en muros de tercer nivel

Fuerzas últimas - Nivel 3 Eje X				Fuerzas últimas - Nivel 3 Eje Y			
Muro	P _u (kgf)	V _u (kgf)	M _u (kgf.m)	Muro	P _u (kgf)	V _u (kgf)	M _u (kgf.m)
A	19369.86	9333.37	24732.91	1	1822.81	494.89	1311.45
B	2545.71	635.61	1684.37	2	1822.81	494.89	1311.45
C	1507.45	752.74	1994.75	3	7079.35	1523.07	4036.15
D	1139.25	521.68	1382.45	4	1777.24	481.33	1274.59
E	3329.73	1733.32	4592.77	5	1951.91	529.59	1403.41
F	1233.54	578.25	1532.35	6	19928.60	5470.71	14497.38
G	17679.62	13984.52	36952.97	7	21833.00	2888.09	7653.44
H	21772.28	5123.94	13578.43	8	1667.11	360.51	955.35
I	2952.86	635.61	1684.37	9	1709.97	360.51	955.35
J	7094.31	1522.65	4035.03	10	4656.75	863.90	2284.03
K	6628.50	2566.39	6800.93	11	13639.70	1569.14	4158.23
L	5701.42	1522.65	4035.03	12	4324.79	747.13	1979.90
M	3222.31	812.50	2153.12	13	1074.81	340.97	903.56
N	14000.66	5123.94	13578.43	14	9874.06	1569.14	4158.23
Ñ	22732.83	5435.13	14403.11	15	10717.96	2281.74	6046.60
O	9520.37	2407.69	6380.38	16	42838.71	9769.45	25889.04
P	5957.78	2407.69	6380.38	17	12810.27	2773.85	7350.70
Q	1934.98	635.61	1684.37	18	6025.64	1360.91	3606.40
R	7026.13	3320.11	8798.28	19	9520.37	1360.91	3606.40
S	2753.55	812.50	2153.12	20	22732.83	3062.78	8116.38
T	15518.55	5123.94	13578.43	21	20132.96	2888.09	7653.44
U	16336.97	8308.25	22016.86	22	9316.79	1360.91	3606.40
V	14702.85	4523.13	11986.29	23	24444.48	3062.78	8116.38
W	6975.66	2407.69	6380.38	24	7502.00	8609.15	22814.24
X	5512.93	2646.94	7014.39	25	22732.83	3062.78	8116.38
Y	13667.41	5435.13	14403.11	26	6062.05	1495.65	3963.46
Z	6239.87	13246.04	35102.00	27	3168.74	460.63	1220.66
AA	15270.83	19477.43	35715.18	28	5701.42	863.90	2284.03
BB	10921.35	7216.37	19123.38	29	3249.10	460.63	1220.66
CC	6616.24	4233.52	11218.82	30	6695.29	9216.36	24423.36
DD	10921.35	7216.37	19123.38	31	7397.59	10384.16	27518.02
EE	33915.05	19477.43	35715.18	32	36560.25	5850.64	15504.50
FF	5459.88	11349.67	30076.63	33	7502.00	8609.15	22814.24
GG	10717.96	4044.44	10717.76	34	20132.96	2888.09	7653.44
HH	1787.33	601.10	1592.90	35	22732.83	3062.78	8116.38
II	2168.49	1319.38	3496.36	36	9520.37	1360.91	3606.40
JJ	2168.49	1319.38	3496.36	37	26260.80	4604.14	12200.98
KK	1787.33	601.10	1592.90	38	2607.48	426.81	1131.05
LL	7918.78	4044.44	10717.76	39	2361.74	5060.06	13409.15
MM	6869.16	2777.48	7360.32	40	27838.00	61161.38	162077.67
NN	7059.35	2777.48	7360.32	41	2959.70	4401.14	11663.01
ÑÑ	7059.35	2777.48	7360.32	42	4592.73	1450.29	3843.27
OO	6869.16	2777.48	7360.32	43	10242.09	2023.88	5363.27
PP	1481.03	693.77	1838.50	44	6297.07	1360.91	3606.40
QQ	1822.81	873.06	2313.61	45	1988.55	360.51	955.35
RR	7079.35	2695.65	7143.48	46	21772.28	2888.09	7653.44
SS	1749.38	848.74	2249.16	47	19928.60	5470.71	14497.38
TT	1726.95	836.63	2217.07	48	1774.26	360.51	955.35
UU	6893.64	2695.65	7143.48	49	6746.08	863.90	2284.03
VV	1822.81	873.06	2313.61	50	1996.73	529.59	1403.41
WW	1481.03	693.77	1838.50	51	3189.24	636.36	1686.36
				52	9874.06	1569.14	4158.23
				53	4439.94	940.63	2492.66

Fuente: Elaboración propia

Tabla 162. Fuerzas últimas en muros de cuarto nivel

Fuerzas últimas - Nivel 4 Eje X				Fuerzas últimas - Nivel 4 Eje Y			
Muro	P _u (kgf)	V _u (kgf)	M _u (kgf-m)	Muro	P _u (kgf)	V _u (kgf)	M _u (kgf m)
A	10878.33	12062.69	31366.13	1	997.80	639.62	1694.98
B	1436.65	821.50	2176.96	2	997.80	639.62	1694.98
C	821.98	972.88	2578.13	3	3960.88	1968.50	5216.53
D	623.63	674.25	1786.76	4	972.86	623.84	1647.87
E	1823.64	2239.98	5915.94	5	1069.03	684.47	1813.84
F	674.52	747.36	1980.49	6	11192.13	7070.63	18737.18
G	9757.81	18022.63	47759.98	7	13466.90	3732.72	9891.72
H	12431.44	6622.45	17549.49	8	921.56	465.94	1234.75
I	1674.43	821.50	2176.96	9	948.59	465.94	1234.75
J	4034.65	1967.96	5215.09	10	2611.12	1113.96	2952.00
K	3704.25	3116.94	8789.89	11	7787.93	2028.04	5374.31
L	3221.21	1967.96	5215.09	12	2429.77	965.63	2558.93
M	1819.28	1050.12	2782.81	13	580.16	440.68	1167.81
N	7892.83	6622.45	17549.49	14	5588.81	2028.04	5374.31
Ñ	12979.89	7024.66	18615.34	15	6021.61	2949.04	7814.95
O	5401.43	3113.83	8246.34	16	24363.10	12626.55	33460.37
P	3120.89	3113.83	8246.34	17	6972.39	3585.07	9500.44
Q	1079.99	821.50	2176.96	18	3360.52	1758.91	4661.11
R	3898.94	4291.08	11371.36	19	5401.43	1758.91	4661.11
S	1545.53	1050.12	2782.81	20	12979.89	3958.50	10490.04
T	8779.28	6622.45	17549.49	21	11474.08	3732.72	9891.72
U	9140.49	10738.02	28455.76	22	5282.55	1758.91	4661.11
V	8127.93	5845.93	15491.71	23	13979.49	3958.50	10490.04
W	3915.33	3113.83	8246.34	24	4156.00	1126.92	29486.34
X	3048.59	3421.04	9865.77	25	12979.89	3958.50	10490.04
Y	7685.71	7024.66	18615.34	26	3369.27	1931.05	5122.59
Z	3443.93	17119.88	45367.69	27	1787.99	595.34	1577.64
AA	8163.59	17418.94	46160.20	28	3221.21	1113.96	2952.00
AB	6015.30	9126.82	24716.06	29	1814.92	595.34	1577.64
AC	3617.87	5471.62	14499.79	30	3671.54	13911.72	31566.05
AD	6015.30	9126.82	24716.06	31	4056.66	13421.03	35865.74
AE	19251.78	17418.94	46160.20	32	20884.12	7561.68	20038.46
AF	3013.44	14668.92	38872.63	33	4156.00	1126.92	29486.34
AG	6021.61	5227.25	13852.20	34	11474.08	3732.72	9891.72
AH	996.27	776.89	2058.75	35	12979.89	3958.50	10490.04
AI	1170.49	1705.24	4518.89	36	5401.43	1758.91	4661.11
AJ	1170.49	1705.24	4518.89	37	14940.15	5950.64	15769.20
AK	996.27	776.89	2058.75	38	1464.39	551.63	1461.83
AL	4386.89	5227.25	13852.20	39	1308.37	6539.89	17130.70
AM	3831.96	3589.76	9512.87	40	15276.68	78048.22	209471.77
AN	3945.02	3589.76	9512.87	41	1252.97	5688.26	15073.89
AO	3945.02	3589.76	9512.87	42	2515.36	1874.43	4967.24
AP	3831.96	3589.76	9512.87	43	5764.54	2615.76	6831.77
AQ	810.71	896.67	2176.18	44	3519.04	1758.91	4661.11
AR	997.80	1128.39	2980.24	45	1111.27	465.94	1234.75
AS	3960.88	3484.00	9232.61	46	12431.44	3732.72	9891.72
AT	956.59	1086.96	2886.94	47	11192.13	7070.63	18737.18
AU	944.32	1081.30	2865.45	48	986.13	465.94	1234.75
AV	3852.42	3484.00	9232.61	49	3831.29	1113.96	2952.00
AW	997.80	1128.39	2980.24	50	1060.17	684.47	1813.84
AX	810.71	896.67	2176.18	51	1779.12	822.47	2179.55
AY				52	5588.81	2028.04	7402.35
AZ				53	2476.17	1215.72	5653.08

Fuente: Elaboración propia

Ya obtenidas las fuerzas aplicadas se diseñó el refuerzo necesario de los muros de mampostería de ladrillo para resistir las solicitaciones sísmicas, el acero requerido consistía en el acero que resiste los efectos de volteo ubicado en los extremos, el refuerzo a corte colocado entre mampuestos horizontalmente y entre celdas verticalmente. (Ver Anexo 7)

Como última etapa se estableció el tipo de cimentación para los muros de mampostería que debido a su naturaleza se eligió la cimentación corrida que no es más que una zapata debajo de todos los muros. Para el diseño de esta se utilizaron los datos del estudio de suelos del sitio en donde se construiría el edificio para establecer la capacidad soporte del suelo y así diseñar la zapata requerida. (Ver Anexo 8)

Tabla 163. Armado de muros con longitudes entre 0.01 m a 1.00 m

Acero para muros de L = 0.01 m - 1.50 m				
Eje	Nivel	Acero de refuerzo		
		Por Volteo	Horizontal	Vertical
X	1	2 Varilla No.4 @ Cada lado	Esl. No.4 @ 40 in \approx 1.00 m	Varillas No.4 @ 24 in \approx 0.60 m
	2	2 Varilla No.4 @ Cada lado	Esl. No.4 @ 40 in \approx 1.00 m	Varillas No.4 @ 24 in \approx 0.60 m
	3	2 Varilla No.4 @ Cada lado	Esl. No.4 @ 40 in \approx 1.00 m	Varillas No.4 @ 24 in \approx 0.60 m
	4	N/A	N/A	N/A
Y	1	2 Varillas No.4 @ Cada lado	Esl. No.4 @ 16 in \approx 0.40 m	Varillas No.4 @ 24 in \approx 0.60 m
	2	3 Varillas No.4 @ Cada lado	Esl. No.4 @ 16 in \approx 0.40 m	Varillas No.4 @ 24 in \approx 0.60 m
	3	2 Varillas No.6 @ Cada lado	Esl. No.4 @ 8 in \approx 0.20 m	Varillas No.4 @ 24 in \approx 0.60 m
	4	2 Varilla No.7 @ Cada lado	Esl. No.4 @ 8 in \approx 0.20 m	Varillas No.4 @ 24 in \approx 0.60 m

Fuente: Elaboración propia

Tabla 164. Armado de muros con longitudes entre 1.51 m a 2.50 m

Acero para muros de L = 1.51 m - 2.50 m				
Eje	Nivel	Acero de refuerzo		
		Por Volteo	Horizontal	Vertical
X	1	2 Varilla No.4 @ Cada lado	Esl. No.4 @ 40 in \approx 1.00 m	Varillas No.4 @ 24 in \approx 0.60 m
	2	2 Varilla No.4 @ Cada lado	Esl. No.4 @ 40 in \approx 1.00 m	Varillas No.4 @ 24 in \approx 0.60 m
	3	2 Varilla No.4 @ Cada lado	Esl. No.4 @ 40 in \approx 1.00 m	Varillas No.4 @ 24 in \approx 0.60 m
	4	N/A	N/A	N/A
Y	1	2 Varillas No.4 @ Cada lado	Esl. No.4 @ 40 in \approx 1.00 m	Varillas No.4 @ 24 in \approx 0.60 m
	2	2 Varillas No.4 @ Cada lado	Esl. No.4 @ 40 in \approx 1.00 m	Varillas No.4 @ 24 in \approx 0.60 m
	3	2 Varillas No.4 @ Cada lado	Esl. No.4 @ 40 in \approx 1.00 m	Varillas No.4 @ 24 in \approx 0.60 m
	4	2 Varillas No.4 @ Cada lado	Esl. No.4 @ 40 in \approx 1.00 m	Varillas No.4 @ 24 in \approx 0.60 m

Fuente: Elaboración propia

Tabla 165. Armado de muros con longitudes entre 2.51 m a 3.00 m

Acero para muros de L = 2.51 m - 3.50 m				
Eje	Nivel	Acero de refuerzo		
		Por Volteo	Horizontal	Vertical
X	1	1 Varilla No.8 @ Cada lado	Esl. No.4 @ 24 in \approx 0.60 m	Varillas No.4 @ 40 in \approx 1.00 m
	2	1 Varilla No.8 @ Cada lado	Esl. No.4 @ 24 in \approx 0.60 m	Varillas No.4 @ 40 in \approx 1.00 m
	3	1 Varilla No.8 @ Cada lado	Esl. No.4 @ 24 in \approx 0.60 m	Varillas No.4 @ 40 in \approx 1.00 m
	4	1 Varilla No.8 @ Cada lado	Esl. No.4 @ 24 in \approx 0.60 m	Varillas No.4 @ 40 in \approx 1.00 m
Y	1	3 Varillas No.4 @ Cada lado	Esl. No.4 @ 24 in \approx 0.60 m	Varillas No.4 @ 24 in \approx 0.60 m
	2	3 Varillas No.4 @ Cada lado	Esl. No.4 @ 24 in \approx 0.60 m	Varillas No.4 @ 24 in \approx 0.60 m
	3	3 Varillas No.4 @ Cada lado	Esl. No.4 @ 24 in \approx 0.60 m	Varillas No.4 @ 24 in \approx 0.60 m
	4	3 Varillas No.4 @ Cada lado	Esl. No.4 @ 24 in \approx 0.60 m	Varillas No.4 @ 24 in \approx 0.60 m

Fuente: Elaboración propia

Tabla 166. Armado de muros con longitudes entre 3.51 m a 4.50 m

Acero para muros de L = 3.51 m - 4.50 m				
Eje	Nivel	Acero de refuerzo		
		Por Volteo	Horizontal	Vertical
X	1	7 Varilla No.4 @ Cada lado	Esl. No.4 @ 24 in \approx 0.60 m	Varillas No.4 @ 40 in \approx 1.00 m
	2	7 Varilla No.4 @ Cada lado	Esl. No.4 @ 24 in \approx 0.60 m	Varillas No.4 @ 40 in \approx 1.00 m
	3	7 Varilla No.4 @ Cada lado	Esl. No.4 @ 24 in \approx 0.60 m	Varillas No.4 @ 40 in \approx 1.00 m
	4	N/A	N/A	N/A
Y	1	3 Varillas No.4 @ Cada lado	Esl. No.4 @ 24 in \approx 0.60 m	Varillas No.4 @ 24 in \approx 0.60 m
	2	3 Varillas No.4 @ Cada lado	Esl. No.4 @ 24 in \approx 0.60 m	Varillas No.4 @ 24 in \approx 0.60 m
	3	3 Varillas No.4 @ Cada lado	Esl. No.4 @ 24 in \approx 0.60 m	Varillas No.4 @ 24 in \approx 0.60 m
	4	3 Varillas No.4 @ Cada lado	Esl. No.4 @ 24 in \approx 0.60 m	Varillas No.4 @ 24 in \approx 0.60 m

Fuente: Elaboración propia

Tabla 167. Armado de muros con longitudes entre 4.51 m a 7.50 m

Acero para muros de L = 4.51 m - 7.50 m				
Eje	Nivel	Acero de refuerzo		
		Por Volteo	Horizontal	Vertical
X	1	3 Varilla No.8 @ Cada lado	Esl. No.4 @ 24 in \approx 0.60 m	Varillas No.4 @ 40 in \approx 1.00 m
	2	3 Varilla No.8 @ Cada lado	Esl. No.4 @ 24 in \approx 0.60 m	Varillas No.4 @ 40 in \approx 1.00 m
	3	3 Varilla No.8 @ Cada lado	Esl. No.4 @ 24 in \approx 0.60 m	Varillas No.4 @ 40 in \approx 1.00 m
	4	N/A	N/A	N/A
Y	1	2 Varillas No.8 @ Cada lado	Esl. No.4 @ 24 in \approx 0.60 m	Varillas No.4 @ 24 in \approx 0.60 m
	2	2 Varillas No.8 @ Cada lado	Esl. No.4 @ 24 in \approx 0.60 m	Varillas No.4 @ 24 in \approx 0.60 m
	3	2 Varillas No.8 @ Cada lado	Esl. No.4 @ 24 in \approx 0.60 m	Varillas No.4 @ 24 in \approx 0.60 m
	4	2 Varillas No.8 @ Cada lado	Esl. No.4 @ 24 in \approx 0.60 m	Varillas No.4 @ 24 in \approx 0.60 m

Fuente: Elaboración propia

Tabla 168. Diseño de cimentación corrida

Diseño de cimentación		
Esfuerzos últimos en zapata		
$w_u =$	21407.05	lbf/ft
$M_u =$	9510.03	lbf*ft/ft
$V_u =$	14380.54	lbf/ft
Dimensiones		
$h =$	16	in
$b =$	4.00	ft
$rec =$	3	in
Refuerzo a flexión		
Varillas No.4 @ 5 in \approx 12.5 cm		
Refuerzo longitudinal		
6 Varillas No.4		

Fuente: Elaboración propia

Como parte del análisis del edificio mencionado se generó un costo de construcción del mismo, donde se incluyen precios de materiales y cantidades necesarias para la finalización del proyecto haciendo una cuantificación bastante grossa para obtener un costo aproximado de la estructura.

Tabla 169. Cuantificación y costo total de la estructura

Cuantificación de materiales para construcción de estructura							
Descripción	Unidad	Cantidad	Desperdicio	Precio unitario		Total	
Muros de mampostería							
Bloque de arcilla 0.14 x 0.19 x 0.39 de 6.5 kg	Unidad	37192.75	10%	Q 6.56	Q	268,382.88	
Arena	m ³	116.00	110%	193.00	Q	47,502.00	
Agregado grueso de 3/8"	m ³	173.00	10%	100.00	Q	19,030.00	
Cemento	saco de 42.5 kg	1382.00	10%	74.32	Q	112,981.26	
Aceero corrugado G-60 de 1/2" x 6	Varilla	562.00	2%	41.49	Q	23,783.73	
Aceero corrugado G-60 de 1/2" x 6	Varilla	562.00	2%	41.49	Q	23,783.73	
Aceero corrugado G-60 de 1/2" x 6	Reforzo volteo	376.00	2%	41.49	Q	15,912.24	
Aceero corrugado G-60 de 1/2" x 6	Reforzo volteo	200.00	2%	41.49	Q	8,463.96	
Aceero corrugado G-60 de 1/2" x 6	Reforzo volteo	96.00	2%	41.49	Q	4,062.70	
Aceero corrugado G-60 de 1" x 6	Reforzo volteo	28.00	2%	166.17	Q	4,745.82	
Aceero corrugado G-60 de 7/8" x 6	Reforzo volteo	8.00	2%	126.80	Q	1,034.69	
Aceero corrugado G-60 de 1/2" x 6	Reforzo volteo	112.00	2%	41.49	Q	4,739.82	
Aceero corrugado G-60 de 3/8" x 6	Reforzo volteo	2.00	2%	64.83	Q	132.25	
Aceero corrugado G-60 de 1" x 6	Reforzo volteo	60.00	2%	166.17	Q	10,169.60	
Aceero corrugado G-60 de 1" x 6	Reforzo volteo	48.00	2%	166.17	Q	8,133.68	
Aceero corrugado G-60 de 7/8" x 6	Reforzo volteo	1.00	2%	126.80	Q	129.34	
Mezcla de mortero lista	Saco de 50 kg	876.00	5%	39.00	Q	35,872.20	
Hywood sangre 4' x 8' x 1/2"	plancha	571.00	5%	186.00	Q	111,516.30	
Alambre de amarre	qq	2.00	5%	410.60	Q	862.26	
Losas							
Aceero corrugado G-60 de 3/8" x 12	Reforzo	Varilla	1686.00	2%	46.77	Q	80,431.30
Aceero corrugado G-60 de 3/8" x 12	Reforzo	Varilla	2109.00	2%	46.77	Q	100,610.69
Aceero corrugado G-60 de 3/8" x 12	Reforzo	Varilla	562.00	2%	46.77	Q	26,310.43
Aceero corrugado G-60 de 1/2" x 12	Reforzo	Varilla	562.00	2%	83.09	Q	47,630.31
Concreto de 4000 psi	m ³	225.00	15%	1,600.00	Q	414,000.00	
Separadores	Unidad	6848.00	0%	5.00	Q	34,240.00	
Caracol	Cabeta	69.00	0%	215.00	Q	14,835.00	
Alambre de amarre	qq	3.00	5%	410.60	Q	1,293.39	
Cimiento corrido							
Aceero corrugado G-60 de 1/2" x 6	Estribos	Varilla	511	2%	41.49	Q	21,625.42
Aceero corrugado G-60 de 1/2" x 12	Reforzo lo ng.	Varilla	148	2%	83.09	Q	12,543.27
Concreto de 4000 psi	m ³	118	20%	1,600.00	Q	226,560.00	
Alambre de amarre	qq	1.00	5%	410.60	Q	431.13	
Solera							
Aceero corrugado G-60 de 1/4" x 6	Reforzo lo ng.	Varilla	936	5%	10.55	Q	10,368.54
Aceero corrugado G-60 de 3/8" x 12	Estribos	Varilla	394	5%	46.77	Q	19,348.75
Concreto de 4000 psi	m ³	40	10%	1,600.00	Q	70,400.00	
Alambre de amarre	qq	1.00	5%	410.60	Q	431.13	
Viga							
Aceero corrugado G-60 de 1/2" x 12	Reforzo lo ng.	Varilla	68	2%	10.55	Q	731.75
Aceero corrugado G-60 de 3/8" x 12	Estribos	Varilla	107	2%	129.40	Q	14,122.72
Concreto de 4000 psi	m ³	12	10%	1,600.00	Q	21,120.00	
Alambre de amarre	qq	1.00	5%	410.60	Q	431.13	
Mano de obra							
Cimentación	ml	280.70	0%	70.00	Q	19,649.00	
Muros	m ²	2975.42	0%	90.00	Q	267,787.80	
Losas	m ²	1712.00	0%	140.00	Q	239,680.00	
					Total	Q	2,346,322.42

Como parte del análisis de la edificación se obtuvo la huella de carbono para verificar el impacto ambiental que se genera por la construcción del edificio en mampostería de ladrillo.

Se utilizó la calculadora de huella de carbono proporcionada por la Agencia Medioambiental del Reino Unido (Environment Agency), en donde se ingresan los datos del edificio, materiales utilizados, distancias recorridas para la entrega de materiales, movilizaciones, etc. que suman en totalidad la cantidad total de carbono desplazada por todas las actividades.

Con ello se obtuvo una huella de carbono resultante de 243 toneladas equivalentes de CO₂ emitidas.

D. Diseño de instalaciones hidráulicas

1. Dotación y conducción de agua potable

El edificio se encuentra ubicado en Fraijanes, en un sector de plusvalía por lo que según la Tabla 1, la dotación adecuada es de 250 litros/habitante/día.

Se realiza una proyección a 20 años de la población por edificio. Con una tasa de crecimiento poblacional para el departamento de Guatemala de 0.01, 60 habitantes para el año 2018, se obtiene la población proyectada para el año 2038 utilizando la fórmula de crecimiento poblacional.

$$P = 60 \text{ hab} * (1 + 0.01)^{20} = 75.02 \text{ hab} \approx 76 \text{ hab}$$

Se calcula el caudal medio diario de toda la población. Donde 86400 es la cantidad de segundos en un día.

$$Q_m = \frac{250 \frac{\text{litro}}{\text{hab} * \text{día}} * 76 \text{ hab}}{86400} = 0.22 \frac{L}{s}$$

El caudal máximo diario para poder abastecer suficiente agua durante todo el año. Se utiliza un factor máximo diario de 1.5 debido a que la población futura es menor a 1000 habitantes.

$$Q_{MD} = 0.22 \frac{L}{s} * 1.5 = 0.33 \frac{L}{s}$$

Por ser un sistema de distribución de bombeo que solo actúa durante una limitada cantidad de horas al día, se utiliza el caudal máximo diario para el cálculo del caudal de bombeo. El tiempo de bombeo recomendado es de 8 horas.

Tabla 170. Diámetros de referencia

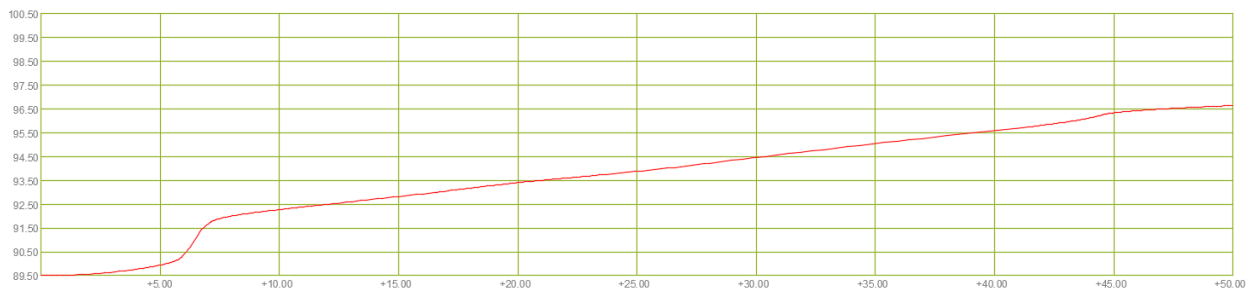
Diámetros de referencia		
φ_1	0.99	in
φ_2	1.80	in

Fuente: Elaboración propia

$$Q_b = \frac{0.33 \frac{L}{s} * 24}{8} = 0.99 \frac{L}{s}$$

Considerando la geometría del perfil del terreno, se deben encontrar los diámetros de la tubería de conducción hacia el tanque cisterna que almacenará el agua para todo el edificio.

Figura 120. Elevación del perfil del terreno



Fuente: Elaboración propia

Tabla 171. Cotas para la conducción de agua potable por bombeo

Geometría del perfil				
Cota alta	96.50	m	368.73	ft
Cota baja	92.00	m	351.53	ft
Longitud	37.75	m	144.24	ft

Fuente: Elaboración propia

Se procede a encontrar dos diámetros de tubería según la velocidad máxima y mínima que se manejan en las mismas (2 m/s y 0.6 m/s).

Se calculan las pérdidas en estas tuberías mediante la ecuación de Hazen-Williams. El coeficiente de Hazen-Williams del PVC es de 150.

Tabla 172. Pérdidas en las tuberías utilizando la ecuación de Hazen-Williams

Pérdidas		
Hf_1	6.02	m
Hf_2	0.21	m

Fuente: Elaboración propia

Se calcula la carga dinámica total para el cálculo de la potencia de la bomba de succión. Esta puede ser calculada de la siguiente manera:

$$CDT = H_{pozo} + H_{cisterna} + \Delta H_{cotas} + Hf_{impulsión} + Hf_{vel} + Hf_{menores}$$

$$CDT = 213.36 m + 2.00 m + 4.50 m + 0.08 m + 1.98 * 10^{-11} m + 0.50 m = 220.44 m$$

Con la carga dinámica total se puede calcular la potencia de la bomba, utilizando la ecuación para fluidos, se asume una eficiencia del 70% para una bomba sumergible:

$$P = \frac{CDT * Q * \gamma}{76 * e} = 4.10 hp \approx 5 hp$$

2. Sistema de distribución de agua potable

Se debe calcular la tubería de conducción de agua en el interior de cada apartamento para agua fría y agua caliente, el procedimiento es el mismo, únicamente considera caudales distintos para cada tipo de uso.

Se inicia estimando el caudal instantáneo por dispositivo y total para cada tipo de uso. Según la Tabla 171, se estima lo siguiente:

Tabla 173. Caudal instantáneo de agua fría

Cantidad	Dispositivo	Q inst (L/s)	Q inst total (L/s)
2	Lavamanos	0.05	0.1
2	Ducha	0.2	0.4
1	Lavaplatos	0.2	0.2
1	Lavadora de ropa	0.2	0.2

Fuente: Elaboración propia

Tabla 174. Caudal instantáneo de agua caliente

Cantidad	Dispositivo	Q inst (L/s)	Q inst total (L/s)
2	Lavamanos	0.03	0.06
2	Ducha	0.1	0.2
1	Lavaplatos	0.2	0.2
1	Lavadora de ropa	0.15	0.15

Fuente: Elaboración propia

El caudal instantáneo total para conducción de agua fría es de 0.9 L/s y para agua caliente es de 0.61 L/s. Se procede a calcular un coeficiente de simultaneidad por apartamento que depende de la cantidad de grifos en la misma. Este depende del número de grifos que utilicen cada tipo de agua, para cada apartamento los 6 dispositivos aprovechan agua fría y caliente. El coeficiente de simultaneidad es igual a 0.54 para cada caso.

Se calcula la caudal punta, este se utilizará para la tubería de conducción principal en cada apartamento. Se multiplica el coeficiente de simultaneidad por el caudal instantáneo total para agua fría y caliente; resultando los caudales punta en 0.48 L/s y 0.33 L/s respectivamente.

La tabla 171 se basa en una velocidad mínima de 0.8 m/s, la cual se selecciona para los sub-ramales y una velocidad máxima de 2.5 m/s, la cual se selecciona para los ramales de enlace.

Utilizando el nomograma de la Figura 41, intersecando el caudal instantáneo y la velocidad de cada dispositivo, se puede encontrar el diámetro para cada sub-ramal.

Tabla 175. Diámetros de los sub-ramales de agua fría de cada dispositivo

Dispositivo	Q inst (L/s) AF	Vel (m/s)	D (mm)	D (in)
Lavamanos	0.05	0.8	12	0.5
Ducha	0.2		17	0.75
Lavaplatos	0.2		17	0.75
Lavadora de ropa	0.2		17	0.75

Fuente: Elaboración propia

Tabla 176. Diámetros de los sub-ramales de agua caliente para cada dispositivo

Dispositivo	Q inst (L/s) AF	Vel (m/s)	D (mm)	D (in)
Lavamanos	0.03	0.8	12	0.5
Ducha	0.1		12	0.5
Lavaplatos	0.2		17	0.75
Lavadora de ropa	0.15		14	0.75

Fuente: Elaboración propia

Tabla 177. Diámetro del ramal de enlace de agua fría

Q (L/s)	Vel (m/s)	D (mm)	D (in)
0.48	2.5	17	0.75

Fuente: Elaboración propia

Tabla 178. Diámetro del ramal de enlace de agua caliente

Q (L/s)	Vel (m/s)	D (mm)	D (in)
0.33	2.5	17	0.75

Fuente: Elaboración propia

Se procede al cálculo de las tuberías de alimentación, para esto se utiliza el método de Hunter. Con base en la tabla o del anexo se asigna una cantidad de unidades de gasto (UH) a cada dispositivo de cada nivel y según el total de UH acumuladas en cada nivel se utilizan las tablas p y q del anexo para determinar el consumo probable y utilizando la ecuación de Hazen-Williams, determinar el diámetro del alimentador.

Tabla 179. Diámetro de los alimentadores

Nivel	Cant. Sub-ramales Apto.	UH individuales	Total UH	Suma acum.	Consumo prob.	φ alimentación (in)	
1	6		13				
Duchas	2	2	4	46	1.84	2.04	2.00
Lavadero de cocina	1	3	3				
Lavadora de ropa	1	4	4				
Lavamanos	2	1	2				
2	6		13				
Duchas	2	2	4	33	1.61	1.83	2.00
Lavadero de cocina	1	3	3				
Lavadora de ropa	1	4	4				
Lavamanos	2	1	2				
3	6		13				
Duchas	2	2	4	20	1.33	1.57	2.00
Lavadero de cocina	1	3	3				
Lavadora de ropa	1	4	4				
Lavamanos	2	1	2				
4	3		7				
Lavaderos de cocina	2	3	6	7	0.97	1.20	1.50
Lavamanos	1	1	1				

Fuente: Elaboración propia

Se utilizará tubería de 1” de diámetro para la distribución a todos los alimentadores en el primer nivel.

La cisterna de almacenamiento de agua potable se calculó con base en la dotación de agua potable por persona.

Tabla 180. Volumen requerido de almacenamiento de agua

Aspecto	Cantidad	Unidad
Habitantes por aptos.	4.00	
Niveles	3.00	
Aptos. por nivel	5.00	
Habitantes/nivel	20.00	
Dotación	250.00	L/hab/día
Dotación por nivel	5,000.00	L/nivel/día
Dotación total	15,000.00	L/día
Reserva (50%)	7,500.00	L/día
Volumen por día	22,500.00	L
	22.50	m ³

Fuente: Elaboración propia

La cisterna tendrá una profundidad de 2 metros, un ancho de 3 metros y un largo de 4 metros.

3. Sistema de recolección y distribución de aguas grises

a. Recolección de aguas grises

Este se trabajó como un sistema de drenaje común, ya que, aunque las aguas grises no contienen materia fecal, transportan otros sedimentos.

Los sifones y sus derivaciones se determinan por diámetros estándar existentes en el mercado. A cada dispositivo generador se asigna una cantidad de unidades de descarga o desagüe (UD) según la Tabla 172 para una pendiente del 1%.

Tabla 181. Diámetros de sifones y derivaciones simples

Cant.	Dispositivo.	UD indiv.	UD total.	φ (in)
2	Lavamanos	1.00	2.00	1.50
2	Ducha	2.00	4.00	1.50
1	Lavaplatos	3.00	3.00	1.50
1	Lavadora de ropa	3.00	3.00	1.50

Fuente: Elaboración propia

Las derivaciones compuestas son las que recolectan las aguas grises de varios dispositivos y se determinan con base en la Tabla 173, verificando el número de UD acumuladas por nivel. Se coloca un sifón al final de cada bajante.

Tabla 182. Cálculo de diámetros de derivaciones compuestas y bajantes. (4 niveles)

Nivel	Cant.	Dispositivo.	UD indiv.	UD total	UD acum.	φ (in)	φ (in)
4	1	Lavamanos	1.00	1.00	7.00	2.50	3.00
	2	Lavaplatos	3.00	6.00			
3	2	Lavamanos	1.00	2.00	19.00	3.00	3.00
	2	Ducha	2.00	4.00			
	1	Lavaplatos	3.00	3.00			
	1	Lavadora de ropa	3.00	3.00			
2	2	Lavamanos	1.00	2.00	31.00	4.00	4.00
	2	Ducha	2.00	4.00			
	1	Lavaplatos	3.00	3.00			
	1	Lavadora de ropa	3.00	3.00			
1	2	Lavamanos	1.00	2.00	43.00	4.00	4.00
	2	Ducha	2.00	4.00			
	1	Lavaplatos	3.00	3.00			
	1	Lavadora de ropa	3.00	3.00			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 183. Cálculo de diámetros de derivaciones compuestas y bajantes (3 niveles)

Nivel	Cant.	Dispositivo.	UD indiv.	UD total	UD acum.	ϕ (in)	ϕ (in)
3	2	Lavamanos	1.00	2.00	12.00	3.00	4.00
	2	Ducha	2.00	4.00			
	1	Lavaplatos	3.00	3.00			
	1	Lavadora de ropa	3.00	3.00			
2	2	Lavamanos	1.00	2.00	24.00	3.00	4.00
	2	Ducha	2.00	4.00			
	1	Lavaplatos	3.00	3.00			
	1	Lavadora de ropa	3.00	3.00			
1	2	Lavamanos	1.00	2.00	36.00	4.00	4.00
	2	Ducha	2.00	4.00			
	1	Lavaplatos	3.00	3.00			
	1	Lavadora de ropa	3.00	3.00			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 184. Diámetro de los colectores de agua gris

UD Máx.	ϕ (mm)	ϕ (in)	
43.00	90.00	3.54	3.50

Fuente: Elaboración propia

b. Distribución de aguas grises

Se utiliza el mismo procedimiento utilizado para la distribución de agua potable. Considerando unidades únicamente para los inodoros que son los que dispositivos aprovechadores de agua gris.

Tabla 185. Caudal instantáneo de agua gris

Cantidad	Dispositivo	Q inst (L/s)	Q inst total (L/s)
2	Inodoros	0.1	0.2

Fuente: Elaboración propia

El coeficiente de simultaneidad es de 0.85, resultando en una caudal punta de 0.17 L/s. La selección de la velocidad es la misma; 0.8 m/s para sub-ramales y 2.5 m/s para alimentadores y ramales.

Tabla 186. Diámetro del sub-ramal de agua gris

Dispositivo	Q inst (L/s) AF	Vel (m/s)	D (mm)	D (in)
Inodoros	0.1	0.8	12	0.5

Fuente: Elaboración propia

Tabla 187. Diámetro del ramal de enlace de agua gris

Q (L/s)	Vel (m/s)	D (mm)	D (in)
0.17	0.8	15	0.75

Fuente: Elaboración propia

Tabla 188. Diámetro de los alimentadores de agua gris

Dispositivo por nivel	Cant. Sub-ramales Apto.	UH individuales	Total UH	Suma acum.	Consumo prob.	φ alimentación (in)	
1	6		6	21	1.35	1.27	1.50
Inodoro	2	3	6				
2	6		6	15	1.20	1.14	1.50
Inodoro	2	3	6				
3	6		6	9	1.03	0.99	1.00
Inodoro	2	3	6				
4	3		3	3	0.00	0.00	1.00
Inodoro	1	3	3				

Fuente: Elaboración propia

c. Almacenamiento y bombeo

Según la Tabla 188, se determina el gasto total de agua fría y caliente por dispositivo. Asumiendo los tiempos totales de uso se encuentra el volumen de agua gris producida por vivienda.

Tabla 189. Volumen de agua gris producida por apartamento

Dispositivo	Consumo (L/s)	Tiempo de uso (min)	Vol por día (L)
Ducha	0.20	60.00	720.00
Lavamanos	0.10	15.00	90.00
Lavaplatos	0.10	50.00	300.00
Lavadora de ropa	0.20	7.00	84.00
Vol/apto			1194.00

Fuente: Elaboración propia

Existen 15 apartamentos en el edificio, el cuarto nivel es despreciable para efectos del cálculo total de agua gris; por lo que, el volumen de agua gris generado en el edificio es de 17.91 m³.

Estimando una descarga en los inodoros de 4.5 L y un promedio de 6 usos al día por persona, se calcula el volumen de aguas grises tratadas que serán reutilizadas por los inodoros.

Tabla 190. Volumen de agua gris necesaria para reutilizar en inodoros

Aspecto	Cantidad	Unidad
Habitantes por apto.	4.00	hab
Niveles	3.00	
Aptos. Por nivel	5.00	
Habitantes/nivel	20.00	
Volumen promedio por descarga	4.50	L
Cantidad de usos al día/persona	6.00	
Volumen por persona	27.00	L
Descarga por nivel/día	540.00	L
Descarga total/día	1620.00	
Reserva (40%)	648.00	L
Volumen/día	2268.00	L
	2.27	m ³

Fuente: Elaboración propia

Se calcula el volumen de agua necesaria para riego, con una dotación de 5 L/m² según la Tabla 190. El área de jardín se estimó según los planos arquitectónicos proporcionados.

Tabla 191. Volumen de agua gris necesaria para reutilizar en riego

Aspecto	Cantidad	Unidad
Área jardín	270.00	m ²
Dotación riego	5.00	L/m ²
Gasto riego	1350.00	L
Reserva (25%)	337.50	L
Volumen/día	1687.50	L
	1.69	m ³

Fuente: Elaboración propia

El volumen total por reutilizar es de 3.96 m³; se dimensiona una cisterna enterrada de 2 m de profundidad, 1 metro de ancho y 2 metros de largo.

Para el cálculo del tanque hidroneumático, se utiliza la Tabla 191 para calcular las unidades de flujo a 35 psi. Según el total de unidades de flujo se puede calcular el caudal probable de gpm o m³/s para determinar la capacidad del tanque hidroneumático y la bomba.

Cada inodoro representa 12 unidades de gasto y existen 31 inodoros en el edificio, por lo que hay un total de 372 unidades de gasto. La Tabla 190 indica que para 400 unidades hay un consumo probable de 42 gpm. Se calcula el volumen mínimo del tanque hidroneumático.

$$V = \frac{42 \text{ gpm} * 1 \text{ min}}{0.4} = 105 \text{ gal} = 0.48 \text{ m}^3$$

Se utilizará un tanque hidroneumático de 119 galones, según lo especifica el fabricante.

Se procede a calcular la potencia de la bomba para el sistema asumiendo una eficiencia del 70%. Los 92.4 ft representan una entrada de 40 psi al sistema, requeridos por el tanque hidroneumático.

$$P = \frac{42 \text{ gpm} * 92.4 \text{ ft}}{3960 * 0.7} = 1.4 \text{ hp} \approx 2 \text{ hp}$$

El agua gris tratada es almacenada en el tanque cisterna enterrado mencionado anteriormente, por un sistema de rebalse, el restante es conducido a la red de drenaje municipal. El agua de la cisterna es bombeada mediante el tanque hidroneumático y la bomba hacia un tanque prefabricado elevado 3.5 metros sobre el cuarto nivel para garantizar una presión necesaria para los inodoros.

d. Sistema de drenajes

Se utiliza el mismo procedimiento utilizado para la recolección de aguas grises.

Tabla 192. Diámetros de derivaciones simples y sifones para aguas negras

Cant.	Dispositivo.	UD indiv.	UD total.	φ (in)
2	Inodoros	4.00	8.00	3.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 193. Diámetros de sifones y derivaciones simples para agua negra de inodoros

Nivel	Cant.	Dispositivo.	UD indiv.	UD total	UD acum.	φ (in)	φ (in)
3	2	Inodoros	4.00	8.00	8.00	2.50	3.00
2	2	Inodoros	4.00	8.00	16.00	3.00	3.00
1	2	Inodoros	4.00	8.00	24.00	3.00	3.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 194. Diámetros de derivaciones compuestas y bajantes de aguas negras

Nivel	Cant.	Dispositivo.	UD indiv.	UD total	UD acum.	φ (in)	φ (in)
4	1	Inodoros	4.00	4.00	4.00	2.00	3.00
3	2	Inodoros	4.00	8.00	12.00	2.50	3.00
2	2	Inodoros	4.00	8.00	20.00	3.00	3.00
1	2	Inodoros	4.00	8.00	28.00	4.00	4.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 195. Diámetro de tubería colectora de aguas negras

Cant. Máx.	Dispositivo	UD indiv.	UD total.	φ (mm)	φ (in)	
7	Inodoros	4.00	28.00	90.00	3.54	3.50

Fuente: Elaboración propia

e. Plantas de tratamiento

Se utilizarán plantas de tratamiento pre-fabricadas, ya que no corresponde a este trabajo el diseño de las mismas.

- Aguas grises: Se utilizarán cuatro filtros biológicos de una fase, capacidad para 80 habitantes.
- Aguas negras: Se utilizará un tanque séptico con trampa de grasa previa. No se considerará desinfección. Capacidad de 1000 galones.

f. Análisis económico

Se consideró el sobrecosto de la instalación adicional de alimentación, drenaje, bombeo y tratamiento que representa el sistema de reutilización de aguas grises. Los precios fueron conseguidos mediante llamadas telefónicas, catálogos y cotizaciones provistas por terceros de otras empresas.

Tabla 196. Cuantificación de sobrecosto de la implementación del sistema propuesto

Sistema	Elemento	Uso	Cantidad	Costo Material	Costo Instalación	Total
Drenaje	PVC 4"	Colectores	7.00	Q197.90	Q45.00	Q1,700.30
	Codo 90° Sanitario 3"	Colectores	5.00	Q16.60	Q0.00	Q83.00
	Codo 45° Sanitario 4"	Colectores	9.00	Q25.20	Q0.00	Q226.80
	PVC 3"	Bajantes	10.00	Q120.00	Q40.00	Q1,600.00
Bombeo	Bomba 2 hp		1.00	Q4,790.00	Q0.00	Q4,790.00
	Tanque hidroneumático 119 gal		1.00	Q5,490.00	Q0.00	Q5,490.00
Tratamiento	Filtro biológico de una fase para 80 hab.		1.00	Q43,990.00	Q0.00	Q43,990.00
Distribución	PVC 1.5"	Alimentador	5.00	Q70.80	Q30.00	Q504.00
	PVC 1"	Alimentador	5.00	Q40.00	Q30.00	Q350.00
	TEE 1"	Alimentador	15.00	Q4.10	Q0.00	Q61.50
	TEE 1.5"	Alimentador	15.00	Q11.40	Q0.00	Q171.00
	Reductor 1" x 0.75"	Alimentador	11.00	Q2.80	Q0.00	Q30.80
	Reductor 1.5" x 0.75"	Alimentador	20.00	Q4.90	Q0.00	Q98.00
					Total	Q59,095.40

Fuente: Elaboración propia

Tabla 197. Análisis de sobrecosto de implementación del sistema

Sistema	Costo Adicional	Costo por Apto.	Costo dólar	Costo Apto.	Aumento
Completo	Q59,095.40	Q3,939.69	Q7.79	\$80,000.00	0.63%
Sin tratamiento	Q15,105.40	Q1,007.03			0.16%

Fuente: Elaboración propia

E. Diseño de consumo energético

1. Energía necesaria en el edificio

En esta sección se calculó la energía eléctrica necesaria de cada apartamento para iluminación únicamente. El servicio que el edificio propondrá es de generar la suficiente energía para que cada usuario y el edificio en si se ahorre el gasto de iluminación.

a. Cálculo de lúmenes por habitación

1) Diseño de luminarias

Figura 121. Diseño luminaria sala parte 1

Diseño Luminaria Sala

1. Cálculo del flujo luminoso total en la habitación:

Dimensiones de la habitación

$a := 3.40 \text{ m}$ (Ancho)	$b := 5.80 \text{ m}$ (Largo)	$H := 2.90 \text{ m}$ (Altura total)	$h' := 0.90 \text{ m}$ (Plano de trabajo)
----------------------------------	----------------------------------	---	--

Descripción del uso de la habitación :
El cuarto a utilizar será una sala familiar pequeña.

Iluminación media (E_m) que debe tener la habitación:

Según la Norma Europea UNE-EN 12464-1, para salas se obtiene una iluminación media de 300 lux

$$E_m := 300 \text{ lux}$$


Tipo de lámpara a utilizar

Se utilizaran bombillos LED0470 HP de 30W E26 6500K

$$E_{luz} := 3000 \text{ lúmenes}$$

Tipo de luminaria

Se utilizará una luminaria de techo o tipo downlight con 4 lámparas



Fuente: Elaboración propia

Figura 122. Diseño de luminaria sala parte 2

Altura de suspensión de colocación de luminarias

Locales de altura normal (oficinas, viviendas, aulas...)	Altura de las luminarias
	Lo más altas posibles

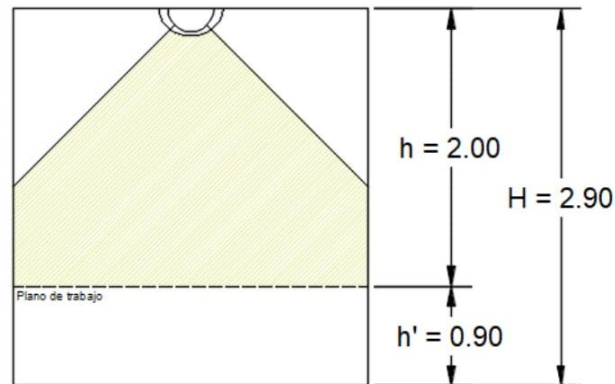


Figura No.1: Esquema de alturas de local

Coefficiente Cu

Cálculo del índice del local

$$h := 2.00 \text{ m} \quad k := \frac{a \cdot b}{h \cdot (a + b)} = 1.072 \quad (\text{Índice del local})$$

Coefficientes de reflexión

Techo blanco = 0.70 - 0.85
 Pared de ladrillo = 0.30 - 0.40
 Piso rojizo = 0.10 - 0.20

PINTURA/COLOR	COEF. REFL.	MATERIAL	COEF. REFL.
BLANCO	0.70-0.85	MORTERO CLARO	0.35-0.55
TECHO ACUSTICO BLANCO (según orificios)	0.50-0.65	MORTERO OSCURO	0.20-0.30
GRIS CLARO	0.40-0.50	HORMIGON CLARO	0.30-0.50
GRIS OSCURO	0.10-0.20	HORMIGON OSCURO	0.15-0.25
NEGRO	0.03-0.07	ARENISCA CLARA	0.30-0.40
CREMA, AMARILLO CLARO	0.50-0.75	ARENISCA OSCURA	0.15-0.25
MARRÓN CLARO	0.30-0.40	LADRILLO CLARO	0.30-0.40
MARRÓN OSCURO	0.10-0.20	LADRILLO OSCURO	0.15-0.25
ROSA	0.45-0.55	MARMOL BLANCO	0.60-0.70
ROJO CLARO	0.30-0.50	GRANITO	0.15-0.25
ROJO OSCURO	0.10-0.20	MADERA CLARA	0.30-0.50
VERDE CLARO	0.45-0.65	MADERA OSCURA	0.10-0.25
VERDE OSCURO	0.10-0.20	ESPEJO DE VIDRIO PLATEADO	0.80-0.90
AZUL CLARO	0.40-0.55	ALUMINIO MATE	0.55-0.60
AZUL OSCURO	0.05-0.15	ALUMINIO ANODIZADO Y ABBILLANTADO	0.80-0.85
		ACERO PULIDO	0.55-0.65

Tabla No.1: Coeficientes de reflexión

Fuente: Elaboración propia

Figura 123. Diseño luminaria sala parte 3

Factor de utilización

Tipo de aparato de alumbrado	Índice del local k	Factor de utilización (γ)														
		Factor de reflexión del techo														
		0.8			0.7			0.5			0.3			0		
		Factor de reflexión de las paredes														
		0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.3	0.1	0			
	0.6	.39	.35	.32	.38	.34	.32	.38	.34	.31	.33	.31	.30			
	0.8	.48	.43	.40	.47	.42	.40	.46	.42	.39	.41	.38	.37			
	1.0	.53	.49	.46	.52	.48	.45	.51	.47	.45	.46	.44	.41			
	1.25	.58	.54	.51	.57	.53	.50	.55	.51	.49	.50	.48	.45			
	1.5	.62	.58	.54	.61	.57	.54	.58	.55	.52	.53	.51	.48			
	2.0	.66	.62	.59	.64	.61	.58	.61	.59	.57	.56	.55	.52			
	2.5	.68	.65	.63	.67	.64	.62	.64	.61	.60	.59	.57	.54			
	3.0	.70	.67	.65	.69	.66	.64	.65	.63	.61	.60	.59	.56			
$D_{max} = 1.0 H_m$	4.0	.72	.70	.68	.70	.69	.67	.67	.66	.64	.63	.61	.58			
$t_m = 70, 75, 80$	5.0	.73	.71	.70	.71	.70	.68	.68	.67	.65	.64	.63	.59			

Tabla No.2: Factor de utilización

Fuente: <https://recursos.citcea.upc.edu/ilum/interior/iluint3.html>

Se utilizó un índice de local del 1 ya que es el más cercano al obtenido anteriormente

$$C_u := \frac{0.49 + 0.46 + 0.48 + 0.45}{4} = 0.47$$

Coefficiente de mantenimiento

Ambiente	Coefficiente de mantenimiento (C _m)
Limpio	0.8
Sucio	0.6

$C_m := 0.8$ (por ser un ambiente limpio)

Ahora calculamos el flujo luminoso total necesario:

$S := a \cdot b = 19.72 \text{ m}^2$ $C_u = 0.47$ $C_m = 0.8$ $E_m = 300 \text{ lux}$

$$\Phi_T := \frac{E_m \cdot S}{C_u \cdot C_m} = 15734.043 \text{ lúmenes}$$

Determinamos el número de luminarias

$\Phi_L := 3000 \text{ lúmenes}$ $n := 4$ lámparas por luminaria

$$N_L := \frac{\Phi_T}{n \cdot \Phi_L} = 1.311 \quad 2 \text{ Luminarias} \quad NL := 2$$

Fuente: Elaboración propia

Figura 124. Diseño de luminaria sala parte 4

Emplazamiento de luminarias

$$N_{\text{ancho}} := \sqrt{\frac{N_L}{b} \cdot a} = 0.877 \quad \text{1 fila de luminarias a lo ancho del lugar}$$

$$N_{\text{largo}} := N_{\text{ancho}} \cdot \left(\frac{b}{a}\right) = 1.496 \quad \text{2 fila de luminarias a lo largo del lugar}$$

Comprobación de Lúmenes

$$E_{mc} := \frac{NL \cdot n \cdot \Phi_L \cdot C_u \cdot C_m}{S} = 457.606 \text{ lux} > E_m = 300 \text{ lux}$$

E_{mc} es mayor que E_m por lo que el cálculo es correcto

Fuente: Elaboración propia

Figura 125. Diseño luminaria cuarto principal parte 1

Diseño Luminaria Cuarto Principal

1. Cálculo del flujo luminoso total en la habitación:

Dimensiones de la habitación

$a := 2.9 \text{ m}$ (Ancho)	$b := 5.35 \text{ m}$ (Largo)	$H := 2.90 \text{ m}$ (Altura total)	$h' := 0.90 \text{ m}$ (Plano de trabajo)
---------------------------------	----------------------------------	---	--

Descripción del uso de la habitación :
La habitación a utilizar será un cuarto principal.

Iluminación media (E_m) que debe tener la habitación:

Según la Norma Europea UNE-EN 12464-1, para cuartos se obtiene una iluminación media de 300 lux

$$E_m := 300 \text{ lux}$$

Tipo de lámpara a utilizar

Se utilizaran bombillos LED0470 HP de 30W E26 6500K

$$E_{\text{luz}} := 3000 \text{ lúmenes}$$

Tipo de luminaria

Se utilizará una luminaria de techo o tipo downlight con 4 lámparas



Fuente: Elaboración propia

Figura 126. Diseño luminaria cuarto principal parte 2

Altura de suspensión de colocación de luminarias

Locales de altura normal (oficinas, viviendas, aulas...)	Altura de las luminarias
	Lo más altas posibles

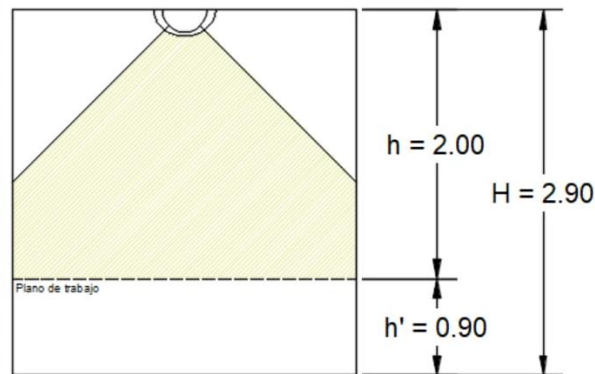


Figura No.1: Esquema de alturas de local

Coefficiente Cu

Cálculo del índice del local

$$h := 2.00 \text{ m} \quad k := \frac{a \cdot b}{h \cdot (a + b)} = 0.94 \quad (\text{Índice del local})$$

Coefficientes de reflexión

Techo blanco = 0.70 - 0.85
 Pared de ladrillo = 0.30 - 0.40
 Piso rojizo = 0.10 - 0.20

PINTURACOLOR	COEF. REFL.	MATERIAL	COEF. REFL.
BLANCO	0.70-0.85	MORTERO CLARO	0.35-0.55
TECHO ACUSTICO BLANCO (según arifijos)	0.50-0.85	MORTERO OSCURO	0.20-0.30
GRIS CLARO	0.40-0.50	HORMIGON CLARO	0.30-0.50
GRIS OSCURO	0.10-0.20	HORMIGON OSCURO	0.15-0.25
NEGRO	0.03-0.07	ARENISCA CLARA	0.30-0.40
CREMA, AMARILLO CLARO	0.50-0.75	ARENISCA OSCURA	0.15-0.25
MARRON CLARO	0.30-0.40	LADRILLO CLARO	0.30-0.40
MARRON OSCURO	0.10-0.20	LADRILLO OSCURO	0.15-0.25
ROSA	0.45-0.55	MARMOL BLANCO	0.60-0.70
ROJO CLARO	0.30-0.50	GRANITO	0.15-0.25
ROJO OSCURO	0.10-0.20	MADERA CLARA	0.30-0.50
VERDE CLARO	0.45-0.65	MADERA OSCURA	0.10-0.25
VERDE OSCURO	0.10-0.20	ESPEJO DE VIDRIO PLATEADO	0.80-0.90
AZUL CLARO	0.40-0.55	ALUMINIO MATE	0.55-0.60
AZUL OSCURO	0.05-0.15	ALUMINIO ANODIZADO Y ABILLANTADO	0.80-0.85
		ACERO PULIDO	0.55-0.65

Tabla No.1: Coeficientes de reflexión

Fuente: Elaboración propia

Figura 127. Diseño luminaria cuarto principal parte 3

Factor de utilización

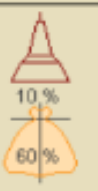
Tipo de aparato de alumbrado	Índice del local k	Factor de utilización (U)												
		Factor de reflexión del techo						Factor de reflexión de las paredes						
		0.8		0.7		0.5		0.3		0.1		0		
		0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.3	0.1	0	
	0.6	.39	.35	.32	.38	.34	.32	.38	.34	.31	.33	.31	.30	
	0.8	.48	.43	.40	.47	.42	.40	.46	.42	.39	.41	.38	.37	
	1.0	.53	.49	.46	.52	.48	.45	.51	.47	.45	.46	.44	.41	
	1.25	.58	.54	.51	.57	.53	.50	.55	.51	.49	.50	.48	.45	
	1.5	.62	.58	.54	.61	.57	.54	.58	.55	.52	.53	.51	.48	
	2.0	.66	.62	.59	.64	.61	.58	.61	.59	.57	.56	.55	.52	
	2.5	.68	.65	.63	.67	.64	.62	.64	.61	.60	.59	.57	.54	
	3.0	.70	.67	.65	.69	.66	.64	.65	.63	.61	.60	.59	.56	
	$D_{max} = 1.0 H_m$	4.0	.72	.70	.68	.70	.69	.67	.67	.66	.64	.63	.61	.58
	f_m	5.0	.73	.71	.70	.71	.70	.68	.68	.67	.66	.64	.63	.59

Tabla No.2: Factor de utilización

Fuente: <https://recursos.citcea.upc.edu/llum/interior/iluint3.html>

Se utilizó un índice de local del 0.9 ya que es el más cercano al obtenido anteriormente

$$C_u := \frac{(0.43 + 0.49) \cdot 0.5 + (0.40 + 0.46) \cdot 0.5 + (0.42 + 0.48) \cdot 0.5 + (0.40 + 0.45) \cdot 0.5}{4} = 0.441$$

Coefficiente de mantenimiento

Ambiente	Coefficiente de mantenimiento (C _m)
Limpio	0.8
Sucio	0.6

$C_m := 0.8$ (por ser un ambiente limpio)

Ahora calculamos el flujo luminoso total necesario:

$S := a \cdot b = 15.515 \text{ m}^2$ $C_u = 0.441$ $C_m = 0.8$ $E_m = 300 \text{ lux}$

$$\Phi_T := \frac{E_m \cdot S}{C_u \cdot C_m} = 13185.552 \text{ lúmenes}$$

Determinamos el número de luminarias

$\Phi_L := 3000 \text{ lúmenes}$ $n := 4$ lámparas por luminaria

$$N_L := \frac{\Phi_T}{n \cdot \Phi_L} = 1.099 \quad 2 \text{ Luminarias} \quad NL := 2$$

Fuente: Elaboración propia

Figura 128. Diseño luminaria cuarto principal parte 4

Emplazamiento de luminarias

$$N_{\text{ancho}} := \sqrt{\frac{N_L}{b}} \cdot a = 0.7772 \quad \text{1 fila de luminarias a lo ancho del lugar}$$
$$N_{\text{largo}} := N_{\text{ancho}} \cdot \left(\frac{b}{a}\right) = 1.424 \quad \text{2 fila de luminarias a lo largo del lugar}$$

Comprobación de Lúmenes

$$E_{mc} := \frac{NL \cdot n \cdot \Phi_L \cdot C_u \cdot C_m}{S} = 546.052 \text{ lux} > E_m = 300 \text{ lux}$$

E_{mc} es mayor que E_m por lo que el cálculo es correcto

Fuente: Elaboración propia

Figura 129. Diseño luminaria cuarto parte 1

Diseño Luminaria Cuarto

1. Cálculo del flujo luminoso total en la habitación:

Dimensiones de la habitación

$a := 2.875 \text{ m}$ $b := 3.70 \text{ m}$ $H := 2.90 \text{ m}$ $h' := 0.90 \text{ m}$
(Ancho) (Largo) (Altura total) (Plano de trabajo)

Descripción del uso de la habitación :
La habitación a utilizar será un cuarto personal pequeña.

Iluminación media (Em) que debe tener la habitación:

Según la Norma Europea UNE-EN 12464-1, para cuartos se obtiene una iluminación media de 300 lux

$E_m := 300 \text{ lux}$


Tipo de lámpara a utilizar

Se utilizarán bombillos LED0470 HP de 30W E26 6500K

$E_{luz} := 3000 \text{ lúmenes}$

Tipo de luminaria

Se utilizará una luminaria de techo o tipo downlight con 4 lámparas



Fuente: Elaboración propia

Figura 130. Diseño luminaria cuarto parte 2

Altura de suspensión de colocación de luminarias

Locales de altura normal (oficinas, viviendas, aulas...)	Altura de las luminarias Lo más altas posibles
---	---

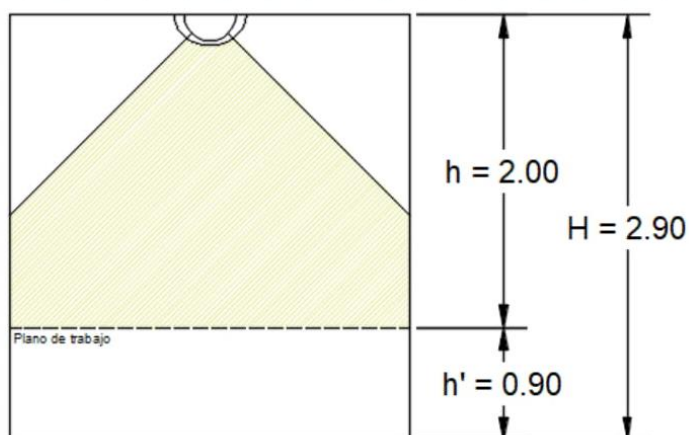


Figura No.1: Esquema de alturas de local

Coefficiente C_u

Cálculo del índice del local

$$h := 2.00 \text{ m} \quad k := \frac{a \cdot b}{h \cdot (a + b)} = 0.809 \quad (\text{Índice del local})$$

Coefficientes de reflexión

Techo blanco = 0.70 - 0.85
 Pared de ladrillo = 0.30 - 0.40
 Piso rojizo = 0.10 - 0.20

PINTURA/COLOR	COEF. REFL.	MATERIAL	COEF. REFL.
BLANCO	0.70-0.85	MORTERO CLARO	0.35-0.55
TECHO ACUSTICO BLANCO (según orificios)	0.50-0.65	MORTERO OSCURO	0.20-0.30
GRIS CLARO	0.40-0.50	HORMIGON CLARO	0.30-0.50
GRIS OSCURO	0.10-0.20	HORMIGON OSCURO	0.15-0.25
NEGRO	0.03-0.07	ARENISCA CLARA	0.30-0.40
CREMA, AMARILLO CLARO	0.50-0.75	ARENISCA OSCURA	0.15-0.25
MARRON CLARO	0.30-0.40	LADRILLO CLARO	0.30-0.40
MARRON OSCURO	0.10-0.20	LADRILLO OSCURO	0.15-0.25
ROSA	0.45-0.55	MARMOL BLANCO	0.60-0.70
ROJO CLARO	0.30-0.50	GRANITO	0.15-0.25
ROJO OSCURO	0.10-0.20	MADERA CLARA	0.30-0.50
VERDE CLARO	0.45-0.65	MADERA OSCURA	0.10-0.25
VERDE OSCURO	0.10-0.20	ESPEJO DE VIDRIO PLATEADO	0.80-0.90
AZUL CLARO	0.40-0.55	ALUMINIO MATE	0.55-0.60
AZUL OSCURO	0.05-0.15	ALUMINIO ANODIZADO Y ABRILLANTADO	0.80-0.85
		ACERO PULIDO	0.55-0.65

Tabla No.1: Coeficientes de reflexión

Fuente: Elaboración propia

Figura 131. Diseño luminaria parte 3

Factor de utilización

Tipo de aparato de alumbrado	Índice del local k	Factor de utilización (%)											
		Factor de reflexión del techo						Factor de reflexión de las paredes					
		0.8		0.7		0.5		0.3		0			
		0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.3	0.1	0
 10 % 60 %	0.6	39	35	32	38	34	32	38	34	31	33	31	30
	0.8	48	43	40	47	42	40	48	42	39	41	38	37
	1.0	53	49	46	52	48	45	51	47	45	46	44	41
	1.25	58	54	51	57	53	50	55	51	49	50	48	45
	1.5	62	58	54	61	57	54	58	55	52	53	51	48
	2.0	66	62	59	64	61	58	61	59	57	56	55	52
	2.5	68	65	63	67	64	62	64	61	60	59	57	54
	3.0	70	67	65	69	66	64	65	63	61	60	59	56
	4.0	72	70	68	70	69	67	67	66	64	63	61	58
	5.0	73	71	70	71	70	68	68	67	66	64	63	59

Tabla No.2: Factor de utilización

Fuente: <https://recursos.citcea.upc.edu/lum/interior/iluint3.html>

Se utilizó un índice de local del 0.8 ya que es el más cercano al obtenido anteriormente

$$C_u := \frac{0.43 + 0.40 + 0.42 + 0.40}{4} = 0.413$$

Coefficiente de mantenimiento

Ambiente	Coefficiente de mantenimiento (C _m)
Limpio	0.8
Sucio	0.6

$C_m := 0.8$ (por ser un ambiente limpio)

Ahora calculamos el flujo luminoso total necesario:

$S := a \cdot b = 10.638 \text{ m}^2$ $C_u = 0.413$ $C_m = 0.8$ $E_m = 300 \text{ lux}$

$$\Phi_T := \frac{E_m \cdot S}{C_u \cdot C_m} = 9670.455 \text{ lúmenes}$$

Determinamos el número de luminarias

$\Phi_L := 3000 \text{ lúmenes}$ $n := 4$ lámparas por luminaria

$$N_L := \frac{\Phi_T}{n \cdot \Phi_L} = 0.806 \quad 1 \text{ Luminarias} \quad NL := 1$$

Fuente: Elaboración propia

Figura 132. Diseño luminaria cuarto parte 4

Emplazamiento de luminarias

$$N_{\text{ancho}} := \sqrt{\frac{N_L}{b}} \cdot a = 0.791 \quad \text{1 fila de luminarias a lo ancho del lugar}$$
$$N_{\text{largo}} := N_{\text{ancho}} \cdot \left(\frac{b}{a}\right) = 1.018 \quad \text{1 fila de luminarias a lo largo del lugar}$$

Comprobación de Lúmenes

$$E_{\text{mc}} := \frac{NL \cdot n \cdot \Phi_L \cdot C_u \cdot C_m}{S} = 372.268 \text{ lux} > E_m = 300 \text{ lux}$$

E_{mc} es mayor que E_m por lo que el cálculo es correcto

Fuente: Elaboración propia

Figura 133. Diseño luminaria cocina parte 1

Diseño Luminaria Cocina

1. Cálculo del flujo luminoso total en la habitación:

Dimensiones de la habitación

$a := 1.9 \text{ m}$ $b := 3.025 \text{ m}$ $H := 2.90 \text{ m}$ $h' := 0.90 \text{ m}$
(Ancho) (Largo) (Altura total) (Plano de trabajo)

Descripción del uso de la habitación :
La habitación a utilizar será un cuarto personal pequeña.

Iluminación media (Em) que debe tener la habitación:

Según la Norma Europea UNE-EN 12464-1, para cocina se obtiene una iluminación media de 300lux

$E_m := 300 \text{ lux}$


Tipo de lámpara a utilizar

Se utilizarán bombillos LED0470 HP de 30W E26 6500K

$E_{luz} := 3000 \text{ lúmenes}$

Tipo de luminaria

Se utilizará una luminaria de techo o tipo downlight con 3 lámparas



Fuente: Elaboración propia

Figura 134. Diseño luminaria cocina parte 2

Altura de suspensión de colocación de luminarias

Locales de altura normal (oficinas, viviendas, aulas...)	Altura de las luminarias
	Lo más altas posibles

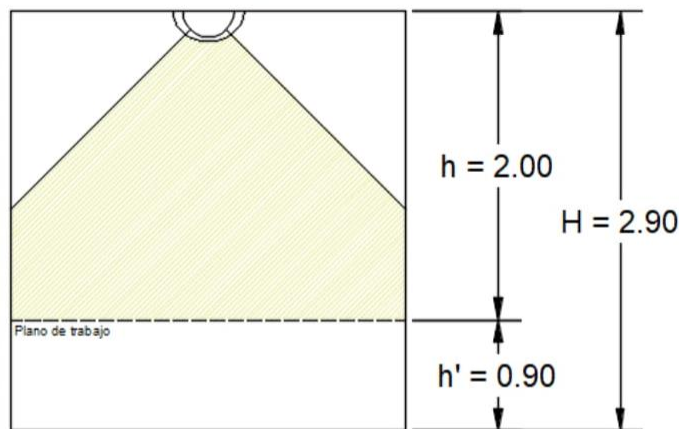


Figura No.1: Esquema de alturas de local

Coefficiente Cu

Cálculo del índice del local

$$h := 2.00 \text{ m} \quad k := \frac{a \cdot b}{h \cdot (a + b)} = 0.584 \quad (\text{Índice del local})$$

Coefficientes de reflexión

Techo blanco = 0.70 - 0.85
 Pared de ladrillo = 0.30 - 0.40
 Piso rojizo = 0.10 - 0.20

PINTURA/COLOR	COEF. REFL.	MATERIAL	COEF. REFL.
BLANCO	0.70-0.85	MORTERO CLARO	0.35-0.55
TECHO ACÚSTICO BLANCO (según orificios)	0.50-0.65	MORTERO OSCURO	0.20-0.30
GRIS CLARO	0.40-0.50	HORMIGÓN CLARO	0.30-0.50
GRIS OSCURO	0.10-0.20	HORMIGÓN OSCURO	0.15-0.25
NEGRO	0.03-0.07	ARENISCA CLARA	0.30-0.40
CREMA, AMARILLO CLARO	0.50-0.75	ARENISCA OSCURA	0.15-0.25
MARRÓN CLARO	0.30-0.40	LADRILLO CLARO	0.30-0.40
MARRÓN OSCURO	0.10-0.20	LADRILLO OSCURO	0.15-0.25
ROSA	0.45-0.55	MARMOL BLANCO	0.60-0.70
ROJO CLARO	0.30-0.50	GRANITO	0.15-0.25
ROJO OSCURO	0.10-0.20	MADERA CLARA	0.30-0.50
VERDE CLARO	0.45-0.65	MADERA OSCURA	0.10-0.25
VERDE OSCURO	0.10-0.20	ESPEJO DE VIDRIO PLATEADO	0.80-0.90
AZUL CLARO	0.40-0.55	ALUMINIO MATE	0.55-0.60
AZUL OSCURO	0.05-0.15	ALUMINIO ANODIZADO Y ABRILLANTADO	0.80-0.85
		ACERO PULIDO	0.55-0.65

Tabla No.1: Coeficientes de reflexión

Fuente: Elaboración propia

Figura 135. Diseño luminaria cocina parte 3

Factor de utilización


Tipo de aparato de alumbrado	Índice del local k	Factor de utilización (%)											
		Factor de reflexión del techo						Factor de reflexión de las paredes					
		0.8		0.7		0.5		0.3		0.1		0	
		0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.3	0.1	0
 10% 60%	0.6	.39	.35	.32	.38	.34	.32	.38	.34	.31	.33	.31	.30
	0.8	.48	.43	.40	.47	.42	.40	.46	.42	.39	.41	.38	.37
	1.0	.53	.49	.46	.52	.48	.45	.51	.47	.45	.46	.44	.41
	1.25	.58	.54	.51	.57	.53	.50	.55	.51	.49	.50	.48	.45
	1.5	.62	.58	.54	.61	.57	.54	.58	.55	.52	.53	.51	.48
	2.0	.66	.62	.59	.64	.61	.58	.61	.59	.57	.56	.55	.52
	2.5	.68	.65	.63	.67	.64	.62	.64	.61	.60	.59	.57	.54
	3.0	.70	.67	.65	.69	.66	.64	.65	.63	.61	.60	.59	.56
	4.0	.72	.70	.68	.70	.69	.67	.67	.66	.64	.63	.61	.58
	5.0	.73	.71	.70	.71	.70	.68	.68	.67	.66	.64	.63	.59

Tabla No.2: Factor de utilización

Fuente: <https://recursos.citcea.upc.edu/llum/interior/iluint3.html>

Se utilizó un índice de local del 0.6 ya que es el más cercano al obtenido anteriormente

$$C_u := \frac{0.35 + 0.32 + 0.34 + 0.32}{4} = 0.333$$

Coefficiente de mantenimiento

Ambiente	Coefficiente de mantenimiento (C _m)
Limpio	0.8
Suced	0.6

$C_m := 0.8$ (por ser un ambiente limpio)

Ahora calculamos el flujo luminoso total necesario:

$S := a \cdot b = 5.748 \text{ m}^2$ $C_u = 0.333$ $C_m = 0.8$ $E_m = 300 \text{ lux}$

$$\Phi_T := \frac{E_m \cdot S}{C_u \cdot C_m} = 6482.143 \text{ lúmenes}$$

Determinamos el número de luminarias

$\Phi_L := 3000 \text{ lúmenes}$ $n := 3$ lámparas por luminaria

$N_L := \frac{\Phi_T}{n \cdot \Phi_L} = 0.72$ 1 Luminarias $NL := 1$

Fuente: Elaboración propia

Figura 136. Diseño luminaria cocina parte 4

Emplazamiento de luminarias

$$N_{\text{ancho}} := \sqrt{\frac{N_L}{b}} \cdot a = 0.673 \quad \text{1 fila de luminarias a lo ancho del lugar}$$
$$N_{\text{largo}} := N_{\text{ancho}} \cdot \left(\frac{b}{a}\right) = 1.071 \quad \text{1 fila de luminarias a lo largo del lugar}$$

Comprobación de Lúmenes

$$E_{mc} := \frac{NL \cdot n \cdot \Phi_L \cdot C_u \cdot C_m}{S} = 416.529 \text{ lux} > E_m = 300 \text{ lux}$$

E_{mc} es mayor que E_m por lo que el cálculo es correcto

Fuente: Elaboración propia

Figura 137. Diseño luminaria pasillo parte 1

Diseño Luminaria Pasillo

1. Cálculo del flujo luminoso total en la habitación:

Dimensiones de la habitación

$a := 1.05 \text{ m}$ $b := 6.2 \text{ m}$ $H := 2.90 \text{ m}$ $h' := 0.90 \text{ m}$
(Ancho) (Largo) (Altura total) (Plano de trabajo)

Descripción del uso de la habitación :
La habitación a utilizar será un cuarto personal pequeña.

Iluminación media (E_m) que debe tener la habitación:

Según la Norma Europea UNE-EN 12464-1, para pasillos se obtiene una iluminación media de 150 lux

$E_m := 150 \text{ lux}$


Tipo de lámpara a utilizar

Se utilizaran bombillos LED0470 HP de 30W E26 6500K

$E_{\text{luz}} := 3000 \text{ lúmenes}$

Tipo de luminaria

Se utilizará una luminaria de techo o tipo downlight con 2 lámparas



Fuente: Elaboración propia

Figura 138. Diseño luminaria pasillo parte 2

Altura de suspensión de colocación de luminarias

Locales de altura normal (oficinas, viviendas, aulas...)	Altura de las luminarias Lo más altas posibles
---	---

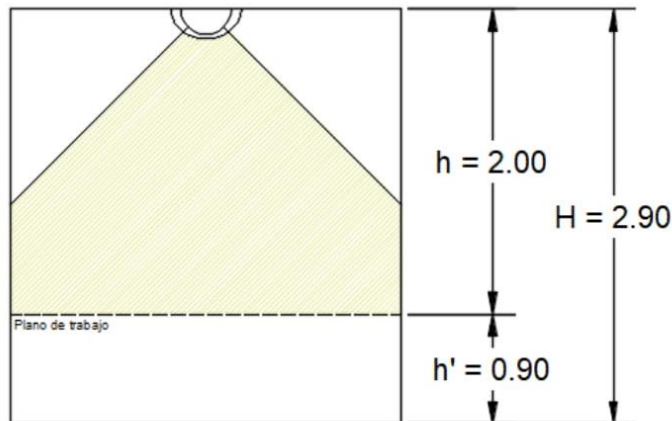


Figura No.1: Esquema de alturas de local

Coefficiente Cu

Cálculo del índice del local

$$h := 2.00 \text{ m} \quad k := \frac{a \cdot b}{h \cdot (a + b)} = 0.449 \quad (\text{Índice del local})$$

Coefficientes de reflexión

Techo blanco = 0.70 - 0.85
 Pared de ladrillo = 0.30 - 0.40
 Piso rojizo = 0.10 - 0.20

PINTURA/COLOR	COEF. REFL.	MATERIAL	COEF. REFL.
BLANCO	0.70-0.85	MORTERO CLARO	0.35-0.55
TECHO ACUSTICO	0.50-0.65	MORTERO OSCURO	0.20-0.30
BLANCO (según arifícios)			
GRIS CLARO	0.40-0.50	HORMIGON CLARO	0.30-0.50
GRIS OSCURO	0.10-0.20	HORMIGON OSCURO	0.15-0.25
NEGRO	0.03-0.07	ARENISCA CLARA	0.30-0.40
CREMA, AMARILLO CLARO	0.50-0.75	ARENISCA OSCURA	0.15-0.25
MARRON CLARO	0.30-0.40	LADRILLO CLARO	0.30-0.40
MARRON OSCURO	0.10-0.20	LADRILLO OSCURO	0.15-0.25
ROSA	0.45-0.55	MARMOL BLANCO	0.60-0.70
ROJO CLARO	0.30-0.50	GRANITO	0.15-0.25
ROJO OSCURO	0.10-0.20	MADERA CLARA	0.30-0.50
VERDE CLARO	0.45-0.65	MADERA OSCURA	0.10-0.25
VERDE OSCURO	0.10-0.20	ESPEJO DE VIDRIO PLATEADO	0.80-0.90
AZUL CLARO	0.40-0.55	ALUMINIO MATE	0.55-0.60
AZUL OSCURO	0.05-0.15	ALUMINIO ANODIZADO Y ABRILLANTADO	0.80-0.85
		ACERO PULIDO	0.55-0.65

Tabla No.1: Coeficientes de reflexión

Fuente: Elaboración propia

Figura 139. Diseño luminaria pasillo parte 3

Factor de utilización

Tipo de aparato de alumbrado	Índice del local k	Factor de utilización (U)												
		Factor de reflexión del techo												
		0.8			0.7			0.5			0.3			0
		Factor de reflexión de las paredes												
		0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.3	0.1	0	
	0.6	.39	.35	.32	.38	.34	.32	.38	.34	.31	.33	.31	.30	
	0.8	.48	.43	.40	.47	.42	.40	.46	.42	.39	.41	.38	.37	
	1.0	.53	.49	.46	.52	.48	.45	.51	.47	.45	.46	.44	.41	
	1.25	.58	.54	.51	.57	.53	.50	.55	.51	.49	.50	.48	.45	
	1.5	.62	.58	.54	.61	.57	.54	.58	.55	.52	.53	.51	.48	
	2.0	.66	.62	.59	.64	.61	.58	.61	.59	.57	.56	.55	.52	
	2.5	.68	.65	.63	.67	.64	.62	.64	.61	.60	.59	.57	.54	
	3.0	.70	.67	.65	.69	.66	.64	.65	.63	.61	.60	.59	.56	
	$D_{\text{max}} = 1.0 H_{\text{m}}$	4.0	.72	.70	.68	.70	.69	.67	.67	.66	.64	.63	.61	.58
	$H_{\text{m}} = 70, 75, 80$	5.0	.73	.71	.70	.71	.70	.68	.68	.67	.65	.64	.63	.59

Tabla No.2: Factor de utilización

Fuente: <https://recursos.citcea.upc.edu/Ilum/interior/iluint3.html>

Se utilizó un índice de local del 0.8 ya que es el más cercano al obtenido anteriormente

$$C_u := \frac{0.35 + 0.32 + 0.34 + 0.32}{4} = 0.333$$

Coefficiente de mantenimiento

Ambiente	Coefficiente de mantenimiento (C _m)
Limpio	0.8
Sucio	0.6

$C_m := 0.8$ (por ser un ambiente limpio)

Ahora calculamos el flujo luminoso total necesario:

$S := a \cdot b = 6.51 \text{ m}^2$ $C_u = 0.333$ $C_m = 0.8$ $E_m = 150 \text{ lux}$

$$\Phi_T := \frac{E_m \cdot S}{C_u \cdot C_m} = 3671.053 \text{ lúmenes}$$

Determinamos el número de luminarias

$\Phi_L := 3000 \text{ lúmenes}$ $n := 2$ lámparas por luminaria

$N_L := \frac{\Phi_T}{n \cdot \Phi_L} = 0.612$ 1 Luminarias $NL := 1$

Fuente: Elaboración propia

Figura 140. Diseño luminaria pasillo parte 4

Emplazamiento de luminarias

$$N_{\text{ancho}} := \sqrt{\frac{N_L}{b}} \cdot a = 0.322 \quad \text{1 fila de luminarias a lo ancho del lugar}$$
$$N_{\text{largo}} := N_{\text{ancho}} \cdot \left(\frac{b}{a}\right) = 1.901 \quad \text{2 fila de luminarias a lo largo del lugar}$$

Comprobación de Lúmenes

$$E_{mc} := \frac{NL \cdot n \cdot \Phi_L \cdot C_u \cdot C_m}{S} = 245.161 \text{ lux} > E_m = 150 \text{ lux}$$

E_{mc} es mayor que E_m por lo que el cálculo es correcto

Fuente: Elaboración propia

Figura 141. Diseño luminaria baño parte 1

Diseño Luminaria baños

1. Cálculo del flujo luminoso total en la habitación:

Dimensiones de la habitación

$a := 1.3 \text{ m}$ (Ancho) $b := 2.15 \text{ m}$ (Largo) $H := 2.90 \text{ m}$ (Altura total) $h' := 0.90 \text{ m}$ (Plano de trabajo)

Descripción del uso de la habitación :
La habitación a utilizar será un cuarto principal.

Iluminación media (E_m) que debe tener la habitación:

Según la Norma Europea UNE-EN 12464-1, para baños se obtiene una iluminación media de 200lux

$E_m := 200 \text{ lux}$

Tipo de lámpara a utilizar

Se utilizaran bombillos LED0470 HP de 30W E26 6500K

$E_{\text{luz}} := 3000 \text{ lúmenes}$

Tipo de luminaria

Se utilizará una luminaria de techo con un solo bombillo

Fuente: Elaboración propia

Figura 142. Diseño luminaria baño parte 2

Altura de suspensión de colocación de luminarias

Locales de altura normal (oficinas, viviendas, aulas...)	Altura de las luminarias
	Lo más altas posibles

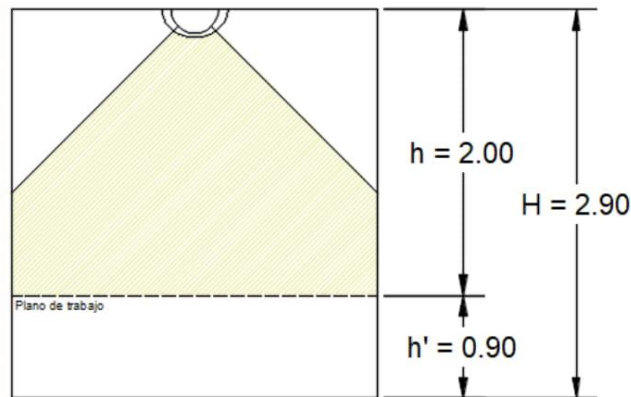


Figura No.1: Esquema de alturas de local

Coefficiente Cu

Cálculo del índice del local

$$h := 2.00 \text{ m} \quad k := \frac{a \cdot b}{h \cdot (a + b)} = 0.405 \quad (\text{Índice del local})$$

Coefficientes de reflexión

Techo blanco = 0.70 - 0.85
 Pared de ladrillo = 0.30 - 0.40
 Piso rojizo = 0.10 - 0.20

PINTURA/COLOR	COEF. REFL.	MATERIAL	COEF. REFL.
BLANCO	0.70-0.85	MORTERO CLARO	0.35-0.55
TECHO ACUSTICO BLANCO (según orificios)	0.50-0.85	MORTERO OSCURO	0.20-0.30
GRIS CLARO	0.40-0.50	HORMIGÓN CLARO	0.30-0.50
GRIS OSCURO	0.10-0.20	HORMIGÓN OSCURO	0.15-0.25
NEGRO	0.03-0.07	ARENISCA CLARA	0.30-0.40
CREMA, AMARILLO CLARO	0.50-0.75	ARENISCA OSCURA	0.15-0.25
MARRÓN CLARO	0.30-0.40	LADRILLO CLARO	0.30-0.40
MARRÓN OSCURO	0.10-0.20	LADRILLO OSCURO	0.15-0.25
ROSA	0.45-0.55	MARMOL BLANCO	0.60-0.70
ROJO CLARO	0.30-0.50	GRANITO	0.15-0.25
ROJO OSCURO	0.10-0.20	MADERA CLARA	0.30-0.50
VERDE CLARO	0.45-0.85	MADERA OSCURA	0.10-0.25
VERDE OSCURO	0.10-0.20	ESPEJO DE VIDRIO PLATEADO	0.80-0.90
AZUL CLARO	0.40-0.55	ALUMINIO MATE	0.55-0.60
AZUL OSCURO	0.05-0.15	ALUMINIO ANODIZADO Y ABRILLANTADO	0.80-0.85
		ACERO PULIDO	0.55-0.65

Tabla No.1: Coeficientes de reflexión

Fuente: Elaboración propia

Figura 143. Diseño luminaria baño parte 3

Factor de utilización

Tipo de aparato de alumbrado	Índice del local k	Factor de utilización (%)											
		Factor de reflexión del techo						Factor de reflexión de las paredes					
		0.8		0.7		0.5		0.3		0			
		0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.3	0.1	0
	0.6	.39	.35	.32	.38	.34	.32	.38	.34	.31	.33	.31	.30
	0.8	.48	.43	.40	.47	.42	.40	.46	.42	.39	.41	.38	.37
	1.0	.53	.49	.46	.52	.48	.45	.51	.47	.45	.46	.44	.41
	1.25	.58	.54	.51	.57	.53	.50	.55	.51	.49	.50	.48	.45
	1.5	.62	.58	.54	.61	.57	.54	.58	.55	.52	.53	.51	.48
	2.0	.66	.62	.59	.64	.61	.58	.61	.59	.57	.56	.55	.52
	2.5	.68	.65	.63	.67	.64	.62	.64	.61	.60	.59	.57	.54
	3.0	.70	.67	.65	.69	.66	.64	.65	.63	.61	.60	.59	.56
	4.0	.72	.70	.68	.70	.69	.67	.67	.66	.64	.63	.61	.58
	5.0	.73	.71	.70	.71	.70	.68	.68	.67	.66	.64	.63	.59

Tabla No.2: Factor de utilización

Fuente: <https://recursos.citcea.upc.edu/llum/interior/iluint3.html>

Se utilizó un índice de local del 0.6 ya que es el más cercano al obtenido anteriormente

$$C_u := \frac{0.35 + 0.32 + 0.34 + 0.32}{4} = 0.333$$

Coefficiente de mantenimiento

Ambiente	Coefficiente de mantenimiento (C _m)
Limpio	0.8
Sucio	0.6

$C_m := 0.8$ (por ser un ambiente limpio)

Ahora calculamos el flujo luminoso total necesario:

$S := a \cdot b = 2.795 \text{ m}^2$ $C_u = 0.333$ $C_m = 0.8$ $E_m = 200 \text{ lux}$

$$\Phi_T := \frac{E_m \cdot S}{C_u \cdot C_m} = 2101.504 \text{ lúmenes}$$

Determinamos el número de luminarias

$\Phi_L := 3000 \text{ lúmenes}$ $n := 1$ lámparas por luminaria

$$N_L := \frac{\Phi_T}{n \cdot \Phi_L} = 0.701 \quad 1 \text{ Luminarias} \quad NL := 1$$

Fuente: Elaboración propia

Figura 144. Diseño luminaria baño parte 4

Emplazamiento de luminarias

$$N_{\text{ancho}} := \sqrt{\frac{N_L}{b}} \cdot a = 0.651 \quad \text{1 fila de luminarias a lo ancho del lugar}$$
$$N_{\text{largo}} := N_{\text{ancho}} \cdot \left(\frac{b}{a}\right) = 1.076 \quad \text{1 fila de luminarias a lo largo del lugar}$$

Comprobación de Lúmenes

$$E_{\text{mc}} := \frac{NL \cdot n \cdot \Phi_L \cdot C_u \cdot C_m}{S} = 285.51 \text{ lux} > E_m = 200 \text{ lux}$$

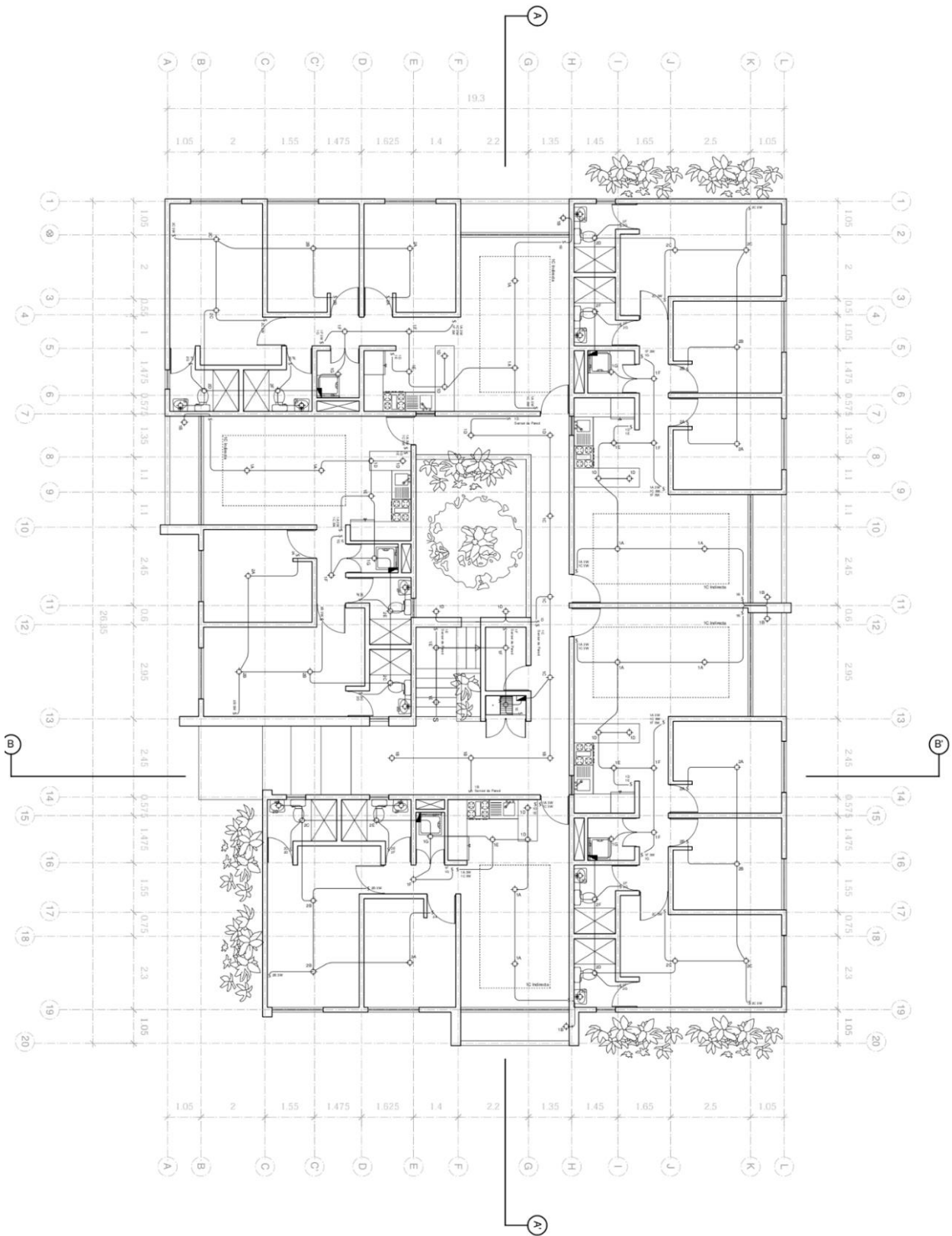
E_{mc} es mayor que E_m por lo que el cálculo es correcto

Fuente: Elaboración propio

De acuerdo al diseño de luminaria se colocarán las siguientes configuraciones de luz para cada área de cada apartamento.

- Sala: dos luminarias con cuatro focos cada una
- Cuarto principal: una luminaria con cuatro focos
- Cuartos regulares: una luminaria con cuatro focos
- Cocina: una luminaria con tres focos
- Pasillo: dos luminarias con dos focos cada una
- Baño: una luminaria de un foco

Figura 145. Planta típica de colocación de luminaria



Fuente: Elaboración propia

Figura 146. Simbología del plano de luminaria

SIMBOLOGIA		NOTAS
	SALIDA LAMPARA CIELO	
	SALIDA LAMPARA PARED	
	SALIDA INTERRUPTO SIMPLE	
	SALIDA INTERRUPTO DE CAMBIO 3 WAY	
	SALIDA TOMACORRIENTE DOBLE 120 V. A H=0.30 NPT	
	SALIDA TOMACORRIENTE DOBLE 120 V. A H=1.10 NPT	
	SALIDA TOMACORRIENTE DOBLE 120 V. A H=1.10 NPT	
	TUBERIA ELECTRICA 3/4"	
	PUEENTE. CONDUCTOR NEUTRO, ACTIVO, PUEENTE 3 WAY	
	TABLERO DISTRIBUIDOR DE CIRCUITOS	
	CONTADOR	
	ACOMETIDA CABLE T.V. Y TELEFONO	
	SALIDA CABLE T.V.	
	SALIDA TELEFONO	
	SALIDA TIMBRE	
	SALIDA ZUMBADOR DE TIMBRE	

NOTAS:

- SI NO SE INDICA DIAMETRO DE TUBERIA SERA DE 3/4" Y DEL TIPO PVC ELECTRICA.
- SI NO SE INDICA CALIBRE DE CONDUCTOR EN DIAGRAMA DE TABLEROS SERA #12 CON FORRO TERMOPLASTICO THW O SIMILAR PARA CONDUCTORES ACTIVOS Y NEUTROS-DESNUDOS.
- LA SALIDA PARA INTERRUPTORES SE COLOCARA A UNA ALTURA DE 1.20 M.S.N.P. CON SU PLACA CON EL LADO MAYOR EN POSICION VERTICAL.
- LA SALIDA PARA LAMPARAS DE PARED SE COLOCARA A UNA ALTURA DE 2.20 M.S.N.P.
- LA SALIDA PARA LAMPARA DE PARED EN BAÑOS, SE COLOCARA A UNA ALTURA DE 1.80 M.S.N.P.
- LA SALIDA PARA TOMACORRIENTES DOBLES 120V. SE COLOCARA A UNA ALTURA DE 0.30 M.S.N.P. A EXCEPCION DE LOS LOCALIZADOS EN AREAS DE TRABAJO QUE IRAN SOBRE EL MUEBLE O A LA ALTURA QUE SE INDIQUE EN EL PLANO Y SU PLACA CON SU LADO MAYOR EN POSICION HORIZONTAL.
- LA SALIDA PARA TOMACORRIENTES 240V. SE COLOCARA A UNA ALTURA DE 0.30 M.S.N.P.
- LOS TABLEROS DISTRIBUIDORES DE LOS CIRCUITOS SE COLOCARAN A UNA ALTURA DE 1.60 M.S.N.P. EN SU PARTE INFERIOR Y CON SU LADO MAYOR EN POSICION VERTICAL.
- LAS SALIDAS PARA TELEFONO Y TELEVISION POR CABLE SALDRAN DIRECTAMENTE DEL MURO A LA LOSA Y TENDRA SU RESPECTIVA VUELTA Y SE COLOCARA A UNA ALTURA DE 0.30 M.S.N.P.

M.S.N.P. = METROS SOBRE EL NIVEL DE PISO TERMINADO

Fuente: Elaboración propia

b. Energía necesaria para bomba hidráulica del edificio y sistema sanitario

Tabla 198. Energía total del sistema de aguas

<i>Sistema de Agua</i>	<i>Potencia</i>	<i>Unidad</i>	<i>Horas al día</i>	<i>Horas al mes</i>	<i>kWh</i>
Bomba Principal	3730.00	W	8.00	240.00	895.20
Bombas Secundarias	1492.00	W	8.00	240.00	358.08
Bombas Secundarias	1492.00	W	24.00	720.00	1074.24
Total Sistema de Agua	6714.00	W	40.00	1200.00	2327.52
Total por Apartamento (20)					116.38

Fuente: Elaboración propia

2. Uso energético promedio por apartamento

Tabla 199. Consumo promedio energético por apartamento

COMEDOR	Potencia	Unidad	Horas al día	Horas al mes	kWh
Lámpara de pie	300.00	W	2.00	60.00	18.00
Bombillos	30.00	W	5.00	150.00	4.50
Total de COMEDOR	330.00	W	7.00	210.00	22.50
COCINA	Potencia	Unidad	Horas al día	Horas al mes	kWh
Micro-ondas	1200.00	W	0.25	7.50	9.00
Extractor	95.00	W	1.00	30.00	2.85
Refrigeradora	500.00	W	0.30	9.00	4.50
Estufa eléctrica de 4 hornillas y horno	1200.00	W	2.50	75.00	90.00
Lavavajillas	1200.00	W	1.00	30.00	36.00
Batidora	200.00	W	0.50	15.00	3.00
Filtro de ozono	200.00	W	0.50	15.00	3.00
Refrigeradora de vino	75.00	W	0.03	0.75	0.06
Bombillos	30.00	W	3.00	90.00	2.70
Total de COCINA	4700.00	W	9.08	272.25	151.11
LAVANDERÍA	Potencia	Unidad	Horas al día	Horas al mes	kWh
Lavadora	800.00	W	1.00	30.00	24.00
Secadora	3000.00	W	1.00	30.00	90.00
Calentador de agua	4500.00	W	0.75	22.50	101.25
Bombillos	30.00	W	1.00	30.00	0.90
Total de LAVANDERÍA	8330.00	W	3.75	112.50	216.15
SALA FAMILIAR	Potencia	Unidad	Horas al día	Horas al mes	kWh
Televisión 50"	270.00	W	5.00	150.00	40.50
Consola de videojuegos	145.00	W	3.00	90.00	13.05
Teatro en casa	3500.00	W	0.50	15.00	52.50
Teléfono	25.00	W	24.00	720.00	18.00
Router	25.00	W	24.00	720.00	18.00
Blu-ray	24.00	W	1.00	30.00	0.72
Mini-refrigeradora	172.50	W	0.10	3.00	0.52
Ventilador	34.00	W	1.00	30.00	1.02
Bombillos	30.00	W	5.00	150.00	4.50
Total de SALA FAMILIAR	4225.50	W	63.60	1908.00	148.81
DORMITORIOS	Potencia	Unidad	Horas al día	Horas al mes	kWh
Lámpara de mesa	200.00	W	1.00	30.00	6.00
Lámpara de escritorio	250.00	W	3.00	90.00	22.50
Televisión 32"	57.00	W	2.00	60.00	3.42
Computadora laptop gamer	165.00	W	3.00	90.00	14.85
Bombillos	30.00	W	2.50	75.00	2.25
Total de DORMITORIO	702.00	W	11.50	345.00	49.02
BAÑO	Potencia	Unidad	Horas al día	Horas al mes	kWh
Secadora de pelo	1875.00	W	0.20	6.00	11.25
Plancha de pelo	134.28	W	0.20	6.00	0.81
Bombillos	30.00	W	2.00	60.00	1.80
Total de BAÑO	2039.28	W	2.40	72.00	13.86
<i>Total kWh</i>					829.71
<i>Tarifa Q1.103029</i>					Q915.20
<i>Cuota fija Q10.475954</i>					Q925.67

Fuente: Elaboración propia

3. Paneles solares

Existen dos tipos de paneles solares; los paneles solares fotovoltaicos que son aquellos que generan electricidad por reacciones químicas y los paneles solares térmicos que son aquellos que utilizan la energía del sol para calentar agua y luego utiliza esta misma para obtener energía o para uso doméstico.

Los paneles solares fotovoltaicos son semiconductores capaces de convertir la luz solar directamente en electricidad. Estos paneles funcionan mediante una continua exposición de los rayos solares sobre su superficie, esto obliga a los paneles a que estén colocados en un ángulo lo suficientemente aceptable para que puede captar los rayos del sol durante todo el día. Esta luz transmite energía a los electrones, lo que provoca que estos se separen de los protones y neutrones y que estos al ser liberados sean liberados en forma de electricidad. Se recomienda un ángulo de 15 grados con vista hacia el Sur para una mejor captación de energía. (Acciona, 2018)

Existen varios tipos de paneles solares fotovoltaicos: de silicio puro monocristalino, de silicio puro policristalino, de silicio amorfo, de arseniuro de galio, de telurio de cadmio, de diseleniuro de cobre en indio o tándem.

Los paneles solares térmicos tienen una configuración más sencilla. Estos paneles reciben energía termo solar, reciben los rayos solares sobre su superficie y calientan el agua que circula a través de unos tubos que se encuentran dentro de este. Esta agua a alta temperatura genera energía mediante el calor. (Acciona, 2018)

Figura 147. Panel solar térmico



Fuente: Elaboración propia

a. Capacidad de captación

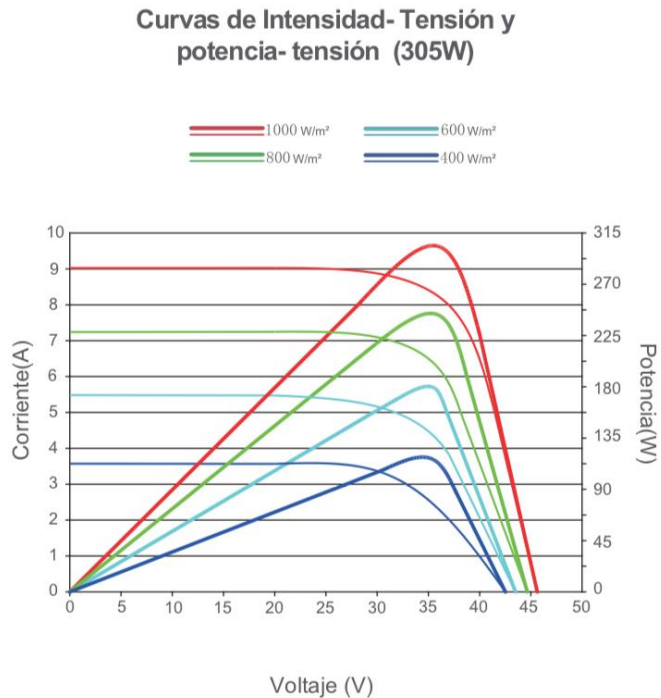
Dependiendo del modelo cada panel posee una capacidad de captación de energía que depende de su rendimiento y de su potencia máxima alcanza. Esta potencia máxima decrece con el paso de los años de forma lineal. De acuerdo con el panel seleccionado a partir del diseño realizado, cada panel tiene una capacidad máxima de potencia de 320W por hora.

b. Variaciones entre días soleados y nublados

Los paneles solares pueden ser afectados por días nublados, pero de igual manera estos pueden producir energía. Dependiendo de qué tan nublado este, los paneles pueden llegar a producir un 15% de la energía que produciría en un día soleado. (García, 2018)

A pesar de que existan días nublados durante el año, esto no afecta a los paneles solares ya que estos toman en cuenta esta variable en su diseño. Su generación eléctrica depende de variables climatológicas como la irradiación solar y la temperatura. Para medir la irradiación solar se utilizan HSP o horas solar pico que se define como el tiempo en horas de una hipotética irradiancia solar constante de $1000\text{W}/\text{m}^2$. Una hora solar pico equivale a $1\text{ kWh}/\text{m}^2$. (Delta Solar Group, 2018)

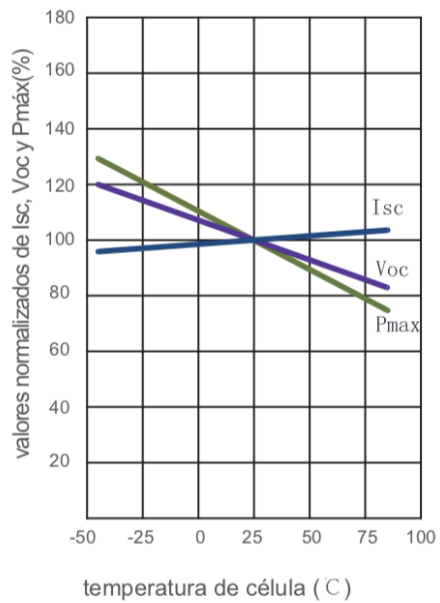
Figura 148. Rendimiento eléctrico de un panel solar



Fuente: (Jinko Solar, 2015)

Figura 149. Dependencia de la temperatura de un panel solar

Coefficiente de temperatura según Isc, Voc y Pmax



Fuente: (Jinko Solar, 2015)

c. Eficiencia

El modelo seleccionado para este proyecto es el Panel Solar Jinko con módulo tipo JKM320PP. Este módulo es el que mejor eficiencia posee de acuerdo a la marca con 16.49% de acuerdo con la tabla de especificaciones del panel.

Figura 150. Especificaciones entre paneles solares

ESPECIFICACIONES									
Tipo de módulo	JKM305PP		JKM310PP		JKM315PP		JKM320PP		
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	
Potencia nominal (P _{máx})	305Wp	226Wp	310Wp	231Wp	315Wp	235Wp	320Wp	238Wp	
Tensión en el punto P _{máx} -VMPP (V)	36.8V	33.6V	37.0V	33.9V	37.2V	34.3V	37.4V	34.7V	
Corriente en el punto P _{máx} -IMPP (A)	8.30A	6.72A	8.38A	6.81A	8.48A	6.84A	8.56A	6.86A	
Tensión en circuito abierto-VOC (V)	45.6V	42.2V	45.9V	42.7V	46.2V	43.2V	46.4V	43.7V	
Corriente de cortocircuito-ISC (A)	8.91A	7.22A	8.96A	7.26A	9.01A	7.29A	9.05A	7.30A	
Eficiencia del módulo (%)	15.72%		15.98%		16.23%		16.49%		
Temperatura de funcionamiento (°C)	-40°C~+85°C								
Tensión máxima del sistema	1000VDC (IEC)								
VALORES máximos recomendados de los fusibles	15A								
Tolerancia de potencia nominal (%)	0~+3%								
Coeficiente de temperatura de P _{MAX}	-0.40%/°C								
Coeficiente de temperatura de VOC	-0.30%/°C								
Coeficiente de temperatura de ISC	0.06%/°C								
TEMPERATURA operacional nominal de célula	45±2°C								

Fuente: (Jinko Solar, 2015)

d. Diferencia de eficiencia entre distintos tipos

Como se puede observar en la tabla anterior, la eficiencia entre paneles solares depende de su potencia máxima. Entre mayor potencia alcanzada, mayor será su eficiencia. Los valores de eficiencia van desde 15.72% para el modelo de 305W, 15.98% para el modelo de 310W, 16.23% para el modelo de 315W y 16.49% para el modelo de 320W.

e. Método de instalación

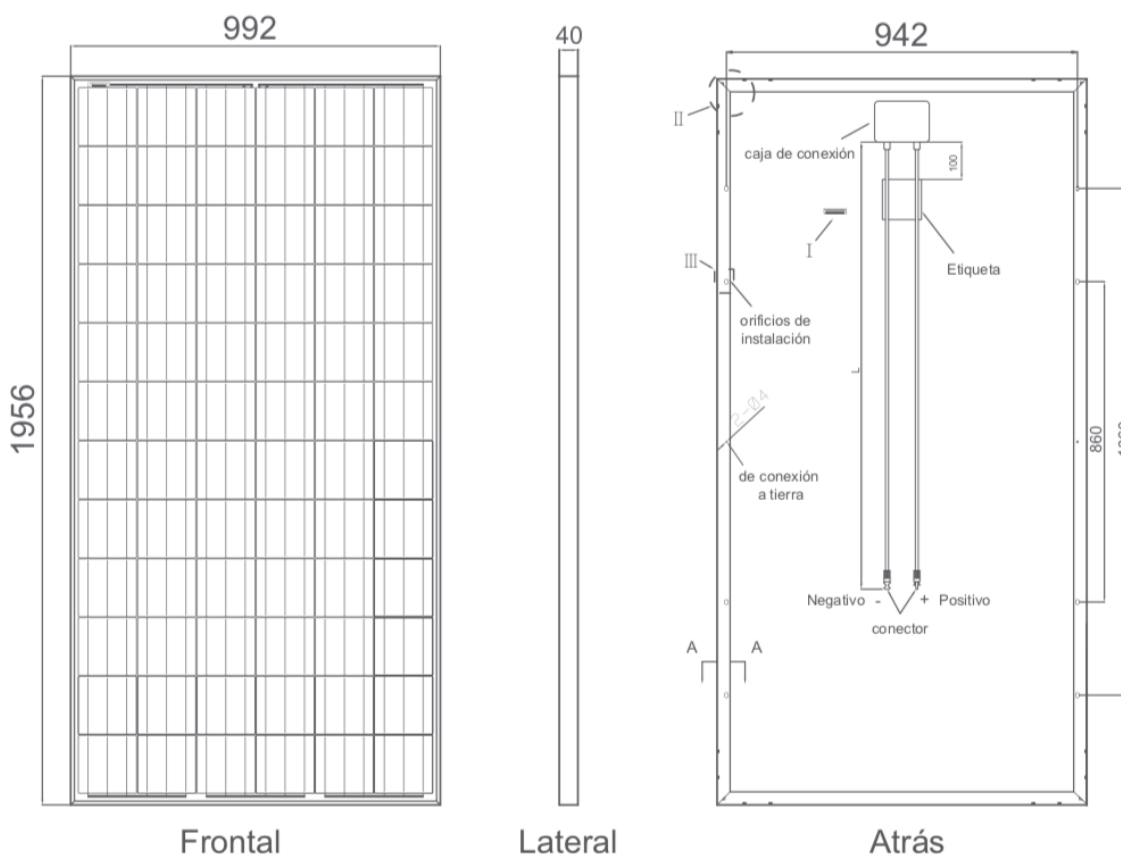
La instalación de estos paneles solares se debe realizar por personal calificado con conocimientos en sistemas eléctricos. Este personal debe tomar en cuenta las normas de seguridad existentes para proteger su salud y el buen funcionamiento del producto. El personal será dado por la empresa que instalará los paneles.

A parte de esto, se debe contactar a la Empresa Eléctrica Guatemalteca (EEGSA), para que ellos hagan un cambio de régimen al usuario y califiquen a este como un auto productor de energía. Luego se procede a instalar un contador bidireccional para tener un control exacto de cuanta energía producida es utilizada y cuenta energía se regresa a la red eléctrica. (Del Cid, 2017)

f. Área requerida instalación

De acuerdo al diseño de los paneles solares del edificio en la Tabla 199, se necesitan un total de cuatro paneles solares por apartamento para un total de ochenta paneles en total.

Figura 151. Plano de los paneles, medidas en milímetros



Fuente: (Jinko Solar, 2015)

Cada panel necesita consta de 1.94 metros cuadrados. Para instalarlos correctamente, cada panel se le dará un espacio de 1.1 metros de ancho y 2.1 metros de altura para que

ocupen 2.31 metros cuadrados. Se instalarán en sets de cada cuatro paneles conectados en serie. En total se necesitan 184.80 metros cuadrados de superficie plana para la instalación.

La terraza del edificio cuenta con 400 metros cuadrados aproximadamente, existiendo espacio suficiente para la instalación de los paneles solares.

4. Contadores bidireccionales

Los contadores bidireccionales son un tipo de medidor de energía eléctrica capaz de realizar dos funciones a la vez. Además de medir el consumo de energía eléctrica girando en un sentido normal, este puede girar de manera contraria, al medir la cantidad de energía que uno mismo produce y haciéndole que la empresa eléctrica le reste a la factura eléctrica. Estos contadores evitan la instalación de un tipo de almacenamiento de electricidad como las baterías que pueden llegar a ser costosas.

Estos funcionan al medir y calcular la cantidad de energía que se produce durante el día a través de paneles solares y restarla al consumo del servicio de luz. Cuando la energía resulta excedente se puede utilizar durante la noche o en caso de utilizar más energía de la producida se puede volver a conectar al servicio de la empresa eléctrica. Este contador también sirve para seguir utilizando la energía que se produce en excedente durante el resto del año.

Un contador bidireccional es la mejor opción para que las personas empiecen a utilizar la energía solar como fuente de electricidad ya que es la manera más práctica de conocer el ahorro económico a final de mes. (Calefacción Solar, 2018)

Figura 152. Contador bidireccional



Fuente: (Calefacción Solar, 2018)

5. Diseño del sistema

Tabla 200. Número de paneles a instalar

KW a instalar	
Potencia a instalar (W)	7590.49
Pmax de paneles (W)	320.00
No. De paneles a instalar	4.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 201. Características eléctricas del panel

Listado de características			
Características eléctricas STC			
Panel Fotovoltaico		Inversor	
Pmax (W)	320	Pmax (W)	10000
Voc (V)	46.4	Max Vdc (V)	600
Vmp (V)	37.4	Imppt (A)	40
Imp (A)	8.56	Imax (A)	40
Marca	Jinko	Min Operation Range Vmppt (V)	100
Serie		Max Operation Range Vmppt (V)	500
		No. Mppts	1
		Marca	Solis
		Serie	1P-10K

Fuente: Elaboración propia

Tabla 202. Parámetros mínimos y máximos a cumplir

Síntesis	
Max. Paneles/serie	13
Mín. Paneles/serie	3
Max. Paralelos/mppt	4

Fuente: Elaboración propia

Tabla 203. Configuración propuesta para los paneles

Propuesta de configuración	
No. Series	1
No. Paneles solares	4

Fuente: Elaboración propia

Tabla 204. Chequeo de condiciones para los paneles

Chequeo de condicionales		
Condición	Estatus	Situación
	Chequea	Circuito abierto
$\text{Min Vmppt} < \text{Vmp Serie}$	Chequea	Circuito en mpp
$\text{Vmp Serie} < \text{Max Vmppt}$	Chequea	Circuito en mpp
$\text{Imp Paralelos} < \text{Imppt} < \text{Imax Inversor}$	Chequea	Circuito en mpp
Voc serie	185.6	
Vmp serie	149.6	
Conexiones en paralelo por mppt	1	
Imax AI Inversor	8.56	
Imax por mppt	8.56	

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a las tablas anteriores, el diseño propuesto de paneles solares por apartamento consta de cuatro paneles conectados en serie que serán capaces de producir la energía necesaria para que el edificio sea auto sostenible.

6. Costos

La forma de pago propuesta para adquirir este sistema, es aumentar el costo de los paneles solares necesarios por cada apartamento al precio por el cual los consumidores adquirirán el lugar. De esta forma se asegura que no existan pérdidas y generar más ganancia ya que el análisis financiero propuesto ya toma en cuenta un margen de ganancia sobre el proyecto.

a. Inversión inicial

Tabla 205. Inversión inicial por apartamento

Construcción del equipo	Cantidad	Precio Unitario	Subtotal
Paneles 320 W Jinko	4.00	Q1,250.00	Q5,000.00
Inversores 10 KW Solis	1.00	Q13,035.00	Q13,035.00
Cableado DC	100.00	Q500.00	Q8,000.00
Cableado AC	1.00	Q15.00	Q15.00
Racking con tornilleria	11.00	Q2,794.00	Q2,794.00
Mano de obra	1.00	Q2,500.00	Q2,500.00
Acometida	1.00	Q0.00	Q0.00
Tramite	1.00	Q0.00	Q0.00
Estructura	0.00	Q0.00	Q0.00
Transporte	global	Q1,500.00	Q1,500.00
Viáticos	global	Q500.00	Q500.00
Materiales extra	1	Q4,000.00	Q4,000.00
O y M	1	Q2,940.00	Q2,940.00
Diseño y asesoría PV		25%	Q10,071.00
Total equipo			Q50,355.00

Fuente: Elaboración propia

Cada apartamento tendrá que agregarle un total de Q50,355.00 al costo total del apartamento para cumplir con la instalación de paneles solares para sus hogares.

b. Análisis financiero

Tabla 206. Cálculo de potencia y ahorro

Equipo solar	
Horas pico solar al año	1800
Nominia solar (kW)	6.17
Pérdidas	
Sombras perféricas	0.31
Inestabilidad de red	0.62
Contacto directo	0.06
Ángulo y orientación	0.37
Calor	0.06
Total pérdidas	1.42
Equipo ajustado (kW)	7.59
Precio por kW	6.63

Fuente: Elaboración propia

Tabla 207. Rentabilidad del proyecto

Rentabilidad	
Cosecha anual (kWh)	11108.04
Precio de red (Q/kWh)	Q1.86
Cosecha anual (Q)	Q20,652.07
TIR	22%
Años de retorno	4.5

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo al análisis financiero realizado, se puede observar que el proyecto posee una tasa interna de retorno de la inversión de 22%. Esto quiere decir que es muy rentable para realizarse ya que la inversión será recuperada en poco tiempo.

c. Comparación y conclusiones

De acuerdo con la información calculada para este diseño, los paneles solares eran capaces de ahorrar un total de 11,108.04 aproximadamente al año en gastos de energía eléctrica para cada familia del edificio. Esto se traduce un costo/beneficio interesante ya que justifica la inversión inicial y después de 5 años los usuarios recuperaran su dinero y tendrán un ahorro real en la economía familiar y ayudarán al medio ambiente.

d. Tiempo de retorno de inversión

Como se observa en la tabla de Rentabilidad, analizando la generación de energía de cada apartamento y lo que se gastaría en energía eléctrica, el tiempo del retorno de la inversión por apartamento sería de 4 años y 6 meses aproximadamente. Después de este período, cada apartamento tendrá un ahorro financiero para la economía familiar.

7. Garantías y seguridad

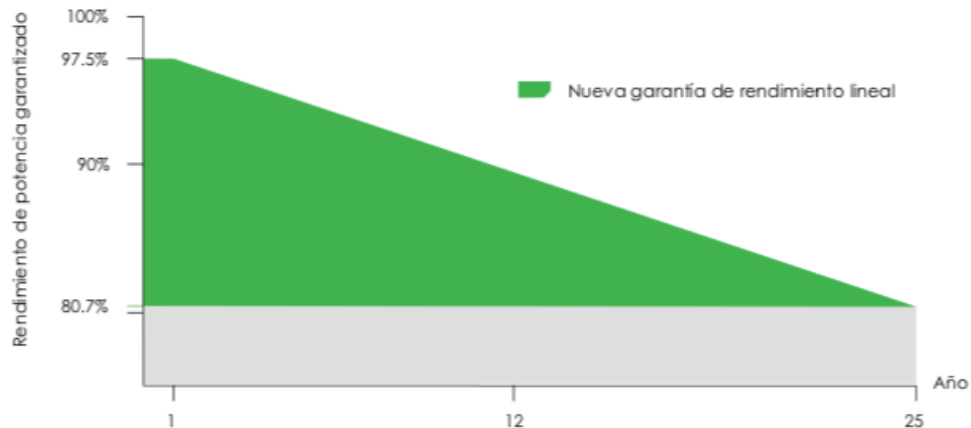
a. Tiempo de vida asegurado

De acuerdo con las especificaciones del productor, cada panel tiene 10 años de garantía de producto y 25 años de garantía de potencial lineal. Esto quiere decir que en 25 años el producto se comportará de forma estable teniendo pocas pérdidas de potencia con el paso de los años como se puede ver en la siguiente gráfica. (Jinko Solar, 2018)

Figura 153. Garantías paneles solares

GARANTÍA DE RENDIMIENTO LINEAL

10 Años de garantía de producto • 25 Años de garantía de potencia lineal



Fuente: Elaboración propia

b. Normas de instalación

La forma de instalación de estos paneles es a través de personal calificado que pueda manejar dispositivos eléctricos con sumo cuidado. Este personal debe cumplir con ciertos parámetros para cuidar su salud y el bienestar del producto que se pueden observar en el anexo 2. (Delta Solar Group, 2018)

c. Periodo de mantenimiento

De acuerdo a las especificaciones del productor de los paneles solares, este producto no necesita mantenimiento alguno a menos que exista algún daño o falla por algún agente externo. El tipo de mantenimiento que estos paneles necesitan es de limpieza de al menos dos veces al año. La limpieza se necesita debido a la acumulación de polvo, hojas, excremento de pájaro u otros objetos que tapen la superficie del panel y afecte su eficiencia de captación solar. (Jinko Solar, 2018)

8. Viabilidad de instalación

Se recomienda altamente realizar el proyecto ya que aparte de cumplir con el objetivo de ser amigable con el medio ambiente, cuenta con una Tasa Interna de Retorno (TIR) muy buena y con un tiempo estimado de retorno de inversión de 4.5 años, brindará muchos beneficios a los habitantes del edificio con el paso de los años.

9. Sistemas disponibles en el mercado local

Esta sección cotizará y concluirá acerca de los sistemas de domótica que están disponibles en el mercado del país y cuál es la opción más viable que puede ser aplicada en el edificio. Estos sistemas se realizaron en conjunto con la empresa VOS Media.

a. Cotización

Figura 154. Precio de sistema de iluminación

Cantidad	Unidad	Marca	Modelo	Descripción	Precio Unitario Q	Subtotal Q
Domotica para Apartamentos						
Sistema de Control de Iluminación						
* El cliente provee las luminarias instaladas así como la tubería instalada.						
* El cliente provee cableado estandar 120Vollios (neutros en todas las botoneras).						
114	Unidad	Crestron	CLW-DIMSWEX-E-W-S	Switch de pared, 120V, Color Blanco. Cameo Express	Q1,112.00	Q126,768.00
60	Unidad	Crestron	INET-CBDEX-E-W-S	Switch de pared, 120V, Color Blanco. Cameo Express. Para circuitos Three Way.	Q1,730.00	Q103,800.00
15	Unidad	Crestron	GLS-ODT-C-CN	Sensores de Movimiento	Q1,903.00	Q28,545.00
18	Unidad	Crestron	MC3	Sistema de control de automatizacion de la serie 3 de Crestron	Q10,875.00	Q195,750.00
18	Unidad	Crestron	CLW-EXPEX-GD-W-T	Expansor de señal infiNET EX, Color Blanco con textura, colocacion en pared.	Q1,545.00	Q27,810.00
18	Unidad	Crestron	CEN-SW-POE-5	Switch PoE, para alimentacion de los expansores de Selak InfiNET EX.	Q2,559.00	Q46,062.00
1	Unidad	Crestron	CLW-EXPEX-GD-W-T	Cableado de Control para la comunicacion entre los equipos.	Q12,372.00	Q12,372.00
1	Unidad	Siemon	Local	Cableado para Controladores. Incluye conectores y terminales.	Q17,130.00	Q17,130.00
Servicio de Mano de Obra y Materiales						

Fuente: (VOS Media, 2018)

Figura 155. Precio mano de obra sistema de iluminación

1	Unidad	Vosmedia	Local	Materiales y mano de obra para instalación profesional, incluye accesorios de montaje, herrajes de instalación. Incluye: Montaje de Equipos, Pruebas de funcionamiento y puesta en marcha.	Q265,424.33	Q265,424.33
<p>Nota: *No se incluyen trabajos de obra civil o ductería. Instalación en Ciudad de Guatemala</p>						
TOTAL PARA: Sistema de Control de Iluminación					Q823,661.33	
TOTAL DE LA PROPUESTA (12% IVA INCLUIDO)					Q823,661.33	

Fuente: (VOSMedia, 2018)

b. Inversión inicial

De acuerdo a la cotización recibida y realizada en conjunto con la empresa VOS Media, la inversión inicial para instalar un sistema automatizado de control de iluminación es de Q823,661.33 por el edificio entero, lo que resulta en Q41,183.07 por apartamento.

c. Análisis financiero

Tabla 208. Análisis financiero sistema de iluminación

Rentabilidad doméstica	
Precio total sistema iluminación	Q823,661.33
Precio por apartamento	Q41,183.07
TIR	27%
Años de retorno	3.7

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo al análisis financiero realizado, con la capacidad de generación de los paneles solares el edificio podría tener un retorno de la inversión del sistema de iluminación de tres años y nueve meses agregados al tiempo de retorno de inversión de los paneles solares para un total de 8.2 años de retorno de inversión en general.







10. Edificio inteligente

A través del sistema de control de iluminación, el edificio será automatizado en su totalidad para un control y ahorro de luz. Esto estará controlado por sensores de movimiento colocados en todas las luminarias del edificio, para que estos controlen cuando apagar y encender luces al estar personas presentes en la habitación o espacio. Este sistema estará controlado y regulado por un cerebro que es el equipo marca Creston modelo MC3 que controlará las funciones del sistema.

11. Seguridad y accesos

Además del sistema de control de iluminación, también se propone un sistema de CCTV para control interno de seguridad y un sistema de innovador y de última tecnología de control de accesos peatonales y vehiculares dentro del edificio.







Figura 156. Precio de CCTV

Cantidad	Unidad	Marca	Modelo	Descripción	Precio Unitario Q	Subtotal Q
Sistema de CCTV						
* Cliente debe considerar Obra civil si fuera necesaria.						
2	Unidad	HIKVisión	7716NI-E4/16P	Grabador digital con capacidad de grabación, 16 canales para cámaras. Soporta cámaras de hasta 6Mpx - QCIF, 6TB para almacenamiento de video, suministra, Compresión de video H.264, 2 Salidas HDMI o VGA.	Q7,287.49	Q14,574.98
						
2	unidad	Samsung	32"	Televisor de 32" pulgadas, Led.	Q2,830.85	Q5,661.70
2	unidad	KRAMER	C-HM/HM-25	Cable HDMI para señal de Video	Q338.35	Q676.70
2	unidad	Energía		Bracket para televisor pared.	Q451.14	Q902.28
						
1	unidad	QUEST		Gabinete de 16U para montaje de equipos de CCTV, incluye patch panel, Patch Cord, Organizadores, PDU.	Q3,383.52	Q3,383.52
						
1	unidad	APC	SRT2200XLA	UPS 2200VA, 1800 Watts, Conectores de Salida 7, Online.	Q1,987.48	Q1,987.48
						
6	Unidad	HIKVisión	DS-2CD1041-I	Cámara IP de 4 Megapíxeles con lente fijo de 2.8mm, Tecnología WDR, Capacidad día/Noche, Alimentación POE.	Q682.40	Q4,094.40
						
12	Unidad	HIKVisión	DS-2CD1141	Cámara tipo Domo para Interior, 4 Megapíxeles, Lente fijo 2.8mm, Capacidad Día/Noche, Alimentación POE.	Q728.76	Q8,745.12
						
Subtotal Equipo						Q40,026.18
Materiales de Instalación						
1	Unidad	Suministro	LINET	Cable UTP categoría 6 para Transmisión de video y alimentación de cámaras del CCTV. * Cliente debe Proveer toda la tubería necesaria para la instalación del Cableado.	Q6,226.42	Q6,226.42
Servicio de Mano de Obra						
1	Unidad	Servicio	VOSmedia	Mano de Obra para Instalación de Cableado con accesorios de fijación y conectorización, configuración y puesta en marcha, se incluye capacitación para un mejor uso del equipo.	Q16,642.72	Q16,642.72
Subtotal Sistema CCTV						Q62,895.32

Fuente: (VOSMedia, 2018)

Figura 157. Sistema acceso peatonal

Sistema de Accesos Peatonal:





1	Unidad	ZKAccess	INBIO460PRO PACK	Panel de Acceso para hasta 4 Lectoras comunicación Wiegand y 12 RS485, entradas y salidas de Contacto Seco para Loop. Incluye fuente de poder con baterías para alimentación.	Q6,017.76	Q6,017.76
1	Unidad	Altronix	AL1012ULXPDB	Fuente de poder de 12VDC 10A 8 salidas, incluye 2 baterías para back Up de energía a Dispositivos.	Q2,442.64	Q2,442.64
						
1	Unidad	ZKTECO	ZKBS-AC-P10	Software de Acceso ZKBioSecurity 3.0 (Licencia para 10 Puertas)	Q2,911.79	Q2,911.79
						
1	Unidad	HP	1NZ35LT#ABM	Workstation 600 G3 SFF, No, Intel Core i7-7700 (3.6GHz, 65W) CPU, No, Windows 10 profesional 64bit, 1TB 7200RPM SATA-6G 3.5 HDD, 16GB DDR42400 NECC UNB, Intel Q270, DVDWR, USB Optical, USB. Incluye TV de 32".	Q14,510.53	Q14,510.53
						
1	Unidad	PYXIS	Kit	Kit de control de Acceso para puerta peatonal incluye: * Lectora Silk ID de Tarjeta y Huella, Interior, RS-485 FR1500WP * Botón de Salida modelo K1-1 * Electroimán de 1200 LB modelo AL-280 * Sensor Magnético SM-433-T/B	Q3,251.51	Q3,251.51
						
1	Unidad	ZKTeco	SLK20R	Enrolador de Huellas USB Silk ID Windows 32-64bits ZKTeco	Q1,455.93	Q1,455.93
						
200	Unidad	HID	HID1326	Tarjeta de Proximidad para acceso de visitantes.	Q43.47	Q8,694.00
						

Sistema de Accesos Vehicular:

1	Unidad	NICE	TOO	Kit Simple de Motor Electromagnético para abrir y cerrar el portón. Equipo Italiano para hojas de 3m, Velocidad 0.014m/s, Alimentación 110V, Fuerza de 1800N, Uso Continuo con batería para respaldo en caso de fallas eléctricas externas, incluye Luz Estroboscópica para indicar el estado del portón, Botón para accionamiento manual y Modulo LOOP.	Q18,390.33	Q18,390.33
						

Fuente: (VOSMedia, 2018)

Figura 158. Sistema de acceso vehicular

2	Unidad	ZKTeco	UHF2-10F	Lectora de Largo Alcance ZKTeco Lectura con un alcance de hasta 12 metros (ajustable). Sensibilidad de lectura: modo de lectura de polarización dual. Wiegand 26-Bits (Puede cambiar a 34-Bits vía software). Con accesorios de montaje y conectividad.	Q5,580.98	Q11,161.96
						
200	Unidad	ZKTeco	UHF1-Tag2	Stickers Largo Alcance Activo CDVI	Q77.67	Q15,534.00
						
1	Unidad	ZKTeco	UR10R-2F	Enrolador de Stickers Largo Alcance	Q2,426.53	Q2,426.53
						
1	Unidad	Bficino		Kit de 2 Intercomunicador para puerta Peatonal y acceso vehicular	Q5,746.97	Q5,746.97
						
Subtotal Equipo						Q92,543.95
1	unidad			Suministro de Materiales para el buen funcionamiento del Equipo, incluye: Cableado de datos, Cableado de Alimentación, Accesorios de Conectorización. *Cliente debe Proveer toda la tubería necesaria para la instalación del Cableado.	Q13,793.56	Q13,793.56
1	Unidad			Servicio de mano de obra para instalación, configuración, puesta en marcha de control de Accesos y Control de Portón, incluye capacitación para un mejor uso.	Q17,743.56	Q17,743.56
Subtotal Sistema Control de Acceso						Q124,081.07
Total Sistemas de Seguridad electrónica (Incluyen 12% IVA).						Q 186,976.39

Fuente: (VOSMedia, 2018)

El precio final para la implementación de estos sistemas es de Q186,979.39. este sistema no presenta algún ahorro económico en cuanto a energía pero es necesario debido a que da una opción automatizada que provee seguridad para los habitantes del edificio. Esta seguridad es importante ya que da una sensación de confort al contar con un sistema de seguridad tan avanzado.

12. Implementación

El sistema de control de iluminación cuenta con una tasa interna de retorno de 27% lo que lo hace todavía un poco más rentable que los paneles solares. Este sistema ayudará a controlar y proporcionar un verdadero método de ahorro de electricidad al automatizar su uso por completo.

13. Instalación

El método de instalación de estos sistemas de domótica será a través de personal calificado que será dado por la empresa VOS Media con la que se realizó esta parte del trabajo. El precio de la mano de obra está incluida en los precios finales de cada cotización. Estos precios son de Q265,424.33 para el sistema de control de iluminación y de Q17,743.56 para el sistema de seguridad y control de accesos.

14. Precio final

El precio final a pagar para que todo el edificio sea catalogado como inteligente y que ayude a proporcionar un verdadero ahorro en energía es de Q1,010,637.72 por todos los apartamentos. Todos los equipos propuestos cuentan con un año de garantía por desperfectos de fábrica.

V. Discusión

A. Diseño estructural y análisis de impacto ambiental de un edificio de baja densidad en acero

El principal objetivo del proyecto era determinar si el acero puede ser una alternativa para reducir el impacto ambiental en la construcción de edificios de baja densidad. Para ello, se planteó el diseño estructural de una edificación ubicada en Fraijanes, departamento de Guatemala para posteriormente sacar un costo estimado de los elementos estructurales, así como la huella de carbono.

El diseño propuesto es un sistema de marcos estructurales especiales con riostras concéntricas. Todos los elementos fueron revisados bajo los criterios del código ASCE 7-10 *Minimum Design Loads For Building and Other Structures*, AISC 360-10 *Specifications for Structural Steel Buildings*, el código ACI 318-14, y el manual AISC 13th *Steel Construction Manual*. Se diseñaron las vigas principales y secundarias del sistema gravitacional, los elementos de los marcos embreizados incluyendo vigas, columnas y diagonales, conexiones entre elementos y se realizó un predimensionamiento de la cimentación del edificio, lo cual se desarrolla en el marco práctico del presente trabajo.

Como primer elemento estructural diseñado está la losa, la cual tiene un espesor total de 4.5 pulgadas (2.5 pulgadas de fundición y 2 pulgadas de metaldeck), calibre 22” tanto para el nivel de techo como para los niveles de entrepiso. Adicional, se colocarán varillas No. 3 a 12 pulgadas por retracción y temperatura en ambas direcciones.

Las vigas principales y secundarias que no conformaban parte del sistema sismo-resistente, se diseñaron de forma gravitacional. Como se mencionó en el marco práctico, se revisó su capacidad a flexión, la cual está en función de su longitud de embreizamiento. Para las vigas secundarias y vigas principales que no reciben vigas secundarias se utilizó una longitud de embreizamiento de 1 pie ya que se colocarán pasadores de corte. Es importante mencionar que para las vigas secundarias se revisó el proceso constructivo ya que estas no cuentan con ningún embreizamiento antes de fundirse la losa, mientras que las principales están embreizadas por las vigas secundarias por lo que el proceso constructivo no es crítico

para ellas. Adicional, las vigas secundarias se trabajaron como sección compuesta, logrando reducir la sección.

Finalmente, los perfiles seleccionados para las vigas principales fueron:

- W12x14
- W12x19
- W12x30
- W14x22
- W21x50
- W14x30
- W16x31
- W18x35
- W18x40
- W21x55

Adicional, se debe recalcar que estas secciones son las más óptimas para las solicitaciones de servicio y resistencia. Se realizaron diversas iteraciones para poder optimizar la sección en base a la table 3-2 del manual AISC 13th Steel Construction Manual, estando en un rango de perfiles entre el w12x19 al 21x55. Posteriormente, se diseñaron las columnas bajo la carga axial generada únicamente por las cargas gravitacionales. El perfil seleccionado fue un W12x50, el cual se uniformizó en todas las plantas. La relación D/C más alta obtenida fue de 0.64, sin embargo, esta no podía reducirse ya que era la sección más pequeña que cumplía con los requisitos de alta ductilidad del código AISC 341-16.

Para la integración sísmica, se tomaron los parámetros mostrados en la sección 7 del marco práctico obtenido un coeficiente sísmico de 0.21. Para poder distribuir el sismo de forma vertical, se determinó el peso de la estructura por nivel incluyendo un 25% de la carga viva. El peso obtenido de forma manual fue de 2,073 kips, el cual se comparó con el peso obtenido mediante el software Etabs. El peso obtenido por Etabs fue de 2,160 kips, lo que nos da una variación de 4% por lo que el peso encontrado manualmente se considera válido.

El sistema sismo-resistente se diseñó para la máxima capacidad que podían desarrollar las breizas. Las secciones seleccionadas para las diagonales son:

- HSS5X0.312
- HS5.5x0.375
- HS5.5x0.5
- HSS6X0.5
- HSS6.625X0.5

Al igual que con las vigas gravitacionales, se realizaron diversas iteraciones para encontrar la sección más óptima, lo cual se ve reflejado en la relación D/C de los elementos.

Para los marcos, se escogieron los perfiles que se enlistan a continuación.

Columnas

- W12x50
- W12x120

Vigas

- W18x40
- W18x50
- W16x31

Seguido, se procedió a realizar la corrección del sismo dinámico. En la primera iteración se obtuvo un factor de corrección de 1 lo que indica que el sismo dinámico representa más de un 85% del sismo estático, lo cual es un requisito del código. Asimismo, el edificio no presenta problemas de torsión ni de estabilidad ni de desplazamiento.

Las conexiones viga-viga se diseñaron con ángulo simple pernado-pernado. El ángulo es de 4x4x3/8" con una longitud total de conexión de 9 pulgadas. Se utilizarán 3 filas de pernos A325N con un diámetro de 3/4 pulgadas. Además, la viga secundaria tiene un despatinado en la parte superior de 2 pulgadas. En cuanto a la conexión viga-columna, se diseñó con ángulo doble pernado-pernado. El ángulo es de 4x4x3/8" con una longitud de conexión de 12 pulgadas. Se utilizarán 4 filas de pernos A325N con un diámetro de 3/4 pulgadas. Cabe mencionar que ambas conexiones no transmiten momento, al contrario de la conexión de los marcos del sistema de resistencia lateral que se diseñó rígida. La conexión está conformada por una placa simple de 5 por 9 pulgadas. Se utilizarán 3 filas de pernos A325N con un diámetro de 3/4 de pulgada. La placa está soldada al alma de la columna por una soldadura de 5/16". Para poder transmitir el momento se diseñó una placa de 5.5x9 pulgadas con 1/2 pulgada de espesor conectada a los patines de la viga por 3 filas de pernos dobles A325N con

1 pulgada de diámetro. Esta placa se conecta a la columna por medio de una soldadura de 5/16”.

Se diseñaron tres tipos de zapata según las reacciones de los apoyos y el espacio. La zapata crítica gravitacional se encontraba en el nodo 181 (Ver Figura 116). Esta es una zapata cuadrada de 16x16 ft con un espesor de 2 pies. El diseño solicitó el acero mínimo de refuerzo según el código ACI 318-14, por lo que se colocarán 10 Varillas No. 10. Para las zapatas de los marcos embreisados se obtuvieron las mismas dimensiones, sin embargo, se revisó la fuerza de arrancamiento. La fuerza de arranque se analizó tomando en cuenta que el concreto no es capaz de resistir tensión por lo que dicha carga la soporta únicamente el acero. Esto dio como resultado un refuerzo de 10 Varillas No. 10 en la parte superior de la zapata. Debido a la disposición de los ejes se diseñó una zapata combinada para los nodos 125,126 y 127 (Ver Figura 116). Las dimensiones obtenidas fueron 18x16ft con un espesor de 2 ft con un refuerzo de 14 varillas No. 9 en ambas direcciones, superior e inferior. Para el nodo 125, se colocó únicamente refuerzo en la cama inferior ya que no existía fuerza de arrancamiento.

El pedestal de la zapata es de 18 por 18 pulgadas con refuerzo longitudinal de 4 Varillas No. 10 y estribos No. 3 a una separación de 18 pulgadas. Para el aplastamiento, se asumió una placa de conexión de 15 por 15 pulgadas con un espesor de 1.25 in y 6 anclajes de 3/4” pulgadas de diámetro.

Por último, se predimensionó la viga de cimentación para resistir el corte generado por la zapata por lo que el diseño se basó en el esfuerzo a cortante de la viga. Las dimensiones finales de viga son 30x60 pulgadas con un refuerzo a cortante de estribos No. 4 a 12 pulgadas. Se le colocó el acero mínimo a flexión solicitado por el código ya que no existe momento flector en la viga.

Al finalizar el diseño del edificio se procedió a realizar la cuantificación del edificio para posteriormente calcular el costo estimado y la huella de carbono de los elementos del sistema estructural. El costo estimado total de la estructura es de Q3,595,388.16. El precio obtenido para el CLT y la mampostería de ladrillo fueron de Q2,932,548.65 y Q2,346,322.42 en el

orden correspondiente. La configuración más costosa fue la de acero debido al tamaño de la cimentación ya que las solicitudes eran considerables y la capacidad del suelo era muy baja ocasionando un incremento en las secciones. En cambio, la mampostería fue la configuración con menor costo. Cabe mencionar que el precio de la edificación en CLT se estableció como un aproximado de los materiales locales utilizados para la elaboración del CLT ya que en Guatemala no existe entidad alguna que fabrique este producto.

La huella de carbono obtenida para el edificio de acero fue de 222 ton Co² del cual un 67% corresponde a los metales requeridos seguido del concreto con un 33%. Un aspecto importante a recalcar del acero es que a pesar que inicialmente la huella de carbono es alta por su proceso constructivo, este tiene la capacidad de ser reciclado tanto para fabricar más acero como para reubicar la estructura cuando esta haya cumplido su tiempo de vida. Esta característica permite reducir la cantidad de materia prima necesaria para fabricar el material, la cual se estima que es de 2,475 kg por tonelada de acero fabricada incluyendo piedra caliza, carbón y hierro.

En comparación con los otros materiales considerados, el acero estructural se posiciona en un punto intermedio. Los paneles de CLT fueron los que obtuvieron la huella de carbono más baja con un valor de 118.985 toneladas de CO², mientras que la mampostería se posicionó como el más contaminante con un valor de 243 ton CO².

Considerando que en la mampostería se emplea mayor cantidad de material que en la construcción con acero, se determina que el acero es mucho más contaminante que los otros materiales debido a que el acero genera mayor huella de carbono durante el proceso de fabricación. Sin embargo, una de las principales ventajas del acero es su relación peso-resistencia por lo que, de forma global, la construcción en acero es menos contaminante que una construcción de mampostería.

B. Diseño estructural y análisis de impacto ambiental de un edificio de baja densidad en CLT

El objetivo de este trabajo individual era realizar el diseño de un edificio utilizando CLT para posteriormente analizar el material desde el punto de vista ambiental. Es importante mencionar que adicionalmente a esto se calculó el precio aproximado de la estructura para analizar el material desde distintas perspectivas.

A la hora de realizar el diseño, se propuso utilizar las dimensiones mínimas especificadas en el *CLT handbook*. Las secciones están conformadas por 3 capas de madera de 9 cm cada una. La idea inicial era usar paneles con el ancho más grande posible para ahorrar conexiones, sin embargo, debido a que en nuestro país se desconoce hasta que dimensión es factible realizar los paneles se utilizó un ancho un ancho intermedio, el cual es de 1.22 m (4 pies).

Para las cargas gravitacionales, como se puede observar en la Tabla 59, se consideraron pocos materiales ya que se trató de mantener la estructura lo más natural posible para tener un concepto realmente verde. Debido a esto las cargas vivas resultaron ser más críticas que las muertas. Esto representa una gran ventaja para la edificación ya que nuestro país se encuentra en una zona altamente sísmica, en donde el peso de la edificación es clave para los efectos del sismo sobre la estructura. Al tener un peso menor los efectos sísmicos son menores y por lo tanto, las dimensiones de los elementos también, reduciendo el costo de los mismos.

Todos los elementos fueron chequeados gravitacionalmente como se especifica en los manuales *CLT Handbook* y NDS. Cabe destacar el diseño de los dinteles, el manual especifica que estos solo deben chequearse por flexión y deflexiones. El criterio más crítico fue el de deflexiones ya que se decidió utilizar un límite de $L/400$, esto debido a que debajo de estos se encontrarán ventanas las cuales son frágiles. De igual forma para las conexiones todas fueron chequeadas contra demandas sísmicas, ya que estas juegan un papel muy importante en el desempeño sísmico de la estructura. Se buscó uniformizar las mismas en cuanto a medidas de pernos y platinas para que el proceso constructivo tenga menos

complicaciones. En la mayoría de los casos se utilizaron pernos de 3/8 de pulgada con separaciones similares. El detalle de estas se puede encontrar en la sección de apéndices.

Para realizar el análisis y chequeo sísmico de la estructura se utilizó el método de la carga estática equivalente. En la Tabla 84 se puede observar los cortantes basales por dirección, los cuales fueron iguales tanto para la dirección x como y, con un valor de 62.54 tonf. También se consideró las torsiones en cada dirección inducida por el sismo debido a que la estructura no es totalmente simétrica. Estas fuerzas fueron distribuidas posteriormente en los muros encontrando las fuerzas actuantes en cada uno. A partir de estas fuerzas, se realizó el chequeo a cortante en los muros más críticos para verificar eran capaces de funcionar como muros de corte ante las fuerzas sísmicas, obteniendo los valores de la Tabla 85. A partir de la tabla se puede observar que el muro más crítico se encontró en el primer nivel con un cortante sísmico total de 33,095.36 N. También se chequeó el muro con más solicitación gravitacional. Como resultado, se encontró que los dos muros cumplían de forma sobrada ante las solicitaciones sísmicas y gravitacionales como se puede observar en la sección L de la parte de diseño estructural.

En cuanto a las conexiones se utilizaron cinco tipos de conexiones, de panel de pared a panel de pared, de panel de losa a panel de losa, muros a losa, muros a techo y muros a cimentación. De manera general como se puede observar en las secciones 13 – 17 de la parte de diseño estructural en CLT todas las conexiones fueron chequeadas conforme a los tipos de falla especificados en el manual. Las conexiones más importantes son las de la losa, ya que como se especifica en el *CLT Handbook* de ellas depende que la losa se comporte como un diafragma rígido. En la parte de las conexiones de la losa a los muros se utilizaron placas pernadas como se puede observar en los apéndices ya que estas son las recomendadas por el manual para que las cargas laterales sean transmitidas de forma efectiva hacia los muros. De igual forma, en la cimentación se decidió utilizar placas con Varillas Hilti HAS embebidas en el concreto las cuales cumplieron satisfactoriamente contra la extracción.

Para la cimentación de estructuras de CLT se puede utilizar cimiento corrido, pilotes, losa de cimentación, etc. Para este caso se utilizó una losa de cimentación, ya que esta puede

funcionar como el piso del primer nivel además de dar un aislamiento a la madera contra la humedad y demás factores presentes cuando los elementos están en contacto directo con el suelo. Como se evidencia en la sección E se realizó un pre-diseño elaborado según el código ACI 318 para concreto, a partir del cual se obtuvieron dimensiones preliminares de 27.4 m x 21.39 m x 0.128m para el concreto, mientras que para el acero se utilizó el acero mínimo especificado por ACI obteniendo 3 barras No.3 a cada 7 pulgadas en ambas direcciones.

Para la huella de carbono, como se observa en la Tabla 144 se determinó que la huella para la estructura es de 118.985 ton fossil CO₂. En la Tabla 144 se puede observar que la mayor parte de la huella proviene de la madera ya que esta representa más del 80% del volumen total de los materiales. Sin embargo, los pernos, placas y varillas, materiales a base de acero, aportan un 36.16% de la huella, sin mencionar que estos representan nada más el 0.7% del volumen total de los materiales. Esto evidencia lo contaminante que puede llegar a ser el acero y porque es tan importante reducir su uso lo más posible en las construcciones. En cuanto al concreto, este representa un 14.20% de la huella de carbono emitida. Este valor es debido a que se utilizó muy poco en la obra, sin embargo, de usarse más este número aumentaría considerablemente.

Realizando el análisis comparativo, se puede observar que el CLT fue el material con el nivel más bajo de emisiones en comparación contra el Acero Estructural y la mampostería. Estos tuvieron huellas de 222 ton fossil CO₂ y 243 ton fossil CO₂ respetivamente, casi el doble de emisiones en ambos materiales. Sin embargo, al ser el CLT un material relativamente nuevo, aún falta información sobre cómo mejorar este aspecto.

Adicionalmente, se estableció un presupuesto estimado únicamente de la estructura, sin considerar gastos indirectos y preliminares. El costo resumido se puede encontrar en la Tabla 133, en donde se ve que el precio total es de Q2,932,548.65.

La mayor parte de este precio proviene de los paneles de CLT. Cabe mencionar que, ya que en Guatemala no se cuenta con entidades que produzcan CLT, se tuvo que estimar un

precio a partir de precios comerciales de la madera. Para el acero estructura y la mampostería, se obtuvieron precios de Q 3,595,388.16 y Q2,346,322.42 en el orden correspondiente, encontrándose el CLT en un punto intermedio, cercano al precio de la mampostería.

Es importante mencionar que dentro de estos costos no se consideraron precios de instalaciones, por lo que se recomienda para futuros trabajos verificar el precio de estas, ya que este varía dependiendo la facilidad o dificultad que se tenga a la hora de colocarlos.

Finalmente, tomando en cuenta las consideraciones y panoramas planteados en este trabajo. Se puede determinar que la alternativa que más se ajusta a los objetivos es el CLT, debido a su costo no demasiado elevado y baja impacto ambiental. Sin embargo, para que esto sea factible es necesario que exista una planta de producción de CLT en el país.

C. Diseño estructural y análisis de impacto ambiental de un edificio de baja densidad en mampostería de ladrillo

El objetivo del presente trabajo fue el de llevar a cabo el diseño de un edificio de baja densidad ubicado en el municipio de Fraijanes en el departamento de Guatemala para posteriormente llevar a cabo su análisis de impacto ambiental mediante la obtención de la huella de carbono y el costo aproximado de la estructura. Además de comparar los resultados obtenidos con otros sistemas estructurales definidos en acero y madera.

La estructura propuesta posee un sistema de resistencia de muros de mampostería de ladrillo definiéndose como una estructura tipo E2 o estructura de cajón como se establece en las normas de seguridad estructural del AGIES.

El edificio se diseñó de acuerdo con las normas y requisitos de los manuales guatemaltecos proporcionados por el AGIES donde se establecen los parámetros sísmicos del lugar y las normas de mampostería y concreto anteriormente mencionadas en el cuerpo de este trabajo para los demás elementos. Los elementos básicos diseñados incluyen los muros de resistencia lateral, las soleras sobre los muros, las losas de piso de cada nivel, las vigas entre ambientes y la cimentación del edificio.

Como principal elemento se tienen los muros de mampostería de ladrillo quienes serán los encargados de aportar la resistencia estructural a las cargas gravitacionales de acuerdo a su función y a las fuerzas laterales provocadas por el corte basal del sismo y la fuerza torsional ocasionada por la excentricidad entre su centro de masa y rigidez.

El refuerzo planteado para los muros se deriva del tipo de mampostería a utilizar el cual se estableció como interiormente reforzada debido a que parte del análisis es mejorar su impacto al ambiente y se desea utilizar la menor cantidad de fachada adicional y aprovechar la estética del ladrillo dejando expuesto el muro sin recubrimiento alguno.

Los muros de mampostería estarán principalmente contruidos con bloques de arcilla de 0.14 x 0.19 x 0.39 con una resistencia de 65 kgf/cm² y serán completamente llenados, es decir todas las celdas del muro serán vertidos con grout y el refuerzo será colocado según los requerimientos de cada uno. (Ver Tablas 150 a la 152). El sistema de sección llena se estableció debido a que aumenta el área transversal efectiva lo cual proporciona mayor capacidad al corte y cargas verticales. Además, proporciona una gran resistencia al fuego y mejora el comportamiento en cuanto a sonido se refiere mejorando las características de aislamiento sonoro.

Los refuerzos principales del muro se reparten en tres áreas, los refuerzos de los extremos, el cual se establece debido al momento de volteo generado por las sollicitaciones laterales; y los refuerzos verticales y horizontales debido al corte en el muro. El volteo plantea los esfuerzos de tensión y compresión en los cuales, donde hubiera tensión se debería asignar el área de acero requerida y si no tuviera el mínimo establecido por el manual, el manual utilizado fue el Manual Ingenieril de Mampostería Reforzada del Instituto de Mampostería de América (Reinforced Masonry Engineering Handbook)

De igual manera se obtuvieron las áreas de acero vertical y horizontal requerida o mínima según fuera el caso. En cuanto estas áreas las cuantías de acero mínima dependían de la dirección en la que se desarrollara el muro, un muro que se desarrolla verticalmente sucede cuando la altura del muro es mayor que su largo y su tiende a flexionarse a lo alto y de forma contraria sucede en un muro desarrollado horizontalmente. La separación del refuerzo

vertical y horizontal se estableció a la separación máxima posible que se pudiera asignar para obtener el área requerida o el área mínima sin la necesidad de sobrecargar la estructura.

Debido a la gran densidad de muros en la edificación se diseñó para rangos establecidos entre los largos existentes los cuales se definieron en muros de 0.01 m a 1.50 m, 1.51 m a 2.50 m, 2.51 m a 3.50 m, 3.51 m a 4.50 m y 4.51 a 7.50 m, a forma de hacer la distribución de refuerzo mucho más entendible y lograr una estandarización.

Debido a las dimensiones de los ambientes y la distribución de los muros los espacios de losa definidos poseían una relación ancho/largo mayor a 0.5 estableciendo que funcionan como losas en dos sentidos. Por tal razón el código ACI 318-14 establece los requerimientos para los momentos positivos y negativos generados en la losa. Sin embargo, ya que actualmente en el mercado existen métodos más eficientes que reducen tanto el costo como el peso del elemento y constructivamente más sencillo al momento de su construcción.

Las soleras sobre los muros se dimensionaron de acuerdo a los requerimientos mínimos establecidos en el Manual NSE 7.4 del AGIES, las cuales no deben tener un área menor a 20,000 mm².

Las vigas diseñadas se distribuyen en toda el área del edificio en luces grandes donde el área de las losas requería de una partición para que el espesor de la losa no fuera muy grande. Las vigas fueron diseñadas a los momentos últimos resultantes de las cargas en la losa, la viga se supone como un elemento empotrado debido a la unión entre la viga y el muro, diseñando así los momentos positivos y negativos generados debido a la configuración del apoyo.

El refuerzo a corte se estableció según la separación máxima solicitada por los requerimientos de los códigos y el área requerida para dicha separación, cabe mencionar que la separación de estribos es equidistante a todo lo largo, se recomienda hacer una separación de estribos más eficiente en donde se toma en cuenta que la separación puede aumentarse cuanto más cerca este de la zona en donde el código ACI 318-14 permita la nula cuantía de acero.

En el presente trabajo no se hace referencia al diseño de dinteles en aberturas y vanos de puertas y ventanas. Los dinteles son elementos que se colocan para resistir los esfuerzos y las deflexiones que se generan por los mampuestos sobre estas aberturas. Son elementos por lo general muy esbeltos requiere la integración de la conexión según su material, su refuerzo si requiere y la definición de las dimensiones que permitan que su tamaño no sea demasiado grande en comparación al espacio de acción. Como sugerencia, debido a que no se adentró en materia de diseño, se enlistan diferentes tipos de dinteles según su material que pueden utilizarse para el refuerzo de vanos:

- Dinteles de madera, estos dinteles están hechos de perfiles de madera lo suficientemente resistentes para cumplir con las solicitaciones, por lo general se utilizan en construcciones pequeñas y rústicas.
- Dinteles de concreto reforzado, son el tipo de dintel más común utilizado en edificaciones de mampostería de mayor tamaño, su proceso constructivo es similar al de una viga o una solera.
- Dintel de ladrillo, son dinteles de ladrillo llenados de grout y reforzado con barras de acero, esto suele ser una ventaja cuando el sistema de mampostería está principalmente interiormente reforzada ya que sigue la línea de armado.
- Dinteles metálicos, estos son dinteles elaborados con perfil metálicos

Como elemento final se diseñó la cimentación, como cualquier estructura necesita un elemento en la base que transmita las cargas al suelo. Debido al sistema estructural de muros la cimentación más acertada es una zapata corrida, utilizando una capacidad soporte del suelo de 10 tonf/m^2 se encontraron el área y peralte necesarios para cumplir con los requerimientos. Es importante mencionar que según la capacidad soporte del suelo la cimentación requiere un área amplia para lograr soportar las cargas a la profundidad de 1 m.

Cabe mencionar que de acuerdo a los códigos se utilizaron las solicitaciones últimas para encontrar las cantidades requeridas en los elementos evitando así el proceso iterativo de prueba y error estableciendo el valor necesitado directamente.

Ya diseñado el edificio se procedió a la obtención del costo de la estructura en donde se incluyen todos los materiales de construcción necesarios para llevar a cabo la finalización

del cuerpo del proyecto. Para obtener el costo del sistema de muros de ladrillo se tomaron materiales básicos como los mampuestos de arcilla, acero de refuerzo, grout de relleno para celdas, concreto de resistencia requerida, etc. Como base de costos de materiales se utilizaron los precios establecidos por la Cámara Guatemalteca de la Construcción. Como costo total se obtuvo una cantidad de Q2,346,322.42.

Así mismo se obtuvo la huella de carbono de los materiales utilizados para llevar a cabo la estructura. Esta se calculó con la ayuda de la calculadora de huella de carbono proporcionada por la Agencia Medioambiental del Reino Unido (Environment Agency UK), la cual toma en cuenta las toneladas de cada uno de los materiales, la distancia a la que se encuentra desde el punto de donde se carga para su distribución hasta la descarga en el sitio de construcción y su método de transporte que puede ser por carretera, por barco o por tren. El resultado de la configuración de mampostería fue de 243 toneladas equivalentes de CO₂ emitidas.

Es importante mencionar que el mampuesto utilizado para el sistema estructural planteada, el ladrillo, posee características que pueden favorecer al aspecto medioambiental. Los ladrillos favorecen a la disminución del uso de materiales de fachada debido a que tiene como ventaja ser estéticamente aceptado, basta con colocar los muros y un buen control de la calidad para dar un acabado grato a la vista. Su proceso de elaboración no requiere de actividades muy complejas ni de mezclas de materiales que generan gran impacto en su extracción, los ladrillos a grandes rasgos son prensados y cocidos elaborados de arcilla, teniendo una línea de elaboración menos contaminante que materiales como el concreto y el acero.

Las propiedades térmicas y sonoras de este material ayudan a establecer un confort dentro de la estructura permitiendo al usuario aprovechar dichas cualidades e incluirlas dentro de los sistemas de mantenimiento de temperatura, aislamiento térmico y absorción de sonido.

Como se mencionó anteriormente, paralelo al trabajo que se presenta se realizaron los diseños estructurales de marcos embreizados en acero y muros de madera. Como resultado

se logró comparar los costos, la huella de carbono y demás características que surgen de acuerdo al comportamiento de la estructura.

Como primer punto de comparación se obtuvo el costo de la estructura. En esta estimación se incluyen los costos de los materiales utilizados y el costo aproximado de la mano de obra necesaria para la realización de las actividades de construcción. Dentro de este análisis no se han considerado costos indirectos ni utilidades.

Como resultado de estos costos se obtuvieron las siguientes cantidades para los diferentes sistemas: Q3,595,388.16 para la configuración de acero y Q2,932,548.65 para la configuración en madera. Como se puede observar la construcción con mayor costo fue la configuración en acero debido a las solicitaciones en la estructura y a la baja capacidad del suelo lo cual ocasionó el aumento de los elementos de cimentación elevando el consumo de concreto.

Así mismo se puede decir según los datos de precio total de las configuraciones que la estructura de madera es la que posee el precio más bajo. El precio de materiales de esta edificación se estableció como un aproximado de los materiales utilizados para la elaboración de paneles de CLT (Cross Laminated Timber), ya que en Guatemala no existe entidad alguna encargada específicamente de este tipo de producto y por tal razón se emplearon los precios actuales de madera en el mercado local.

La edificación de mampostería se establece en el medio debido a que la mano de obra en Guatemala para albañilería es muy solicitada haciendo el precio de esta menor a diferencia de conocimientos especiales para la construcción de conexiones de otros sistemas que lo llegan a encarecer como sucede en las estructuras de acero. Así mismo la cantidad de concreto utilizada en la edificación presentada no equipara a la del acero sin embargo tiene el suficiente volumen para superar el valor de la madera.

Como segundo punto de comparación se tienen los resultados de huella de carbono.

Como resultado la configuración de mampostería obtuvo la mayor cantidad de emisiones equivalentes de CO₂, esta debe la mayor parte de su huella a la utilización de concreto siendo esta un 66% del total, la principal razón de este resultado se debe a que este material se utiliza para la elaboración del mortero, del grout y en la elaboración de elementos horizontales de losas y vigas.

La huella de carbono obtenida para el edificio de acero fue de 222 ton Co₂ del cual un 67% corresponde al acero requerida seguido del concreto con un 33%. Un aspecto importante a recalcar del acero es que a pesar que inicialmente la huella de carbono es alta por su proceso constructivo, este tiene la capacidad de ser reciclado tanto para fabricar más acero como para reubicar la estructura cuando esta haya cumplido su tiempo de vida. Esta característica permite reducir la cantidad de materia prima necesaria para fabricar el material, la cual se estima que es de 2,475 kg por tonelada de acero fabricada incluyendo piedra caliza, carbón y hierro.

Por último, la configuración de CLT se posiciona como el sistema con las menores emisiones de CO₂ con una cantidad de 118.99 toneladas. Este valor puede deberse a que la madera se obtiene de recursos que en materia prima no producen gran cantidad de huella considerando su proceso de extracción y de fabricación, así mismo no hace uso de materiales aglomerantes como el concreto en basta cantidad como otros sistemas y reduce el uso de fachadas aprovechando la estética de la misma.

D. Diseño de un sistema de reutilización de aguas grises para un edificio residencial de baja densidad

En el presente trabajo de investigación en modalidad de trabajo individual de megaproyecto se llevó a cabo un marco teórico y conceptual para obtener los conocimientos necesarios para realizar el diseño de un sistema de conducción de agua potable, drenaje de aguas servidas y principalmente, recolección y distribución de aguas grises.

En el marco conceptual se determinaron los distintos sistemas hidrosanitarios que pueden ser incluidos en un edificio residencial. Detallando sus partes principales, criterios y

recomendaciones de diseño y normativas vigentes en otros países. Debido a los altos grados de contaminación en las fuentes superficiales de agua y la creciente demanda de agua subterránea, se ha hecho necesario buscar alternativas para aprovechar el agua menos contaminada y disminuir la demanda de agua potable. Se desarrolló este trabajo de investigación con el objetivo de comenzar a establecer un parámetro en cuanto a instalaciones hidrosanitarias en una era de consciencia ambiental y crisis de recursos hídricos.

Se inició con el diseño de conducción de agua potable desde el pozo. El agua en el municipio de Fraijanes es manejada por compañías privadas que la extraen de pozos y la conducen a condominios y casas fuera de urbanizaciones. La profundidad del pozo de 700 ft o 213.36 m fue establecida en el diseño previo del edificio. Se calculó una potencia de bomba de 4.10 hp, con una disponibilidad en el mercado de 5 hp. La línea de conducción será de 2" porque representa una menor pérdida en el sistema porque el agua se traslada a una menor velocidad.

En Guatemala, el diseño de instalaciones hidrosanitarias es empírico y estandarizado y no se justifica en ninguna norma; por lo que se adoptó una metodología para justificar la selección de diámetros. Los resultados de la tubería que conduce a cada artefacto fueron los mismos que el cálculo estándar, por lo que se puede comprender la razón por la que en Guatemala no se invierte tanto esfuerzo en detallar este tipo de elementos.

El sistema de distribución de agua potable considera únicamente los siguientes dispositivos: lavamanos (2), duchas (2), lavaplatos (2) y lavadora de ropa (2). No se consideran grifos extras debido a que no hay espacio para pila de lavado y los inodoros (2) que serán abastecidos por el sistema de reutilización de agua gris. Sin embargo, el abastecimiento de agua potable y de agua gris se diseñan de misma forma debido a que el agua gris será tratada previamente a su uso y aunque no será apta para consumo humano, si se podrá utilizar sin inconveniente en los dispositivos.

Los ramales de enlace por lo general contemplan un diámetro de $\frac{1}{4}$ " mayor que el diámetro del sub-ramal de dispositivo más grande. Utilizando la metodología propuesta,

asignando una velocidad de 2.5 m/s y un caudal simultáneo de 0.48 L/s y 0.33 L/s (según las tablas 162 Y 163) se pudo establecer que el ramal de enlace requiere el mismo diámetro del sub-ramal de enlace de mayor diámetro, respectivamente para agua fría y caliente. Esto se debe a que no se están considerando dos inodoros en cada apartamento y estos según la tabla n representan un gasto de 0.20 L/s por apartamento.

En el caso del agua gris para inodoros se asigna una velocidad menor (0.8 m/s) debido al funcionamiento de estos mismos dispositivos, la cisterna no se debe llenar tan rápido para evitar que se gaste más agua por descarga. Según la Tabla 172, el diámetro del ramal de enlace es de $\frac{3}{4}$ " , medida que excede la $\frac{1}{2}$ " del sub-ramal calculado en la Tabla 171. Esto se debe a que existe una demanda bastante alta para un sistema de tubería considerablemente menor.

Las tuberías de alimentación se calculan con base en el método de Hunter, método que si es aplicado comúnmente en Guatemala. Se estiman unidades totales en cada piso y se acumulan en el nivel inferior; es decir, el primer nivel es el que más unidades acumula debido a que es donde inicia el alimentador. Esto es tanto para el caso de agua potable (se calcula en conjunto el agua fría y caliente) como agua gris.

Las tablas 164 y 173 muestran el cálculo de los diámetros de las tuberías de alimentación para abastecimiento de agua potable y agua gris respectivamente. Para agua potable se calcularon alimentadores de 2" para los primeros tres niveles y de 1.5" para el último nivel. Para agua gris, los diámetros se reducen a 1.5" para los primeros dos niveles y 1" para los dos últimos niveles. Estos diámetros son calculados con base a la ecuación de Hazen-Williams, utilizando el consumo probable como caudal, una velocidad base de 1 m/s y una pérdida de 1 m en todo el trayecto de la tubería.

Se determinó el volumen del tanque cisterna enterrado de agua potable, este cuenta con una capacidad de 24 m³, aunque la demanda únicamente es de 15 m³ al día y cuenta con una reserva del 50%, alcanzando los 22.5 m³ al día para todo el edificio como indica la tabla 16. El tanque cisterna enterrado para agua gris tiene un volumen de 4 m³ debido a que el volumen

de reutilización de agua gris es de 2.27 m³ para inodoros y 1.69 m³ para riego como muestran las tablas 175 y 176 respectivamente. Se considera que con el volumen de reserva asignado, la capacidad del tanque es suficiente para abastecer a la población futura calculada en la sección A del marco práctico.

Los sistemas de recolección de agua gris y drenaje de aguas negras se diseñan de la misma forma, como un drenaje común. Para los aparatos de agua gris, los sifones y derivaciones simples indicados en la Tabla 166 son menores que los de los inodoros indicados en la Tabla 179 debido a que la evacuación de un inodoro debe de ir a media sección por la materia sólida que transporta. Las bajantes y derivaciones compuestas dependen de la cantidad de materia que deban transportar; es por esto que, aunque la tubería que se deriva de inodoros deba ir media sección, la tubería de agua gris tenga un mayor diámetro porque transporta un mayor caudal y menos materia sólida.

En tanto a las plantas de tratamiento, se utilizarán plantas de tratamiento prefabricadas debido a que la demanda del edificio se satisface con estos sistemas de mediano tamaño. Para el tratamiento de las aguas grises se utilizará un filtro biológico de una fase, debido a que cumple de una manera básica con los requisitos de tratamiento primario y secundarios establecidos en la sección G.3. del marco conceptual. Además, no necesita ser desinfectado debido a que la carga orgánica es menor que la de las aguas negras residuales; por lo que no existe riesgo de que el agua sea infectada con patógenos biológicos. El tratamiento indicado para las aguas negras es un tanque séptico con trampa de grasa, con capacidad de 1000 galones (3785 litros). La desinfección no es necesaria, ya que no se utilizará en actividades relacionadas al consumo humano; únicamente se conducirán al sistema municipal.

El sistema de bombeo de agua potable para distribución es un tema fuera del alcance de este trabajo de graduación. Para el bombeo de aguas grises a un tanque elevado sobre la terraza del cuarto nivel, se utilizará un tanque hidroneumático de 119 galones de capacidad y una bomba con una potencia de 2 hp.

Según la Tabla 174, por apartamento se producen 1194 litros de agua gris, lo que conlleva a un gasto de 298 litros por persona. Un gasto mayor a la dotación asignada, lo que indica que aun con las asunciones más conservadoras, un estilo de vida de lujo en Guatemala implica un gasto exuberante de agua. Estos 1194 litros de agua representan una producción de aguas grises de 17.9 m³ al día. Como se mencionó anteriormente, el volumen de reutilización de aguas grises es de 3.96 m³. Esto significa que únicamente se reutiliza el 22% de las aguas grises producidas.

En Fraijanes el costo promedio del servicio de agua es de Q50 (Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente, 2013) para una vivienda familiar, lo que representa un total de Q750 para todo el edificio. El ahorro general del edificio es del Q165.

La inversión inicial aumenta en cuatro aspectos: sistema de distribución, bombeo tratamiento y drenaje. Se considera que estos son los aumentos más significativos, ya que aunque lleva un drenaje aparte, de igual forma, los inodoros iban a ir conectados una vez. La tabla 181 muestra que el sobrecosto es de Q 59,095.40, siendo el gasto más representativo el tratamiento de agua gris. Sin embargo, se puede considerar que el tratamiento de agua negra que debería ser de mayor capacidad antes de la implementación del sistema de reutilización de aguas grises, disminuye de volumen y por lo tanto de precio; por lo que el tratamiento de aguas grises toma ese costo. Si se considera lo mencionado anteriormente; al eliminar el costo de la planta de tratamiento se puede reducir el sobrecosto a Q15,105.40. El sobrecosto dividido dentro de los 15 apartamentos es de Q 3939.70 al incluir la planta de tratamiento y de Q 1007 al obviar este elemento. Al considerar que apartamentos de menor tamaño (2 dormitorios, 1 baño, cocineta, lavandería, sala y comedor) en la zona de Fraijanes tienen un costo entre \$70,000USD y \$80,000USD el sobrecosto de implementación de Q 3939.7 representa un aumento menor al 1%.

E. Sistema de eficiencia energética y empleo de domótica en un edificio

De acuerdo a los resultados obtenidos, se colocarán bombillos led marca Luxlite de 30W para tener un consumo más eficiente y a menor coste en cuanto a iluminación. También se diseñó la luminaria de cada apartamento en donde en cada área se colocará la iluminación

necesaria de acuerdo a la Norma europea sobre la iluminación de interiores UNE 12646.1. Esta luminaria cuenta con la siguiente configuración para cada área: para la sala dos luminarias con cuatro focos cada una, para el cuarto principal una luminaria con cuatro focos, para los cuartos regulares una luminaria con cuatro focos, para la cocina una luminaria con tres focos, para el pasillo dos luminarias con dos focos cada una y para el baño una luminaria de un foco.

Con respecto a la energía eléctrica que utilizarán cada apartamento del edificio, se estima un consumo promedio anual de Q11,000.00. En base a este consumo, se diseñó un sistema de paneles solares por apartamento para que estos generen suficiente energía para que sean autosuficientes. Se colocarán cuatro paneles solares conectados en serie, por apartamento, para cumplir con la demanda de energía. Esto tendrá un costo de Q50,000.00 por apartamento aproximadamente. Este costo tiene una tasa interna de retorno de 22% con un tiempo estimado de retorno de la inversión de cuatro años y medio, que lo hacen un proyecto muy rentable.

Por último, se analizó la opción de implementar un sistema de domótica que controle la iluminación y brinde sistemas de seguridad para los habitantes del edificio. Estos sistemas brindarán un apoyo para ahorrar más energía todavía y que el edificio sea catalogado como amigable con el medio ambiente. Estos sistemas tendrán un costo de Q823,661.33 para el sistema de control de iluminación por todo el edificio con un tiempo estimado de retorno de inversión de 3.7 años de cada apartamento agregados a los 4.5 años de los paneles solares y Q186,976.39

VI. Conclusiones

1. La estructura de mampostería de ladrillo generó una huella de carbono de 243 ton CO₂ debido al gran volumen de concreto utilizado para el sistema de resistencia, su huella de carbono se dispara y lo coloca como el material con mayores emisiones equivalentes.
2. La edificación de acero generó una huella de carbono de 222 ton CO₂, sin embargo, el acero es un producto reciclable y es el material más reciclado del mundo por lo que su huella de carbono se reduce en el segundo ciclo de fabricación ya que se disminuye la cantidad de materia prima. Adicional, al ser un material con gran demanda, el proceso de fabricación del acero se ha ido optimizando y mejorando lo que reduce grandemente sus emisiones de contaminantes y consumo de energía.
3. La huella de carbono de la estructura en CLT fue de 118.985 ton fósil CO₂. Siendo el sistema estructural con la huella de carbono más bajas.
4. La alternativa ideal para la construcción de edificios de baja densidad tomando en cuenta las consideraciones en el presente trabajo es la construcción en CLT debido a que el tiempo del proceso constructivo es reducido y su huella de carbono es aproximadamente un 50% a de la de los otros materiales. Además, el costo únicamente supera en un 20% a la mampostería.
5. Existen diversos tipos de instalaciones hidrosanitarias que pueden ser implementadas en edificios residenciales. Esta implementación depende de las normativas vigentes en el país; la exigencia del cliente, diseñador y/o constructor y el sistema constructivo. Las instalaciones contra incendios con aspersores o mangueras pueden utilizar agua gris después de haber sido tratada primaria y secundariamente. Así mismo, los sistemas de irrigación pueden utilizar agua gris sin presencia de sedimentos y un tratamiento secundario opcional. Por último, se puede reducir la demanda de agua potable abasteciendo algunos dispositivos como inodoros y mingitorios con agua gris en lugar de agua potable.

6. Se diferencia el tratamiento de aguas grises y de aguas negras debido a su distinta finalidad y caracterización.
7. La selección del tanque hidroneumático de 119 galones y la bomba de 2 hp de potencia es adecuada para el edificio debido a la baja demanda de agua gris para los inodoros.
8. El ahorro de agua calculado fue de 3.96 m³, representando el 22% del agua gris producida. Se consume un total de 17.91 m³, 20% más de la dotación estimada de 250 L/hab/día. El ahorro económico fue de Q165 sobre los Q750 en total del edificio.
9. El sistema tiene un sobrecosto de Q 59,095.40 al incluir una planta de tratamiento; al obviar este último elemento por haberse considerado una planta de tratamiento para aguas negras de mayor capacidad, el sobrecosto real es de Q 15,105.40. Estos aumentos representan un aumento menor al 0.5% en el precio de venta de los apartamentos.
10. Debido a la localización del edificio, la manera más eficiente de generar energía dentro del edificio es por medio de energía solar y el diseño de paneles solares.
11. Se diseñó un sistema de paneles solares de cuatro paneles por apartamento capaces de generar toda la energía necesaria, además se diseñó un sistema de iluminación con focos led de baja potencia controlado por un sistema inteligente que regula su uso automáticamente.
12. El diseño de los paneles solares, además de abastecer el consumo eléctrico promedio de cada apartamento, es capaz de generar suficiente energía en conjunto para abastecer el sistema de distribución de aguas del edificio.
13. El diseño de los paneles solares cuenta con un retorno de inversión de cuatro años y medio más el sistema de control de iluminación que cuenta con un tiempo estimado de retorno de inversión de tres años y nueve meses.

14. El diseño de los paneles solares, además de abastecer el consumo eléctrico promedio de cada apartamento, es capaz de generar suficiente energía en conjunto para abastecer el sistema de distribución de aguas del edificio.

VII. Recomendaciones

A. Recomendaciones para diseñadores

- Para el diseño en acero estructural, se recomienda realizar un análisis comparativo para determinar la cimentación óptima ya sea pilotes, zapatas o losa de cimentación para poder reducir la cantidad de concreto en la construcción.
- Se recomienda analizar distintos sistemas de resistencia lateral para la estructura de acero como los muros de corte.
- Se recomienda sustituir el concreto en el metal deck con materiales alternativos como el plywood para poder reducir la huella de carbono del edificio.
- Para el diseño en CLT, se recomienda usar paneles de mayor tamaño para que el número de conexiones sea menor y por lo tanto se reduzcan precios. Asimismo, se reduzcan los tiempos de trabajo.
- Se recomienda realizar ensayos con las diversas especies de madera que existen en Guatemala para poder tener datos exactos y por lo tanto, realizar diseños estructurales óptimos.
- Se recomienda realizar una comparación entre códigos Americanos y códigos europeos para ver qué tanta variación hay entre ambos y determinar cual resulta más conveniente para nuestro país.
- Para el diseño en mampostería, se recomienda realizar un diseño de mampostería parcialmente llena para reducir la cantidad de concreto utilizado y obtener un diseño más óptimo y menos conservador.
- Se recomienda realizar ensayos de prismas de los ladrillos para la verificación de su resistencia a la compresión, así como de una comparación entre los distintos tipos que existen en el mercado.
- Se debe considerar el tiempo de construcción, mantenimiento, disponibilidad de materiales y mano de obra capacitada en el análisis comparativo para poder establecer una relación costo-beneficio más apegada a la realidad del país.
- Se recomienda profundizar el análisis de costo en donde se incluyan aspectos como costos indirectos, utilidades, tiempo de construcción de la obra, calidad de

los materiales y demás renglones pertinentes para obtener un resultado más certero de acuerdo al mercado guatemalteco.

- Se recomienda a los arquitectos y diseñadores considerar el suficiente espesor de losa para encajar toda la tubería necesaria.
- Se recomienda considerar un grifo extra dentro de la vivienda además de los dispositivos contemplados para satisfacer necesidades de limpieza dentro de la vivienda.
- Se recomienda trabajar con una tubería alimentadora por cada 2 o 3 apartamentos para garantizar un mayor caudal y una presión de salida del agua más alta en cada dispositivo.
- Se recomienda considerar una dotación más alta (300 litros/hab/día) para efectos de almacenamiento suficiente de agua potable.
- Se recomienda la creación de un manual con todas las especificaciones de mantenimiento y uso de los equipos colocados dentro del edificio, además de la importancia del ahorro energético y los beneficios que se pueden llegar a obtener

B. Recomendaciones para usuarios

- Se recomienda que los usuarios del edificio utilicen una lavadora de ropa de tambor con capacidad de carga de 13 kg, ya que consume menos agua.
- Se recomienda limpiar los paneles solares menos una vez cada tres meses ya que las manchas y suciedad pueden afectar su capacidad de captación de los rayos solares.
- Se recomienda mantener un uso de agua saludable dentro del edificio. Aunque el edificio es capaz de generar suficiente energía para el sistema de bombeo, el ahorro de agua es importante para el medio ambiente.
- Se debe hacer saber a los compradores del apartamento que el costo agregado de los paneles solares se recuperará eventualmente y tendrán un ahorro significativo en su economía.

- Se debe presentar las capacidades del sistema de domótica a los habitantes del edificio, para que estos tengan presente sus capacidades de uso y además sepan manejarlo y controlarlo para que puedan aprovecharlo correctamente

C. Recomendaciones para el constructor

- Para garantizar la acción compuesta de la losa en la estructura de acero, se deben utilizar pasadores de corte normados y no hechizos realizados en obra; y utilizar el equipo adecuado para soldar estos a la lámina.
- Se recomienda complementar el sistema estructural con instalaciones verdes para que los esfuerzos de reducción de impacto ambiental no se vean opacados.
- En la construcción con CLT, se recomienda utilizar la fibra de madera si se desea una mejor aislación en la estructura, ya que aportan beneficios tanto térmicos como acústicos sin afectar al medio ambiente.
- Para las conexiones en CLT con placas, se recomienda utilizar pequeños perfiles en lugar de uno solo en toda la longitud del muro para poder economizar.
- Se recomienda usar en la menor manera posible, materiales como concreto o cualquier derivado del acero ya que estos son altamente contaminantes.
- Se recomienda implementar el sistema de reutilización de aguas grises a pesar de que implique un costo más alto de construcción y el ahorro no sea significativo para el usuario para inculcar conciencia ecológica en las personas y comenzar de alguna forma la discusión sobre un tema ambiental urgente en la situación del país en el que vivimos.
- Se recomienda conectar la bomba de menor caballaje a un sistema fotovoltaico debido a que su uso será esporádico y no demanda mucha energía por lo que su punto de equilibrio costo-función es más atractivo.
- Se recomienda a las autoridades competentes asignar y cobrar una tarifa fija significativa por metro cúbico de agua para poder crear conciencia de la importancia y escasez de este recurso.
- Se recomienda la instalación de calentadores de cabeza de ducha debido a que facilitan el diseño de la tubería de conducción de agua potable, consumen menos potencia eléctrica y representaría un ahorro en materiales e instalación.

- Se recomienda colocar los equipos que controlan la automatización del edificio en lugares seguros donde no sean dañados por agentes externos ni sean manipulados por personas que no sepan usarlos.

VIII. Bibliografía

- 10 consejos para ahorrar energía eléctrica.* (12 de abril de 2016). Recuperado el 13 de agosto de 2018, de Gestarcoop: <http://www.gestarcoop.com/novedades/noticias/34-mundo-cooperativo/196-10-consejos-para-ahorrar-energia-electrica.html>
- Acciona. (2018). *Tipos de Paneles Solares.* Recuperado el 10 de septiembre de 2018, de Sostenibilidad Para Todos: <https://www.sostenibilidad.com/energias-renovables/tipos-de-paneles-solares/>
- Acosta, D. (s.f.). *Arquitectura y construcción sostenibles: Conceptos, problemas y estrategias.* Recuperado el 22 de 09 de 2018, de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3647837.pdf>
- Agencia de Eficiencia Energética. (2012). Recuperado el 12 de agosto de 2018, de Eficiencia Energética: <https://www.acee.cl/eficiencia-energetica/que-es-ee/>
- AGIES. (2010). *AGIES NSE 7.4 Mampostería reforzada (NR9:2000).* Recuperado el 08 de julio de 2018, de <https://conred.gob.gt/site/normas/Doc-10-NSE-7.4.pdf>
- AGIES. (2017). *NSE2 - Demandas Estructurales, condiciones de sitio y niveles de protección.* Recuperado el 22 de Julio de 2018, de <https://www.agies.org/normas-de-seguridad-estructural-2017>
- Ahmet Alatas Workshop. (12 de Diciembre de 2017). *El acero, el material más sostenible.* Recuperado el 201, de <http://www.ochoalacar.com/acero-material-mas-sostenible/>
- ALGECOSA. (2017). *El acero, el material más sostenible.* Obtenido de <http://www.ochoalacar.com/acero-material-mas-sostenible/>
- American Institute of Steel. (2013). *Steel Construction Manual* (13 ed.). Estados Unidos: AISC.
- American Institute of Steel Construction Inc. (2005). *Steel Construction Manual.* Estados Unidos.
- Argueta, A. (2014). *Revisión de los aspectos sísmicos y del método de la carga sísmica estática equivalente de la norma de seguridad estructural de edificaciones y obras de*

- infraestructuras para la República de Guatemala AGIES edición 10*. Recuperado el 08 de 08 de 2018, de http://www.repositorio.usac.edu.gt/809/1/08_3681_C.pdf
- Arquitectura + Acero. (2005). *Conexiones en acero... ¿Apernadas o soldadas?* Obtenido de <http://www.arquitecturaenacero.org/uso-y-aplicaciones-del-acero/soluciones-constructivas/conexiones-en-aceroapernadas-o-soldadas>
- Arquitectura + Acero. (2012). *Acero y sustentabilidad*. Recuperado el 14 de Abril de 2018, de <http://www.arquitecturaenacero.org/sustentable/acero-y-sustentabilidad>
- Arquitectura+Acero. (2014). *Perfiles y tubos*. Obtenido de <http://www.arquitecturaenacero.org/uso-y-aplicaciones-del-acero/materiales/perfiles-y-tubos>
- ASCE. (2010). *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*. Estados Unidos.
- Asociación Española De Dómotica E Inmótica. (2018). *Qué es Domótica*. Recuperado el 30 de agosto de 2018, de CEDOM: <http://www.cedom.es/sobre-domotica/que-es-domotica>
- Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica. (2017). *Normas de seguridad estructural 3 - 2017 Diseño estructural de edificaciones*. Guatemala: AGIES.
- ATMOSFERAS. (2015). *¿Qué es una fachada ventilada?* Obtenido de <https://www.attmosferas.com/que-es-una-fachada-ventilada/>
- Bautista, C. A. (2010). *Aplicación del programa SAFE al diseño de cimentaciones comunes en la construcción*. Tesis, Guatemala.
- BBC Mundo. (12 de diciembre de 2015). *BBC*. Recuperado el 24 de agosto de 2018, de COP21: aprueban histórico acuerdo contra el cambio climático en la cumbre de París: https://www.bbc.com/mundo/noticias/2015/12/151211_cumbre_clima_paris_cop21_acuerdo_az
- Belandrina, N. (2010). Recuperado el 12 de 09 de 2018, de <https://avdiaz.files.wordpress.com/2008/08/cimentaciones-y-fundaciones.pdf>
- Bonilla, E. (Octubre de 2009). Recuperado el 07 de junio de 2018, de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3050_C.pdf
- Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology. (2013). *BREEAM International*. Recuperado el 28 de agosto de 2018, de BREEAM: <http://www.breeam.es/conocenos/breeam-internacional>

- Calefacción Solar. (2018). *Beneficios de un medidor bidireccional*. Recuperado el 20 de septiembre de 2018, de Calefacción Solar: <http://calefaccion-solar.com/beneficios-de-un-medidor-bidireccional.html>
- Callo, K. C. (2012). *Perfiles laminados en frío*. Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/98655147/Perfiles-Laminados-en-Frio>
- Callo, K. C. (2012). *Tipos de fabricación de perfiles de acero*.
- Capilla, J. (14 de noviembre de 2014). *Coste y precio de las diferentes fuentes de energía*. Recuperado el 17 de agosto de 2018, de Escuela de Organización Industrial: <http://www.eoi.es/blogs/merme/coste-y-precio-de-las-diferentes-fuentes-de-energia-2/#>
- Casanovas, X. (2009). Recuperado el 22 de 09 de 2018, de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/11004/ponencia-marco-sostenibilidad.pdf>
- Caubilla, R. (06 de febrero de 2018). *¿Por qué es más cara la "luz" en Guatemala que en otros países?* Recuperado el 15 de agosto de 2018, de Soy 502: <http://www.soy502.com/articulo/guatemala-no-tiene-tarifa-electrica-mas-baja-region-31313>
- Centeno, I. V. (2017). *Análisis comparativo entre el método estático equivalente y el método por desempeño sísmico en el diseño de edificios de estructuras de acero*. Tesis, Universidad de El Salvador, El Salvador.
- COGUANOR. (2012). Recuperado el 28 de Junio de 2018, de <https://conred.gob.gt/site/normas/NRD3/NTG41050h3.pdf>
- Comisión Nacional de Energía Eléctrica. (25 de mayo de 2017). *Nombramiento del nuevo Directorio de la CNEE, período 2017 – 2022*. Recuperado el 21 de agosto de 2018, de CNEE: <http://www.cnee.gob.gt/wp/?p=3172>
- Crisafulli, F. J. (2012). *Diseño sismorresistente de construcciones de acero* (2da. ed.). Santiago de Chile: Asociación Latinoamericana Del Acero.
- CUFA. (2013). *Fachas y revestimientos de placas metálicas*. Obtenido de <https://cufa.es/servicios-realizados/fachadas-y-paredes/fachadas-de-chapas-metalicas>

- Cyterszpiller, E. (2011). *Diseño, construcción y operación de un edificio sustentable con certificación LEED*. Tesis, Instituto Tecnológico de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina.
- Del Cid, W. (22 de marzo de 2017). *Energía solar en casa: así puedes pagar menos en tu factura eléctrica*. Recuperado el 23 de septiembre de 2018, de Soy 502: <https://www.soy502.com/articulo/paneles-solares-opcion-ahorrar-tu-factura-electrica-71746>
- Delta Solar Group. (2018). *Paneles Solares*. Delta Solar Group. Guatemala: Academia Solar. Recuperado el 2018
- Douglas, H. (2008). *MULTIPANEL WAVE*. Obtenido de <http://sanluisconstrucciones.cl/wp-content/uploads/2017/08/multipanel-Wave.pdf>
- eRenovable. (19 de junio de 2018). *¿Cómo Funcionan Los Paneles Solares?* Recuperado el 29 de agosto de 2018, de eRenovable: <https://erenovable.com/como-funcionan-los-paneles-solares/>
- FactorEnergía. (06 de Febrero de 2017). Recuperado el 5 de agosto de 2018, de ¿Qué es la eficiencia energética?: <https://www.factorenergia.com/es/blog/eficiencia-energetica/que-es-la-eficiencia-energetica/>
- FerroPlanes. (2017). *El perfil tubular para la construcción*. Obtenido de <https://ferrosplanes.com/perfil-tubular-construccion/>
- Florián, E. (Abril de 2009). *Recomendaciones para el diseño en mampostería de viviendas mínimas, menores a 50 m2*. Recuperado el 07 de julio de 2018, de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_2991_C.pdf
- Foro Nuclear. (22 de junio de 2010). Recuperado el 14 de agosto de 2018, de Capítulo 1 - Energía y fuentes de energía: <https://www.foronuclear.org/es/energia-nuclear/faqs-sobre-energia/capitulo-1/115491-ique-unidades-se-usan-para-medir-la-energia>
- García, C. (14 de febrero de 2018). *¿Funcionan los paneles solares en días nublados?* Recuperado el 21 de septiembre de 2018, de Diario Renovables: <https://www.diariorenovables.com/2018/02/funcionan-los-paneles-solares-en-dias-nublados.html>

- García, J. (2012). *Guía metodológica para la evaluación estructural ocasionado por sismos en la República de Guatemala*. Recuperado el 22 de 09 de 2018, de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3436_C.pdf
- Garza, L. (2000). *Diseño y construcción de cimentaciones*. Recuperado el 22 de 09 de 2018, de http://www.docentes.unal.edu.co/lgarza/docs/NOTAS_%20DYCC_%20v09-10-06.pdf
- Gerdau Corsa. (2011). *Elección del tipo de acero para estructuras*. México, D.F.: Gerdau Corsa.
- Gobierno de España. (2013). *Huella de Carbono*. Obtenido de <https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/Portal-Huella-Carbono.aspx>
- Green Building Council España. (2018). *Certificación VERDE*. Recuperado el 29 de agosto de 2018, de GBCe: <http://gbce.es/certificacion-verde/>
- Grespania S.A. (2016). *FACHADAS VENTILADAS*. Obtenido de <http://www.grespania.com/placas-cer%C3%A1micas-para-fachadas-ventiladas/ref640011es>
- Haase, R. (abril de 2005). *Programas para análisis de estructuras de mampostería reforzada por los métodos simplista y realista*. Recuperado el 28 de Junio de 2018, de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_2509_C.pdf
- Hernández, D. (2013). *Diseño estructural y análisis de las propiedades y sistema constructivo de una vivienda típica de ladrillo*. Guatemala. Recuperado el 18 de 06 de 2018
- Hernandez, J. (2015). *Sistema Constructivo con paneles de madera CLT y secciones laminadas*. Tesis, Universidad del Valle de Guatemala. Recuperado el 29 de septiembre de 2018
- Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente. (2013). *Bases técnicas para la gestión del agua con visión de largo plazo en la zona metropolitana de Guatemala*. (C. Cleaves, & J. Gálvez, Edits.) Guatemala, Guatemala, Guatemala: Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente - Universidad Rafael Landívar.
- Instituto del Cemento Portland Argetino. (2014). *Hormigón y pavimentos sostenibles*. San Luis, Argentina: Instituto del Cemento Portland Argetino.

- Jinko Solar. (2018). *JKM320PP-72 305-320 Vattios*. Recuperado el 25 de septiembre de 2018, de Jinko Solar: https://www.jinkosolar.com/ftp/JKM320PP_rev2015-Spanish.pdf
- Lira, D. O. (2006). *Consideraciones sobre el diseño arquitectónico en acero*. Tesis, Universidad de San Carlos de Guatemala, Ciudad de Guatemala, Guatemala.
- Marimar. (2018). *Energía Eólica - Qué Es, Cómo Funciona Y Las Ventajas Y Desventajas De La Energía Eólica*. Recuperado el 15 de junio de 2018, de eRenovable: <https://erenovable.com/aerogeneradores-eolicos/energia-eolica/>
- Martinez, C. (2 de mayo de 2017). *Porcentajes de Energía en el Mundo (Gas, Petróleo y Otras)*. Recuperado el 14 de agosto de 2018, de Lifeder: <https://www.lifeder.com/porcentaje-energia-consumida-mundo/>
- Martinez, N. (2013). *Ventajas y Desventajas*. Recuperado el 4 de junio de 2018, de Energía Hidroeléctrica: <http://energiahidroelectricasuevolucion.blogspot.com/p/ventajas-y-desventajas.html>
- McCormac, J. C., & Csernak, S. F. (2012). *Diseño de Estructuras de Acero*. México: Alfaomega Grupo Editor, S.A.
- Medina, R. (2006). *Transformación del arrabio en acero*. Obtenido de <https://iesvillalbahervastecnologia.files.wordpress.com/2009/01/transformacion-del-arrabio-en-acero.pdf>
- Medina, R. (2010). Proceso de fabricación del acero. En R. Medina, *El acero como material sostenible* (pág. 197). Santiago Chile.
- Mendoza, C. N. (2007). *Análisis y diseño estructural en acero, de una nave industrial con las especificaciones AISC Metodo LRFD 1993*. México: Escuela Superior de ingeniería y arquitectura.
- Meza, A. G. (septiembre de 2008). AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL DE RESIDENCIAS, UTILIZANDO TECNOLOGÍAS DE INFORMACIÓN Y SISTEMAS EXPERTOS. (I. S. Guzmán, Ed.) Guatemala, Guatemala, Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
- MIA. (2009). *Reinforced Masonry Engineering Handbook*. Masonry Institute of America, International Code Council. Recuperado el 07 de 08 de 2018

- Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. (2016). *Guía para el cálculo de la huella de carbono y para la elaboración de un plan de mejora de una organización*. Recuperado el 18 de 06 de 2018, de https://www.mapama.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/guia_huella_carbono_tcm30-178893.pdf
- Minue. (17 de julio de 2016). *Xataka*. Recuperado el 12 de agosto de 2018, de ¿Cuándo las energías renovables serán más baratas y eficientes que las no renovables?: <https://www.xataka.com/energia/cuando-las-energias-renovables-seran-mas-baratas-y-eficientes-que-las-no-renovables>
- Pichenergy. (2013). *Certificaciones Eficiencia Energética y Ambiental*. Recuperado el 25 de agosto de 2018, de Pichenergy: <http://www.pichenergy.com/portfolio-item/certificaciones-ee-y-ambiental/>
- Ramírez, M. (Marzo de 2015). *Análisis y diseño estructural de viviendas unifamiliares de dos niveles, con diferente unidad de mampostería por nivel*. Recuperado el 10 de julio de 2018, de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/1763/1/Mar%C3%ADa%20Fernanda%20Ram%C3%ADrez%20Hern%C3%A1ndez.pdf>
- Ronquillo, J. (2017). *VALIDACIÓN DE LOS LÍMITES PARA DISTINTOS NIVELES DE DESEMPEÑO EN EDIFICIOS CON MUROS DE HORMIGÓN ARMADO*. Tesis, UNIVERSIDAD DE CHILE, SANTIAGO DE CHILE.
- Sastre, R., & Muñoz, F. (2010). *Propiedades de los materiales* (1ra. ed.). Barcelona: Universidad Politécnica de Catalunya. Recuperado el 12 de 09 de 2018
- Solar, E. (2016). *Energía Solar Térmica*. Recuperado el 7 de junio de 2018, de Solar-Energía: <https://solar-energia.net/energia-solar-termica>
- STEELCOM. (2018). *STEELCOM*. Obtenido de http://www.steelcom-mc.com/index.php?option=com_content&view=article&id=57:pig-iron&catid=37:raw-materials&Itemid=57&lang=es
- Stock, A. N.-T. (24 de octubre de 2017). *Ticbeat*. Recuperado el 12 de agosto de 2018, de La energía solar será un 60% más barata en la próxima década: <http://www.ticbeat.com/innovacion/abaratamiento-costes-energia-solar-proxima-decada/>

- Stock, A. N.-T. (17 de enero de 2018). *Ticbeat*. Recuperado el 10 de agosto de 2018, de 5 tendencias clave en el sector de la energía para 2018: <http://www.ticbeat.com/innovacion/5-tendencias-sector-energia-2018/>
- Suárez, A. (2015). *Jardines Verticales -Diseños, Plantas y Consejos*. Obtenido de <http://www.jardinesverticalesweb.com/>
- Tecnología Fácil. (19 de febrero de 2017). *¿Qué es domótica? ¿Para qué sirve?* Recuperado el 30 de agosto de 2018, de Tecnología-Fácil: <https://tecnologia-facil.com/que-es-domotica-para-que-sirve/>
- Textos Científicos. (15 de julio de 2005). *TURBINAS EÓLICAS*. Recuperado el 29 de agosto de 2018, de Textos Científicos: <https://www.textoscientificos.com/energia/turbinas>
- Urbina, G. (2014). *Efecto chimenea*. Obtenido de <https://dianayazminrojas.wordpress.com/segundo-corte/efecto-chimenea/>
- Uribe, A. A. (2014). *Evaluación del método de análisis modal espectral para edificios con sistemas pasivos de disipación de energía utilizando registros sísmicos*. Tesis, Universidad de Chile, Santiago de Chile.
- US Green Building Council. (2018). *LEED is green building*. Recuperado el 28 de agosto de 2018, de USGBC: <https://new.usgbc.org/leed#>
- Young, H., & Freedman, R. (2013). *Física Universitaria* (13va. ed., Vol. 1). Estado de México, México: Pearson Educational, Inc. Recuperado el 12 de 09 de 2018

IX. Anexos

A. Anexo 1: Peso de niveles típicos para sistema de mampostería

Elemento	Area/Long/Volumen	Unidad	Cantidad	P Unit	W, kgf
Ladrillos en muro	743.855	m ²	9298.19	7.82	72694.93
Soleras					
S-1	0.028	m ²	280.7	2400	18863.04
Grout	0.12	m ³	88.52	2300	25039.20
Vigas					
V-1	0.06	m ²	26.65	2400	3837.60
	0.06	m ²	58.3	2400	8395.20
Prolongación de solera	0.1229865	m ²	39	2400	11511.54
Losa de piso	428.67	m ²	0.12	2400	123456.96
					263798.47

Fuente: Elaboración propia

B. Anexo 2: Diseño de losas para sistema de mampostería

1. Losa de entrepiso

Espesor de losa (Según ACI 318-14 T.8.3.1.2)		
Predimensionamos el espesor de la losa		
h =	3.2699333	
l _n =	3.4	m
	133.77	in
f _y =	60000	psi
β =	1	
l _a =	3.55	m
	139.77	in
l _b =	3.55	m
	139.77	in
Información viga		
b =	0.15	m
	6	in
h =	10	in
Espesor a utilizar		
h _v =	4	in
Coeficiente α _{fm}		
α _{fm} =	2.87	
I _b =	2048.8994	in ⁴
I _x =	713.44	in ⁴
hu =	4	in

Fuente: Elaboración propia

Integración de carga		
Carga muerta		
Sobre carga (indicada en	150	kgf/m ²
Peso propio	240	kgf/m ²
Total CM =	390	kgf/m²
Carga viva		
Residencial	200	kgf/m ²
Total CM =	200	kgf/m²
Diseño de losa en dos sentidos		
Carga uniformemente distribuida		
$W_{CM} =$	390	kgf/m ²
$W_{CV} =$	200	kgf/m ²
Combinaciones LRFD		
1.4 CM	546	kgf/m ²
1.2CM+1.6CV	788	kgf/m ²
$W_u =$	788	kgf/m²
Momentos negativos y positivos en la losa		
$W_u =$	161.14	psf
Momento positivo en la losa		
$M_{positivo} = \frac{(w_u \cdot l_2) (l_n)^2}{24}$		
M (+) =	910.321	lbf·ft
$w_u =$	161.14	psf
$l_1 =$	11.644	ft
$l_2 =$	1	ft
Momento negativo en la losa		
$M_{negativo} = \frac{(w_u \cdot l_2) (l_n)^2}{12}$		
M (-) =	1820.64	lbf·ft
$w_u =$	161.1392	psf
$l_1 =$	11.644	ft
$l_2 =$	1	ft

Fuente: Elaboración propia

Encontramos el área de acero para M (+)		
$\phi M_n = \phi \cdot A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right)$		
$\phi =$	0.9	Según ACI 318-14
$f_y =$	60000	psi
$f'_c =$	4000	psi
$b =$	12	in
$d =$	3	in
$M_u =$	10923.85	lbf-in
Igualamos $\phi M_n = M_u$		
$\phi M_n = M_u$		
$\phi \cdot A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{1}{2} \cdot \frac{A_s \cdot f_y}{0.85 \cdot f'_c \cdot b} \right) = M_u$		
Resolviendo para A_s obtenemos una ecuación cuadrática		
$A_s^2 \cdot \left[\frac{\phi \cdot f_y^2}{1.7 \cdot f'_c \cdot b} \right] - A_s \cdot [\phi \cdot f_y \cdot d] + M_u = 0$		
Resolvemos mediante el uso de la siguiente ecuación:		
$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$		
$x_1 =$	4.011416	in ²
$x_2 =$	0.068584	in ²
$a =$	39705.88	
$b =$	-162000.00	
$c =$	10923.85	
$A_{sreq} (+) =$	0.07	in ²
Área de acero a utilizar a utilizar		
$A_{su} =$	0.13	in ²
$A_{s \min} =$	0.12	in ²
$A_{s \min} =$	0.113842	in ²
$A_{s \max} =$	0.6516	in ²
Conclusión de $A_{su} =$	Sí cumple	
Varillas No.3 @ 0.25 m		

Encontramos el área de acero para M (+)		
$\phi M_n = \phi \cdot A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right)$		
$\phi =$	0.9	Según ACI 318-14
$f_y =$	60000	psi
$f'_c =$	4000	psi
$b =$	12	in
$d =$	3	in
$M_u =$	21847.69	lbf-in
Igualamos $\phi M_n = M_u$		
$\phi M_n = M_u$		
$\phi \cdot A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{1}{2} \cdot \frac{A_s \cdot f_y}{0.85 \cdot f'_c \cdot b} \right) = M_u$		
Resolviendo para A_s obtenemos una ecuación cuadrática		
$A_s^2 \cdot \left[\frac{\phi \cdot f_y^2}{1.7 \cdot f'_c \cdot b} \right] - A_s \cdot [\phi \cdot f_y \cdot d] + M_u = 0$		
Resolvemos mediante el uso de la siguiente ecuación:		
$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$		
$x_1 =$	3.9403583	in ²
$x_2 =$	0.1396417	in ²
$a =$	39705.88	
$b =$	-162000.00	
$c =$	21847.69	
$A_{sreq} (+) =$	0.14	in ²
Área de acero a utilizar a utilizar		
$A_{su} =$	0.15	in ²
$A_{s \min} =$	0.12	in ²
$A_{s \min} =$	0.113842	in ²
$A_{s \max} =$	0.6516	in ²
Conclusión de $A_{su} =$	Sí cumple	
Varillas No.3 @ 0.20 m		

Fuente: Elaboración propia

2. Losa de techo

Espesor de losa (Según ACI 318-14 T.8.3.1.2)		
Predimensionamos el espesor de la losa		
h =	3.26993333	
l _n =	3.4	m
	133.77	in
f _y =	60000	psi
β =	1	
l _a =	3.55	m
	139.77	in
l _b =	3.55	m
	139.77	in
Información viga		
b =	0.15	m
	6	in
h =	10	in
Espesor a utilizar		
h _u =	4	in
Coeficiente α _{fm}		
α _{fm} =	2.87	
I _b =	2048.89943	in ⁴
I _s =	713.44	in ⁴
hu =	4	in

Integración de carga		
Carga muerta		
Sobre carga (indicada en)	150	kgf/m ²
Peso propio	240	kgf/m ²
Total CM =	390	kgf/m²
Carga viva		
Azotea sin acceso	100	kgf/m ²
Total CM =	500	kgf/m²
Diseño de losa en dos sentidos		
Carga uniformemente distribuida		
W _{CM} =	390	kgf/m ²
W _{CV} =	500	kgf/m ²
Combinaciones LRFD		
1.4 CM	546	kgf/m ²
1.2CM + 1.6CV	1268	kgf/m ²
W_u =	1268	kgf/m
Momentos negativos y positivos en la losa		
W_u =	259.30	psf
Momento positivo en la losa		
$M_{\text{positivo}} = \frac{(w_u \cdot l_2) (l_n)^2}{24}$		
M (+) =	1464.83	lbf-ft
w _u =	259.30	psf
l ₁ =	11.644	ft
l ₂ =	1	ft
Momento negativo en la losa		
$M_{\text{negativo}} = \frac{(w_u \cdot l_2) (l_n)^2}{12}$		
M (-) =	2929.66	lbf-ft
w _u =	259.2951	psf
l ₁ =	11.644	ft
l ₂ =	1	ft

Fuente: Elaboración propia

Encontramos el área de acero para M (+)		
$\phi M_n = \phi \cdot A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right)$		
$\phi =$	0.9	Según ACI 318-14
$f_y =$	60000	psi
$f'_c =$	4000	psi
$b =$	12	in
$d =$	3	in
$M_u =$	17577.97	lbf-in
Igualamos $\phi M_n = M_u$		
$\phi M_n = M_u$		
$\phi \cdot A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{1}{2} \cdot \frac{A_s \cdot f_y}{0.85 \cdot f'_c \cdot b}\right) = M_u$		
Resolviendo para A_s obtenemos una ecuación cuadrática		
$A_s^2 \cdot \left[\frac{\phi \cdot f_y^2}{1.7 \cdot f'_c \cdot b}\right] - A_s \cdot [\phi \cdot f_y \cdot d] + M_u = 0$		
Resolvemos mediante el uso de la siguiente ecuación:		
$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$		
$x_1 =$	3.9684438	in ²
$x_2 =$	0.1115562	in ²
$a =$	39705.88	
$b =$	-162000.00	
$c =$	17577.97	
$A_{sreq} (+) =$	0.11	in ²
Área de acero a utilizar		
$A_{su} =$	0.13	in ²
$A_{s \min} =$	0.12	in ²
$A_{s \min} =$	0.113842	in ²
$A_{s \max} =$	0.6516	in ²
Conclusión de $A_{su} =$ Sí cumple		
Varillas No.3 @ 0.25 m		

Encontramos el área de acero para M (+)		
$\phi M_n = \phi \cdot A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right)$		
$\phi =$	0.9	Según ACI 318-14
$f_y =$	60000	psi
$f'_c =$	4000	psi
$b =$	12	in
$d =$	3	in
$M_u =$	35155.93	lbf-in
Igualamos $\phi M_n = M_u$		
$\phi M_n = M_u$		
$\phi \cdot A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{1}{2} \cdot \frac{A_s \cdot f_y}{0.85 \cdot f'_c \cdot b}\right) = M_u$		
Resolviendo para A_s obtenemos una ecuación cuadrática		
$A_s^2 \cdot \left[\frac{\phi \cdot f_y^2}{1.7 \cdot f'_c \cdot b}\right] - A_s \cdot [\phi \cdot f_y \cdot d] + M_u = 0$		
Resolvemos mediante el uso de la siguiente ecuación:		
$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$		
$x_1 =$	3.8500252	in ²
$x_2 =$	0.2299748	in ²
$a =$	39705.88	
$b =$	-162000.00	
$c =$	35155.93	
$A_{sreq} (+) =$	0.23	in ²
Área de acero a utilizar		
$A_{su} =$	0.13	in ²
$A_{s \min} =$	0.12	in ²
$A_{s \min} =$	0.113842	in ²
$A_{s \max} =$	0.6516	in ²
Conclusión de $A_{su} =$ Sí cumple		
Varillas No.3 @ 0.25 m		

Fuente: Elaboración propia

C. Anexo 3: Datos de muros para obtención del centro de masa

Datos de Eje X

Muro	Longitud (m)	Alto (m)	Área (m ²)	Coordenadas		W (kgf)	Peso por coordenadas		Rigidez	Rigidez por coordenadas	
				X	Y		X	Y		X	Y
A	5.20	2.65	13.78	2.75	0.23	2150.98	5915.195	494.7254	228112.8958	627310.463	52465.966
B	0.60	2.65	1.59	4.90	1.17	248.19	1216.131	290.3823	26320.71875	128971.522	30795.2409
C	0.70	2.65	1.86	6.30	0.23	289.56	1824.1965	66.59765	30707.5052	193457.283	7062.7262
D	0.50	2.65	1.33	10.75	1.27	206.83	2223.36875	262.66775	21933.93229	235789.772	27856.094
E	1.45	2.65	3.84	13.32	1.28	599.79	7989.2361	767.7344	63608.40364	847263.936	81418.7567
F	0.55	2.65	1.46	15.92	1.27	227.51	3621.9194	288.934525	24127.32552	384107.022	30641.7034
G	6.80	2.65	18.02	22.20	3.28	2812.82	62444.604	9226.0496	298301.4791	6622292.84	978428.852
H	3.40	2.65	9.01	1.85	3.28	1406.41	2601.8585	4613.0248	149150.7396	275928.868	489214.426
I	0.60	2.65	1.59	4.90	3.87	248.19	1216.131	960.4953	26320.71875	128971.522	101861.182
J	1.30	2.65	3.45	6.00	2.53	537.75	3226.47	1360.49485	57028.22395	342169.344	144281.407
K	2.00	2.65	5.30	12.25	4.83	827.30	10134.425	3995.859	87735.72916	1074762.68	423763.572
L	1.30	2.65	3.45	19.45	5.60	537.75	10459.14025	3011.372	57028.22395	1109198.96	319358.054
M	0.75	2.65	1.99	20.48	4.22	310.24	6353.664	1309.20225	32900.89843	673810.4	138841.791
N	3.40	2.65	9.01	23.60	6.30	1406.41	33191.276	8860.383	149150.7396	3519957.45	939649.659
Ñ	3.55	2.65	9.41	1.92	6.30	1468.46	2819.4384	9251.28225	155730.9193	299003.365	981104.791
O	1.90	2.65	5.04	5.70	6.30	785.94	4479.8295	4951.3905	83348.9427	475088.973	525098.339
P	1.90	2.65	5.04	5.70	4.83	785.94	4479.8295	3796.06605	83348.9427	475088.973	402575.393
Q	0.60	2.65	1.59	10.50	5.87	248.19	2605.995	1456.8753	26320.71875	276367.547	154502.619
R	2.45	2.65	6.49	14.03	6.47	1013.44	14218.59828	6556.972975	107476.2682	1507892.04	695371.455
S	0.75	2.65	1.99	20.48	6.98	310.24	6353.664	2165.45775	32900.89843	673810.4	229648.271
T	3.40	2.65	9.01	1.85	9.33	1406.41	2601.8585	13121.8053	149150.7396	275928.868	1391576.4
U	4.80	2.65	12.72	10.10	7.92	1985.52	20053.752	15725.3184	210565.75	2126714.07	1667680.74
V	3.10	2.65	8.22	14.65	7.92	1282.32	18785.91475	10155.9348	135990.3802	1992259.07	1077043.81
W	1.90	2.65	5.04	19.75	8.97	785.94	15522.21625	7049.83695	83348.9427	1646141.62	747640.016
X	2.05	2.65	5.43	19.83	7.92	847.98	16815.49298	6716.0214	89929.12238	1783294.5	712238.649
Y	3.55	2.65	9.41	23.52	9.32	1468.46	34538.1204	13686.0239	155730.9193	3662791.22	1451412.17
Z	1.20	2.65	3.18	25.90	9.25	992.76	25712.484	9183.03	502972.1671	13026979.1	4652492.55

Fuente: Elaboración propia

Muro	Longitud (m)	Alto (m)	Área (m ²)	Coordenadas		W (kgf)	Peso por coordenadas		Rigidez	Rigidez por coordenadas	
				X	Y		X	Y		X	Y
AA	6.65	2.65	17.62	3.48	12.88	2750.77	9572.6883	35429.9498	291721.2994	1015190.12	3757370.34
BB	4.35	2.65	11.53	9.58	12.88	1799.38	17238.03645	23175.9822	190825.2109	1828105.52	2457828.72
CC	2.95	2.65	7.82	14.88	11.53	1220.27	18157.5804	14069.68428	129410.2005	1925623.78	1492099.61
DD	4.35	2.65	11.53	15.87	12.87	1799.38	28556.12093	23157.98843	190825.2109	3028396.1	2455920.46
EE	6.65	2.65	17.62	21.97	12.87	2750.77	60434.47183	35402.44208	291721.2994	6409116.95	3754453.12
FF	1.05	2.65	2.78	25.98	12.95	868.67	22567.9167	11249.21175	440100.6462	11433814.8	5699303.37
GG	2.85	2.65	7.55	2.37	14.32	1178.90	2793.998925	16881.8838	125023.414	296305.491	1790335.29
HH	0.57	2.65	1.51	4.89	14.93	235.78	1152.966645	3520.202865	25004.68281	122272.899	373319.914
II	1.15	2.65	3.05	6.65	14.93	475.70	3163.388375	7102.163675	50448.04426	335479.494	753189.301
JJ	1.15	2.65	3.05	18.80	14.93	475.70	8943.113	7102.163675	50448.04426	948423.232	753189.301
KK	0.57	2.65	1.51	20.56	14.93	235.78	4847.64708	3520.202865	25004.68281	514096.279	373319.914
LL	2.85	2.65	7.55	23.07	14.32	1178.90	27197.28068	16881.8838	125023.414	2884290.16	1790335.29
MM	2.13	2.65	5.64	4.11	15.98	881.07	3621.216195	14079.57051	93438.55155	384032.447	1493148.05
NN	2.13	2.65	5.64	8.19	15.98	881.07	7216.000155	14079.57051	93438.55155	765261.737	1493148.05
ÑÑ	2.13	2.65	5.64	17.26	15.98	881.07	15207.34587	14079.57051	93438.55155	1612749.4	1493148.05
OO	2.13	2.65	5.64	21.34	15.98	881.07	18802.12983	14079.57051	93438.55155	1993978.69	1493148.05
PP	0.65	2.65	1.72	0.47	19.52	268.87	126.370075	5248.3912	28514.11198	13401.6326	556595.466
QQ	0.80	2.65	2.12	2.80	19.53	330.92	926.576	6462.8676	35094.29166	98264.0167	685391.516
RR	2.08	2.65	5.51	5.84	19.52	860.39	5024.68928	16794.85184	91245.15832	532871.725	1781105.49
SS	0.78	2.65	2.07	8.86	19.53	322.65	2858.65242	6301.29591	34216.93437	303162.039	668256.728
TT	0.77	2.65	2.04	16.59	19.53	318.51	5284.089195	6220.510065	33778.25572	560381.262	659689.334
UU	2.08	2.65	5.51	19.61	19.52	860.39	16872.28712	16794.85184	91245.15832	1789317.55	1781105.49
VV	0.80	2.65	2.12	22.65	19.53	330.92	7495.338	6462.8676	35094.29166	794885.706	685391.516
WW	0.65	2.65	1.72	24.97	19.52	268.87	6713.746325	5248.3912	28514.11198	711997.376	556595.466
						47247.10	616178.4588	462670.0069	5756254.915	84686770.2	57251412.5

Fuente: Elaboración propia

Datos de Eje Y

Muro	Longitud (m)	Alto (m)	Área (m ²)	Coordenadas		W (kgf)	Peso por coordenadas		Rigidez	Rigidez por coordenadas	
				X	Y		X	Y		X	Y
1	0.80	2.65	2.12	0.08	0.55	330.92	24.819	182.006	35094.2917	2632.07187	19301.8604
2	0.80	2.65	2.12	0.08	2.95	330.92	24.819	976.214	35094.2917	2632.07187	103528.16
3	2.08	2.65	5.51	0.08	5.99	860.39	64.5294	5153.74808	91245.1583	6843.38687	546558.498
4	0.78	2.65	2.07	0.08	9.01	322.65	24.198525	2907.04947	34216.9344	2566.27008	308294.579
5	0.85	2.65	2.25	0.08	13.23	351.60	26.3701875	4651.70108	37287.6849	2796.57637	493316.071
6	5.35	2.65	14.18	0.08	16.92	2213.03	165.977063	37444.4253	234693.075	17601.9807	3971006.84
7	3.40	2.65	9.01	3.13	17.75	1406.41	4402.0633	24963.7775	149150.74	466841.815	2647425.63
8	0.60	2.65	1.59	1.03	14.70	248.19	255.6357	3648.393	26320.7187	27110.3403	386914.566
9	0.60	2.65	1.59	3.72	14.70	248.19	923.2668	3648.393	26320.7187	97913.0737	386914.566
10	1.30	2.65	3.45	2.38	13.60	537.75	1279.8331	7313.332	57028.224	135727.173	775583.846
11	2.13	2.65	5.64	3.62	8.34	881.07	3189.48969	7348.16133	93438.5516	338247.557	779277.52
12	1.15	2.65	3.05	4.68	6.80	475.70	2226.2643	3234.743	50448.0443	236096.847	343046.701
13	0.57	2.65	1.51	4.67	5.04	235.78	1101.09494	1188.33372	25004.6828	116771.869	126023.601
14	2.13	2.65	5.64	3.62	4.26	881.07	3189.48969	3753.37737	93438.5516	338247.557	398048.23
15	2.85	2.65	7.55	5.27	2.52	1178.90	6212.81618	2970.8343	125023.414	658873.392	315059.003
16	7.85	2.65	20.80	6.72	4.07	3247.15	21820.8648	13215.9107	344362.737	2314117.59	1401556.34
17	3.30	2.65	8.75	6.73	10.25	1365.05	9186.75285	13991.7113	144763.953	974261.404	1483830.52
18	1.90	2.65	5.04	4.67	13.90	785.94	3670.31645	10924.4965	83348.9427	389239.562	1158550.3
19	1.90	2.65	5.04	6.15	13.90	785.94	4833.50025	10924.4965	83348.9427	512595.998	1158550.3
20	3.55	2.65	9.41	6.15	17.67	1468.46	9031.01363	25947.644	155730.919	957745.153	2751765.34
21	3.40	2.65	9.01	9.17	17.75	1406.41	12896.7797	24963.7775	149150.74	1367712.28	2647425.63
22	1.90	2.65	5.04	10.72	6.90	785.94	8425.2232	5422.9515	83348.9427	893500.666	575107.705
23	3.55	2.65	9.41	10.28	3.13	1468.46	15095.7431	4596.27198	155730.919	1600913.85	487437.777
24	1.35	2.65	3.58	10.35	0.67	1116.86	11559.4493	748.29285	565843.688	5856482.17	379115.271
25	3.55	2.65	9.41	13.32	3.12	1468.46	19559.8539	4581.5874	155730.919	2074335.84	485880.468
26	2.05	2.65	5.43	11.77	6.82	847.98	9980.75403	5783.24065	89929.1224	1058465.77	613316.615
27	0.75	2.65	1.99	12.72	6.17	310.24	3946.221	1914.16538	32900.8984	418499.428	202998.543

Fuente: Elaboración propia

Muro	Longitud (m)	Alto (m)	Área (m ²)	Coordenadas		W (kgf)	Peso por coordenadas		Rigidez	Rigidez por coordenadas	
				X	Y		X	Y		X	Y
28	1.30	2.65	3.45	14.02	7.20	537.75	7539.1849	3871.764	57028.224	799535.7	410603.212
29	0.75	2.65	1.99	15.33	6.17	310.24	4755.94088	1914.16538	32900.8984	504370.773	202998.543
30	1.43	2.65	3.79	13.25	8.71	1183.04	15675.2668	10304.2697	599375.166	7941720.95	5220557.69
31	1.58	2.65	4.19	13.25	10.81	1307.13	17319.5255	14130.1185	662246.687	8774768.6	7158886.68
32	5.60	2.65	14.84	12.73	15.60	2316.44	29488.2812	36136.464	245660.042	3127252.33	3832296.65
33	1.35	2.65	3.58	12.80	19.08	1116.86	14295.744	21309.5934	565843.688	7242799.21	10796297.6
34	3.40	2.65	9.01	16.27	17.75	1406.41	22882.2907	24963.7775	149150.74	2426682.53	2647425.63
35	3.55	2.65	9.41	19.30	17.67	1468.46	28341.2298	25947.644	155730.919	3005606.74	2751765.34
36	1.90	2.65	5.04	19.30	13.90	785.94	15168.5455	10924.4965	83348.9427	1608634.59	1158550.3
37	4.75	2.65	12.59	18.73	9.52	1964.84	36801.4064	18705.253	208372.357	3902814.24	1983704.84
38	0.70	2.65	1.86	20.78	9.25	289.56	6016.9529	2678.38375	30707.5052	638101.958	284044.423
39	0.85	2.65	2.25	16.35	7.57	351.60	5748.70088	2661.63093	356271.952	5825046.41	2696978.67
40	5.95	2.65	15.77	16.35	3.57	4922.44	80481.8123	17573.093	2493903.66	40775324.9	8903236.07
41	0.75	2.65	1.99	18.73	3.58	620.48	11621.4968	2221.3005	314357.604	5887917.93	1125400.22
42	2.00	2.65	5.30	18.73	5.55	827.30	15495.329	4591.515	87735.7292	1643290.21	486933.297
43	2.60	2.65	6.89	20.18	5.60	1075.49	21703.3882	6022.744	114056.448	2301659.12	638716.108
44	1.90	2.65	5.04	20.78	13.90	785.94	16331.7293	10924.4965	83348.9427	1731991.03	1158550.3
45	0.60	2.65	1.59	21.72	14.70	248.19	5390.6868	3648.393	26320.7187	571686.011	386914.566
46	3.40	2.65	9.01	22.32	17.75	1406.41	31391.0712	24963.7775	149150.74	3329044.51	2647425.63
47	5.35	2.65	14.18	25.38	16.93	2213.03	56166.638	37466.5556	234693.075	5956510.26	3973353.77
48	0.60	2.65	1.59	24.43	14.70	248.19	6063.2817	3648.393	26320.7187	643015.159	386914.566
49	1.30	2.65	3.45	23.07	13.60	537.75	12405.7772	7313.332	57028.224	1315641.13	775583.846
50	0.85	2.65	2.25	25.37	13.23	351.60	8920.15543	4651.70108	37287.6849	945988.566	493316.071
51	1.00	2.65	2.65	25.37	8.60	413.65	10494.3005	3557.39	43867.8646	1112927.72	377263.635
52	2.13	2.65	5.64	21.82	7.29	881.07	19225.0456	6423.03311	93438.5516	2038829.19	681167.041
53	1.40	2.65	3.71	25.35	5.80	579.11	14680.4385	3358.838	61415.0104	1556870.51	356207.06
						53708.32	667521.359	542311.158	10127557.9	136476802	86480926.2

Fuente: Elaboración propia

D. Anexo 4: Fuerzas laterales por sismo en cada nivel para sistema de mampostería

Nivel 1									
Muro	Fuerza por nivel (kgf)	Rigidez	R/±R	Ft en el muro (kgf)	Muro	Fuerza por nivel (kgf)	Rigidez	R/±R	F en el muro (kgf)
A	42139.19	228112.90	0.03963	1669.92	1.00	42139.19	35094.29	0.00347	292.04
B	42139.19	26320.72	0.00457	192.68	2.00	42139.19	35094.29	0.00347	292.04
C	42139.19	30707.51	0.00533	224.80	3.00	42139.19	91245.16	0.00901	759.31
D	42139.19	21933.93	0.00381	160.57	4.00	42139.19	34216.93	0.00338	284.74
E	42139.19	63608.40	0.01105	465.65	5.00	42139.19	37287.68	0.00368	310.30
F	42139.19	24127.33	0.00419	176.63	6.00	42139.19	234693.08	0.02317	1953.04
G	42139.19	298301.48	0.05182	2183.74	7.00	42139.19	149150.74	0.01473	1241.19
H	42139.19	149150.74	0.02591	1091.87	8.00	42139.19	26320.72	0.00260	219.03
I	42139.19	26320.72	0.00457	192.68	9.00	42139.19	26320.72	0.00260	219.03
J	42139.19	57028.22	0.00991	417.48	10.00	42139.19	57028.22	0.00563	474.57
K	42139.19	87735.73	0.01524	642.28	11.00	42139.19	93438.55	0.00923	777.57
L	42139.19	57028.22	0.00991	417.48	12.00	42139.19	50448.04	0.00498	419.81
M	42139.19	32900.90	0.00572	240.85	13.00	42139.19	25004.68	0.00247	208.08
N	42139.19	149150.74	0.02591	1091.87	14.00	42139.19	93438.55	0.00923	777.57
Ñ	42139.19	155730.92	0.02705	1140.04	15.00	42139.19	125023.41	0.01234	1040.41
O	42139.19	83348.94	0.01448	610.16	16.00	42139.19	344362.74	0.03400	2865.68
P	42139.19	83348.94	0.01448	610.16	17.00	42139.19	144763.95	0.01429	1204.68
Q	42139.19	26320.72	0.00457	192.68	18.00	42139.19	83348.94	0.00823	693.60
R	42139.19	107476.27	0.01867	786.79	19.00	42139.19	83348.94	0.00823	693.60
S	42139.19	32900.90	0.00572	240.85	20.00	42139.19	155730.92	0.01538	1295.94
T	42139.19	149150.74	0.02591	1091.87	21.00	42139.19	149150.74	0.01473	1241.19
U	42139.19	210565.75	0.03658	1541.47	22.00	42139.19	83348.94	0.00823	693.60
V	42139.19	135990.38	0.02362	995.53	23.00	42139.19	155730.92	0.01538	1295.94
W	42139.19	83348.94	0.01448	610.16	24.00	42139.19	565843.69	0.05587	4708.78
X	42139.19	89929.12	0.01562	658.33	25.00	42139.19	155730.92	0.01538	1295.94
Y	42139.19	155730.92	0.02705	1140.04	26.00	42139.19	89929.12	0.00888	748.36
Z	42139.19	502972.17	0.08738	3682.05	27.00	42139.19	32900.90	0.00325	273.79
AA	42139.19	291721.30	0.05068	2135.57	28.00	42139.19	57028.22	0.00563	474.57
BB	42139.19	190825.21	0.03315	1396.95	29.00	42139.19	32900.90	0.00325	273.79
CC	42139.19	129410.20	0.02248	947.36	30.00	42139.19	599375.17	0.05918	4987.81
DD	42139.19	190825.21	0.03315	1396.95	31.00	42139.19	662246.69	0.06539	5511.01
EE	42139.19	291721.30	0.05068	2135.57	32.00	42139.19	245660.04	0.02426	2044.31
FF	42139.19	440100.65	0.07646	3221.80	33.00	42139.19	565843.69	0.05587	4708.78
GG	42139.19	125023.41	0.02172	915.25	34.00	42139.19	149150.74	0.01473	1241.19
HH	42139.19	25004.68	0.00434	183.05	35.00	42139.19	155730.92	0.01538	1295.94
II	42139.19	50448.04	0.00876	369.31	36.00	42139.19	83348.94	0.00823	693.60
JJ	42139.19	50448.04	0.00876	369.31	37.00	42139.19	208372.36	0.02057	1734.01
KK	42139.19	25004.68	0.00434	183.05	38.00	42139.19	30707.51	0.00303	255.54
LL	42139.19	125023.41	0.02172	915.25	39.00	42139.19	356271.95	0.03518	2964.78
MM	42139.19	93438.55	0.01623	684.03	40.00	42139.19	2493903.66	0.24625	20753.49
NN	42139.19	93438.55	0.01623	684.03	41.00	42139.19	314357.60	0.03104	2615.99
ÑÑ	42139.19	93438.55	0.01623	684.03	42.00	42139.19	87735.73	0.00866	730.11
OO	42139.19	93438.55	0.01623	684.03	43.00	42139.19	114056.45	0.01126	949.14
PP	42139.19	28514.11	0.00495	208.74	44.00	42139.19	83348.94	0.00823	693.60
QQ	42139.19	35094.29	0.00610	256.91	45.00	42139.19	26320.72	0.00260	219.03
RR	42139.19	91245.16	0.01585	667.97	46.00	42139.19	149150.74	0.01473	1241.19
SS	42139.19	34216.93	0.00594	250.49	47.00	42139.19	234693.08	0.02317	1953.04
TT	42139.19	33778.26	0.00587	247.28	48.00	42139.19	26320.72	0.00260	219.03
UU	42139.19	91245.16	0.01585	667.97	49.00	42139.19	57028.22	0.00563	474.57
VV	42139.19	35094.29	0.00610	256.91	50.00	42139.19	37287.68	0.00368	310.30
WW	42139.19	28514.11	0.00495	208.74	51.00	42139.19	43867.86	0.00433	365.05
		5756254.91			52.00	42139.19	93438.55	0.00923	777.57
					53.00	42139.19	61415.01	0.00606	511.08
							10127557.90		

Fuente: Elaboración propia

Nivel 2									
Muro	Fuerza por nivel (kgf)	Rigidez	R/ER	F en el muro (kgf)	Muro	Fuerza por nivel (kgf)	Rigidez	R/ER	F en el muro (kgf)
A	84278.39	228112.90	0.04	6679.69	1.00	84278.39	35094.29	0.00	292.04
B	84278.39	26320.72	0.00	770.73	2.00	84278.39	35094.29	0.00	292.04
C	84278.39	30707.51	0.01	899.19	3.00	84278.39	91245.16	0.01	759.31
D	84278.39	21933.93	0.00	642.28	4.00	84278.39	34216.93	0.00	284.74
E	84278.39	63608.40	0.01	1862.60	5.00	84278.39	37287.68	0.00	310.30
F	84278.39	24127.33	0.00	706.51	6.00	84278.39	234693.08	0.02	1953.04
G	84278.39	298301.48	0.05	8734.97	7.00	84278.39	149150.74	0.01	1241.19
H	84278.39	149150.74	0.03	4367.49	8.00	84278.39	26320.72	0.00	219.03
I	84278.39	26320.72	0.00	770.73	9.00	84278.39	26320.72	0.00	219.03
J	84278.39	57028.22	0.01	1669.92	10.00	84278.39	57028.22	0.01	474.57
K	84278.39	87735.73	0.02	2569.11	11.00	84278.39	93438.55	0.01	777.57
L	84278.39	57028.22	0.01	1669.92	12.00	84278.39	50448.04	0.00	419.81
M	84278.39	32900.90	0.01	963.42	13.00	84278.39	25004.68	0.00	208.08
N	84278.39	149150.74	0.03	4367.49	14.00	84278.39	93438.55	0.01	777.57
Ñ	84278.39	155730.92	0.03	4560.17	15.00	84278.39	125023.41	0.01	1040.41
O	84278.39	83348.94	0.01	2440.65	16.00	84278.39	344362.74	0.03	2865.68
P	84278.39	83348.94	0.01	2440.65	17.00	84278.39	144763.95	0.01	1204.68
Q	84278.39	26320.72	0.00	770.73	18.00	84278.39	83348.94	0.01	693.60
R	84278.39	107476.27	0.02	3147.16	19.00	84278.39	83348.94	0.01	693.60
S	84278.39	32900.90	0.01	963.42	20.00	84278.39	155730.92	0.02	1295.94
T	84278.39	149150.74	0.03	4367.49	21.00	84278.39	149150.74	0.01	1241.19
U	84278.39	210565.75	0.04	6165.86	22.00	84278.39	83348.94	0.01	693.60
V	84278.39	135990.38	0.02	3982.12	23.00	84278.39	155730.92	0.02	1295.94
W	84278.39	83348.94	0.01	2440.65	24.00	84278.39	565843.69	0.06	4708.78
X	84278.39	89929.12	0.02	2633.34	25.00	84278.39	155730.92	0.02	1295.94
Y	84278.39	155730.92	0.03	4560.17	26.00	84278.39	89929.12	0.01	748.36
Z	84278.39	502972.17	0.09	14728.22	27.00	84278.39	32900.90	0.00	273.79
AA	84278.39	291721.30	0.05	8542.29	28.00	84278.39	57028.22	0.01	474.57
BB	84278.39	190825.21	0.03	5587.81	29.00	84278.39	32900.90	0.00	273.79
CC	84278.39	129410.20	0.02	3789.44	30.00	84278.39	599375.17	0.06	4987.81
DD	84278.39	190825.21	0.03	5587.81	31.00	84278.39	662246.69	0.07	5511.01
EE	84278.39	291721.30	0.05	8542.29	32.00	84278.39	245660.04	0.02	2044.31
FF	84278.39	440100.65	0.08	12887.19	33.00	84278.39	565843.69	0.06	4708.78
GG	84278.39	125023.41	0.02	3660.98	34.00	84278.39	149150.74	0.01	1241.19
HH	84278.39	25004.68	0.00	732.20	35.00	84278.39	155730.92	0.02	1295.94
II	84278.39	50448.04	0.01	1477.24	36.00	84278.39	83348.94	0.01	693.60
JJ	84278.39	50448.04	0.01	1477.24	37.00	84278.39	208372.36	0.02	1734.01
KK	84278.39	25004.68	0.00	732.20	38.00	84278.39	30707.51	0.00	255.54
LL	84278.39	125023.41	0.02	3660.98	39.00	84278.39	356271.95	0.04	2964.78
MM	84278.39	93438.55	0.02	2736.10	40.00	84278.39	2493903.66	0.25	20753.49
NN	84278.39	93438.55	0.02	2736.10	41.00	84278.39	314357.60	0.03	2615.99
ÑÑ	84278.39	93438.55	0.02	2736.10	42.00	84278.39	87735.73	0.01	730.11
OO	84278.39	93438.55	0.02	2736.10	43.00	84278.39	114056.45	0.01	949.14
PP	84278.39	28514.11	0.00	834.96	44.00	84278.39	83348.94	0.01	693.60
QQ	84278.39	35094.29	0.01	1027.64	45.00	84278.39	26320.72	0.00	219.03
RR	84278.39	91245.16	0.02	2671.87	46.00	84278.39	149150.74	0.01	1241.19
SS	84278.39	34216.93	0.01	1001.95	47.00	84278.39	234693.08	0.02	1953.04
TT	84278.39	33778.26	0.01	989.11	48.00	84278.39	26320.72	0.00	219.03
UU	84278.39	91245.16	0.02	2671.87	49.00	84278.39	57028.22	0.01	474.57
VV	84278.39	35094.29	0.01	1027.64	50.00	84278.39	37287.68	0.00	310.30
WW	84278.39	28514.11	0.00	834.96	51.00	84278.39	43867.86	0.00	365.05
		5756254.91			52.00	84278.39	93438.55	0.01	777.57
					53.00	84278.39	61415.01	0.01	511.08
							10127557.90		

Fuente: Elaboración propia

Nivel 3									
Muro	Fuerza por nivel (kgf)	Rigidez	R/ΣR	F en el muro (kgf)	Muro	Fuerza por nivel (kgf)	Rigidez	R/ΣR	F en el muro (kgf)
A	126417.58	228112.90	0.04	5009.76	1.00	126417.58	35094.29	0.00	438.07
B	126417.58	26320.72	0.00	578.05	2.00	126417.58	35094.29	0.00	438.07
C	126417.58	30707.51	0.01	674.39	3.00	126417.58	91245.16	0.01	1138.97
D	126417.58	21933.93	0.00	481.71	4.00	126417.58	34216.93	0.00	427.11
E	126417.58	63608.40	0.01	1396.95	5.00	126417.58	37287.68	0.00	465.44
F	126417.58	24127.33	0.00	529.88	6.00	126417.58	234693.08	0.02	2929.56
G	126417.58	298301.48	0.05	6551.23	7.00	126417.58	149150.74	0.01	1861.78
H	126417.58	149150.74	0.03	3275.62	8.00	126417.58	26320.72	0.00	328.55
I	126417.58	26320.72	0.00	578.05	9.00	126417.58	26320.72	0.00	328.55
J	126417.58	57028.22	0.01	1252.44	10.00	126417.58	57028.22	0.01	711.86
K	126417.58	87735.73	0.02	1926.83	11.00	126417.58	93438.55	0.01	1166.35
L	126417.58	57028.22	0.01	1252.44	12.00	126417.58	50448.04	0.00	629.72
M	126417.58	32900.90	0.01	722.56	13.00	126417.58	25004.68	0.00	312.12
N	126417.58	149150.74	0.03	3275.62	14.00	126417.58	93438.55	0.01	1166.35
Ñ	126417.58	155730.92	0.03	3420.13	15.00	126417.58	125023.41	0.01	1560.61
O	126417.58	83348.94	0.01	1830.49	16.00	126417.58	344362.74	0.03	4298.52
P	126417.58	83348.94	0.01	1830.49	17.00	126417.58	144763.95	0.01	1807.02
Q	126417.58	26320.72	0.00	578.05	18.00	126417.58	83348.94	0.01	1040.41
R	126417.58	107476.27	0.02	2360.37	19.00	126417.58	83348.94	0.01	1040.41
S	126417.58	32900.90	0.01	722.56	20.00	126417.58	155730.92	0.02	1943.92
T	126417.58	149150.74	0.03	3275.62	21.00	126417.58	149150.74	0.01	1861.78
U	126417.58	210565.75	0.04	4624.40	22.00	126417.58	83348.94	0.01	1040.41
V	126417.58	135990.38	0.02	2986.59	23.00	126417.58	155730.92	0.02	1943.92
W	126417.58	83348.94	0.01	1830.49	24.00	126417.58	565843.69	0.06	7063.16
X	126417.58	89929.12	0.02	1975.00	25.00	126417.58	155730.92	0.02	1943.92
Y	126417.58	155730.92	0.03	3420.13	26.00	126417.58	89929.12	0.01	1122.54
Z	126417.58	502972.17	0.09	11046.16	27.00	126417.58	32900.90	0.00	410.69
AA	126417.58	291721.30	0.05	6406.72	28.00	126417.58	57028.22	0.01	711.86
BB	126417.58	190825.21	0.03	4190.86	29.00	126417.58	32900.90	0.00	410.69
CC	126417.58	129410.20	0.02	2842.08	30.00	126417.58	599375.17	0.06	7481.72
DD	126417.58	190825.21	0.03	4190.86	31.00	126417.58	662246.69	0.07	8266.52
EE	126417.58	291721.30	0.05	6406.72	32.00	126417.58	245660.04	0.02	3066.46
FF	126417.58	440100.65	0.08	9665.39	33.00	126417.58	565843.69	0.06	7063.16
GG	126417.58	125023.41	0.02	2745.74	34.00	126417.58	149150.74	0.01	1861.78
HH	126417.58	25004.68	0.00	549.15	35.00	126417.58	155730.92	0.02	1943.92
II	126417.58	50448.04	0.01	1107.93	36.00	126417.58	83348.94	0.01	1040.41
JJ	126417.58	50448.04	0.01	1107.93	37.00	126417.58	208372.36	0.02	2601.01
KK	126417.58	25004.68	0.00	549.15	38.00	126417.58	30707.51	0.00	383.31
LL	126417.58	125023.41	0.02	2745.74	39.00	126417.58	356271.95	0.04	4447.18
MM	126417.58	93438.55	0.02	2052.08	40.00	126417.58	2493903.66	0.25	31130.24
NN	126417.58	93438.55	0.02	2052.08	41.00	126417.58	314357.60	0.03	3923.98
ÑÑ	126417.58	93438.55	0.02	2052.08	42.00	126417.58	87735.73	0.01	1095.16
OO	126417.58	93438.55	0.02	2052.08	43.00	126417.58	114056.45	0.01	1423.71
PP	126417.58	28514.11	0.00	626.22	44.00	126417.58	83348.94	0.01	1040.41
QQ	126417.58	35094.29	0.01	770.73	45.00	126417.58	26320.72	0.00	328.55
RR	126417.58	91245.16	0.02	2003.91	46.00	126417.58	149150.74	0.01	1861.78
SS	126417.58	34216.93	0.01	751.46	47.00	126417.58	234693.08	0.02	2929.56
TT	126417.58	33778.26	0.01	741.83	48.00	126417.58	26320.72	0.00	328.55
UU	126417.58	91245.16	0.02	2003.91	49.00	126417.58	57028.22	0.01	711.86
VV	126417.58	35094.29	0.01	770.73	50.00	126417.58	37287.68	0.00	465.44
WW	126417.58	28514.11	0.00	626.22	51.00	126417.58	43867.86	0.00	547.58
		5756254.91			52.00	126417.58	93438.55	0.01	1166.35
					53.00	126417.58	61415.01	0.01	766.61
							10127557.90		

Fuente: Elaboración propia

Nivel 4									
Muro	Fuerza por nivel (kgf)	Rigidez	R/ER	F en el muro (kgf)	Muro	Fuerza por nivel (kgf)	Rigidez	R/ER	F en el muro (kgf)
A	163388.78	228112.90	0.04	6474.88	1.00	163388.78	35094.29	0.00	566.18
B	163388.78	26320.72	0.00	747.10	2.00	163388.78	35094.29	0.00	566.18
C	163388.78	30707.51	0.01	871.62	3.00	163388.78	91245.16	0.01	1472.07
D	163388.78	21933.93	0.00	622.59	4.00	163388.78	34216.93	0.00	552.02
E	163388.78	63608.40	0.01	1805.50	5.00	163388.78	37287.68	0.00	601.57
F	163388.78	24127.33	0.00	684.84	6.00	163388.78	234693.08	0.02	3786.32
G	163388.78	298301.48	0.05	8467.16	7.00	163388.78	149150.74	0.01	2406.26
H	163388.78	149150.74	0.03	4233.58	8.00	163388.78	26320.72	0.00	424.63
I	163388.78	26320.72	0.00	747.10	9.00	163388.78	26320.72	0.00	424.63
J	163388.78	57028.22	0.01	1618.72	10.00	163388.78	57028.22	0.01	920.04
K	163388.78	87735.73	0.02	2490.34	11.00	163388.78	93438.55	0.01	1507.45
L	163388.78	57028.22	0.01	1618.72	12.00	163388.78	50448.04	0.00	813.88
M	163388.78	32900.90	0.01	933.88	13.00	163388.78	25004.68	0.00	403.40
N	163388.78	149150.74	0.03	4233.58	14.00	163388.78	93438.55	0.01	1507.45
Ñ	163388.78	155730.92	0.03	4420.35	15.00	163388.78	125023.41	0.01	2017.01
O	163388.78	83348.94	0.01	2365.82	16.00	163388.78	344362.74	0.03	5555.63
P	163388.78	83348.94	0.01	2365.82	17.00	163388.78	144763.95	0.01	2335.49
Q	163388.78	26320.72	0.00	747.10	18.00	163388.78	83348.94	0.01	1344.68
R	163388.78	107476.27	0.02	3050.67	19.00	163388.78	83348.94	0.01	1344.68
S	163388.78	32900.90	0.01	933.88	20.00	163388.78	155730.92	0.02	2512.42
T	163388.78	149150.74	0.03	4233.58	21.00	163388.78	149150.74	0.01	2406.26
U	163388.78	210565.75	0.04	5976.82	22.00	163388.78	83348.94	0.01	1344.68
V	163388.78	135990.38	0.02	3860.03	23.00	163388.78	155730.92	0.02	2512.42
W	163388.78	83348.94	0.01	2365.82	24.00	163388.78	565843.69	0.06	9128.81
X	163388.78	89929.12	0.02	2552.60	25.00	163388.78	155730.92	0.02	2512.42
Y	163388.78	155730.92	0.03	4420.35	26.00	163388.78	89929.12	0.01	1450.83
Z	163388.78	502972.17	0.09	14276.65	27.00	163388.78	32900.90	0.00	530.79
AA	163388.78	291721.30	0.05	8280.38	28.00	163388.78	57028.22	0.01	920.04
BB	163388.78	190825.21	0.03	5416.49	29.00	163388.78	32900.90	0.00	530.79
CC	163388.78	129410.20	0.02	3673.25	30.00	163388.78	599375.17	0.06	9669.77
DD	163388.78	190825.21	0.03	5416.49	31.00	163388.78	662246.69	0.07	10684.08
EE	163388.78	291721.30	0.05	8280.38	32.00	163388.78	245660.04	0.02	3963.26
FF	163388.78	440100.65	0.08	12492.06	33.00	163388.78	565843.69	0.06	9128.81
GG	163388.78	125023.41	0.02	3548.73	34.00	163388.78	149150.74	0.01	2406.26
HH	163388.78	25004.68	0.00	709.75	35.00	163388.78	155730.92	0.02	2512.42
II	163388.78	50448.04	0.01	1431.95	36.00	163388.78	83348.94	0.01	1344.68
JJ	163388.78	50448.04	0.01	1431.95	37.00	163388.78	208372.36	0.02	3361.69
KK	163388.78	25004.68	0.00	709.75	38.00	163388.78	30707.51	0.00	495.41
LL	163388.78	125023.41	0.02	3548.73	39.00	163388.78	356271.95	0.04	5747.77
MM	163388.78	93438.55	0.02	2652.21	40.00	163388.78	2493903.66	0.25	40234.37
NN	163388.78	93438.55	0.02	2652.21	41.00	163388.78	314357.60	0.03	5071.56
ÑÑ	163388.78	93438.55	0.02	2652.21	42.00	163388.78	87735.73	0.01	1415.45
OO	163388.78	93438.55	0.02	2652.21	43.00	163388.78	114056.45	0.01	1840.08
PP	163388.78	28514.11	0.00	809.36	44.00	163388.78	83348.94	0.01	1344.68
QQ	163388.78	35094.29	0.01	996.14	45.00	163388.78	26320.72	0.00	424.63
RR	163388.78	91245.16	0.02	2589.95	46.00	163388.78	149150.74	0.01	2406.26
SS	163388.78	34216.93	0.01	971.23	47.00	163388.78	234693.08	0.02	3786.32
TT	163388.78	33778.26	0.01	958.78	48.00	163388.78	26320.72	0.00	424.63
UU	163388.78	91245.16	0.02	2589.95	49.00	163388.78	57028.22	0.01	920.04
VV	163388.78	35094.29	0.01	996.14	50.00	163388.78	37287.68	0.00	601.57
WW	163388.78	28514.11	0.00	809.36	51.00	163388.78	43867.86	0.00	707.72
		5756254.91			52.00	163388.78	93438.55	0.01	1507.45
					53.00	163388.78	61415.01	0.01	990.81
							10127557.90		

Fuente: Elaboración propia

E. Anexo 5: Fuerzas laterales por torsión en cada muro en cada nivel para sistema de mampostería

Nivel 3													
Muro	Torsión por nivel	d	Rigidez	Rd²	Rz/Rd²	Ft en el muro (kgf)	Muro	Torsión por nivel	d	Rigidez	Rd²	Rz/Rd²	Ft en el muro (kgf)
A	284471.31	5.20	228112.90	6168172.70	0.01520	4323.41	1.00	330845.82	0.80	35094.29	22460.35	0.00017	56.82
B	284471.31	0.60	26320.72	9475.46	0.00020	57.56	2.00	330845.82	0.80	35094.29	22460.35	0.00017	56.82
C	284471.31	0.70	30707.51	15046.68	0.00028	78.35	3.00	330845.82	2.08	91245.16	394763.05	0.00116	384.10
D	284471.31	0.50	21933.93	5483.48	0.00014	39.97	4.00	330845.82	0.78	34216.93	20817.58	0.00016	54.01
E	284471.31	1.45	63608.40	133736.67	0.00118	336.17	5.00	330845.82	0.85	37287.68	26940.35	0.00019	64.14
F	284471.31	0.55	24127.33	7298.52	0.00017	48.37	6.00	330845.82	5.35	234693.08	6717502.55	0.00768	2541.14
G	284471.31	6.80	298301.48	13793460.39	0.02599	7393.29	7.00	330845.82	3.40	149150.74	1724182.55	0.00310	1026.31
H	284471.31	3.40	149150.74	1724182.55	0.00650	1848.32	8.00	330845.82	0.60	26320.72	9475.46	0.00010	31.96
I	284471.31	0.60	26320.72	9475.46	0.00020	57.56	9.00	330845.82	0.60	26320.72	9475.46	0.00010	31.96
J	284471.31	1.30	57028.22	96377.70	0.00095	270.21	10.00	330845.82	1.30	57028.22	96377.70	0.00045	150.04
K	284471.31	2.00	87735.73	350942.92	0.00225	639.56	11.00	330845.82	2.13	93438.55	423921.36	0.00122	402.79
L	284471.31	1.30	57028.22	96377.70	0.00095	270.21	12.00	330845.82	1.15	50448.04	66717.54	0.00035	117.41
M	284471.31	0.75	32900.90	18506.76	0.00032	89.94	13.00	330845.82	0.57	25004.68	8124.02	0.00009	28.85
N	284471.31	3.40	149150.74	1724182.55	0.00650	1848.32	14.00	330845.82	2.13	93438.55	423921.36	0.00122	402.79
Ñ	284471.31	3.55	155730.92	1962598.91	0.00708	2015.01	15.00	330845.82	2.85	125023.41	1015502.68	0.00218	721.13
O	284471.31	1.90	83348.94	300889.68	0.00203	577.20	16.00	330845.82	7.85	344362.74	21220492.76	0.01654	5470.93
P	284471.31	1.90	83348.94	300889.68	0.00203	577.20	17.00	330845.82	3.30	144763.95	1576479.45	0.00292	966.83
Q	284471.31	0.60	26320.72	9475.46	0.00020	57.56	18.00	330845.82	1.90	83348.94	300889.68	0.00097	320.50
R	284471.31	2.45	107476.27	645126.30	0.00337	959.74	19.00	330845.82	1.90	83348.94	300889.68	0.00097	320.50
S	284471.31	0.75	32900.90	18506.76	0.00032	89.94	20.00	330845.82	3.55	155730.92	1962598.91	0.00338	1118.87
T	284471.31	3.40	149150.74	1724182.55	0.00650	1848.32	21.00	330845.82	3.40	149150.74	1724182.55	0.00310	1026.31
U	284471.31	4.80	210565.75	4851434.88	0.01295	3683.85	22.00	330845.82	1.90	83348.94	300889.68	0.00097	320.50
V	284471.31	3.10	135930.38	1306867.55	0.00540	1536.54	23.00	330845.82	3.55	155730.92	1962598.91	0.00338	1118.87
w	284471.31	1.90	83348.94	300889.68	0.00203	577.20	24.00	330845.82	1.35	565843.69	1031250.12	0.00467	1545.99
X	284471.31	2.05	89929.12	377927.14	0.00236	671.94	25.00	330845.82	3.55	155730.92	1962598.91	0.00338	1118.87
Y	284471.31	3.55	155730.92	1962598.91	0.00708	2015.01	26.00	330845.82	2.05	89929.12	377927.14	0.00113	373.10
Z	284471.31	1.20	502972.17	724279.92	0.00773	2199.88	27.00	330845.82	0.75	32900.90	18506.76	0.00015	49.94
AA	284471.31	6.65	291721.30	12900645.16	0.02486	7070.71	28.00	330845.82	1.30	57028.22	96377.70	0.00045	150.04
BB	284471.31	4.35	190825.21	3610890.05	0.01064	3025.51	29.00	330845.82	0.75	32900.90	18506.76	0.00015	49.94
CC	284471.31	2.95	129410.20	1126192.27	0.00489	1391.44	30.00	330845.82	1.43	599375.17	1225662.28	0.00524	1734.64
DD	284471.31	4.35	190825.21	3610890.05	0.01064	3025.51	31.00	330845.82	1.58	662246.69	1653232.63	0.00640	2117.64
EE	284471.31	6.65	291721.30	12900645.16	0.02486	7070.71	32.00	330845.82	5.60	245660.04	7703898.91	0.00842	2784.18
FF	284471.31	1.05	440100.65	485210.96	0.00592	1684.28	33.00	330845.82	1.35	565843.69	1031250.12	0.00467	1545.99
GG	284471.31	2.85	125023.41	1015502.68	0.00457	1298.70	34.00	330845.82	3.40	149150.74	1724182.55	0.00310	1026.31
HH	284471.31	0.57	25004.68	8124.02	0.00018	51.95	35.00	330845.82	3.55	155730.92	1962598.91	0.00338	1118.87
I	284471.31	1.15	50448.04	66717.54	0.00074	211.45	36.00	330845.82	1.90	83348.94	300889.68	0.00097	320.50
JJ	284471.31	1.15	50448.04	66717.54	0.00074	211.45	37.00	330845.82	4.75	208372.36	4701401.30	0.00605	2003.13
KK	284471.31	0.57	25004.68	8124.02	0.00018	51.95	38.00	330845.82	0.70	30707.51	15046.68	0.00013	43.50
LL	284471.31	2.85	125023.41	1015502.68	0.00457	1298.70	39.00	330845.82	0.85	356271.95	257406.49	0.00185	612.88
MM	284471.31	2.13	93438.55	423921.36	0.00255	725.40	40.00	330845.82	5.95	2493903.66	88290424.38	0.09077	30031.15
NN	284471.31	2.13	93438.55	423921.36	0.00255	725.40	41.00	330845.82	0.75	314357.60	176826.15	0.00144	477.16
ÑÑ	284471.31	2.13	93438.55	423921.36	0.00255	725.40	42.00	330845.82	2.00	87735.73	350942.92	0.00107	355.13
OO	284471.31	2.13	93438.55	423921.36	0.00255	725.40	43.00	330845.82	2.60	114056.45	771021.59	0.00181	600.16
PP	284471.31	0.65	28514.11	12047.21	0.00024	67.55	44.00	330845.82	1.90	83348.94	300889.68	0.00097	320.50
QQ	284471.31	0.80	35094.29	22460.35	0.00036	102.33	45.00	330845.82	0.60	26320.72	9475.46	0.00010	31.96
RR	284471.31	2.08	91245.16	394763.05	0.00243	691.75	46.00	330845.82	3.40	149150.74	1724182.55	0.00310	1026.31
SS	284471.31	0.78	34216.93	20817.58	0.00034	97.28	47.00	330845.82	5.35	234693.08	6717502.55	0.00768	2541.14
TT	284471.31	0.77	33778.26	20027.13	0.00033	94.80	48.00	330845.82	0.60	26320.72	9475.46	0.00010	31.96
UU	284471.31	2.08	91245.16	394763.05	0.00243	691.75	49.00	330845.82	1.30	57028.22	96377.70	0.00045	150.04
VV	284471.31	0.80	35094.29	22460.35	0.00036	102.33	50.00	330845.82	0.85	37287.68	26940.35	0.00019	64.14
ww	284471.31	0.65	28514.11	12047.21	0.00024	67.55	51.00	330845.82	1.00	43867.86	43867.86	0.00027	88.78
			5756254.91	78048620.49			52.00	330845.82	2.13	93438.55	423921.36	0.00122	402.79
							53.00	330845.82	1.40	61415.01	120373.42	0.00053	174.01
										10127557.90	163474622.35		

Fuente: Elaboración propia

Nivel 4													
Muro	Torsión por nivel	d	Rigidez	Rd ²	R/E Rd ²	Ft en el muro (kgf)	Muro	Torsión por nivel	d	Rigidez	Rd ²	R/E Rd ²	Ft en el muro (kgf)
A	367665.80	5.20	228112.90	6168172.70	0.01520	5587.80	1.00	427602.68	0.80	35094.29	22460.35	0.00017	73.44
B	367665.80	0.60	26320.72	9475.46	0.00020	74.39	2.00	427602.68	0.80	35094.29	22460.35	0.00017	73.44
C	367665.80	0.70	30707.51	15046.68	0.00028	101.26	3.00	427602.68	2.08	91245.16	394763.05	0.00116	496.44
D	367665.80	0.50	21933.93	5483.48	0.00014	51.66	4.00	427602.68	0.78	34216.93	20817.58	0.00016	69.81
E	367665.80	1.45	63608.40	133736.67	0.00118	434.48	5.00	427602.68	0.85	37287.68	26940.35	0.00019	82.30
F	367665.80	0.55	24127.33	7298.52	0.00017	62.51	6.00	427602.68	5.35	234693.08	6717502.55	0.00768	3284.31
G	367665.80	6.80	298301.48	13793460.39	0.02599	9555.48	7.00	427602.68	3.40	149150.74	1724182.55	0.00310	1326.46
H	367665.80	3.40	149150.74	1724182.55	0.00650	2388.87	8.00	427602.68	0.60	26320.72	9475.46	0.00010	41.31
I	367665.80	0.60	26320.72	9475.46	0.00020	74.39	9.00	427602.68	0.60	26320.72	9475.46	0.00010	41.31
J	367665.80	1.30	57028.22	96377.70	0.00095	349.24	10.00	427602.68	1.30	57028.22	96377.70	0.00045	193.92
K	367665.80	2.00	87735.73	350942.92	0.00225	826.60	11.00	427602.68	2.13	93438.55	423921.36	0.00122	520.59
L	367665.80	1.30	57028.22	96377.70	0.00095	349.24	12.00	427602.68	1.15	50448.04	66717.54	0.00035	151.75
M	367665.80	0.75	32900.90	18506.76	0.00032	116.24	13.00	427602.68	0.57	25004.68	8124.02	0.00009	37.28
N	367665.80	3.40	149150.74	1724182.55	0.00650	2388.87	14.00	427602.68	2.13	93438.55	423921.36	0.00122	520.59
Ñ	367665.80	3.55	155730.92	1962598.91	0.00708	2604.30	15.00	427602.68	2.85	125023.41	1015502.68	0.00218	932.02
O	367665.80	1.90	83348.94	300889.68	0.00203	746.00	16.00	427602.68	7.85	344362.74	21220492.76	0.01654	7070.92
P	367665.80	1.90	83348.94	300889.68	0.00203	746.00	17.00	427602.68	3.30	144763.95	1576479.45	0.00292	1249.58
Q	367665.80	0.60	26320.72	9475.46	0.00020	74.39	18.00	427602.68	1.90	83348.94	300889.68	0.00097	414.23
R	367665.80	2.45	107476.27	645126.30	0.00337	1240.41	19.00	427602.68	1.90	83348.94	300889.68	0.00097	414.23
S	367665.80	0.75	32900.90	18506.76	0.00032	116.24	20.00	427602.68	3.55	155730.92	1962598.91	0.00338	1446.08
T	367665.80	3.40	149150.74	1724182.55	0.00650	2388.87	21.00	427602.68	3.40	149150.74	1724182.55	0.00310	1326.46
U	367665.80	4.80	210565.75	4851434.88	0.01295	4761.21	22.00	427602.68	1.90	83348.94	300889.68	0.00097	414.23
V	367665.80	3.10	135990.38	1306867.55	0.00540	1985.90	23.00	427602.68	3.55	155730.92	1962598.91	0.00338	1446.08
W	367665.80	1.90	83348.94	300889.68	0.00203	746.00	24.00	427602.68	1.35	565843.69	1031250.12	0.00467	1998.11
X	367665.80	2.05	89929.12	377927.14	0.00236	868.44	25.00	427602.68	3.55	155730.92	1962598.91	0.00338	1446.08
Y	367665.80	3.55	155730.92	1962598.91	0.00708	2604.30	26.00	427602.68	2.05	89929.12	377927.14	0.00113	482.22
Z	367665.80	1.20	502972.17	724279.92	0.00773	2843.24	27.00	427602.68	0.75	32900.90	18506.76	0.00015	64.54
AA	367665.80	6.65	291721.30	12900645.16	0.02486	9138.56	28.00	427602.68	1.30	57028.22	96377.70	0.00045	193.92
BB	367665.80	4.35	190825.21	3610890.05	0.01064	3910.33	29.00	427602.68	0.75	32900.90	18506.76	0.00015	64.54
CC	367665.80	2.95	129410.20	1126192.27	0.00489	1798.37	30.00	427602.68	1.43	599375.17	1225662.28	0.00524	2241.94
DD	367665.80	4.35	190825.21	3610890.05	0.01064	3910.33	31.00	427602.68	1.58	662246.69	1653232.63	0.00640	2736.95
EE	367665.80	6.65	291721.30	12900645.16	0.02486	9138.56	32.00	427602.68	5.60	245660.04	7703898.91	0.00842	3598.43
FF	367665.80	1.05	440100.65	485210.96	0.00592	2176.85	33.00	427602.68	1.35	565843.69	1031250.12	0.00467	1998.11
GG	367665.80	2.85	125023.41	1015502.68	0.00457	1678.51	34.00	427602.68	3.40	149150.74	1724182.55	0.00310	1326.46
HH	367665.80	0.57	25004.68	8124.02	0.00018	67.14	35.00	427602.68	3.55	155730.92	1962598.91	0.00338	1446.08
II	367665.80	1.15	50448.04	66717.54	0.00074	273.29	36.00	427602.68	1.90	83348.94	300889.68	0.00097	414.23
JJ	367665.80	1.15	50448.04	66717.54	0.00074	273.29	37.00	427602.68	4.75	208372.36	4701401.30	0.00605	2588.95
KK	367665.80	0.57	25004.68	8124.02	0.00018	67.14	38.00	427602.68	0.70	30707.51	15046.68	0.00013	56.23
LL	367665.80	2.85	125023.41	1015502.68	0.00457	1678.51	39.00	427602.68	0.85	356271.95	257406.49	0.00185	792.12
MM	367665.80	2.13	93438.55	423921.36	0.00255	937.55	40.00	427602.68	5.95	2493903.66	88290424.38	0.09077	38813.85
NN	367665.80	2.13	93438.55	423921.36	0.00255	937.55	41.00	427602.68	0.75	314357.60	176826.15	0.00144	616.70
ÑÑ	367665.80	2.13	93438.55	423921.36	0.00255	937.55	42.00	427602.68	2.00	87735.73	350942.92	0.00107	458.98
OO	367665.80	2.13	93438.55	423921.36	0.00255	937.55	43.00	427602.68	2.60	114056.45	771021.59	0.00181	775.68
PP	367665.80	0.65	28514.11	12047.21	0.00024	87.31	44.00	427602.68	1.90	83348.94	300889.68	0.00097	414.23
QQ	367665.80	0.80	35094.29	22460.35	0.00036	132.26	45.00	427602.68	0.60	26320.72	9475.46	0.00010	41.31
RR	367665.80	2.08	91245.16	394763.05	0.00243	894.05	46.00	427602.68	3.40	149150.74	1724182.55	0.00310	1326.46
SS	367665.80	0.78	34216.93	20817.58	0.00034	125.73	47.00	427602.68	5.35	234693.08	6717502.55	0.00768	3284.31
TT	367665.80	0.77	33778.26	20027.13	0.00033	122.52	48.00	427602.68	0.60	26320.72	9475.46	0.00010	41.31
UU	367665.80	2.08	91245.16	394763.05	0.00243	894.05	49.00	427602.68	1.30	57028.22	96377.70	0.00045	193.92
VV	367665.80	0.80	35094.29	22460.35	0.00036	132.26	50.00	427602.68	0.85	37287.68	26940.35	0.00019	82.90
WW	367665.80	0.65	28514.11	12047.21	0.00024	87.31	51.00	427602.68	1.00	43867.86	43867.86	0.00027	114.75
							52.00	427602.68	2.13	93438.55	423921.36	0.00122	520.59
							53.00	427602.68	1.40	61415.01	120373.42	0.00053	224.90
			0.00	78048620.49									
										10127557.90	163474622.35		

Fuente: Elaboración propia

F. Anexo 6: Cargas últimas en los muros

Nivel 1							
Muro	P. (kgf)	V. (kgf)	M. (kgf-m)	Muro	P. (kgf)	V. (kgf)	M. (kgf-m)
A	36352.92	3111.06	8244.30	1.00	3472.81	310.98	824.11
B	4763.81	211.87	561.46	2.00	3472.81	310.98	824.11
C	2878.41	250.91	664.92	3.00	13316.31	887.35	2351.47
D	2170.51	173.89	460.82	4.00	3385.99	302.75	802.28
E	6341.91	577.71	1530.92	5.00	3717.67	331.68	878.95
F	2351.57	192.75	510.78	6.00	37401.56	2800.09	7420.24
G	33523.24	4648.17	12317.66	7.00	40565.20	1583.29	4195.72
H	40453.97	1707.98	4526.14	8.00	3154.22	229.69	608.67
I	5509.72	211.87	561.46	9.00	3232.74	229.69	608.67
J	13213.62	507.55	1345.01	10.00	8747.99	524.58	1390.15
K	12476.99	855.46	2266.98	11.00	25343.22	911.83	2416.35
L	10661.83	507.55	1345.01	12.00	8114.83	458.95	1216.22
M	6028.37	270.83	717.71	13.00	2064.13	217.70	576.89
N	26216.31	1707.98	4526.14	14.00	18444.57	911.83	2416.35
Ñ	42238.70	1811.71	4801.04	15.00	20110.67	1280.78	3394.07
O	17758.24	802.56	2126.79	16.00	79789.91	4689.32	12426.71
P	11231.55	802.56	2126.79	17.00	23286.04	1526.96	4046.44
Q	3644.95	211.87	561.46	18.00	11355.87	800.44	2121.16
R	13280.51	1106.70	2932.76	19.00	17758.24	800.44	2121.16
S	5169.60	270.83	717.71	20.00	42238.70	1668.90	4422.58
T	28997.10	1707.98	4526.14	21.00	37450.71	1583.29	4195.72
U	30729.95	2769.42	7338.95	22.00	17385.28	800.44	2121.16
V	27452.71	1507.71	3995.43	23.00	45374.45	1668.90	4422.58
W	13096.32	802.56	2126.79	24.00	14194.01	5224.10	13843.88
X	10441.60	882.31	2338.13	25.00	42238.70	1668.90	4422.58
Y	25630.83	1811.71	4801.04	26.00	11447.59	872.73	2312.73
Z	11831.73	4415.35	11700.67	27.00	5930.23	290.44	769.66
AA	29085.30	4492.48	11905.06	28.00	10661.83	524.58	1390.15
BB	20733.46	2405.46	6374.46	29.00	6077.45	290.44	769.66
CC	12612.97	1411.17	3739.61	30.00	12742.78	5566.03	14749.97
DD	20733.46	2405.46	6374.46	31.00	14079.44	6216.89	16474.76
EE	63241.61	4492.48	11905.06	32.00	67912.50	2972.37	7876.77
FF	10352.76	3783.22	10025.54	33.00	14194.01	5224.10	13843.88
GG	20110.67	1348.15	3572.59	34.00	37450.71	1583.29	4195.72
HH	3369.47	200.37	530.97	35.00	42238.70	1668.90	4422.58
II	4164.47	439.79	1165.45	36.00	17758.24	800.44	2121.16
JJ	4164.47	439.79	1165.45	37.00	48902.11	2401.72	6364.56
KK	3369.47	200.37	530.97	38.00	4893.66	270.04	715.60
LL	14982.56	1348.15	3572.59	39.00	4468.48	3169.08	8398.06
MM	12939.58	925.83	2453.44	40.00	53020.66	30763.87	81524.26
NN	13288.00	925.83	2453.44	41.00	4573.15	2775.04	7353.85
ÑÑ	13288.00	925.83	2453.44	42.00	8747.46	848.48	2248.48
OO	12939.58	925.83	2453.44	43.00	19197.17	1149.20	3045.37
PP	2821.66	231.26	612.83	44.00	11853.14	800.44	2121.16
QQ	3472.81	291.02	771.20	45.00	3743.10	229.69	608.67
RR	13316.31	898.55	2381.16	46.00	40453.97	1583.29	4195.72
SS	3334.96	282.91	749.72	47.00	37401.56	2800.09	7420.24
TT	3292.20	278.88	739.02	48.00	3350.52	229.69	608.67
UU	12976.07	898.55	2381.16	49.00	12575.67	524.58	1390.15
VV	3472.81	291.02	771.20	50.00	3689.86	331.68	878.95
Ww	2821.66	231.26	612.83	51.00	6009.49	394.65	1045.82
				52.00	18444.57	911.83	3328.18
				53.00	8367.48	569.08	2646.22

Fuente: Elaboración propia

Nivel 2							
Muro	P _v (kgf)	V _v (kgf)	M _v (kgf-m)	Muro	P _v (kgf)	V _v (kgf)	M _v (kgf-m)
A	27861.39	9561.96	25339.19	1.00	2647.81	329.92	874.30
B	3654.76	809.11	2144.13	2.00	2647.81	329.92	874.30
C	2192.93	951.42	2521.26	3.00	10197.83	1015.38	2690.76
D	1654.88	668.93	1772.65	4.00	2581.61	320.75	849.99
E	4835.82	2086.72	5529.80	5.00	2834.79	353.06	935.61
F	1792.55	738.75	1957.69	6.00	28665.08	3647.14	9664.92
G	25601.43	13663.83	36209.15	7.00	31199.10	1925.39	5102.30
H	31113.13	5599.70	14839.21	8.00	2410.67	240.34	636.90
I	4231.29	809.11	2144.13	9.00	2471.36	240.34	636.90
J	10153.96	1850.06	4902.67	10.00	6702.37	574.60	1522.69
K	9552.74	2995.48	7938.03	11.00	19491.46	1046.09	2772.15
L	8181.62	1850.06	4902.67	12.00	6219.81	498.09	1319.93
M	4625.34	1023.37	2711.94	13.00	1569.47	227.31	602.37
N	20108.48	5599.70	14839.21	14.00	14159.31	1046.09	2772.15
Ñ	32485.76	5903.51	15644.30	15.00	15414.32	1521.16	4031.07
O	13639.30	2825.45	7487.46	16.00	61314.31	6512.97	17259.36
P	8594.67	2825.45	7487.46	17.00	17848.16	1849.23	4900.47
Q	2789.96	809.11	2144.13	18.00	8690.75	907.27	2404.27
R	10153.32	3786.98	10035.51	19.00	13639.30	907.27	2404.27
S	3961.58	1023.37	2711.94	20.00	32485.76	2041.86	5410.92
T	22257.83	5599.70	14839.21	21.00	28791.83	1925.39	5102.30
U	23533.46	8621.77	22847.68	22.00	13351.04	907.27	2404.27
V	21077.78	5006.48	13267.17	23.00	34909.46	2041.86	5410.92
W	10035.99	2825.45	7487.46	24.00	10848.01	5739.43	15209.50
X	7977.26	3081.29	8165.43	25.00	32485.76	2041.86	5410.92
Y	19649.12	5903.51	15644.30	26.00	8754.82	997.10	2642.31
Z	9035.80	16194.80	42916.22	27.00	4549.48	307.08	813.77
AA	22178.06	13256.10	35128.66	28.00	8181.62	574.60	1522.69
BB	15827.41	7604.82	20152.77	29.00	4663.27	307.08	813.77
CC	9614.60	4717.06	12500.21	30.00	9719.03	6144.24	16282.24
DD	15827.41	7604.82	20152.77	31.00	10738.51	6922.77	18345.34
EE	48578.33	13256.10	35128.66	32.00	52236.37	3900.43	10336.14
FF	7906.32	14010.04	37126.61	33.00	10848.01	5739.43	15209.50
GG	15414.32	4526.78	11995.97	34.00	28791.83	1925.39	5102.30
HH	2578.40	766.83	2032.10	35.00	32485.76	2041.86	5410.92
II	3166.48	1618.21	4288.25	36.00	13639.30	907.27	2404.27
JJ	3166.48	1618.21	4288.25	37.00	37581.46	3069.43	8133.99
KK	2578.40	766.83	2032.10	38.00	3750.57	284.54	754.03
LL	11450.67	4526.78	11995.97	39.00	3415.11	3373.37	8939.43
MM	9904.37	3219.70	8532.21	40.00	40439.33	40774.26	108051.78
NN	10173.67	3219.70	8532.21	41.00	3466.42	2934.09	7775.34
ÑÑ	10173.67	3219.70	8532.21	42.00	6670.09	966.86	2562.18
OO	9904.37	3219.70	8532.21	43.00	14719.63	1349.25	3575.51
PP	2151.34	880.00	2331.99	44.00	9075.11	907.27	2404.27
QQ	2647.81	1095.86	2904.04	45.00	2865.82	240.34	636.90
RR	10197.83	3133.04	8302.55	46.00	31113.13	1925.39	5102.30
SS	2542.17	1066.80	2827.03	47.00	28665.08	3647.14	9664.92
TT	2509.57	1052.31	2788.61	48.00	2562.39	240.34	636.90
UU	9934.85	3133.04	8302.55	49.00	9660.88	574.60	1522.69
VV	2647.81	1095.86	2904.04	50.00	2813.30	353.06	935.61
Ww	2151.34	880.00	2331.99	51.00	4599.37	424.24	1124.24
				52.00	14159.31	1046.09	2772.15
				53.00	6403.71	627.08	1661.77

Fuente: Elaboración propia

Nivel 3							
Muro	P _v (kgf)	V _v (kgf)	M _v (kgf-m)	Muro	P _v (kgf)	V _v (kgf)	M _v (kgf-m)
A	19369.86	9333.17	24732.91	1.00	1822.81	494.89	1311.45
B	2545.71	635.61	1684.37	2.00	1822.81	494.89	1311.45
C	1507.45	752.74	1994.75	3.00	7079.35	1523.07	4036.15
D	1139.25	521.68	1382.45	4.00	1777.24	481.13	1274.99
E	3329.73	1733.12	4592.77	5.00	1951.91	529.59	1403.41
F	1233.54	578.25	1532.35	6.00	19928.60	5470.71	14497.38
G	17679.62	13944.52	36952.97	7.00	21833.00	2888.09	7653.44
H	21772.28	5123.94	13578.43	8.00	1667.11	360.51	955.35
I	2952.86	635.61	1684.37	9.00	1709.97	360.51	955.35
J	7094.31	1522.65	4035.03	10.00	4656.75	861.90	2284.03
K	6628.50	2566.39	6800.93	11.00	13639.70	1569.14	4158.23
L	5701.42	1522.65	4035.03	12.00	4324.79	747.13	1979.90
M	3222.31	812.50	2153.12	13.00	1074.81	340.97	903.56
N	14000.66	5123.94	13578.43	14.00	9874.06	1569.14	4158.23
Ñ	22732.83	5435.13	14403.11	15.00	10717.96	2281.74	6046.60
O	9520.37	2407.69	6380.38	16.00	42838.71	9769.45	25889.04
P	5957.78	2407.69	6380.38	17.00	12410.27	2773.85	7350.70
Q	1934.98	635.61	1684.37	18.00	6025.64	1360.91	3606.40
R	7026.13	3320.11	8798.28	19.00	9520.37	1360.91	3606.40
S	2753.55	812.50	2153.12	20.00	22732.83	3062.78	8116.38
T	15518.55	5123.94	13578.43	21.00	20132.96	2888.09	7653.44
U	16336.97	8308.25	22016.86	22.00	9316.79	1360.91	3606.40
V	14702.85	4523.13	11986.29	23.00	24444.48	3062.78	8116.38
W	6975.66	2407.69	6380.38	24.00	7502.00	8609.15	22814.24
X	5512.93	2646.94	7014.39	25.00	22732.83	3062.78	8116.38
Y	13667.41	5435.13	14403.11	26.00	6062.05	1495.65	3963.46
Z	6239.87	13246.04	35102.00	27.00	3168.74	460.63	1220.66
AA	15270.83	13477.43	35715.18	28.00	5701.42	861.90	2284.03
BB	10921.35	7216.37	19123.38	29.00	3249.10	460.63	1220.66
CC	6616.24	4233.52	11218.82	30.00	6695.29	9216.36	24423.36
DD	10921.35	7216.37	19123.38	31.00	7397.59	10384.16	27518.02
EE	33915.05	13477.43	35715.18	32.00	36560.25	5850.64	15504.20
FF	5459.88	11349.67	30076.63	33.00	7502.00	8609.15	22814.24
GG	10717.96	4044.44	10717.76	34.00	20132.96	2888.09	7653.44
HH	1787.33	601.10	1592.90	35.00	22732.83	3062.78	8116.38
II	2168.49	1319.38	3496.36	36.00	9520.37	1360.91	3606.40
JJ	2168.49	1319.38	3496.36	37.00	26260.80	4604.14	12200.98
KK	1787.33	601.10	1592.90	38.00	2607.48	426.81	1131.05
LL	7918.78	4044.44	10717.76	39.00	2361.74	5060.06	13409.15
MM	6869.16	2777.48	7360.32	40.00	27858.00	61161.38	162077.67
NN	7059.35	2777.48	7360.32	41.00	2359.70	4401.14	11663.01
ÑÑ	7059.35	2777.48	7360.32	42.00	4592.73	1450.29	3843.27
OO	6869.16	2777.48	7360.32	43.00	10242.09	2023.88	5363.27
PP	1481.03	693.77	1838.50	44.00	6297.07	1360.91	3606.40
QQ	1822.81	873.06	2313.61	45.00	1988.55	360.51	955.35
RR	7079.35	2695.65	7143.48	46.00	21772.28	2888.09	7653.44
SS	1749.38	848.74	2249.16	47.00	19928.60	5470.71	14497.38
TT	1726.95	836.63	2217.07	48.00	1774.26	360.51	955.35
UU	6893.64	2695.65	7143.48	49.00	6746.08	861.90	2284.03
VV	1822.81	873.06	2313.61	50.00	1936.73	529.59	1403.41
WW	1481.03	693.77	1838.50	51.00	3189.24	636.36	1686.36
				52.00	9874.06	1569.14	4158.23
				53.00	4439.94	940.63	2492.66

Fuente: Elaboración propia

Nivel 4							
Muro	P _v (kgf)	V _v (kgf)	M _v (kgf·m)	Muro	P _v (kgf)	V _v (kgf)	M _v (kgf·m)
A	10878.33	12062.69	31966.13	1.00	997.80	639.62	1694.98
B	1436.65	821.50	2176.96	2.00	997.80	639.62	1694.98
C	821.98	972.88	2578.13	3.00	3960.88	1968.50	5216.53
D	623.63	674.25	1786.76	4.00	972.86	621.84	1647.87
E	1823.64	2239.98	5935.94	5.00	1069.03	684.47	1813.84
F	674.52	747.36	1980.49	6.00	11192.13	7070.63	18737.18
G	9757.81	18022.63	47759.98	7.00	12466.90	3732.72	9891.72
H	12431.44	6622.45	17549.49	8.00	923.56	465.94	1234.75
I	1674.43	821.50	2176.96	9.00	948.59	465.94	1234.75
J	4034.65	1967.96	5215.09	10.00	2611.12	1113.96	2952.00
K	3704.25	3316.94	8789.89	11.00	7787.93	2028.04	5374.31
L	3221.21	1967.96	5215.09	12.00	2429.77	965.63	2558.93
M	1819.28	1050.12	2782.81	13.00	580.16	440.68	1167.81
N	7892.83	6622.45	17549.49	14.00	5588.81	2028.04	5374.31
Ñ	12979.89	7024.66	18615.34	15.00	6021.61	2949.04	7814.95
O	5401.43	3111.83	8246.34	16.00	24363.10	12626.55	33460.37
P	3320.89	3111.83	8246.34	17.00	6972.39	3585.07	9500.44
Q	1079.99	821.50	2176.96	18.00	3360.52	1758.91	4661.11
R	3898.94	4291.08	11371.36	19.00	5401.43	1758.91	4661.11
S	1545.53	1050.12	2782.81	20.00	12979.89	3958.50	10490.04
T	8779.28	6622.45	17549.49	21.00	11474.08	3732.72	9891.72
U	9140.49	10738.02	28455.76	22.00	5282.55	1758.91	4661.11
V	8327.93	5845.93	15491.71	23.00	13979.49	3958.50	10490.04
W	3915.33	3111.83	8246.34	24.00	4156.00	11126.92	29486.34
X	3048.59	3421.04	9065.77	25.00	12979.89	3958.50	10490.04
Y	7685.71	7024.66	18615.34	26.00	3369.27	1933.05	5122.59
Z	3443.93	17119.88	45367.69	27.00	1787.99	595.34	1577.64
AA	8363.59	17418.94	46160.20	28.00	3221.21	1113.96	2952.00
BB	6015.30	9326.82	24716.06	29.00	1834.92	595.34	1577.64
CC	3617.87	5471.62	14499.79	30.00	3671.54	11911.72	31566.05
DD	6015.30	9326.82	24716.06	31.00	4056.66	13421.03	35565.74
EE	19251.78	17418.94	46160.20	32.00	20884.12	7561.68	20038.46
FF	3013.44	14668.92	38872.63	33.00	4156.00	11126.92	29486.34
GG	6021.61	5227.25	13852.20	34.00	11474.08	3732.72	9891.72
HH	996.27	776.89	2058.75	35.00	12979.89	3958.50	10490.04
II	1170.49	1705.24	4518.89	36.00	5401.43	1758.91	4661.11
JJ	1170.49	1705.24	4518.89	37.00	14940.15	5950.64	15769.20
KK	996.27	776.89	2058.75	38.00	1464.39	551.63	1461.83
LL	4386.89	5227.25	13852.20	39.00	1308.37	6539.89	17330.70
MM	3833.96	3589.76	9512.87	40.00	15276.68	79048.22	209477.77
NN	3945.02	3589.76	9512.87	41.00	1252.97	5688.26	15073.89
ÑÑ	3945.02	3589.76	9512.87	42.00	2515.36	1874.43	4967.24
OO	3833.96	3589.76	9512.87	43.00	5764.54	2615.76	6931.77
PP	810.71	896.67	2376.18	44.00	3519.04	1758.91	4661.11
QQ	997.80	1128.39	2990.24	45.00	1111.27	465.94	1234.75
RR	3960.88	3484.00	9232.61	46.00	12431.44	3732.72	9891.72
SS	956.59	1096.96	2906.94	47.00	11192.13	7070.63	18737.18
TT	944.32	1081.30	2865.45	48.00	986.13	465.94	1234.75
UU	3852.42	3484.00	9232.61	49.00	3831.29	1113.96	2952.00
VV	997.80	1128.39	2990.24	50.00	1060.17	684.47	1813.84
WW	810.71	896.67	2376.18	51.00	1779.12	822.47	2179.55
				52.00	5588.81	2028.04	7402.35
				53.00	2476.17	1215.72	5653.08

Fuente: Elaboración propia

G. Anexo 7: Diseño de los muros de mampostería de 0.01 m a 1.50 m

Valores empíricos (Módulo $U = 0.75$): X Resolvamos mediante el uso de la siguiente ecuación: $x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$					Valores empíricos (Módulo $U = 0.75$): X Resolvamos mediante el uso de la siguiente ecuación: $x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$				
Encuentramos el libro de esfuerzos a					Encuentramos el libro de esfuerzos a				
a1 =	106.261908	in ²			a1 =	105.2652072	in ²		
a2 =	1.73893036	in ²			a2 =	2.730792837	in ²		
Constantes de ecuación					Constantes de ecuación				
a =	2615.00				a =	2615.00			
b =	282794.00				b =	282794.00			
c =	483526.21				c =	752392.26			
Datos muro crítico					Datos muro crítico				
Módulo	E				Módulo	E			
P _u =	6941.91	kgf	13652.20	lbf	P _u =	4825.82	kgf	10638.80	lbf
M _u =	9381.92	kgf-m	134721.27	lbf-in	M _u =	5529.89	kgf-m	486622.25	lbf-in
V _u =	577.71	kgf	1270.96	lbf	V _u =	2086.72	kgf	4690.78	lbf
t =	0.14	m	5.60	in	t =	0.14	m	5.60	in
L =	1.45	m	58.00	in	L =	1.45	m	58.00	in
d =	1.35	m	54.00	in	d =	1.35	m	54.00	in
d _s =	0.10	m	4.00	in	d _s =	0.10	m	4.00	in
f' _u =	820000.00	kgf/m ²	1168.75	psi	f' _u =	850000.00	kgf/m ²	1168.75	psi
a	0.04	m	1.74	in	a	0.07	m	2.73	in
Área de refuerzo por viento					Área de refuerzo por viento				
Fuerzas de compresión					Fuerzas de compresión				
C =	9100.65	lbf			C =	14298.43	lbf		
f' _u =	1168.75	psi			f' _u =	1168.75	psi		
a =	1.74	in			a =	2.73	in		
t =	5.60	in			t =	5.60	in		
Fuerzas de tensión					Fuerzas de tensión				
T =	-4851.55	lbf			T =	3659.63	lbf		
C =	9100.65	lbf			C =	14298.43	lbf		
P _u =	13652.20	lbf			P _u =	10638.80	lbf		
Encuentramos área de acero debido al momento de viento					Encuentramos área de acero debido al momento de viento				
A _s =	0.09	in ²			A _s =	0.07	in ²		
T =	-4851.55	lbf			T =	3659.63	lbf		
φ =	0.90				φ =	0.90			
f' _c =	60000.00	psi			f' _c =	60000.00	psi		
Área a refuerzo					Área a refuerzo				
A _s =	0.23	in ²			A _s =	0.23	in ²		
2Varillas No.4 @ Cada lado					2Varillas No.4 @ Cada lado				
Doble el refuerzo a crane horizontal					Doble el refuerzo a crane horizontal				
V _u =	1589.69	lbf			V _u =	5738.47	lbf		
V _c =	1270.96	lbf			V _c =	4690.78	lbf		
φ =	0.90				φ =	0.90			
d _s =	54.00	in			d _s =	54.00	in		
Asumimos que Vu = Vc					Asumimos que Vu = Vc				
V _u = V _c	1589.69	lbf			V _u = V _c	5738.47	lbf		
Encuentramos el área de acero					Encuentramos el área de acero				
$V_s = 0.5 \left(\frac{A_s}{s} \right) \cdot f_s \cdot d_s \cdot \frac{\text{solte}_s \cdot A_s \cdot 2.0 \cdot s \cdot V_s}{d_s \cdot f_s}$					$V_s = 0.5 \left(\frac{A_s}{s} \right) \cdot f_s \cdot d_s \cdot \frac{\text{solte}_s \cdot A_s \cdot 2.0 \cdot s \cdot V_s}{d_s \cdot f_s}$				
A _s =	0.04	in ²			A _s =	0.14	in ²		
V _u =	1589.69	lbf			V _u =	5738.47	lbf		
s =	40.00	in			s =	40.00	in		
f' _c =	60000.00	psi			f' _c =	60000.00	psi		
t =	5.60	in			t =	5.60	in		
L/h		0.55			L/h		0.55		
A _{s,max} = (0.0313/0.0037) b t =	0.16	in ²			A _{s,max} = (0.0313/0.0037) b t =	0.16	in ²		
Área a refuerzo					Área a refuerzo				
A _s =	0.16	in ²			A _s =	0.16	in ²		
Est. No.4 @ 40 in = 1.00 in					Est. No.4 @ 40 in = 1.00 in				
Doble el refuerzo a crane vertical					Doble el refuerzo a crane vertical				
A_s =	0.17	in²			A_s =	0.17	in²		
A _s /2 =	0.08	in ²			A _s /2 =	0.08	in ²		
A _{s,max} = (0.0313/0.0037) b t =	0.17	in ²			A _{s,max} = (0.0313/0.0037) b t =	0.17	in ²		
b =	24.00	in			b =	24.00	in		
t =	5.60	in			t =	5.60	in		
Varillas No.4 @ 24 in = 0.60 in					Varillas No.4 @ 24 in = 0.60 in				

Fuente: Elaboración propia

Albaros cortados Fibrocil 13 - Tipo 22

Resolvamos mediante el uso de la siguiente ecuación:

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

Encontramos el bloque de esfuerzos a

a1 =	105.8812959	in ²
a2 =	2.118704052	in ²
Constantes de ecuación		
a =	2618.00	
b =	-282744.00	
c =	587298.91	

Datos más crítico

Material	E			
P _u =	3309.73	kgf	7325.40	lbf
M _u =	4592.77	kgf-m	404163.82	lbf-in
V _u =	1733.12	kgf	3812.87	lbf
t =	0.14	m	5.60	in
L =	1.45	m	58.00	in
d =	1.35	m	54.00	in
d _s =	0.10	m	4.00	in
f _{pu} =	850000.00	kgf/m ²	1168.75	psi
a	0.05	m	2.12	in

Acero de refuerzo por volar

Fuerzas de compresión

C =	1109.353	lbf
f _{pu} =	1168.75	psi
a =	2.12	in
t =	5.60	in

Fuerzas de tensión

T =	3768.13	lbf
C =	1109.353	lbf
P _u =	7325.40	lbf

Determinamos área de acero (Ab) en el momento de volar

As =	0.07	in ²
T =	3768.13	lbf
φ =	0.90	
f _y =	60000.00	psi

Área a utilizar

A _s =	0.23	in ²
------------------	------	-----------------

2 Varilla No. 4 @ Cada lado

Diseño de refuerzo a corte horizontal

V _u =	4766.00	lbf
V _c =	3812.87	lbf
φ =	0.80	
d _v =	54.00	

Assumiendo que Vu = Vs

V _c = V _u	4766.00	lbf
---------------------------------	---------	-----

Encontramos el área de acero

$$V_s = 0.5 \left(\frac{A_s}{s} \right) \cdot f_y \cdot d_v \xrightarrow{\text{solve, } A_s} \frac{2.0 \cdot s \cdot V_s}{d_v \cdot f_y}$$

As =	0.12	in ²
V _c =	4766.00	lbf
s =	40.00	in
f _y =	60000.00	psi
t =	5.60	in

L/h = 0.55

$$A_{c, \text{min}} = (0.0013 / 0.0007) \cdot b \cdot t = 0.16 \text{ in}^2$$

Área a utilizar

A _s =	0.16	in ²
------------------	------	-----------------

Est. No. 4 @ 40 in = 3.00 in

Diseño de refuerzo a corte vertical

A_s =	0.17	in²
------------------------	-------------	-----------------------

A_s/2 = 0.09 in²

$$A_{c, \text{min}} = (0.0013 / 0.0007) \cdot b \cdot t = 0.17 \text{ in}^2$$

b = 24.00 in

t = 5.60 in

Varillas No. 4 @ 29 in = 0.68 in

Albaros cortados Fibrocil 13 - Tipo 22

Resolvamos mediante el uso de la siguiente ecuación:

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

Encontramos el bloque de esfuerzos a

a1 =	105.7509902	in ²
a2 =	2.249048944	in ²
Constantes de ecuación		
a =	2618.00	
b =	-282744.00	
c =	627662.92	

Datos más crítico

Material	E			
P _u =	1823.64	kgf	4012.01	lbf
M _u =	5935.94	kgf-m	5223.6274	lbf-in
V _u =	2239.98	kgf	4927.95	lbf
t =	0.14	m	5.60	in
L =	1.45	m	58.00	in
d =	1.35	m	54.00	in
d _s =	0.10	m	4.00	in
f _{pu} =	850000.00	kgf/m ²	1168.75	psi
a	0.05	m	2.25	in

Acero de refuerzo por volar

Fuerzas de compresión

C =	11776.02	lbf
f _{pu} =	1168.75	psi
a =	2.25	in
t =	5.60	in

Fuerzas de tensión

T =	7764.02	lbf
C =	11776.02	lbf
P _u =	4012.01	lbf

Encontramos área de acero (Ab) en el momento de volar

As =	0.14	in ²
T =	7764.02	lbf
φ =	0.90	
f _y =	60000.00	psi

Área a utilizar

A _s =	0.23	in ²
------------------	------	-----------------

2 Varilla No. 4 @ Cada lado

Diseño de refuerzo a corte horizontal

V _u =	6159.94	lbf
V _c =	4927.95	lbf
φ =	0.80	
d _v =	54.00	

Assumiendo que Vu = Vs

V _c = V _u	6159.94	lbf
---------------------------------	---------	-----

Encontramos el área de acero

$$V_s = 0.5 \left(\frac{A_s}{s} \right) \cdot f_y \cdot d_v \xrightarrow{\text{solve, } A_s} \frac{2.0 \cdot s \cdot V_s}{d_v \cdot f_y}$$

As =	0.15	in ²
V _c =	6159.94	lbf
s =	40.00	in
f _y =	60000.00	psi
t =	5.60	in

L/h = 0.55

$$A_{c, \text{min}} = (0.0013 / 0.0007) \cdot b \cdot t = 0.16 \text{ in}^2$$

Área a utilizar

A _s =	0.16	in ²
------------------	------	-----------------

Est. No. 4 @ 40 in = 3.00 in

Diseño de refuerzo a corte vertical

A_s =	0.17	in²
------------------------	-------------	-----------------------

A_s/2 = 0.09 in²

$$A_{c, \text{min}} = (0.0013 / 0.0007) \cdot b \cdot t = 0.17 \text{ in}^2$$

b = 24.00 in

t = 5.60 in

Varillas No. 4 @ 29 in = 0.68 in

Fuente: Elaboración propia

Módulo curvado Múltiplo 2.0 - b [ft]; W					Módulo curvado Múltiplo 2.0 - b [ft]; W				
Resolvamos mediante el uso de la siguiente ecuación:					Resolvamos mediante el uso de la siguiente ecuación:				
$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$					$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$				
Encontramos el bloque de esfuerzos a					Encontramos el bloque de esfuerzos a				
a1 =	98.70846479		in ²		a1 =	98.20919336		in ²	
a2 =	7.69153521		in ²		a2 =	7.57080694		in ²	
Constantes de ecuación					Constantes de ecuación				
a =	2618.00				a =	2618.00			
b =	-278555.20				b =	-278555.20			
c =	1887637.00				c =	1958831.36			
Datos muro crítico					Datos muro crítico				
Módulo	38				Módulo	38			
P _u =	12782.78	kgf	28934.12	lbf	P _u =	9719.03	kgf	21981.87	lbf
M _u =	14789.97	kgf-m	1287997.73	lbf-in	M _u =	16282.34	kgf-m	1402837.30	lbf-in
V _u =	5566.08	kgf	12245.26	lbf	V _u =	6144.24	kgf	13517.33	lbf
t =	0.14	m	5.60	in	t =	0.14	m	5.60	in
L =	1.43	m	57.20	in	L =	1.43	m	57.20	in
d =	1.33	m	53.20	in	d =	1.33	m	53.20	in
d _v =	0.10	m	4.00	in	d _v =	0.10	m	4.00	in
f' _{cs} =	850000.00	kgf/m ²	1185.75	psi	f' _{cs} =	850000.00	kgf/m ²	1185.75	psi
a	0.20	m	7.69	in	a	0.19	m	7.57	in
<i>Áreas de refuerzo por volutas</i>					<i>Áreas de refuerzo por volutas</i>				
<i>Fuerzas de compresión</i>					<i>Fuerzas de compresión</i>				
C =	40272.88	lbf			C =	39640.74	lbf		
f' _m =	1185.75	psi			f' _m =	1185.75	psi		
a =	7.69	in			a =	7.57	in		
t =	5.60	in			t =	5.60	in		
<i>Fuerzas de tensión</i>					<i>Fuerzas de tensión</i>				
T =	12238.76	lbf			T =	18258.87	lbf		
C =	40272.88	lbf			C =	39640.74	lbf		
P _u =	28934.12	lbf			P _u =	21981.87	lbf		
<i>Encuentramos área de acero distribuida al momento de volutas</i>					<i>Encuentramos área de acero distribuida al momento de volutas</i>				
A _s =	0.23	in ²			A _s =	0.34	in ²		
T =	12238.76	lbf			T =	18258.87	lbf		
φ =	0.90				φ =	0.90			
f' _c =	60000.00	psi			f' _c =	60000.00	psi		
<i>Área a utilizar</i>					<i>Área a utilizar</i>				
A _u =	0.23	in ²			A _u =	0.34	in ²		
3 Volutas No. 4 @ Cada lado					3 Volutas No. 4 @ Cada lado				
<i>Diseño de refuerzo a carga horizontal</i>					<i>Diseño de refuerzo a carga horizontal</i>				
V _u =	15306.58	lbf			V _u =	16296.67	lbf		
V _c =	12245.26	lbf			V _c =	13517.33	lbf		
φ =	0.80				φ =	0.80			
d _v =	53.20				d _v =	53.20			
<i>Encuentramos que Vu > Vc</i>					<i>Encuentramos que Vu > Vc</i>				
V _u > V _c	15306.58	lbf			V _u > V _c	16296.67	lbf		
<i>Encuentramos el área de acero</i>					<i>Encuentramos el área de acero</i>				
$V_u = 0.5 \left(\frac{A_s}{s} \right) \cdot f_s \cdot d_v \xrightarrow{\text{solte } A_s} \frac{2.0 \cdot s \cdot V_u}{d_v \cdot f_s}$					$V_u = 0.5 \left(\frac{A_s}{s} \right) \cdot f_s \cdot d_v \xrightarrow{\text{solte } A_s} \frac{2.0 \cdot s \cdot V_u}{d_v \cdot f_s}$				
A _s =	0.15	in ²			A _s =	0.17	in ²		
V _u =	15306.58	lbf			V _u =	16296.67	lbf		
s =	16.00	in			s =	16.00	in		
f' _c =	60000.00	psi			f' _c =	60000.00	psi		
t =	5.60	in			t =	5.60	in		
L/b =			0.54		L/b =			0.54	
A _{min} = (0.0013/0.0007) · b · t =	0.06	in ²			A _{min} = (0.0013/0.0007) · b · t =	0.06	in ²		
<i>Área a utilizar</i>					<i>Área a utilizar</i>				
A _u =	0.15	in ²			A _u =	0.17	in ²		
Est. No. 4 @ 16 in = 0.98 in					Est. No. 4 @ 16 in = 0.98 in				
<i>Diseño de refuerzo a carga vertical</i>					<i>Diseño de refuerzo a carga vertical</i>				
A_s =	0.17	in²			A_s =	0.17	in²		
A _u /2 =	0.08	in ²			A _u /2 =	0.08	in ²		
A _{min} = 0.0013 · b · t =	0.17	in ²			A _{min} = 0.0013 · b · t =	0.17	in ²		
b =	24.00	in			b =	24.00	in		
t =	5.60	in			t =	5.60	in		
Volutas No. 4 @ 24 in = 0.98 in					Volutas No. 4 @ 24 in = 0.98 in				

Fuente: Elaboración propia

Módulo estructural Edificio 23 - C1) y V

Resolución mediante el uso de la siguiente ecuación:

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

Encuentrares el Moque de esfuerzos a

a1 =	96.453669	in ²
a2 =	9.946331001	in ²
Constantes de ecuación		
a =	2618.00	
b =	-37855.530	
c =	2511604.79	
Datos muro crítico		
libras	lb	
P _u =	6695.29	kgf
M _u =	24423.36	kgf-m
V _u =	9216.36	kgf
t =	0.14	m
L =	1.43	m
d =	1.33	m
d _c =	0.10	m
Γ _u =	650000.00	kgf/ft ²
a	0.25	m
		9.95
		in

Módulo estructural Edificio 24 - C1) y 3E

Resolución mediante el uso de la siguiente ecuación:

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

Encuentrares el Moque de esfuerzos a

a1 =	94.349694	in ²
a2 =	12.050306	in ²
Constantes de ecuación		
a =	2618.00	
b =	-37855.530	
c =	2976515.95	
Datos muro crítico		
libras	lb	
P _u =	3671.54	kgf
M _u =	31566.05	kgf-m
V _u =	11911.72	kgf
t =	0.14	m
L =	1.43	m
d =	1.33	m
d _c =	0.10	m
Γ _u =	650000.00	kgf/ft ²
a	0.31	m
		12.05
		in

Resumen de esfuerzos por viento

Presiones de viento en superficie

C =	52078.99	lbf
Γ _u =	1168.75	psi
a =	9.95	in
t =	5.60	in

Presiones de tensión

T =	37349.36	lbf
C =	52078.99	lbf
P _u =	14729.63	lbf

Factores de reducción de área de acero de refuerzo de viento

A _s =	0.69	in ²
T =	37349.36	lbf
φ =	0.90	
f _y =	60000.00	psi

Área de refuerzo

A _s =	0.69	in ²
------------------	------	-----------------

2 Vueltas No. 6 @ Cada lado

Diseño de refuerzo a corte horizontal

V _u =	25345.00	lbf
V _c =	20276.00	lbf
φ =	0.80	
d _c =	53.20	in

Suposición de que V_u = V_s

V _s = V _u	25345.00	lbf
---------------------------------	----------	-----

Factores de reducción de área de acero

$$V_s = 0.5 \left(\frac{A_s}{s} \right) \cdot f_y \cdot d_c \xrightarrow{\text{solve, } A_s} \frac{2.0 \cdot s \cdot V_s}{d_c \cdot f_y}$$

A _s =	0.13	in ²
V _s =	25345.00	lbf
s =	8.00	in
f _y =	60000.00	psi
t =	5.60	in
L/b =	0.54	

$$A_{s,max} = (0.0013/0.0007) \cdot b \cdot t = 0.03 \text{ in}^2$$

Área de refuerzo

A _s =	0.13	in ²
------------------	------	-----------------

Est. No. 4 @ 8 in = 8.00 in

Diseño de refuerzo a corte vertical

A_s =	0.17	in²
A _s /2 =	0.08	in ²
A _{s,max} = 0.0013 · b · t =	0.17	in ²
b =	24.00	in
t =	5.60	in

Vueltas No. 4 @ 24 in = 8.00 in

Resumen de esfuerzos por viento

Presiones de viento en superficie

C =	63095.40	lbf
Γ _u =	1168.75	psi
a =	12.05	in
t =	5.60	in

Presiones de tensión

T =	55018.02	lbf
C =	63095.40	lbf
P _u =	8077.38	lbf

Factores de reducción de área de acero de refuerzo de viento

A _s =	1.02	in ²
T =	55018.02	lbf
φ =	0.90	
f _y =	60000.00	psi

Área de refuerzo

A _s =	1.02	in ²
------------------	------	-----------------

2 Vueltas No. 7 @ Cada lado

Diseño de refuerzo a corte horizontal

V _u =	32757.22	lbf
V _c =	26205.78	lbf
φ =	0.80	
d _c =	53.20	in

Suposición de que V_u = V_s

V _s = V _u	32757.22	lbf
---------------------------------	----------	-----

Factores de reducción de área de acero

$$V_s = 0.5 \cdot V_s = 0.5 \left(\frac{A_s}{s} \right) \cdot f_y \cdot d_c \xrightarrow{\text{solve, } A_s} \frac{2.0 \cdot s \cdot V_s}{d_c \cdot f_y}$$

A _s =	0.16	in ²
V _s =	32757.22	lbf
s =	8.00	in
f _y =	60000.00	psi
t =	5.60	in
L/b =	0.54	

$$A_{s,max} = (0.0013/0.0007) \cdot b \cdot t = 0.03 \text{ in}^2$$

Área de refuerzo

A _s =	0.16	in ²
------------------	------	-----------------

Est. No. 4 @ 8 in = 8.00 in

Diseño de refuerzo a corte vertical

A_s =	0.17	in²
A _s /2 =	0.08	in ²
A _{s,max} = 0.0013 · b · t =	0.17	in ²
b =	24.00	in
t =	5.60	in

Vueltas No. 4 @ 24 in = 8.00 in

Fuente: Elaboración propia

H. Anexo 8: Diseño de cimentación

Capacidad soporte del suelo		
$q_u =$	10	ton/ftm ²
	2044.91	psf
Asumimos el peralte efectivo d		
$d =$	13	in
Encontramos capacidad disponible		
$w_{zapata} =$	150	psf
$\gamma_{conc} =$	150	lb/ft ³
$b_u =$	1	ft
$w_{relleno} =$	241.6666667	psf
$\gamma_{rueda} =$	100	lb/ft ³
$h =$	3.5	ft
Peso de elementos sobre el suelo		
$w_{z+r} =$	391.6666667	psf
Obtenemos q_u disponible		
$q_u(disponible) =$	1653.25	psf
Encontramos área requerida por la zapata		
Carga total que llega a la zapata no mayorada		
$w_{total} =$	6526.11	lb/ft
Base requerida de la zapata		
$A =$	3.95	ft
$w_{total} =$	6526.11	lb/ft
$q_u(disponible) =$	1653.25	psf
Base a utilizar en zapata		
$A =$	4.00	ft
Carga última		
$q_u =$	5351.76	lb/ft ²
$w_u =$	21407.05	lb/ft
Encontramos el momento requerido por resistencia		
$M_u = \frac{q_u \cdot (2b - a)^2}{32}$		
$M_u =$	9510.03	lb*ft/ft
$b =$	4.00	ft
a (ancho de muro) =	0.46	ft
$q_u =$	5351.76	lb/ft ²

Fuente: Elaboración propia

Encontramos el cortante y comprobamos peralte ef.		
$V_u = q_u \cdot \left(\frac{2b - a}{4} - d \right)$		
$V_u =$	14380.54	lbf/ft
Resistencia a corte de diseño por pie ϕV_c		
$\phi V_c = \phi \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d$		
Igualando ϕV_c con V_u comprobamos el d		
$d_n =$	12.63	in
$\lambda =$	1	Concreto peso normal
$\phi =$	0.75	para cortante
$f'_c =$	4000	psi
$b_w =$	12	in
$\phi V_c = V_u =$	14380.54	lbf/in
Puesto que el código ACI 318-14 exige un recubrimiento libre a las barras mayor o igual a 3 in, se selecciona una altura de zapata de 16.5 pulgadas, obteniendo un valor de $d = 13$ in		
Encontramos el área de acero requerida a flexión		
$M_u / \phi \cdot b \cdot d^2 =$	62.52482368	
$M_u =$	114120.31	lbf*in/ft
$\phi =$	0.9	para flexión
$b_w =$	12	in
$d =$	13	in
Utilizando la tabla A.13 del libro de McCormack		
$M_u / \phi \cdot b \cdot d^2 =$	192.2	
$\rho =$	0.0033	
$A_s = \rho \cdot b \cdot d$	0.51	in ² /ft
Varillas No.4 @ 4.5 in \approx 11.25 cm		
Encontramos el área de acero requerida longitudinal		
$A_{s1} = 0.0018 \cdot A \cdot d$	1.12	in ²
Área a utilizar		
$A_u =$	1.18	in ²
6 Varillas No.4		

Fuente: Elaboración propia

I. Anexo 9: Luminaria Escogida

Proporcionando Soluciones Empresariales Verdes

LUXLITE®

Descarga
Nuestra
App

ANDROID APP ON
Google play

Available on the
App Store

DISMINUYA SUS COSTOS FIJOS DE ENERGIA ELECTRICA CON TECNOLOGIA LED

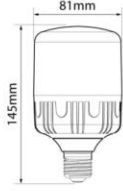
Componentes utilizados en nuestros productos:



Certificaciones utilizadas en nuestros productos:







Descarga nuestra app




www.ecoluxlite.com

EQUIVALENCIA:

ESPECIFICACIONES TECNICAS DE FUNCIONAMIENTO

- Rango de Voltaje (entrada): 100-240v
- Rango de Hertz: 50/60 Hz
- Temperatura de Trabajo: --
- Humedad de Trabajo: --
- Factor de Potencia: 0.5
- Rango de Voltaje (salida): --
- Potencia Nominal (Amp): --
- Rango de Tolerancia: --
- Potencia Nominal (watts): 30w

CARACTERISTICAS DEL PRODUCTO

- Marca de CHIP: EPSTAR
- Cantidad y Tipo de CHIP: 32 pcs SMD2835
- Grados de Protección IP: IP20
- Ángulos de Iluminación: 180°
- Horas vida estimado: 18000
- Material de luminaria: Plastico + aluminio
- Unidades por Caja: --
- Tipo de base: E26

ESPECIFICACIONES LUMINICAS

- Lúmenes Totales Emitidos: 3000 lm
- Rendimiento Lumínico: 100 lm/w
- Índice de Reprod. Cromática: 80-90 CRI
- Grados Kelvin: 6500k
- Color de Luz: Luz blanca
- Marca de Balastro: LUXLITE

ESPECIFICACIONES DE INSTALACION

- Material del covertor: Plastico
- Aplicación 1: Garages
- Aplicación 2: Lamparas de canasta
- Dimensiones de luminaria: 102x186 mm
- Rango potencia nominal: --

WWW.ECOLUXLITE.COM

Fuente: Luxlite