

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA  
Facultad de Ingeniería



Megaproyecto

Guía para la evaluación del impacto ambiental de construcciones,  
Parte III

Tomo I

Análisis comparativo de sistemas de construcción verde como  
alternativa a los sistemas típicos de construcción en Guatemala.

Trabajo de graduación presentado por  
Rodrigo Josué Solares Ordoñez  
César Augusto Porres Gálvez  
Juan Pablo Carrera Ortiz  
Juan Francisco Arriola Sampson  
para optar por el grado académico de Licenciado en Ingeniería Civil

Guatemala  
2012



Megaproyecto

Guía para la evaluación del impacto ambiental de construcciones,  
Parte III

Tomo I

Análisis comparativo de sistemas de construcción verde como  
alternativa a los sistemas típicos de construcción en Guatemala.

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA  
Facultad de Ingeniería  
Departamento de Ingeniería Civil

Megaproyecto

Guía para la evaluación del impacto ambiental de construcciones,  
Parte III

Tomo I

Análisis comparativo de sistemas de construcción verde como  
alternativa a los sistemas típicos de construcción en Guatemala.

Trabajo de graduación presentado por:  
Rodrigo Josué Solares Ordoñez  
César Augusto Porres Gálvez  
Juan Pablo Carrera Ortiz  
Juan Francisco Arriola Sampson  
para optar por el grado académico de Licenciado en Ingeniería Civil

Guatemala  
2012

**Vo.Bo.**

(f)   
(Arq. Juan Pablo Blas Arias)

**Tribunal examinador**

(f)   
(Ing. Roberto Godo Levensen)

(f)   
(Arq. Juan Pablo Blas Arias)

(f)   
(Arq. Maria Isabel Chavarria)

Fecha de aprobación: Guatemala 18 de octubre del 2012

# Contenido

<b>Lista de cuadros.....</b>	<b>ix</b>
<b>Lista de ilustraciones.....</b>	<b>xiii</b>
<b>Resumen .....</b>	<b>xx</b>
<b>1. Introducción.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Justificación .....</b>	<b>3</b>
<b>1.2 Objetivos .....</b>	<b>4</b>
1.2.1 Objetivo general:.....	4
1.2.2 Objetivos específicos: .....	4
<b>2. Marco teórico.....</b>	<b>5</b>
<b>2.1. Descripción general de los métodos constructivos .....</b>	<b>5</b>
2.1.1 Mampostería .....	5
2.1.1.1 Definición.. .....	5
2.1.1.2 Materiales para mampostería .....	6
2.1.1.3 Clasificación de mampostería.....	7
2.1.2 Panel estructural o electropanel .....	10
2.1.2.1 Definición .....	10
2.1.2.2 Materiales usados en panel estructural .....	12
2.1.3 Construcción de viviendas en serie con muros de concreto .....	15
2.1.3.1 Definición.. .....	15
2.1.3.2 Materiales y equipos a utilizar.....	16
2.1.4 Construcción de viviendas de madera.....	19
2.1.4.1 Definición y descripción de la madera. ....	19
2.1.4.2 Tipos de construcción de viviendas de madera.....	22
<b>2.2 Especificaciones y métodos simplificados de diseño estructural de viviendas.....</b>	<b>26</b>
2.2.1 Especificaciones generales para viviendas en Guatemala.. .....	26
2.2.2 Requerimientos mínimos de cimentación.....	33
2.2.3 Requerimientos mínimos de techos o cubiertas.....	35
2.2.4 Requisitos mínimos para diseños de viviendas.....	36
2.2.4.1 Requerimientos mínimos de diseño de viviendas de mampostería.. .....	36
2.2.4.2 Requerimientos estructurales mínimos de panel estructural o electropanel.. .....	49
2.2.4.3 Requerimientos estructurales mínimos para viviendas de muros fundidos. ....	56
2.2.4.4 Requerimientos estructurales mínimos para viviendas de madera. ....	60
<b>2.3 Proceso de elaboración .....</b>	<b>66</b>
2.3.1 Block .....	67
2.3.2 Ladrillo.....	79
2.3.3. Concreto .....	92
2.3.4. Madera.....	106
2.3.5. Electropanel o panel estructural .....	120
<b>2.4. Impacto ambiental en el proceso de elaboración.....</b>	<b>133</b>

2.4.1 Block .....	134
2.4.1 Ladrillo.....	142
2.4.3 Concreto .....	149
2.4.4 Madera .....	154
2.4.5 Electro panel o panel estructural .....	165
<b>2.5 Propiedades de los materiales .....</b>	<b>172</b>
2.5.1 Principios y conceptos básicos.....	177
2.5.2 Física de las construcciones.....	186
2.5.2.1 Física de las construcciones.....	186
2.5.2.2 Acústica de los materiales: Introducción a la Ingeniería Acústica.....	221
<b>2.6 Características y propiedades de los materiales. ....</b>	<b>244</b>
2.6.1 Madera.....	244
2.6.2 Concreto. ....	262
2.6.3 Block. ....	277
2.6.4 Ladrillo. ....	296
2.6.5 Panel estructural o electro panel. ....	305
<b>3. Resultados.....</b>	<b>312</b>
<b>3.1. Análisis comparativo: costos de construcción.....</b>	<b>313</b>
3.1.1 Ponderación de métodos.....	316
<b>3.2 Análisis comparativo: Propiedades de los materiales.....</b>	<b>317</b>
3.2.1 Análisis comparativo: Aislamiento acústico.....	317
3.2.1.1 Madera .....	318
3.2.1.2 Block.....	321
3.2.1.3 Ladrillo.....	324
3.2.1.4 Concreto.....	327
3.2.1.5 Electro panel o panel estructural. ....	329
3.2.2 Análisis comparativo: Resistencia al fuego. ....	332
3.2.2.1 Madera. ....	333
3.2.2.2 Block.....	334
3.2.2.3 Ladrillo.....	335
3.2.2.4 Concreto.....	336
3.2.2.5 Panel estructural o electro panel. ....	336
3.2.3 Análisis comparativo: Aislamiento térmico. ....	338
3.2.3.1 Madera .....	340
3.2.3.2 Block:.....	343
3.2.3.3 Ladrillo:.....	346
3.2.3.4 Concreto.....	349
3.2.3.5 Panel estructural o electro panel .....	351
3.2.4 Análisis comparativo: Propiedades mecánicas. ....	354
3.2.4.1 Madera. ....	355
3.2.4.2 Block.....	357
3.2.4.3 Ladrillo.....	358
3.2.4.4 Concreto.....	359
3.2.4.5 Panel estructural o electro panel .....	360
3.2.5 Análisis comparativo: Absorción de humedad.....	361
3.2.6 Resultados finales de propiedades.....	363

<b>3.3 Análisis comparativo: Impacto ambiental .....</b>	<b>363</b>
<b>3.4 Resultados finales del análisis .....</b>	<b>367</b>
<b>3.5. Ventajas y desventajas de los materiales .....</b>	<b>369</b>
<b>4. Conclusiones.....</b>	<b>376</b>
<b>5. Recomendaciones .....</b>	<b>378</b>
<b>6. Bibliografía .....</b>	<b>380</b>



# Lista de cuadros

Cuadro 1: Pendientes mínimas para techos de viviendas .....	36
Cuadro 2: Clasificación de morteros, según su resistencia a compresión .....	38
Cuadro 3: Resistencia a compresión de mampostería de bloques de concreto.....	38
Cuadro 4: Resistencia a compresión de la mampostería de ladrillos de barro cocido .....	39
Cuadro 5: Tipos de refuerzo vertical en muros confinados.....	45
Cuadro 6: Separaciones entre refuerzos verticales.....	45
Cuadro 7: Refuerzo mínimo en soleras.....	47
Cuadro 8: Refuerzo vertical mínimo para viviendas de dos niveles.....	48
Cuadro 9: Refuerzo vertical mínimo para viviendas de un nivel .....	48
Cuadro 10: Separación máxima entre columnas con acero mínimo.....	48
Cuadro 11: Propiedades físicas y mecánicas de los materiales.....	183
Cuadro 12: Propiedades físicas y mecánicas de los materiales.....	184
Cuadro 13: Propiedades físicas y mecánicas de los materiales.....	185
Cuadro 14: Temperaturas interiores de proyecto y valores máximos de la humedad..... relativa en relación a la temperatura exterior en verano.	196
Cuadro 15: Diámetro de capilares y altura que sube el agua en relación a los diámetros.....	200
Cuadro 16: Coeficientes de absorción de distintos materiales.....	224
Cuadro 17: Coeficientes de absorción experimentales de grupo de personas.....	229
Cuadro 18: Promedio de contenido de humedad en especies de madera.....	246
Cuadro 19: Esfuerzos admisibles de la madera.....	250
Cuadro 20: Conductividad térmica de los materiales.....	260
Cuadro 21: Características del agregado.....	264
Cuadro 22: Conductividad térmica del concreto.....	270
Cuadro 23: Conductividad térmica base en función de la densidad del hormigón seco.....	272
Cuadro 24: Factor K1 dependiente del contenido de humedad.....	272
Cuadro 25: Factor K2 dependiente del tipo de hormigón .....	273
Cuadro 26: Rangos de pesos unitarios de concretos con variedad de agregados.....	277
Cuadro 27: Mínimo de espesores de alma y caras.....	278
Cuadro 28: Cargas axiales permitidas en muros de block f'm 9.3 MPa.....	282
Cuadro 29: Cargas axiales excéntricas permitidas en muros de block.....	283

Cuadro 30: Altura máxima de muro para unidades huecas y sin refuerzo sujetas a una carga concéntrica y carga de viento.	284
Cuadro 31: Cargas axiales permitidas en muros de block reforzado sujetos a viento.	285
Cuadro 32: Valores R basados en el peso unitario del concreto y espesor del muro.	286
Cuadro 33: Valores R para muros típicos de mampostería de concreto.	287
Cuadro 34: Valores U para muros de mampostería de concreto de 15 cm con elementos huecos.	289
Cuadro 35: Clasificación acústica.	290
Cuadro 36: Coeficientes de reducción de ruido.	290
Cuadro 37: Pérdida de transmisión de sonido (ASTM E90) de muros de mampostería de concreto.	291
Cuadro 38: Relación entre pérdida de transmisión de sonido a través de un muro y las condiciones de audición en el lado silencioso.	293
Cuadro 39: Clasificación aislamiento de impacto para entrepisos y techos.	293
Cuadro 40: Mejoras acústicas en pisos de concreto debido a tratamientos.	294
Cuadro 41: Duración total de materiales para el acabado aplicados en muros de mampostería de concreto sujetos a fuego.	295
Cuadro 42: Tamaño modular de ladrillo (Brick institute of America)	297
Cuadro 43: Requerimientos mínimos	298
Cuadro 44: Resistencia a la compresión en ladrillos	299
Cuadro 45: Clasificación de coeficiente de transmisión para muros de mampostería	304
Cuadro 46: Propiedades mecánicas y físicas del electro panel.	306
Cuadro 47: Capacidades del electro panel sin refuerzo.	307
Cuadro 48: Coeficientes U de electro panel y otros materiales de construcción.	309
Cuadro 49: Reducción de sonido electro panel y otros materiales de construcción.	309
Cuadro 50: Normas a considerar en electro panel.	311
Cuadro 51: Dimensiones de modelo de habitación.	312
Cuadro 52: Costo de vivienda de mampostería.	314
Cuadro 53: Costo de vivienda de panel estructural	315
Cuadro 54: Costo de vivienda de muros fundidos	315
Cuadro 55: Costo de vivienda de madera	316
Cuadro 56: Comparación y ponderación de costos	316
Cuadro 57: Aislamiento acústico de ventana.	317

Cuadro 58: Aislamiento acústico de puerta.....	318
Cuadro 59: Aislamiento acústico de unidad de madera.....	319
Cuadro 60: Alternativas en madera.....	320
Cuadro 61: Clasificación paneles de madera. ....	320
Cuadro 62: Aislamiento acústico de unidad de block. ....	322
Cuadro 63: Alternativas en block.....	323
Cuadro 64: Clasificación block. ....	323
Cuadro 65: Aislamiento acústico de unidad de ladrillo .....	325
Cuadro 66: Alternativas ladrillo .....	325
Cuadro 67: Clasificación ladrillo .....	326
Cuadro 68: Aislamiento acústico de unidad de concreto fundido.....	328
Cuadro 69: Alternativas concreto fundido.....	328
Cuadro 70: Clasificación concreto fundido. ....	329
Cuadro 71: Aislamiento acústico de unidad de electro panel. ....	330
Cuadro 72: Alternativas electro panel. ....	331
Cuadro 73: Clasificación electro panel. ....	331
Cuadro 74: Resultados finales resistencia al fuego.....	337
Cuadro 75: Aislamiento térmico de unidad de madera.....	341
Cuadro 76: Alternativas térmicas para paneles de madera. ....	342
Cuadro 77: Clasificación térmica de paneles de madera.....	342
Cuadro 78: Aislamiento térmico de unidad de block.....	344
Cuadro 79: Alternativas térmicas para mampostería de concreto. ....	345
Cuadro 80: Clasificación térmica de mampostería de concreto.....	345
Cuadro 81: Aislamiento térmico de unidad de ladrillo.....	347
Cuadro 82: Alternativas térmicas para mampostería de arcilla.....	348
Cuadro 83: Clasificación térmica de mampostería de arcilla. ....	348
Cuadro 84: Aislamiento térmico de unidad de concreto. ....	350
Cuadro 85: Alternativas térmicas para concreto.....	350
Cuadro 86: Clasificación térmica de concreto. ....	351
Cuadro 87: Aislamiento Térmico de unidad de electro panel.....	353
Cuadro 88: Alternativas térmicas para electro panel. ....	353

Cuadro 89: Clasificación térmica de electro panel.....	354
Cuadro 90: Propiedades mecánicas de madera Santa María .....	355
Cuadro 91: Propiedades mecánicas de madera Pino.....	355
Cuadro 92: Propiedades mecánicas de madera Ciprés .....	355
Cuadro 93: Capacidad de carga de muros de madera.....	356
Cuadro 94: Resistencia a compresión del block.....	357
Cuadro 95: Capacidad de carga del block.....	357
Cuadro 96: Resistencia a compresión del ladrillo.....	358
Cuadro 97: Capacidad de carga del ladrillo.....	358
Cuadro 98: Resistencia del concreto.....	359
Cuadro 99: Capacidad de carga del concreto. ....	359
Cuadro 100: Propiedades mecánicas del electro panel.....	360
Cuadro 101: Capacidad de carga del muro de electro panel.....	361
Cuadro 102: Resultados finales absorción de humedad. ....	362
Cuadro 103: Resultados finales propiedades.....	363
Cuadro 104: Análisis de impacto ambiental block. ....	364
Cuadro 105: Análisis de impacto ambiental ladrillo. ....	365
Cuadro 106: Análisis de impacto ambiental concreto.....	365
Cuadro 107: Análisis de impacto ambiental madera.....	366
Cuadro 108: Análisis de impacto ambiental electro panel. ....	366
Cuadro 109: Resultados finales del análisis.....	367

# Lista de ilustraciones

Imagen 1: Construcciones de mampostería.....	5
Imagen 2: Esquema de muros reforzados internamente.....	9
Imagen 3: Esquema de muros confinados.....	10
Imagen 4: Esquema básico de panel estructural.....	12
Imagen 5: Muros de panel estructural, con y sin mortero.....	14
Imagen 6: Viviendas construidas en serie, de muros de concreto.....	15
Imagen 7: Colocación de concreto pre-mezclado.....	17
Imagen 8: Formaletas metálicas y accesorios.....	18
Imagen 9: Ilustración del eje tangencial de la madera.....	20
Imagen 10: Ilustración del eje radial en la madera.....	20
Imagen 11: Ilustración del eje axial en la madera.....	21
Imagen 12: Construcción de estructuras macizas.....	22
Imagen 13: Construcción de estructuras de placas.....	23
Imagen 14: Construcción de estructuras de poste y viga.....	24
Imagen 15: Distribución de aberturas en muros.....	33
Imagen 16: Cimentación de muros de mampostería.....	35
Imagen 17: Condominio de mampostería.....	37
Imagen 18: Esquema de muros de mampostería.....	40
Imagen 19: Ejemplo de techos livianos.....	41
Imagen 20: Cimentación mínima con losa de cimentación para muros en panel estructural.....	50
Imagen 21: Detalle de anclaje de muros en cimentación.....	52
Imagen 22: Detalle de juntas en muros.....	54
Imagen 23: Detalle unión entre paneles.....	54
Imagen 24: Detalle de cimiento corrido.....	60
Imagen 25: Detalle de cimentación con pilotes de madera.....	61
Imagen 26: Componentes principales de un muro de madera.....	63
Imagen 27: Tamizado de piedra pómez para su extracción.....	69
Imagen 28: Cantera para extracción de arena caliza volcánica.....	69
Imagen 29: Transporte de arena en camiones a la empresa de fabricación.....	70



Imagen 56: Contaminación de un horno artesanal en la parte de quemado.....	90
Imagen 57: Vista de horno exterior donde inicia el proceso de quemado del ladrillo.....	91
Imagen 58: Vista interior de cámara de horno donde se muestra la apilación de los ladrillos....	91
Imagen 59: Apilación de ladrillos para entrega.....	92
Imagen 60: Esquisto en cantera previo a su extracción .....	93
Imagen 61: Extracción de piedra caliza por medio de tractores .....	94
Imagen 62: Extracción de materia prima para la elaboración del cemento.....	95
Imagen 63: Esquema del proceso de elaboración del piedrín .....	96
Imagen 64: Arena para ser extraída en las orillas de los ríos .....	97
Imagen 65: Tamización de arena.....	97
Imagen 66: Proceso de transporte de materia prima a molino de homogenización.....	98
Imagen 67: Trituración de piedra caliza .....	99
Imagen 68: Pre homogenización del material en galeras .....	99
Imagen 69: Galera de pre homogenización.....	100
Imagen 70: Molido de crudo.....	100
Imagen 71: Separador por regulador de finura.....	101
Imagen 72: Horno de preparación de clinker.....	101
Imagen 73: Precalcinación y horno de quemado.....	102
Imagen 74: Transporte del clinker a los molinos de cemento .....	102
Imagen 75: Transporte del clinker a los molinos de cementos. ....	103
Imagen 76: Proceso de despacho a granel de cemento.....	103
Imagen 77: Proceso de empaque y despacho a pipas .....	104
Imagen 78: Tolva donde ingresa la materia prima a utilizar para la producción del material. ..	104
que es llevada a los silos de almacenamiento.	
Imagen 79: Básculas dosificadores de agregados .....	105
Imagen 80: Transporte de agregados .....	105
Imagen 81: Descarga de concreto en camiones agitadores.....	106
Imagen 82: Plantación natural de pino a utilizar .....	108
Imagen 83: Construcción de vivero y cuidado de plantación forestal .....	109
Imagen 84: Plantación ya sembrada en bosques.....	109
Imagen 85: Plantación forestal al tiempo de 25 años. ....	110
Imagen 86: Corte de árboles con motosierra. ....	111

Imagen 87: Transporte de troza en camiones. ....	111
Imagen 88: Trozas de madera almacenadas en aserradero previo al descortezado. ....	112
Imagen 89: Carro de transporte previo a ser descortezado. ....	113
Imagen 90: Sierra de corte de troza. ....	113
Imagen 91: Trozas de madera luego de ser descortezadas convertidas en flinch. ....	114
Imagen 92: Sierra múltiple alternativa que corta a medida la madera. ....	114
Imagen 93: Cepillado de madera para eliminar desperfectos. ....	115
Imagen 94: Secado de madera en horno (vista interior). ....	115
Imagen 95: Tirantes para techo, columnas y vigas de madera. ....	116
Imagen 96: Máquina encargada de desenrollar la madera y ser embobinada en chapas. ....	117
Imagen 97: Máquina de cortado de láminas de madera. ....	117
Imagen 98: Secado de chapas de madera. ....	118
Imagen 99: Prensado de chapas. ....	118
Imagen 100: Madera contrachapada. ....	119
Imagen 101: Xilofago (tipo de insecto) que daña la madera. ....	120
Imagen 102: Extracción de mineral de hierro. ....	121
Imagen 103: Extracción de cal luego de ser calcinada. ....	122
Imagen 104: Calcinación de piedra caliza donde libera dióxido de carbono. ....	123
Imagen 105: Brea que sale de los troncos de los arboles. ....	123
Imagen 106: Diagrama donde se muestra el origen del estireno que es básicamente del. ....	124
petróleo.	
Imagen 107: Diagrama básico de extracción de petróleo. ....	125
Imagen 108: Elaboración de hierro en un alto horno en México. ....	127
Imagen 109: Diagrama de proceso de elaboración de poliestireno expandible. ....	128
Imagen 110: Máquina preexpansadora para elaboración de poliestireno expandible. ....	128
Imagen 111: Pre expansión de poliestireno expandible. ....	129
Imagen 112: Proceso de cocción para elaboración de poliestireno. ....	130
Imagen 113: Secado en silos de poliestireno expandible. ....	130
Imagen 114: Perfilado del poliestireno expandido ya en planchas. ....	131
Imagen 115: Máquina de unión de poliestireno y acero para formar el panel estructural. ....	131
Imagen 116: Producción de mallas de acero. ....	132
Imagen 117: Panel estructural en muros para una casa. ....	132



Imagen 118: Panel estructural en gradas para una casa .....	133
Imagen 119: Fotos satelitales donde se muestra la degradación del suelo y bosque al explotar una cantera de grava. ....	135
Imagen 120: Extracción de arena donde se muestra la degradación del suelo .....	135
Imagen 121: Hidrosiembra en taludes afectada por el exceso de agua de los taludes.....	137
Imagen 122: Fuente proveedora de agua Xayá Pixcayá donde se observa el daño de los suelos. ....	138
Imagen 123: Materia prima apilada a intemperie generado de partículas de polvo .....	139
Imagen 124: Partículas de polvo en movimiento en el ambiente.....	140
Imagen 125: Desperdicios de la creación de blocks.....	141
Imagen 126: Degradación de suelo talpetoso o tepetate.....	143
Imagen 127: Cantera de arcilla en etapa de abandono donde se provocó lagunas de agua por exceso de uso de suelos. ....	144
Imagen 128: Generación de dióxido de carbono al quemar papel para secado de ladrillos ....	146
Imagen 129: Contaminación de ladrillera en Guatemala .....	147
Imagen 130: Residuos de ladrillos en terrenos abandonados .....	148
Imagen 131: Eliminación de árboles en cantera para extracción de materia prima en Guatemala. ....	149
Imagen 132: Línea de visión donde se muestra la distancia de la cementera de las poblaciones cercanas. ....	152
Imagen 133: Reducción de emisiones de carbono en 20 años. ....	153
Imagen 134: Pantano artificial para la reutilización de agua.....	154
Imagen 135: Quema de suelo en bosque talado para uso agrícola.....	156
Imagen 136: Regiones del Instituto Nacional de Bosques para control de áreas reforestadas	157
Imagen 137: Recuperación de bosques por regiones en Guatemala según el INAB en el año 2010 por el programa PINFOR. ....	158
Imagen 138: Recuperación de bosques por regiones en Guatemala según el INAB en el año 2010 por el programa PINPEP. ....	158
Imagen 139: Lepa de madera almacenada a la intemperie causa de generación de partículas de polvo. ....	159
Imagen 140: Almacenamiento de aserrín a intemperie que genera partículas más finas de polvo que puede llegar a los pulmones. ....	160
Imagen 141: Emisiones de gases en la etapa de combustión de secado de madera .....	162

Imagen 142: Relación del volumen de residuos con el volumen total por individuo de.....	164
madera.	
Imagen 143: Consumo de petróleo para la producción de poliestireno expandido .....	169
Imagen 144: Aplicaciones de poliestireno expandido en Europa.....	172
Imagen 145: Esfuerzos axiales. Compresión y tensión. ....	178
Imagen 146: Esfuerzo de torsión.....	179
Imagen 147: Esfuerzo de corte. ....	179
Imagen 148: Esfuerzo de flexión. ....	180
Imagen 149: Maquinaria para prueba de tensión, compresión y torsión.....	180
Imagen 150: Maquinaria para prueba de compresión. ....	181
Imagen 151: Mecanismo para prueba de Torsión. ....	182
Imagen 152: Diagrama Eesfuerzo-deformación unitaria.....	182
Imagen 153: Disipación de calor del cuerpo humano. ....	194
Imagen 154: Cambios de fase de primer orden.....	205
Imagen 155: Cámara de saturación adiabática. ....	211
Imagen 156: Termómetro húmedo. ....	213
Imagen 157: Psicómetro en forma de honda y aspirpsicrómetro de Assman. ....	215
Imagen 158: Psicómetros eléctricos.....	216
Imagen 159: Ondas directa y reflejada en un recinto. ....	222
Imagen 160: Acondicionamiento en locales con techos bajos y altos.....	228
Imagen 161: Transmisión de ondas sonoras a través de particiones. ....	233
Imagen 162: Reflexión de las ondas sonoras.....	234
Imagen 163: Distintas formas de penetración de ruido a un recinto. ....	235
Imagen 164: Aislamiento acústico de un material. ....	235
Imagen 165: Efecto de coincidencia.....	238
Imagen 166: Paredes dobles. ....	241
Imagen 167: Distintos tipos de paredes dobles. ....	242
Imagen 168: Estructuración de la madera.....	245
Imagen 169: Madera de verano y primavera.....	247
Imagen 170: Relación esfuerzo ejercido-esfuerzo admisible vs duración de la carga. ....	249
Imagen 171: Gráfico resistencia vs tiempo basado en la humedad contenida en el concreto .	263
Imagen 172: Gráfico contracción en el secado contra contenido de cemento.....	269

Imagen 173: Aislamiento acústico del concreto.....	275
Imagen 174: Formas y tamaños de los blocks. ....	279
Imagen 175: Texturas. ....	280
Imagen 176: Muros típicos en mampostería de concreto. ....	288
Imagen 177: Tipos de ladrillo. ....	296
Imagen 178: Muros de mampostería resistentes al fuego. ....	302
Imagen 179: Estructura de electro panel.....	305
Imagen 180: Uso de electro panel.....	308
Imagen 181: Material compuesto (ferrocemento). ....	310
Imagen 183: Planta y elevación de habitación. ....	312
Imagen 184: Modelo de vivienda de madera.....	318
Imagen 185: Cálculo índice global de pared frontal madera.....	319
Imagen 186: Modelo de vivienda de block. ....	321
Imagen 187: Cálculo índice global de pared frontal mampostería de concreto.....	322
Imagen 188: Modelo de vivienda de ladrillo. ....	324
Imagen 189: Cálculo índice global de pared frontal mampostería de cerámica. ....	324
Imagen 190: Modelo de vivienda de concreto. ....	327
Imagen 191: Calculo $R_g$ de pared frontal concreto fundido.....	327
Imagen 192: Modelo de vivienda de electropanel. ....	329
Imagen 193: Calculo $R_g$ de pared frontal electro panel.....	330
Imagen 194: Vivienda de madera bajo un incendio. ....	334
Imagen 195: Edificación de block bajo un incendio. ....	335
Imagen 196: Edificación de concreto bajo un incendio.....	336
Imagen 197: Calculo $U_g$ de pared frontal madera.....	341
Imagen 198: Calculo $U_g$ de pared frontal block. ....	344
Imagen 199: Calculo $U_g$ de pared frontal ladrillo.....	347
Imagen 200: Calculo $U_g$ de pared frontal concreto. ....	349
Imagen 201: Calculo $U_g$ de pared frontal electro panel.....	352
Imagen 202: Comparación propiedades mecánicas de la madera. ....	356

# Resumen

Existen distintos sistemas constructivos hoy en día en Guatemala, los principales sistemas van desde la construcción con block en primer lugar, seguido de la construcción con ladrillo y últimamente se ha comenzado con viviendas de concreto fundido *in situ*. A pesar de que cada una de los sistemas constructivos cuenta con ventajas ya sea estructural y económica, también cuentan con desventajas es por ello que se han ido desarrollando sistemas constructivos alternativos, los cuales podrían competir contra estos sistemas típicos. Con el nuevo concepto de construcciones verdes se podrán alcanzar construcciones amigables con el medio ambiente, las cuales permitirán reducciones en consumos, comodidad, además de contar también con las ventajas estructurales y económicas.

Uno de los factores que representan mayor impacto ambiental cuando hablamos de una construcción, es el impacto que tienen los materiales de construcción utilizados en cada sistema a la hora de su fabricación. Es por eso que se analizará cada uno de estos procesos detalladamente, para poder determinar el impacto que cada uno de estos tiene sobre medio ambiente.

Las propiedades de los materiales son esenciales para realizar una comparación entre sistemas verdes y sistemas típicos de construcción. Si se desea alcanzar un equilibrio entre las construcción y el impacto ambiental, los materiales que utilizamos son de mucha importancia, ya que debido a las propiedades que estos tengan, podremos lograr en muchos casos optimizar el material, reducir el consumo de energía eléctrica, proporcionar un ambiente saludable para el habitante entre otros, por lo que la física de las construcciones juega un papel importante para realizar dicha comparación.

El proyecto principal consiste en diseñar un modelo de habitación específico con los distintos sistemas considerados en el trabajo, para poder realizar una comparación global entre costos, propiedades físicas, térmicas, acústicas, mecánicas y físicas, y por último el impacto ambiental que tendrá la fabricación de los materiales. De este modo se tendrán parámetros para poder evaluar las ventajas y desventajas de cada sistema evaluado.

# 1. Introducción

A lo largo de la historia se ha observado que miles de superficies de ecosistemas naturales se han convertido en ecosistemas humanos, agrícolas y ciudades. Esto se debe principalmente a dos causas que son: el rápido crecimiento poblacional, actualmente somos más de 7 mil millones de personas y la revolución industrial que trajo un desarrollo tecnológico y procesos automatizados que a su vez provocaron un desequilibrio ecológico.

Actualmente el sector de la construcción, en el mundo, es el responsable del 50 por ciento de los recursos extraídos de la naturales, del 40 por ciento del uso de energía y el 50 por ciento de los desperdicios. Conociendo estas cifras tan significativas es necesario conocer los procesos de elaboración de los materiales de construcción en nuestro país y su impacto ambiental.

Durante muchos años se han ido creando materiales con el fin de satisfacer las demandas que incurre la construcción de ciertas estructuras. Dichos materiales serán sometidos a los distintos tipos de pruebas como a fenómenos climáticos, sismos, etc. Es por eso que al crear un material de construcción se deben realizar ensayos, para poder determinar sus propiedades mecánicas, o sea su resistencia a la compresión, tensión, corte, flexión y así a toda posible combinación de esfuerzos que se puedan dar en una estructura.

Aunque la resistencia es un factor primordial en la selección de un material, se deben de tomar en cuenta otros factores que influyen en la comodidad y confort del usuario de las construcciones ya que a fin de cuentas, entre más cómodo se sienta el usuario dentro de la estructura más se utilizara dicho material. Estos tienen su origen en la física de las construcciones, el cómo se comporta el aire, la temperatura, la humedad y en muchos casos el sonido dentro de dichas edificaciones. Además de lograr un equilibrio de estos factores para lograr la comodidad del usuario, también se podrá reducir el impacto ambiental, lo cual es un punto a favor de las construcciones, analizado desde el punto de vista de la física de las edificaciones.

La física de las construcciones es un tema muy importante dentro del proceso de construcción, en el cual se encuentran conocimientos de técnicas de acondicionamiento ambiental en Arquitectura y Urbanismo, conocimientos de acústica, de instalaciones hidráulicas a partir de estudios de fluidos, de la mecánica, con estudios de cinemática y dinámica de

sólidos, para el estudio de vibración en sólidos de mecanismos y equipos mecánicos, de las características térmicas.

La física de las construcciones estudia también cómo el aire, el calor, la humedad y el sonido además de otros factores afectan todo tipo de construcciones. Además, puede brindar mejores soluciones constructivas, haciendo que las edificaciones sean más eficientes y brindando más confort. La transferencia de calor es uno de los mayores temas de importancia. Se busca edificaciones con alta relación de energía-eficiencia y proporcionar altos estándares de confort y durabilidad.

Muchos de los problemas e incomodidades que surgen al habitar un lugar, provienen del ruido, la temperatura, el clima que se maneje en cada lugar y la humedad. En muchos países existen normas de control para que estos factores sean tomados en cuenta a la hora de construir viviendas, edificios, apartamentos, oficinas etc. Y todo dependerá del sector en que estén ubicadas y el uso que se le dará. Por lo que es de suma importancia evaluar estos factores al momento de iniciar una construcción. Sin embargo, en Guatemala estos conceptos no son conocidos dentro de la industria de la construcción típica.

Además, otro punto muy importante es que en la actualidad el ahorro de energía forma parte de una cultura de seguridad energética, de protección ecológica y economía en el uso de los recursos productivos. Para ello la eficiencia energética es actualmente un componente inseparable de la productividad económica, del avance tecnológico y de la competitividad de las naciones. Por lo que gracias a la física de las construcciones se disminuye el consumo de energía y generar condiciones de confort para el ser humano.

Guatemala es un país que tiene un alto grado de empirismo en el ámbito de la construcción, especialmente cuando se trata de la construcción de viviendas. Debido a este empirismo, los métodos constructivos de viviendas más comunes son los de mampostería, ya que son materiales que se han utilizado por muchos años, para los cuales muchas personas creen conocer las buenas prácticas de construcción. Sin embargo, existe una gran cantidad de problemas en la vivienda del país, debido a los malos criterios y poco conocimiento para la construcción de viviendas, tanto de métodos tradicionales, como la poca información de nuevos métodos que pueden satisfacer mejor ciertas necesidades que los métodos tradicionales.

## 1.1 Justificación

El impacto ambiental producido por la industria de la Construcción a partir de la Revolución Industrial constituye una deuda aún pendiente con el ambiente. A partir de esta revolución se da un cambio drástico en las técnicas empleadas en la producción de los materiales de construcción, dado que hasta entonces, los materiales eran naturales, procedentes del entorno inmediato, de fabricación simple y adaptada a las condiciones climáticas del territorio donde se llevaba a cabo la construcción.

A partir de la Revolución Industrial se observa un aumento en la demanda de materiales de construcción con la necesidad de extraer y procesar gran cantidad de materias primas, elaborar nuevos materiales y el tratamiento de una elevada cantidad de residuos de construcción y demolición, con el coste energético y el impacto ambiental que ello representa.

No obstante, siglos más tarde, el reto a superar por la industria de la construcción sigue siendo fundamentalmente el empleo de materiales de construcción de bajo impacto ambiental, dado que son estos los que más repercuten sobre el medio natural, sin descartar otros impactos relacionados con el consumo de energía, factores económicos y mejora de las propiedades.

En Guatemala los sistemas constructivos que predominan el mercado son los sistemas de construcción de mampostería y casas fundidas con la utilización de formaleta (Este último muy común en la construcción en serie). Este tipo de construcción es muy segura y confiable en cuanto a propiedades mecánicas, sin embargo es el método que tiene un mayor impacto ambiental, debido la cantidad de recursos naturales y energía necesaria en la producción de estos materiales de construcción.

Uno de los mayores retos que tienen los métodos alternativos de construcción dentro del país, es la barrera cultural que existe en la sociedad guatemalteca, en donde a través de mucho tiempo se ha tomado los métodos de mampostería prácticamente como la única opción de construcción en viviendas confiables.

Este trabajo tiene como objetivo el romper estos paradigmas y barreras sociales y comerciales existentes, al mostrar datos confiables y un análisis imparcial de distintos

métodos de construcción. Se busca abrir nuevas opciones y métodos constructivos para la elaboración de viviendas seguras.

Debido a estos factores, surge la necesidad llevar a cabo una descripción de los distintos procesos de construcción, evaluando los factores económicos, propiedades de los materiales utilizados y el impacto ambiental que tiene cada uno y así mediante un análisis concluir en cuanto a que tipo de construcción es conveniente utilizar en nuestro país.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo general:**

Realizar una comparación entre los sistemas constructivos verdes y los sistemas de construcción típicos de Guatemala, mediante el análisis de factores claves como el impacto ambiental, costos y propiedades de los materiales.

### **1.2.2 Objetivos específicos:**

- Describir los distintos sistemas constructivos existentes en el país de Guatemala, y los posibles sistemas alternos a estos.
- Analizar el impacto ambiental que ocasiona la producción de los distintos materiales utilizados en los sistemas de construcción a evaluar.
- Realizar un análisis comparativo de las propiedades térmicas, acústicas, mecánicas, y físicas de los distintos materiales usados en los sistemas de construcción a evaluar.
- Realizar un análisis de costos de un modelo de vivienda específico con cada uno de los sistemas constructivos presentados en esta investigación.
- Determinar las ventajas y desventajas de los distintos materiales de construcción analizados.



# 2. Marco teórico

## 2.1. Descripción general de los métodos constructivos

### 2.1.1 Mampostería

**2.1.1.1 Definición.** La mampostería es definida como la unión de bloques o ladrillos de arcilla o de concreto con un mortero para conformar sistemas monolíticos tipo muro, que pueden resistir acciones producidas por las cargas de gravedad o las acciones de sismo o viento.

Inicialmente la mampostería se hizo con piedra labrada que se unía mediante una “argamasa” de cal o aún “al tope”. Este material fue ampliamente usado en la antigüedad por los romanos para construir sus puentes y acueductos. En el conocido acueducto de Segovia en España, los bloques de piedra, cortados al detalle se unen sin argamasa.

En la actualidad, se aprovechan los ladrillos de arcilla y los bloques de concreto de gran resistencia, unidos mediante morteros de cemento. El muro así ensamblado se considera un elemento monolítico, siempre y cuando las uniones de las juntas puedan garantizar la transmisión de esfuerzos entre las piezas individuales, sin fallas o deformaciones considerables.

**Imagen 1: Construcciones de mampostería.**



Fuente:<http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/manizales/4080020/Lecciones/Capitulo%203/MAMPOSTERIA%20ESTRUCTURAL.htm>

### 2.1.1.2 Materiales para mampostería

- **Unidades prefabricadas para levantado.** Las unidades prefabricadas para levantado se refieren a las piezas que se utilizan para unirse una con otra, a través del uso de morteros cementantes. Las unidades de mampostería pueden estar hechas de barro cocido (Conocidas como ladrillos) o bien ser bloques prefabricados de concreto.

Actualmente en Guatemala, el Comité Guatemalteco de Normas (COGUANOR) es la entidad encargada de normar y regular la fabricación de dichas unidades, tomando en cuenta lo referente a la calidad, dimensiones, absorción y clasificaciones por resistencia de dichas unidades de mampostería.

- Ladrillos de barro cocido: Este tipo de unidades deberá cumplir con la norma COGUANOR NGO 41 022. Según la relación "área neta / área gruesa" medida sobre planos perpendiculares a la superficie de carga, las unidades se clasifican en ladrillo macizo o tayuyo y ladrillo perforado o tubular. La relación "área neta / área gruesa" para las unidades de ladrillo macizo deberá ser igual o mayor que 0.75 y para las unidades de ladrillo perforado esta relación será menor que 0.75. (AGIES NSE 7.4. NR9, 2000)
- Bloques de Concreto: Este tipo de unidades que generalmente posee un alto porcentaje de vacíos deberá cumplir con la norma COGUANOR NGO 41 054. Este tipo de unidades, es la más común en las construcciones del país, y existe una gran cantidad de fabricación de dichos bloques. En muchas ocasiones, estos no cumplen con la norma mencionada previamente. (AGIES NSE 7.4. NR9, 2000)
- **Morteros.** Los morteros usados para mampostería deberán ser una mezcla plástica de materiales cementantes y arena bien graduada. Dicha mezcla se utilizará para unir las unidades prefabricadas en la conformación de un elemento estructural. La dosificación de la mezcla deberá proveer las condiciones que permitan su trabajabilidad, capacidad para retención de agua, durabilidad y deberá contribuir a la resistencia a compresión del elemento estructural, por medio de la pega entre las unidades prefabricadas para levantado. El tamaño nominal máximo de las partículas en la mezcla será de 2.5 mm. (AGIES NSE 7.4. NR9, 2000)

- **Acero de refuerzo.** El acero de refuerzo que se emplee en el refuerzo vertical (mochetas), soleras o barras colocadas en el interior del muro deberá consistir en barras corrugadas que cumplan con la norma ASTM A703 o ASTM A615, o su equivalente COGUANOR NGO 36011. Se admitirá el uso de barras lisas únicamente en algunos estribos y dispositivos de amarre. No se permite el uso de barras de alta resistencia. (AGIES NSE 7.4. NR9, 2000)
- **Graut.** Se define como "graut" a una mezcla de cemento, arena, grava fina y la cantidad de agua necesaria para proporcionar una consistencia fluida, que permita su colocación dentro de las celdas de las piezas prefabricadas alrededor del acero para los muros con refuerzo uniformemente distribuido (muros con pines; contribuyendo de esta forma a la resistencia a compresión del muro conformado. Según el tamaño nominal máximo de los agregados el graut se clasificará como "graut fino" o "graut grueso". (AGIES NSE 7.4. NR9, 2000)
- **Graut fino:** Este tipo de graut se utilizará cuando el espacio para el vaciado es pequeño, angosto o congestionado con refuerzo. Entre el acero de refuerzo y la unidad prefabricada para levantado deberá existir un espacio libre mínimo de 6.5 mm. 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. (AGIES NSE 7.4. NR9, 2000)
- **Graut grueso:** Este tipo de graut se utilizará cuando el espacio entre el acero de refuerzo y la unidad prefabricada para levantado sea por lo menos 13 mm o cuando las dimensiones mínimas de las celdas en la pieza para levantado sean de 38 mm de ancho y 75 mm de largo. 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. (AGIES NSE 7.4. NR9, 2000)

### 2.1.1.3 Clasificación de mampostería

- **Muros reforzados 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 las sisas. Este tipo de muros son utilizados tanto en la construcción de viviendas, como en la edificación de

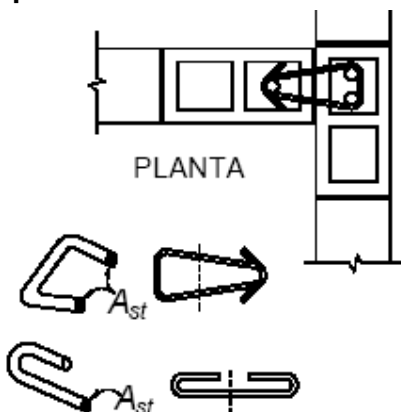
tabicaciones internas en edificios, muros de corte y muros de contención. Algunos requerimientos mínimos son:

- **Tamaño de las sisas:** Las sisas horizontales y verticales deberán tener un espesor mínimo de 7 mm y máximo de 13 mm. Las piezas cuyas celdas deban inyectarse posteriormente con graut, deberán tener sus sisas tanto horizontales como verticales completamente pegadas con mortero en todo el espesor del muro.
- **Inyección del graut:** Cuando se inyecten celdas de más de 1.40 m de altura se deberá hacer una ventana de limpieza en la parte baja del muro, la cual se cerrará después de haber hecho la limpieza y antes de colocar el graut. El graut de inyección se consolidará por medio de un vibrador o de una barra y se recompactará poco tiempo después de haber sido inyectado y consolidado. Ninguna celda donde se coloque refuerzo podrá tener una dimensión menor que 50 mm ni un área menor que 3,000 mm<sup>2</sup>.
- **Espesor mínimo para muros:** Los muros deberán tener un espesor nominal mínimo de 140 mm. La relación entre la distancia sin apoyos, ya sea horizontal o vertical, y el espesor del muro, deberá ser tal que atienda adecuadamente el pandeo tanto horizontal como vertical. Los muros no estructurales que tan sólo soportan su propio peso podrán tener un espesor mínimo de 100 mm y una relación de la distancia sin apoyos al espesor, máximo igual a 30. (AGIES NSE 7.4. NR9, 2000)
- **Relación de esbeltez para muros:** La relación de esbeltez para los muros estructurales se deberá tomar como la relación entre su altura libre y su espesor, y no deberá exceder de 20. Los muros con relaciones mayores que 20 deberán tener elementos adicionales de refuerzo, diseñados para imposibilitar el pandeo del muro.
- **Altura libre para muros:** Cuando el muro tenga soporte lateral tanto arriba como abajo, su altura libre será la altura del muro. Cuando no exista soporte lateral en la parte superior del muro, su altura libre se deberá tomar como dos veces la altura del muro, medida a partir del soporte inferior.
- **Intersección y amarre de muros:** Los muros que se encuentren, o lleguen a tope, sin traslape de piezas deberán amarrarse por medio de conectores o unirse entre sí, a menos que en el diseño se haya tenido en cuenta su separación.
- **Dimensión mínima para columnas aisladas:** La dimensión mínima para columnas de mampostería reforzada será de 290 mm.
- **Relación de esbeltez para columnas aisladas:** La relación de esbeltez para las columnas se deberá tomar como el valor mayor que se obtenga al dividir la altura libre en cualquier

dirección entre la dimensión de la sección de la columna en la dirección correspondiente. Este valor no deberá ser mayor que 20.

- **Altura libre para columnas aisladas:** Si la columna tiene soporte lateral en la dirección de ambos ejes principales tanto en la parte inferior como en la parte superior, la altura en cualquier dirección será la altura de la columna. Si la columna tiene soporte lateral en la dirección de ambos ejes principales en la parte inferior, y solo en un eje en la parte superior, su altura libre en la dirección del soporte lateral en la parte superior deberá ser la altura entre soportes. La altura libre en la dirección perpendicular a la dirección del soporte superior deberá ser dos veces la altura medida a partir del soporte inferior. Cuando no se tenga ningún soporte superior, la altura libre de la columna, para ambas direcciones se deberá tomar como dos veces la altura de la columna medida a partir del soporte inferior. (AGIES NSE 7.4. NR9, 2000)

**Imagen 2: Esquema de muros reforzados internamente**

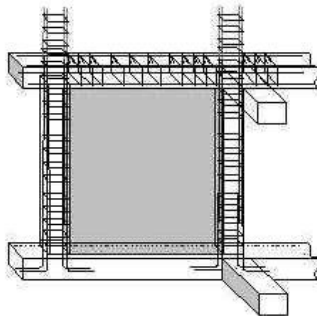


Fuente: <http://www.jjcoopsa.com.mx/reglamweb/amamposteria/norteccoma6.htm>

- **Muros confinados.** Se denominan muros confinados a los muros de mampostería que tienen el refuerzo vertical y horizontal concentrado en elementos de concreto, conocidas como mochetas y soleras respectivamente. Este tipo de muros son usados más comúnmente en la construcción de viviendas y construcciones de mayor magnitud. Algunos de los requisitos mínimos para este tipo de construcciones son:
- **Tamaño de las sisas:** Las sisas horizontales y verticales deberán tener un espesor mínimo de 7 mm y máximo de 13 mm. Todas las sisas horizontales y verticales deberán quedar pegadas con el mortero.

- **Espesor mínimo para muros:** Los muros deberán tener un espesor nominal mínimo de 140 mm. La relación entre la distancia sin apoyos, ya sea horizontal o vertical, y el espesor del muro, deberá ser tal que atienda adecuadamente el pandeo tanto horizontal como vertical. Los muros no estructurales que tan solo soportan su propio peso podrán tener un espesor mínimo de 100 mm y una relación de la distancia sin apoyos al espesor, máximo igual a 30.
- **Relación de esbeltez para muros:** La relación de esbeltez para los muros estructurales deberá tomarse como la relación entre su altura libre y su espesor, y no deberá exceder de 25. Los muros con relaciones mayores que 25 deberán tener elementos adicionales de refuerzo, diseñados para imposibilitar el pandeo del muro.
- **Altura libre para muros:** Cuando el muro tenga soporte lateral tanto arriba como abajo, su altura libre será la altura del muro. Cuando no haya soporte lateral en la parte superior del muro, su altura libre se deberá tomar como dos veces la altura del muro, medida a partir del soporte inferior.

**Imagen 3: Esquema de muros confinados**



Fuente: <http://micigc.uniandes.edu.co/VIS/mamposte.htm>

## 2.1.2 Panel estructural o electropanel

**2.1.2.1 Definición.** El electropanel es un material basado en la tecnología del ferrocemento. El ferrocemento es un material compuesto, hecho de mortero de cemento y un emparrillado de acero de diámetro pequeño, (Normalmente electro soldada). Los materiales que integran al ferrocemento son generalmente de consistencia frágil, las que se refuerzan con fibras dispersas a través del compuesto, dando como resultado mejores comportamientos estructurales. (Alfaro, 2004)

Este material que es una forma especial de concreto reforzado, muestra un comportamiento diferente del concreto reforzado común, en cuanto a su funcionamiento

efectivo, resistencia y aplicaciones potenciales, por lo que debe ser clasificado como un material distinto. (Alfaro, 2004)

Debido a la dispersión de las fibras en la matriz frágil, el ferrocemento ofrece posibilidades convenientes y prácticas de lograr mejoras en muchas de las propiedades físicas del material, tales como: fractura, resistencias a la tensión y a la flexión, flexibilidad, resistencia a los esfuerzos de trabajo y al impacto, así como ventajas en su fabricación. (Alfaro, 2004)

La diferencia del electropanel con el ferrocemento radica en que la armadura del electropanel es tridimensional, o sea, dos caras de malla electrosoldada de acero formando una estructura tridimensional con apariencia reticular en ambas caras del panel. (Alfaro, 2004)

Además, esta estructura contiene un núcleo de espuma de poliestireno expandido, lo cual da como aparente resultado una placa aislante, con retícula exterior de alambre. Entre el núcleo de poliestireno y las dos mallas debe existir, por lo menos, un espacio mínimo de 9.5 milímetros para permitir el agarre del mortero que se aplica en ambas caras para su recubrimiento. (Alfaro, 2004)

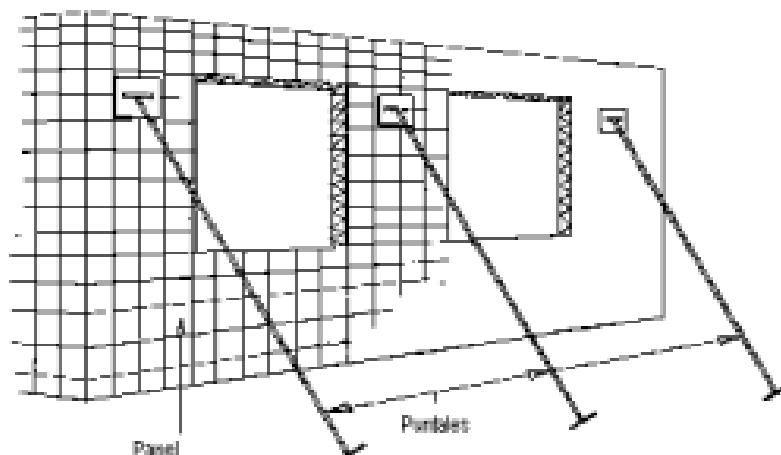
Este material tiene una gran versatilidad, la cual es muy apropiada para producir elementos necesarios en la construcción de viviendas, debido a su durabilidad y la resistencia a la intemperie. Contrariamente a los materiales más convencionales, el electropanel es un material que puede ser moldeado fácilmente. Este material puede cubrir grandes luces lo que constituye una ventaja pues disminuye la necesidad de construir más apoyos. (Alfaro, 2004)

En la construcción de vivienda, el electropanel se utiliza para construir, tanto paredes internas como externas, puede ser utilizado para edificaciones de uno y dos niveles. En las de un nivel pueden ser diseñados como cualquier muro tradicional sin que se necesite refuerzo alguno. (Alfaro, 2004)

La idea fundamental de este material, es que el concreto puede sufrir deformaciones importantes en la cercanía del refuerzo y la magnitud de las deformaciones depende de la distribución y subdivisión del refuerzo a través de la masa del concreto. Existen diferentes tipos de electropanel y sus diferencias radican principalmente en la estructura de malla electrosoldada, tanto en el calibre del alambre como en la separación entre las escalerías de acero en forma de zig-zag, también existen diferencias en el espesor de la espuma de poliestireno, estas diferencias no producen una variación importante en la resistencia del material. (Alfaro, 2004)

Generalmente, los paneles de este material tienen un ancho de 1.22 metros y 2.44 metros de largo lo que hace un área por panel aproximada de 3 m<sup>2</sup>, con peso propio del panel en paredes con recubrimiento mínimo de 25mm de mortero en ambas caras es de aproximadamente 124 kg/m<sup>2</sup>. (Alfaro, 2004)

**Imagen 4: Esquema básico de panel estructural**



Fuente: [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_2429\\_C.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_2429_C.pdf)

#### 2.1.2.2 Materiales usados en panel estructural

- **Malla soldada.** Este es uno de los componentes esenciales de este material. Las mallas, consisten en varillas de acero delgado soldadas que forman retículas, estas varillas deben ser fáciles de manejar y flexibles para poderlas doblar en las esquinas agudas. La función de esta malla y de la varilla de refuerzo es en primer lugar actuar como marco para dar forma y sostener el mortero en estado fresco, cuando endurece el mortero la función de la varilla es absorber los esfuerzos de tensión sobre la estructura que el mortero por sí solo no puede soportar. Dependiendo de la concentración y dimensiones del refuerzo será el grado en que se reduzca la fracturación de la estructura. Generalmente, el alambre del que está formado, tanto la malla como las escalerías es de acero que varía entre calibre 12 y 14. (Alfaro, 2004)
- **Plancha de poliestireno.** El poliestireno es un material cuya base es un líquido llamado estireno el cual contiene un agente de expansión cuyas moléculas se polimerizan y le dan origen a las macromoléculas de poliestireno. (Alfaro, 2004)



Para producir este material, el estireno se mezcla con agua y después se polimeriza en una caldera, la cual da origen a pequeñas gotas que se preparan en lavado y secado y luego se clasifican por tamaño por medio de tamices. (Alfaro, 2004)

Estas pequeñas gotas o perlas son manipuladas sometiéndose a la acción del agua caliente o vapor, esto produce que las gotas de poliestireno se ablanden provocando que el agente de expansión se dilate y expanda las perlas hasta un volumen cincuenta veces superior a su tamaño original. Tras un reposo intermedio, durante el cual se inyecta aire en estas partículas, se llevan a un molde donde se someten de nuevo a vapor, lo que provoca que se expandan más y se solden, con este proceso se obtiene los bloques de donde se extraen las planchas que se utilizan en los electro paneles. (Alfaro, 2004)

La espuma de poliestireno contiene un máximo de 98% de volumen de aire, por lo cual el peso de las planchas es muy bajo, por poseer células cerradas lo que significa que no tiene capilaridad alguna este material es impermeable. (Alfaro, 2004)

Además de las características mencionadas, podemos decir que el aire en reposo que se encuentra dentro de las celdillas cerradas y la propiedad natural del material en sí, produce que el coeficiente de conductividad térmica sea muy bajo. Entonces, podemos decir, que el poliestireno es un material termoplástico con estructura celular cerrada, que no es tóxico y es auto extingible con una densidad aproximada de 12 a 15 kg/m<sup>3</sup> y un coeficiente de conductividad aproximado de 0.028kcal/Hm<sup>2</sup>°C. También posee propiedades mecánicas, térmicas, acústicas, de flotación, es resistente a microorganismos, no es absorbente. (Alfaro, 2004)

- **Cemento.** El cemento puede describirse como un material con propiedades de adherencia y cohesión. En presencia del agua, el cemento reacciona para formar un gel cementante que con el tiempo produce una masa firme y dura, esta pasta en su estado fresco, aglutina las partículas del agregado que da como resultado un material denso y quebradizo. (Alfaro, 2004)
- **Agregado.** El agregado es el material inerte disperso dentro de la pasta de cemento, el cual ocupa aproximadamente las dos terceras a las tres cuartas partes del volumen del mortero. El agregado utilizado para el mortero del electropanel es el agregado fino que lo constituye la arena, la mayor parte de esta debe pasar por el tamiz de 5mm de abertura. Debe tenerse mucha precaución en la selección de las arenas ya que las arenas blandas pueden verse seriamente afectadas por la abrasión y reacciones químicas. (Alfaro, 2004)

Un material poroso permitirá la entrada de humedad dentro de secciones muy delgadas afectando la durabilidad y el comportamiento estructural del mortero. (Alfaro, 2004)

- **Aditivos.** La función de un aditivo, consiste en modificar alguna propiedad o característica del mortero ya sea en estado fresco o ya endurecido. Existe una gama de aditivos que pueden ser empleados en la elaboración del electropanel, los cuales le proporcionan ciertas características necesarias al mortero. (Alfaro, 2004)

Se puede utilizar aditivos con inclusión de aire, el cual sirve para mejorar la trabajabilidad, la retención de agua, hacen al mortero resistente a las heladas y mejoran la cohesión. También existen los impermeabilizantes integrales que reducen la absorción del agua, estos deben incluirse en proporciones menores al 2% del peso del cemento. (Alfaro, 2004)

Se pueden utilizar retardadores o acelerantes de fraguado, los retardantes son útiles en climas muy cálidos o sólo en caso necesario de la obra, los acelerantes son recomendados para climas muy fríos debido a que el frío retarda el fraguado del mortero. Además se pueden encontrar aditivos que neutralizan la corrosión. El uso de los aditivos debe ser controlado ya que pueden afectar la resistencia del mortero. (Alfaro, 2004)

Cabe mencionar que todos los aditivos que se pueden utilizar, no son parte esencial del electropanel, es decir estos se usan con el objetivo de lograr una mejora o facilidad en el proceso constructivo. Sin embargo no son totalmente necesarios y la ausencia de los mismos no causaran que el electropanel pierda su resistencia estructural. (Alfaro, 2004)

**Imagen 5: Muros de panel estructural, con y sin mortero**



Fuente: Proyecto Centra Norte

## 2.1.3 Construcción de viviendas en serie con muros de concreto

**2.1.3.1 Definición.** El concreto es básicamente una mezcla de dos componentes: agregados y pasta. La pasta, compuesto de cemento y agua, une a los agregados (arena y grava o piedra triturada), para formar una masa semejante a una roca ya que la pasta endurece debido a la reacción química entre el cemento y el agua.

El concreto es uno de los materiales más utilizados a nivel mundial, debido a la versatilidad del mismo y la facilidad que ofrece para los procesos constructivos, al igual que la facilidad que ofrece para encontrar mano de obra capacitada para el trabajo de dicho material.

Las casas de muros fundidos de concreto, han ido tomando un auge muy grande en los últimos años, debido al crecimiento en cantidad de la construcción de complejos de vivienda en serie. La decisión de usar casas con muros de concreto en las viviendas en serie se deben a la rapidez y facilidad de su construcción, ya que permite tener casas de dos niveles con obra gris finalizada (Con ayuda de acelerantes), según la experiencia de la empresa, menos de una semana.

**Imagen 6: Viviendas construidas en serie, de muros de concreto**



Fuente: [http://www.concrete.net.au/concrete\\_structures/residential\\_documents.php?id=92&page=1](http://www.concrete.net.au/concrete_structures/residential_documents.php?id=92&page=1)

### 2.1.3.2 Materiales y equipos a utilizar

- **Concreto.** Como se ha especificado anteriormente, el concreto es la mezcla de cemento (Normalmente tipo Portland) con agregados (fino o arena y grueso o grava) con agua para que estos reaccionen y formen una estructura monolítica. Las especificaciones de los materiales que se debe usar para llevar a cabo el concreto en construcción de viviendas según las normas Agies, se presenta a continuación:
- **Cemento:** Debe usarse, un cemento hidráulico especificado por desempeño de acuerdo a la norma NTG 41095 (ASTM C1157) del tipo UGC (Uso general de la construcción) y clase de resistencia de 280 kg/cm<sup>2</sup> (28 MPa) a los 28 días. Para casos especiales, pueden seleccionarse otros tipos de cementos, por ejemplo: Moderada resistencia a sulfatos (MRS) para construcciones cercanas al mar o demoderado calor de hidratación (MCH) para lugares muy calurosos.
  - El cemento debe estar en su empaque original, fresco y al utilizarse se debe asegurar que conserve sus características de polvo fino sin grumos.
  - El cemento se debe almacenar en un lugar techado, que proteja al mismo de la lluvia y de la humedad evitando su contacto con paredes o muros que puedan humedecerlo.
  - En los trabajos pequeños, y en forma temporal, se puede permitir el almacenamiento al aire libre, en cuyo caso debe proporcionarse una plataforma separada del suelo, con amplia cubierta impermeable.
  - El cemento en sacos, no debe ser apilado durante su transporte o almacenamiento, en pilas de más de 10 sacos de alto.
  - El cemento no debe almacenarse por un tiempo mayor de dos meses. (AGIES NSE 4 NR9: 2000)
- **Agregados:** Constituyen del 60 al 75% del volumen de una mezcla típica de concreto, por lo que sus características influyen mucho en la calidad del concreto. El término agregados comprende tanto las arenas, gravas naturales como las arenas y piedrines obtenidos por trituración. Deben cumplir con la norma NTG41007 (ASTM C33) para agregados de densidad normal, con la norma ASTM C330 para agregados livianos, y con la norma ASTM C144 Especificaciones para agregados de morteros de mampostería.
  - La limpieza, estabilidad volumétrica, resistencia, forma y textura de las partículas son importantes. Los agregados se consideran limpios si están libres de arcillas dañinas, limo, mica, esquistos, materia orgánica vegetal, humus, tierra, sales químicas agresivas o reactivas (sulfuros, sílice reactivos con álcalis) y partículas recubiertas.

- Las partículas planas y alargadas (longitud mayor que 5 veces el espesor promedio) deben evitarse porque perjudican la trabajabilidad del concreto, resultando mezclas con más arena, cemento y agua. El porcentaje no debe sobrepasar el 15% en peso.
- La granulometría y el tamaño máximo de los agregados son importantes debido a su efecto en la dosificación, trabajabilidad, economía, porosidad y contracción del concreto.
- La grava o pedrín no debe ser friable o desmenuzable ni tener tamaños mayores a 50 mm.
- Los agregados para concreto deben de obtenerse preferiblemente de plantas que produzcan de acuerdo a las norma NTG 41007 (ASTM C33) y que puedan certificar la calidad del producto. (AGIES NSE 4 NR9: 2000)

### Imagen 7: Colocación de concreto pre-mezclado



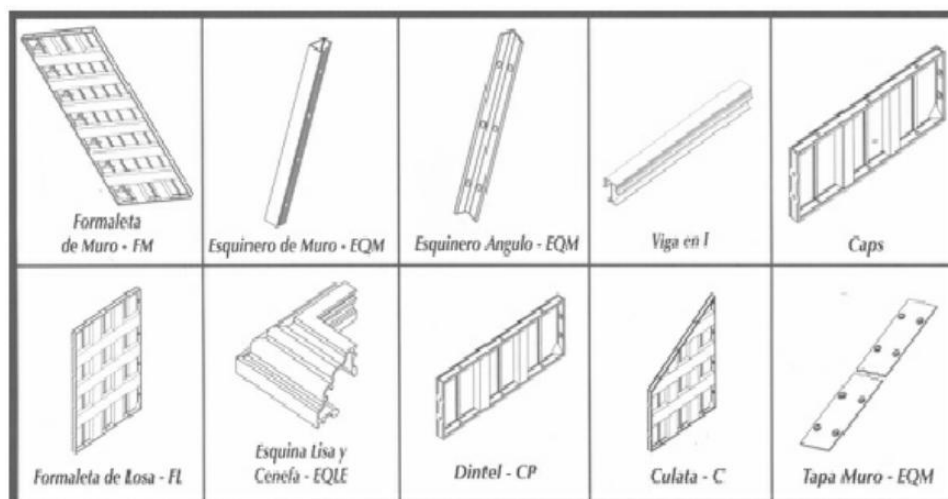
Fuente: <http://www.bideco.com.mx/tecnico/mezclas/concreto.html>

- **Formaletas para muros.** Las formaletas son el equipo utilizado en la construcción como molde para que el concreto que se verta en el mismo tome la forma que se busca y pueda tener dentro de la misma el proceso de endurecimiento necesario para poder llevar a cabo su proceso de fraguado sin sufrir ninguna deformación o daño estructural que cause problemas a la estructura.

Las formaletas pueden ser de madera o metálicas, sin embargo en la construcción de viviendas en serie con muros de concreto, son utilizadas especialmente las metálicas ya que estas se pueden usar una gran cantidad de veces, lo cual reduce costos en la construcción de las mismas.

- **Formaletas de acero:** Las formaletas metálicas de acero son un sistema industrializado de módulos metálicos manuales para construir concreto a la vista. Este sistema multiusos es adaptable por su versatilidad a cualquier tipo de obra en concreto y diseño arquitectónico.
  - Sus módulos son elaborados en lámina de características especiales, que con un mantenimiento normal pueden ser usados cientos de veces. Las formaletas metálicas de acero se instalan de manera fácil y rápida, y las conexiones entre sí se realizan con accesorios prácticos.
  - Su rendimiento promedio se estima en 100 m<sup>2</sup> de fundición de concreto o en una vivienda diaria. Este sistema permite fundir monolíticamente muro y losa, y deja un acabado completamente liso y listo para recibir cualquier tipo de acabado.
- **Formaletas de aluminio:** Las formaletas de aluminio están hechas en aluminio estructural, con perfiles extruidos y amachambrados de gran resistencia y peso liviano, que se ensamblan entre sí de manera rápida, lo que permite construir una vivienda por día.
  - Este sistema de formaletas reduce costos de obra, y facilita todo el proceso, encofrado, fundición y desencofrado.

**Imagen 8: Formaletas metálicas y accesorios**



Fuente: <http://es.scribd.com/doc/39417873/GUÍA-DE-CONSTRUCCIÓN-DE-VIVIENDAS-EN-SERIE-CON-SISTEMAS-ESTRUCTURALES-PREFABRICADOS-Y-FABRICADOS-IN-SITU>

- **Acero.** El acero de refuerzo utilizado normalmente en este tipo de viviendas son paneles de Malla electro soldada, normalmente de grado 70. También son utilizadas varillas o barras corrugadas de diámetros moderados (#3 y #4). Normalmente éstas son utilizadas de grado 40 y 60.

## 2.1.4 Construcción de viviendas de madera

**2.1.4.1 Definición y descripción de la madera.** La madera proviene de los árboles. El origen de las cualidades o defectos que posee pueden determinarse a partir del árbol de donde proviene. La madera tiene una compleja estructura natural, diseñada para servir a las necesidades funcionales de un árbol en vida, más que ser un material diseñado para satisfacer necesidades de construcción. (CORMA Centro de Transferencia Tecnológica CTT)

La madera elaborada a través de un proceso de aserrío se denomina pieza de madera y posee propiedades definidas. La madera tiene ciertas propiedades básicas que están presentes en ellas independientemente de la especie. La madera puede ser considerada como un material biológico, anisotrópico e higroscópico. (CORMA Centro de Transferencia Tecnológica CTT)

Es un material biológico, ya que está compuesto principalmente por moléculas de celulosa y lignina. Siendo madera elaborada, puede ser biodegradada por el ataque de hongos e insectos taladradores, como son las termitas. (CORMA Centro de Transferencia Tecnológica CTT)

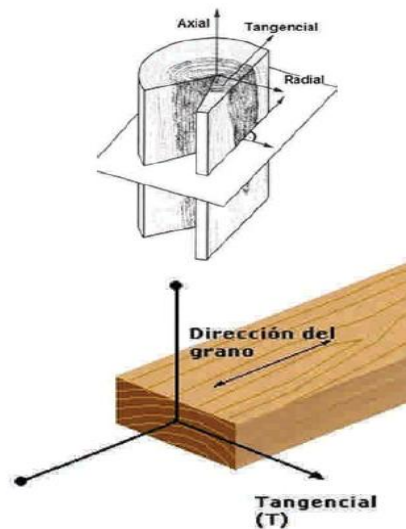
Por ello, a diferencia de otros materiales inorgánicos (ladrillo, acero y concreto, entre otros), la madera debe tener una serie de consideraciones de orden técnico que garanticen su durabilidad en el tiempo. (CORMA Centro de Transferencia Tecnológica CTT)

La madera es un material anisotrópico. Según sea el plano o dirección que se considere respecto a la dirección longitudinal de sus fibras y anillos de crecimiento, el comportamiento tanto físico como mecánico del material, presenta resultados dispares y diferenciados. Para tener una idea de cómo se comporta, la madera resiste entre 20 y 200 veces más en el sentido del eje del árbol, que en el sentido transversal. (CORMA Centro de Transferencia Tecnológica CTT)

Debido a este comportamiento estructural tan desigual, se ha hecho necesario establecer en la madera, las siguientes referencias:

- Eje tangencial: El eje tangencial, como su nombre lo indica, es tangente a los anillos de crecimiento y perpendicular al eje longitudinal de la pieza.

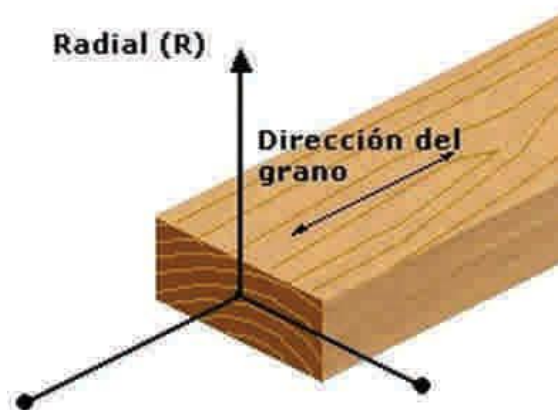
**Imagen 9: Ilustración del eje tangencial de la madera**



Fuente: Manual: La Construcción de Viviendas en Madera.

- Eje radial y: El eje radial es perpendicular a los anillos de crecimiento y al eje longitudinal.

**Imagen 10: Ilustración del eje radial en la madera**



Fuente: Manual: La Construcción de Viviendas en Madera.



- Eje axial o longitudinal: Este eje es paralelo a la dirección de las fibras y por ende, al eje longitudinal del tronco. Forma una perpendicular respecto al plano formado por los ejes tangencial y radial.

**Imagen 11: Ilustración del eje axial en la madera**



Fuente: Manual: La Construcción de Viviendas en Madera.

La madera es un material higroscópico. Tiene la capacidad de captar y ceder humedad en su medio, proceso que depende de la temperatura y humedad relativa del ambiente. Este comportamiento es el que determina y provoca cambios dimensionales y deformaciones en la madera.

Actualmente, la madera es un material de construcción para pequeñas edificaciones que se está utilizando en grandes cantidades, especialmente en países desarrollados, ya que tiene excelentes propiedades amigables con el medio ambiente, reduciendo el consumo de energía de los usuarios y teniendo un proceso de construcción con pocos desechos de obra. (CORMA Centro de Transferencia Tecnológica CTT)

#### 2.1.4.2 Tipos de construcción de viviendas de madera

- **Estructuras macizas.** Sistema constructivo que por su aspecto de arquitectura, solución estructural y constructiva, es particularmente diferente. Su presentación es de una connotación de pesadez y gran rigidez por la forma en que se disponen los elementos que lo constituyen, en este caso rollizo o basa. (CORMA Centro de Transferencia Tecnológica CTT)

Estructuralmente no corresponde a una solución eficaz, ya que por la disposición de las piezas, éstas son solicitadas perpendicularmente a la fibra, o sea en la dirección en la cual la resistencia es menor. Sin embargo, disponer de esta forma el material facilita el montaje de los diferentes elementos que conforman la estructura de la vivienda. (CORMA Centro de Transferencia Tecnológica CTT)

Otra ventaja que ofrece es la buena aislación térmica, garantizada por la masa de la madera, pero presenta problemas en la variabilidad dimensional por efecto de los cambios climáticos, los que afectan en gran medida los rasgos de ventanas y puertas, como también las instalaciones sanitarias. (CORMA Centro de Transferencia Tecnológica CTT)

Hoy el avance de la industria ha permitido mejorar el sistema de construcción maciza, introduciendo nuevos diseños, aprovechando los aspectos de aislación, facilitando y mejorando los aspectos estructurales y los de montaje de la construcción. (CORMA Centro de Transferencia Tecnológica CTT)

**Imagen 12: Construcción de estructuras macizas**



Fuente: Manual: La Construcción de Viviendas en Madera.

- **Estructuras de placas.** La necesidad de reducir los plazos en la construcción y de mejorar y garantizar la calidad de terminación del producto ha conducido a que gran parte de los elementos que conforman la estructura de la vivienda sean fabricados y armados en industrias especializadas o en talleres de las propias empresas constructoras y cuya aplicación se ha ido acentuando en la medida que aumenta la mecanización de los procesos constructivos. (CORMA Centro de Transferencia Tecnológica CTT)

Este sistema básicamente consiste en la fabricación de paneles que están conformados por bastidores de perfil de madera, provistos de revestimiento que le imprimen la rigidez y arriostramiento al conjunto. (CORMA Centro de Transferencia Tecnológica CTT)

A cada panel que corresponde se le incorpora la instalación eléctrica, sanitaria, aislación térmica, barreras de vapor y humedad, puertas y ventanas, para luego ejecutar en obra los anclajes a la fundación, uniones de encuentros y colocación de revestimientos. (CORMA Centro de Transferencia Tecnológica CTT)

La gran fortaleza que ofrece este sistema constructivo es el fácil desarme de los elementos estructurales que conforman la vivienda, por lo que las soluciones de las uniones como pernos, piezas de madera, clavos y perfiles de acero deben ser de fácil acceso y simple mecanismo. (CORMA Centro de Transferencia Tecnológica CTT)

El armado de estos paneles está regido por la estructuración de construcciones de diafragmas, donde los paneles se disponen de forma que se arriostren y se obtenga la rigidez necesaria para la estructura. (CORMA Centro de Transferencia Tecnológica CTT)

**Imagen 13: Construcción de estructuras de placas**



Fuente: Manual: La Construcción de Viviendas en Madera.

- **Sistema de entramados.** Son aquellos cuyos elementos estructurales básicos se conforman por vigas, pilares o columnas y pie derecho. Según la manera de transmitir las cargas al suelo de fundación podemos distinguir los sistemas:
  - De poste y viga: Son aquellos en que las cargas son transmitidas por las vigas que trasladan a los postes y estos a las fundaciones. Utilizado principalmente cuando se deben salvar luces mayores a las normales en una vivienda de dos pisos, pudiendo dejar plantas libres de grandes áreas. Utiliza pilares o postes, los cuales están empotrados en su base y se encargan de recibir los esfuerzos de la estructura de la vivienda a través de las vigas maestras ancladas a estos, sobre las cuales descansan las viguetas que conformarán la plataforma del primer piso o del entrepiso. Las diferentes piezas de madera van entrelazadas entre sí, lo que hace necesario un ensamble en los más diversos ángulos.
  - En muchos casos la resolución adecuada de las uniones es la que caracteriza la calidad de la construcción, que en general se resuelve empleando herrajes metálicos o conectores especiales, los que entregan solidez y seguridad a la unión. En general, en la mayoría de las uniones estructurales, según sea la relación de esfuerzos entre las piezas, deberá elegirse el sistema más adecuado, cuidando que las dimensiones de los elementos de transmisión generalmente metálicos, estén en relación con la sección de los elementos de madera.

**Imagen 14: Construcción de estructuras de poste y viga**



Fuente: Manual: La Construcción de Viviendas en Madera.

- De paneles soportantes: Son aquellos en que las cargas de la techumbre y entrepisos son transmitidas a la fundación a través de los paneles. Se divide en:
  - Sistema continuo: Los pies derechos que conforman los tabiques estructurales perimetrales e interiores son continuos, es decir, tienen la altura de los dos pisos (comienzan sobre la fundación y terminan en la solera de amarre superior que servirá de apoyo para la estructura de techumbre). Este sistema constructivo considera fijar la estructura de plataforma del primer piso y de entrepiso directamente a los pies derecho de los tabiques estructurales. Las vigas del primer piso se fijan al pie derecho por el costado de éste y se apoyan sobre la solera inferior del piso. Las vigas del entrepiso también se fijan a los pie derecho por el costado y se apoyan sobre una viga, la cual está encastrada y clavada a los pie derecho. Esta disposición permite conformar un marco cuyas uniones tienen cierto grado de empotramiento. La secuencia constructiva tiene la virtud de colocar la estructura de la techumbre y su cubierta después de colocados los pie derecho, lo que genera un recinto protegido para trabajar en casi todas las etapas del proceso. Este sistema se ha dejado a utilizar debido a la poca resistencia al fuego.
  - Sistema de plataforma: Es el método más utilizado en la construcción de viviendas con estructura en madera. Su principal ventaja es que cada piso (primero y segundo nivel) permite la construcción independiente de los tabiques soportantes y auto soportante, a la vez de proveer de una plataforma o superficie de trabajo sobre la cual se pueden armar y levantar. Paralelamente a la materialización de dicha plataforma de primer piso de concreto o madera, se pueden prefabricar externamente los tabiques para ser erguidos a mano o mediante sistemas auxiliares mecánicos simples. La plataforma de madera se caracteriza por estar conformada por elementos horizontales independientes de los tabiques, apoyados sobre la solera de amarre de ellos, la que además servirá como una barrera cortafuego a nivel de piso y cielo para la plataforma.

## 2.2 Especificaciones y métodos simplificados de diseño estructural de viviendas

### 2.2.1 Especificaciones generales para viviendas en Guatemala.

Actualmente en Guatemala, la construcción de viviendas es muy deficiente en la mayor parte de las poblaciones, y esto no se debe únicamente a la situación socioeconómica de los propietarios, sino a que la mayor parte de las viviendas son diseñadas y construidas por maestros de obras o albañiles, a base de reglas y conocimientos empíricos, y no se toman en cuenta todas las normas y recomendaciones existentes para la construcción del distinto tipos de viviendas.

Los problemas con la construcción de viviendas en el país, no se debe únicamente a un mal diseño estructural, ya que existe una gran cantidad de personas que sin saberlo sobrediseñan sus viviendas y tienen como resultado viviendas extremadamente costosas, pero seguras. Uno de los mayores problemas que existen también es la mala ubicación en la cual se construyen las viviendas, ya que en la mayor parte del país se escoge un terreno para construir, no porque sea el adecuado, sino porque es el más accesible económicamente o bien porque es el único con el que cuenta el núcleo familiar que ocupara la vivienda.

Estos dos ejemplos no son los únicos problemas existentes. A continuación se presentan los criterios que se deben tomar en cuenta para la construcción de viviendas en Guatemala:

#### **Escogencia del terreno**

- **Localización de vivienda frente a sismo:** Se deberá indagar en la localidad respecto de la cercanía de fallas geológicas activas. Se tomará en cuenta la historia, informándose que regiones o sectores han sido zonas epicentrales, o lugares donde se han sentido más fuertes los efectos de los sismos. También puede guiarse con la evidencia superficial y alejarse de los sectores con desplazamientos laterales o verticales; por ejemplo, corrimientos de cercos o surcos de sembradíos, aunque en algunos casos fisuras superficiales del terreno no necesariamente son fallas, más bien podrían ser efectos de deslizamientos de laderas o cabezas de taludes. (AGIES NSE 4 NR9, 2000)

- **Localización de vivienda tomando en cuenta inundación**
  - La historia mundial ha mostrado que las planicies de inundación de los ríos y las zonas costeras son un atractivo para el hombre para desarrollar exitosamente actividades agrícolas. Sin embargo, debe evitarse construir viviendas en los lugares cerca de los cauces de los ríos o planicies inundables, para no verse expuesto a una inundación provocada directamente por un fenómeno meteorológico, o bien porque un sismo podría causar un deslizamiento que puede represar el río aguas arriba y dar origen a avalanchas, ubicarse en zonas altas fuera del alcance de la inundación o avalancha. (AGIES NSE 4 NR9, 2000)
  - Debe evitarse localizar vivienda cercana a canales de riego o drenaje que puedan asolverse o rebalsarse. (AGIES NSE 4 NR9: 2000)
  - En zonas costeras deben escogerse aquellas donde existan malecones y/o dunas de arena y darles preferencia a las que no requieran de la implementación de presas, diques, bordas o muros. (AGIES NSE 4 NR9 ,2000)
  
- **Localización de vivienda tomando en cuenta licuefacción de suelos:** Evitar suelos arenosos cercanos a cuerpos de agua (ríos o costas), porque durante la ocurrencia de un sismo los suelos saturados pierden su capacidad de resistir esfuerzos cortantes volviendo los suelos un “líquido”, provocando que la vivienda sufra asentamientos y hasta se pueda sumergir dentro del suelo licuado mientras dura el sismo. Posteriormente la vivienda ya deformada queda atrapada, haciendo imposible su reparación. (AGIES NSE 4 NR9, 2000)
  
- **Localización de vivienda tomando en cuenta deslizamientos en laderas**
  - En terrenos ubicados cerca de montaña y a un nivel inferior, localizar la vivienda lo más retirada posible del talud para evitar los daños causados por un deslizamiento de suelo en sus varias formas: desplome, deslizamiento de roca, flujos de lodo y flujos de escombrera. (AGIES NSE 4 NR9, 2000)
  - No construir sobre terrenos en ladera porque durante un sismo, esta tierra puede deslizarse y arrastrar la vivienda cuesta abajo. En estas zonas de ladera, construir terrazas y explanadas. No construir en la zona de relleno que se haga, la distancia mínima que debe dejarse entre la vivienda y el relleno será de 6 a 8 m. En su defecto, se utilizará el área de relleno para siembras ya que la tierra esta suave y fácil de arar y plantar. También en la ladera, arriba de la terraza principal se harán terrazas menores

para suavizar la caída del agua, debiendo canalizarse dicha agua para no debilitar el área de corte. (AGIES NSE 4 NR9, 2000)

- Se deberá proteger la ladera con vegetación para evitar la erosión, pues ésta trae como consecuencia la pérdida de la capa vegetal y humus lo cual permite la infiltración. La infiltración de agua pluvial puede llegar a sobresaturar los suelos reduciendo su capacidad soporte y el coeficiente de fricción, hasta llegar a desencadenar un deslizamiento. (AGIES NSE 4 NR9, 2000)
  - En vista que la pendiente juega un papel primordial en los deslizamientos, se recomienda que en laderas con pendientes mayores de 30% no se construya, a menos que se consulte a un ingeniero geotecnista para una solución particular dependiendo de las condiciones propias del lugar. Lo mejor es construir en terrenos planos o con pendientes no mayores del 20%. (AGIES NSE 4 NR9, 2000)
  - Evitar construir una vivienda en las desembocaduras de cañones o canales provenientes de las montañas, porque comúnmente se producen flujos de lodos en áreas donde las correntías de agua son canalizadas. (AGIES NSE 4 NR9, 2000)
  - En zonas próximas a barrancos o taludes deberá construirse dejando una franja mínima alejada de la cabeza del talud igual a la altura del talud.
  - En terrenos de cultivo, localizar la vivienda en un lote ubicado a nivel superior, porque así evitará construir en las partes donde se ha acumulado terreno vegetal, el cual tiene poca capacidad de soporte, evitando futuros daños por asentamientos diferenciales.
  - La ubicación de letrinas se hará a no menos de 5 m. alejadas de la vivienda, al mismo nivel o pendiente abajo. La localización de las letrinas con respecto a cualquier fuente de suministro de agua dentro del predio o en predios vecinos para evitar contaminación será de: distancia mínima horizontal 15 m.; distancia mínima vertical al nivel freático 1,500 mm Las letrinas siempre se harán en partes más bajas que los pozos de agua.
- **Localización de vivienda tomando en cuenta viento**
    - Evitar construir viviendas en áreas costeras bajas, ya que el viento fuerte puede provocar la elevación de un volumen de agua capaz de provocar inundación. (AGIES NSE 4 NR9, 2000)
    - Escoger localizaciones alejadas de árboles de gran tamaño que puedan llegar a ser arrancados por un viento fuerte y golpear la vivienda. La edad de árbol también es un factor a tomar en cuenta en la posibilidad de que el mismo sea arrancado. (AGIES NSE 4 NR9, 2000)



**Configuración y orientación.** El propósito de una vivienda, no es únicamente capaz de brindar refugio ante las situaciones climáticas, sino que una vivienda debe de ser resistente ante cualquier fenómeno de la naturaleza, ser una vivienda capaz de durar a través de los años y adicionalmente a esto debe ser capaz de dar una sensación de confort no importando si el clima es extremo caluroso o frío.

Estos factores, a diferencia de las creencias populares, no se deben únicamente al material y sistema constructivo que se use, sino que también dependen de ciertos criterios de diseño que ayudaran a que una vivienda cumpla con sus propósitos de durabilidad, resistencia y confort. A continuación se presentan los lineamientos básicos que se deben seguir al momento del diseño y construcción de una vivienda:

- **Simplicidad**

- Se refiere a la distribución equilibrada de los elementos resistentes, tanto en planta como en elevación, sin detrimento de la creatividad artística del arquitecto, diseñador o propietario. (AGIES NSE 4 NR9, 2000)
- La geometría de la edificación debe ser sencilla en planta y en elevación. Las formas complejas, e irregulares causan un mal comportamiento cuando la edificación es sometida a la acción de cargas externas como un sismo o un viento. Debe procurarse que la geometría sea lo más rectangular posible, debiendo el lado largo no ser más de tres veces el lado corto. (AGIES NSE 4 NR9, 2000)
- Si en caso existiera escalonamiento en elevación, estos pueden ser graduales o abruptos. En el caso de escalonamientos graduales, estos no podrán ser mayores que el 10% de la dimensión mayor de la edificación en la dirección del escalonamiento. La acumulación total de los escalonamientos no debe exceder del 25% de la dimensión mayor de la edificación. En el caso de escalonamientos abruptos, la dimensión del mismo no debe exceder el 25% de la dimensión mayor. (AGIES NSE 4 NR9, 2000)
- Para el caso de desarrollos habitacionales colectivos donde las viviendas son construidas en una primera etapa de un sólo nivel, pero previstas para un segundo nivel en el futuro, deben hacerse en unidades independientes; es decir, no deben hacerse en módulos con paredes medianeras compartidas, porque es posible que se den estos escalonamientos que violen las anteriores especificaciones, debido a que no todos los

propietarios harán las ampliaciones en segundo nivel; y si las hicieran, no todas se harán al mismo tiempo. (AGIES NSE 4 NR9, 2000)

- **Simetría**

- Se refiere a que todos los elementos resistentes deben estar distribuidos aproximadamente en forma simétrica respecto a por lo menos dos direcciones ortogonales a lo largo de los cuales los elementos resistentes están orientados. (AGIES NSE 4 NR9, 2000)
- Los entrantes y salientes no deben exceder del 20% de las dimensiones externas de la edificación; y el área del rectángulo que circunscribe los ejes extremos no sea 20% mayor que el área real del piso. En el caso de entrantes o salientes graduales, la acumulación de los mismos no debe exceder los límites indicados en el párrafo anterior. (AGIES NSE 4 NR9, 2000)

- **Resistencia**

- Resistencia significa disponer de elementos con dimensiones y materiales de construcción adecuados para soportar las acciones de las fuerzas a las cuales puede verse expuesta la edificación. (AGIES NSE 4 NR9, 2000)
- Aunque en algunos casos, no se podrá obtener estructuras totalmente resistentes, tal es el caso de los lugares donde la amenaza sísmica es alta. En este caso en particular, aun cuando se diseñe y construya una edificación cumpliendo con todos los requisitos que indiquen las normas, siempre existe la posibilidad de que ocurran sismos aún más fuertes que los que han sido previstos y que deben ser resistidos sin que ocurran colapsos totales o parciales en la edificación, y que no haya pérdidas de vidas ni pérdida total de la propiedad. Es decir, la sismo resistencia será una capacidad que se le proveerá a la edificación con el fin de proteger la vida y los bienes de las personas que la ocupan. (AGIES NSE 4 NR9, 2000)
- La estructura deberá poseer muros resistentes a cargas laterales dispuestas en dos direcciones ortogonales. Por lo menos el 80% de las cargas de gravedad deben ser soportadas por los muros. (AGIES NSE 4 NR9, 2000)

- **Rigidez**

- La rigidez está relacionada con la deformación de la edificación ante la acción de las cargas. (AGIES NSE 4 NR9, 2000)

- La estructura debe tener suficiente cantidad de elementos para que la deformación lateral no sea excesiva y que pueda causar daño en paredes o divisiones no estructurales, acabados arquitectónicos e instalaciones que usualmente son elementos frágiles que no soportan mayores distorsiones. Debe buscarse tener en ambas direcciones elementos más largos, aunque pocos. (AGIES NSE 4 NR9, 2000)
- Las rigideces deben ser similares en direcciones aproximadamente ortogonales. La rigidez total menor no debe ser menor que el 40% de la rigidez total en la otra dirección. En última instancia, si no se logra obtener una simetría de rigideces y masas, debe buscarse un balance entre masas y rigideces. (AGIES NSE 4 NR9, 2000)
- Se buscará alta rigidez torsional relativa a sus rigideces traslacionales, lo cual requiere ubicar los elementos más rígidos lo más cerca posible del perímetro de la edificación. (AGIES NSE 4 NR9, 2000)
- **Continuidad**
  - Continuidad significa que los elementos resistentes verticales y horizontales deben poder transmitir en forma directa y siguiendo el camino más corto, las cargas que recolectan desde donde se originan hasta la cimentación y por último al suelo. (AGIES NSE 4 NR9, 2000)
  - Debe haber continuidad vertical de columnas y muros, lo cual significa que no deben existir columnas o muros que no llegan a la base. Cuando la vivienda tenga dos niveles es necesario que los muros que cargan el techo continúen en el primer nivel hasta la cimentación. Si los muros del segundo piso no coinciden exactamente con los muros del primer piso, deben volverse tabiques (no cargar el techo), ser de un material lo más liviano posible y deben estar bien adheridos o conectados y no deben interactuar con la estructura principal. Si no están bien conectados se pueden desprender en caso de un sismo. (AGIES NSE 4 NR9, 2000)
  - Las aberturas en los muros de la vivienda deben estar distribuidas en todos los muros en forma equilibrada. (AGIES NSE 4 NR9, 2000)
  - También las juntas y uniones de los elementos deben asegurarse para que la edificación responda como una unidad. (AGIES NSE 4 NR9, 2000)
  - No deben haber cambios bruscos de sección de elementos, ni tampoco desalineamientos verticales en el plano de columnas y muros. (AGIES NSE 4 NR9, 2000)

- **Aspectos climáticos**

- Muchas edificaciones en varias regiones del país han sido estudiadas estableciéndose que satisfacen en forma mínima las necesidades de confort ambiental requeridas por el ser humano. Por ejemplo, en poblaciones de Quetzaltenango y Totonicapán, la condicionante que menos se satisface en las viviendas es lo que respecta a soleamiento porque las edificaciones se encuentran mal orientadas, carecen de ventanas o si las tienen son pequeñas e insuficientes. Mientras que el aspecto que menos problemas da es la precipitación pluvial. (AGIES NSE 4 NR9, 2000)
- Las viviendas se deben orientar tal que el sol de las mañanas sea aprovechada en las fachadas del este, y el de las tardes en las fachadas oeste. (AGIES NSE 4 NR9, 2000)
- Hacer una planificación compacta de las edificaciones, porque las viviendas cercanas entre sí, con la ayuda de árboles frondosos, forman zonas de calma, evitando los vientos fríos del noreste. (AGIES NSE 4 NR9, 2000)
- En áreas rurales debido a que no se puede lograr la mayor unión entre las viviendas, se recomienda contrarrestar los vientos fríos por medio de la plantación de árboles frondosos alejados de las viviendas para evitar que vientos fuertes arranquen los árboles y golpeen las edificaciones. Esto también podría lograrse ubicando las viviendas en laderas bajas. (AGIES NSE 4 NR9, 2000)
- El ingreso de polvo a las habitaciones se evita con arbustos y setos cercanos a la vivienda. (AGIES NSE 4 NR9, 2000)
- Las formas en planta de las edificaciones deberán ser rectangulares, ni muy alargadas ni angostas. El largo no mayor de 3 veces el ancho. Y deberán orientarse este-oeste para permitir el calentamiento limitado de las habitaciones por la acción del sol. Se tratará de exponer el lado más largo a los rayos solares por ciertos períodos del día. (AGIES NSE 4 NR9, 2000)

- **Aberturas en muro:** Se ha encontrado en muchos casos en el país que el área de las ventanas en relación con el área de sus muros es insuficiente. El rango óptimo para aberturas medianas es del 20% al 40% del área de los muros norte-sur. Sin embargo, el sistema constructivo que se emplea en el desarrollo de un proyecto será un condicionante del área de las aberturas, además de la seguridad estructural. El sistema constructivo de ladrillo y bloque permite más área por abertura y más de una abertura en el área total del muro, permitiendo así mejoras en el diseño. (AGIES NSE 4 NR9, 2000)

**Imagen 15: Distribución de aberturas en muros**



Fuente: <http://arquitectologista.com.ar/blog/2011/04/24/proteccion-para-las-aberturas/>

**2.2.2 Requerimientos mínimos de cimentación.** La cimentación debe ser capaz de transmitir con seguridad el peso de la vivienda al suelo. Es muy importante señalar que siempre se busca que el material del suelo sea duro y resistente. Los suelos blandos amplifican las ondas sísmicas y facilitan asentamientos nocivos en la cimentación que pueden afectar la estructura y facilitar el daño en caso de sismo. (AGIES NSE 4 NR9, 2000)

El sistema de cimentación debe conformar cuadros o anillos cerrados coincidentes con las habitaciones o ambientes, en cuyo caso el lado mayor no sobrepase los 7m. Esto con el fin de que las cargas se distribuyan lo más uniformemente posible sobre el suelo y para lograr que la vivienda sea sólida y monolítica cuando un sismo actúe sobre ella. (AGIES NSE 4 NR9, 2000)

A continuación se describe requisitos mínimos requeridos en Guatemala, para el trabajo en cimentaciones:

- Las viviendas deben cimentarse siempre en terreno estable y deben empotrarse por lo menos 400 mm dentro del terreno para viviendas de un nivel de bloque o ladrillo. Para viviendas de dos niveles de bloque o ladrillo se deben empotrar 600 mm. Se debe proteger la cimentación de la acción del agua, impermeabilizándola cuando sea posible. (AGIES NSE 4 NR9, 2000)
- Cuando para la obtención de la licencia de construcción no se exija estudio de suelos, o cuando dicho proceso no esté implementado en el área de la construcción, deben cumplirse los siguientes requisitos mínimos:

- Realizar un pozo de una profundidad mínima de 1.5 m. que demuestre la calidad razonable del suelo para cimentar. Una forma sencilla de saber si el terreno es blando o es firme consiste en tratar de enterrar una barra No. 4 (12.7 mm) en el fondo del pozo. Si la barra penetra fácilmente, el terreno puede considerarse blando, de lo contrario el terreno podría considerarse firme. Dicha prueba se puede ir efectuando conforme avanza la excavación, hasta llegar a suelo aceptable o desechar el lugar. (AGIES NSE 4 NR9, 2000)
- La capacidad portante máxima que podría usarse para establecer dimensiones mínimas de la cimentación diferentes a las aquí proporcionadas no puede exceder de 0.05 MPa (5.0 Ton/m<sup>2</sup>). En aquellas ciudades o localidades donde la experiencia ha demostrado que es aceptable utilizar capacidades portantes del suelo mayores de 0.05 MPa (5 Ton/m<sup>2</sup>), la oficina o dependencia municipal encargada del control de construcciones puede fijar un límite diferente a esta capacidad. Esto se tomara en cuenta cuando se cuente con la capacidad de diseñar las cimentaciones. (AGIES NSE 4 NR9, 2000)
- Indagar el comportamiento de las edificaciones similares en las zonas aledañas desde el punto de vista de asentamientos y deslizamientos, demostrando que el comportamiento ha sido adecuado; hay que ver las construcciones vecinas si se han agrietado o han tenido asentamientos. Evitar suelos muy blandos o rellenos recientes. (AGIES NSE 4 NR9, 2000)
- Otra forma de corroborar que el suelo es firme consiste en la siguiente técnica sencilla: realizar la excavación, colocar una cubeta con agua limpia sobre la excavación, con un mazo golpear bruscamente el suelo alrededor de la cubeta. Si el terreno es compacto y duro, el agua continuará inmóvil o vibrará muy poco. Si el terreno es blando, el agua se pondrá en movimiento con oscilaciones mayores. (AGIES NSE 4 NR9, 2000)

**Imagen 16: Cimentación de muros de mampostería**



Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos93/sistema-construccion-ligera-vivienda/image001.jpg>

**2.2.3 Requerimientos mínimos de techos o cubiertas.** La cubierta es el elemento constructivo de cierre de la parte superior de una edificación. Consta de una estructura portante en madera o metal y de un material de cubrimiento que puede ser de fibrocemento, teja de barro cocido, teja de micro-concreto, lámina de zinc o de plástico, losa de concreto sólida o sistema de vigueta prefabricada. (AGIES NSE 4 NR9, 2000)

Las cubiertas están expuestas al sol, vientos, lluvias, etc. mucho más tiempo que cualquier otra parte de una edificación. Por lo tanto deben diseñarse adecuadamente para que la transmisión de calor o frío al interior sea mínima. Se recomienda el uso de cubiertas inclinadas ligeras y bien aisladas, con superficie reflectante y cámara de aire. Las cubiertas pueden prolongarse sobre los muros norte-sur con el fin de proteger los ambientes o corredores de la lluvia y del soleamiento de medio día. (AGIES NSE 4 NR9, 2000)

Las cubiertas de preferencia se usarán inclinadas de 1, 2, 3 ó 4 aguas para lograr encauzar los vientos fríos y evitar que éstos ingresen a las habitaciones. El tipo de cubierta también influye en la absorción del calor por radiación solar. En los techos planos es mayor la absorción. En los techos inclinados, por cada 10 grados de inclinación del plano del techo, representa del 10. al 15% de menor calor por radiación. En techos planos los rayos son perpendiculares a toda la superficie; mientras que en techos a dos aguas puede serlo solo a la

mitad, y en techos a cuatro aguas los rayos son únicamente a la cuarta parte. (AGIES NSE 4 NR9, 2000)

La pendiente del techo o inclinación varía de acuerdo con el material que se utiliza y que se muestra en el siguiente cuadro:

**Cuadro 1: Pendientes mínimas para techos de viviendas**

<b>Tipo de cubierta</b>	<b>Pendiente mínima</b>
Teja de barro cocido	42%
Fibro-cemento	27%
Plástica	20%
Metálica	15%
Losa de concreto	2%

## 2.2.4 Requisitos mínimos para diseños de viviendas

### 2.2.4.1 Requerimientos mínimos de diseño de viviendas de mampostería.

Actualmente, las construcciones de mampostería son las más comunes y utilizadas en el país. Esto se debe a que a través del tiempo la cultura nos ha enseñado que el tipo de construcción en mampostería es sinónimo de seguridad. Sin embargo esta percepción se ha tenido a lo largo de los años debido a que la construcción de mampostería, ha sido el método de construcción de viviendas “serias” al cual, la población guatemalteca ha tenido acceso y para el cual se encuentre mano de obra calificada en todo el país.

Esto no quiere decir que no sea un método de construcción adecuado, al contrario, es un método que, con el diseño adecuado, puede brindar seguridad estructural, confort para vivir y puede ser una buena opción económica. La calidad de la construcción depende en gran manera de la calidad de materiales a utilizar, especialmente del tipo de unidades prefabricadas de mampostería, y si estas cumplen con las normas mínimas de calidad descritas por Coguanor.



**Imagen 17: Condominio de mampostería**



Fuente: <http://ciudaddeguatemala.mundoanuncio.com.gt/en-alamedas-de-santa-clara-condominio-las-magnolias-zona-3-villanueva-iid-293857124>

- **Propiedades mecánicas de mampostería.** En Guatemala, la Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica (AGIES) es la encargada de normar el diseño estructural sísmoresistente, incluyendo la construcción de viviendas, por lo cual a continuación se presentan las consideraciones y valores que se utilizan para el diseño de muros en Guatemala.
  - Resistencia a compresión de mampostería. Cuando se diseña estructuralmente una vivienda de mampostería, la carga a compresión en los muros es la más importante y usualmente es la condición de carga dominante para el diseño, debido a que la altura del muro en una vivienda no tan grande, las condiciones de deflexión tienden a ser menos importantes.

La mampostería consiste básicamente en la unión de piezas prefabricadas por medio de morteros cementantes, combinados con refuerzos de acero y concreto. Debido a esto, la resistencia del muro de mampostería depende de la resistencia del mortero utilizado y de la resistencia de la unidad de mampostería prefabricada.

Los morteros utilizados para los bloques de mampostería son normalmente elaborados en obra, por lo cual tienden a ser de resistencias muy variables, y dependen de gran manera de la capacitación y conocimiento que tenga las personas que los producen (Albañil o ayudante), por lo cual es muy importante que los mismos sean supervisados y normados para cumplir con los requerimientos de diseño del muro.

Debido a lo variable de estos, las Normas de Seguridad Estructural de Especificaciones y obras de infraestructura para la Republica de Guatemala, AGIES NSE 7.4 Mampostería reforzada, ha normado las proporciones de mortero a utilizar y clasificado de la siguiente manera:

**Cuadro 2: Clasificación de morteros, según su resistencia a compresión**

Tipo de mortero	Proporción volumétrica			Resistencia a la compresión (kg/cm <sup>2</sup> )
	Cemento	Cal	Arena	
I	1.00	-	no menos de 2.25 y no más de 3	175
II	1.00	de 0.25 a 0.50	veces la suma de los volúmenes de	125
III	1.00	de 0.50 a 1.25	cemento y cal usados.	50

Con base en esta clasificación de morteros, las normas AGIES han desarrollado la resistencia a compresión de la mampostería,  $f_m$ , la cual se refiere a la resistencia que resulta de la unión de las piezas de mampostería con el mortero (no de un muro completo), para utilizar en el diseño estructural de nuestra vivienda, en los siguientes cuadros, según las piezas de mampostería encontradas comúnmente en el mercado guatemalteco:

- Mampostería de bloques de concreto:

**Cuadro 3: Resistencia a compresión de mampostería de bloques de concreto**

$f_p$ (en kg/cm <sup>2</sup> ) <sup>(a)</sup>	$f_m$ (en kg/cm <sup>2</sup> ) <sup>(b)</sup>		
	Mortero tipo I	Mortero tipo II	Mortero tipo III
25	15	10	10
50	35	25	20
75	65	50	40
125	90	80	70

En donde:

$f'p$  = Resistencia a compresión de las piezas de mampostería, referida al área bruta (es decir sin descontar los vacíos de la pieza)

Es muy importante señalar, que para valores de resistencia intermedia, se debe interpolar la resistencia, y tendrá la misma validez que los datos que ya fueron tabulados en la tabla aunque los mismos no aparezcan.

- Mampostería de ladrillos de barro cocido

**Cuadro 4: Resistencia a compresión de la mampostería de ladrillos de barro cocido**

Tipo de ladrillo	$f'_m$ (en kg/cm <sup>2</sup> )		
	Mortero tipo I	Mortero tipo II	Mortero tipo III
Tayuyo	30	25	25
Tubular <sup>(a)</sup>	65	50	40
Perforado <sup>(a)</sup>	85	80	70

NOTA: La resistencia mínima que deben tener los ladrillos tubulares y perforados debe de ser de 90 kg/cm<sup>2</sup>

- Módulo de elasticidad de mampostería

El módulo de elasticidad, "Em" en kg/cm<sup>2</sup>, para la mampostería, tanto para unidades de mampostería de barro cocido o bloques de concreto, se podrá estimar como una función de su resistencia a compresión, "f'm" de acuerdo con la relación: (AGIES NSE 7.4. NR9: 2000)

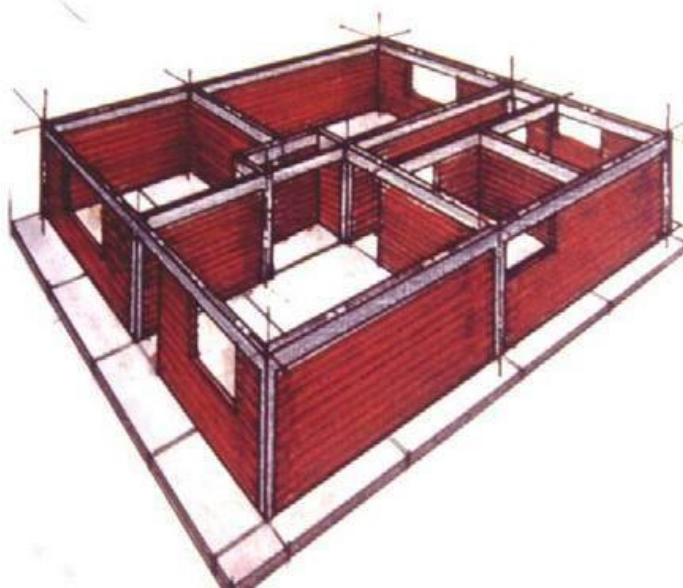
$$E_m = 750 f'm$$

- Módulo de cortante de la mampostería

El módulo de cortante, "Ev" en kg/cm<sup>2</sup>, para la mampostería, tanto para unidades de mampostería de barro cocido o bloques de concreto, se podrá estimar como una función de su módulo de elasticidad, "Em" de acuerdo con la siguiente relación: (AGIES NSE 7.4. NR9: 2000)

$$E_v = 0.4 E_m$$

**Imagen 18: Esquema de muros de mampostería**



Fuente: <http://4.bp.blogspot.com/-OKG5F4PbLGU/TfO7geYyCKI/AAAAAAAAA4/pP-KyRMP4Lw/s1600/MAMPO3.jpg>

- **Diseños mínimos de cimentación.** La cimentación tiene como propósito, poder transmitir el total de las cargas (tanto de servicio como peso propio) hacia el suelo, y que este sea capaz de darle estabilidad en contra del volteo (aunque en viviendas geométricas, como se han recomendado, estos esfuerzos son despreciables). Debido a que cada vivienda tiene esfuerzos diferentes, a continuación se presentan los requerimientos mínimos de cimentación según el tipo de vivienda que se tenga:
  - Viviendas de un nivel con techos livianos: Su cimentación puede consistir en un cimiento corrido de concreto reforzado con un ancho de 300 mm por 200 mm de peralte, más una hilera de block “U” funcionando como solera de humedad o bien 2 hileras de ladrillo más solera de humedad fundida de 130 mm de peralte. El refuerzo del cimiento corrido consiste en 2 barras No.3 (9.5mm) corridas más eslabón No.3 (9.5mm) a cada 200 mm, mientras que la solera de humedad de 2 barras No.3 (9.5mm) corridas más eslabón No.2 (6.4 mm) a cada 150 mm. (AGIES NSE 4 NR9: 2000)

También podría usarse un cimiento corrido trapezoidal de concreto reforzado que mida 350 mm de ancho en la base, 200 mm de ancho en el tope y 350 mm de peralte, con refuerzo de 4 barras corridas de No.3 (9.5 mm) con estribos de No.2 (6.4

mm) a cada 150 mm. El recubrimiento que debe tener el refuerzo es de 80 mm en el fondo, y de 50 mm en los laterales. (AGIES NSE 4 NR9: 2000)

### Imagen 19: Ejemplo de techos livianos



Fuente: <http://www.construccion-civil.com/2011/05/construccion-de-techo-liviano-no-como-hacerlo.html>

- Viviendas de un nivel con losa (Concreto): Su cimentación puede consistir en un cimiento corrido de concreto reforzado con un ancho de 400 mm por 250 mm de peralte, luego levantado de block o ladrillo y en seguida, una solera de humedad fundida de 150 mm de peralte, sumando una profundidad mínima de 600 mm medido desde la parte inferior del cimiento. El refuerzo del cimiento corrido consiste en 3 barras No.3 (9.5 mm) corridas más eslabón No.3 (9.5 mm) a cada 200 mm. Mientras que la solera de humedad consiste de 4 barras No.3 (9.5 mm) corridas más estribo No.2 (6.4 mm) a cada 150 mm. (AGIES NSE 4 NR9: 2000)
- Viviendas de dos niveles (No importa el techo): Su cimentación será un cimiento corrido de concreto reforzado con un ancho mínimo de 500 mm por 250 mm de peralte, luego levantado de block o ladrillo y en seguida, una solera de humedad fundida de 150 mm de peralte, sumando una profundidad mínima de 600 mm medido desde la parte inferior del cimiento. El refuerzo del cimiento corrido consiste en 4 barras No.3 (9.5 mm) corridas más eslabón No.3 (9.5 mm) a cada 150 mm. Mientras que la solera de humedad consiste de 4 barras No.3 (9.5 mm) corridas más estribo No.2 (6.4 mm) a cada 150 mm. (AGIES NSE 4 NR9: 2000)

Alternativamente podría usarse un cimiento corrido trapezoidal de concreto reforzado que mida 450 mm de ancho en la base, 200 mm de ancho en el tope y 500 mm de peralte, con refuerzo de 3 barras corridas No.4 (12.7 mm) en la parte inferior y 2 barras No.3 (9.5 mm) corridos en la parte superior, más un estribo No.3 (9.5 mm) y eslabón No.2 (6.4 mm) a cada 200 mm. El eslabón ubicado a mitad de altura del

cimiento. El recubrimiento que debe tener el refuerzo es de 80 mm en el fondo, y de 50 mm en los laterales. (AGIES NSE 4 NR9: 2000)

- **Diseño de muros.** Según AGIES, el método aceptado en esta norma para el diseño de muros reforzados interiormente y confinados es el método de esfuerzos de trabajo, o también llamado esfuerzos de servicio, aun cuando se incluya las fuerzas de origen sísmico. Para esfuerzos causados por dichas fuerzas, los esfuerzos admisibles de trabajo que se dan en esta sección pueden multiplicarse por un factor de 1.33, correspondiente a un 33% de sobreesfuerzo por ser el sismo una carga temporal. (AGIES NSE 7.4. NR9: 2000)
  - Esfuerzos Admisibles. Los esfuerzos admisibles, son los esfuerzos para los cuales se diseñara la resistencia de un muro. Estos diseños admisibles deben ser diseñados con un 33% de sobre diseño para dar una mayor seguridad a la estructura que se está construyendo. A continuación se presentan los esfuerzos a los cuales se diseñara:
    - Esfuerzo de compresión axial en muros de carga: El esfuerzo axial en los muros de mampostería con refuerzo interior, en kg/cm<sup>2</sup>, no deberá exceder al valor calculado con la siguiente fórmula:

$$F_a = 0.20 f'_m \left[ 1 - \left( \frac{h}{40t} \right)^3 \right]$$

En Donde:

**F<sub>a</sub>**: esfuerzo axial de compresión en el muro de mampostería

**f'<sub>m</sub>**: resistencia a la compresión de la mampostería, según tipo de mampostería y mortero a usar

**t**: espesor del muro

**h**: altura libre del muro

- La carga axial en columnas en kg/cm<sup>2</sup>, no deberá exceder al valor especificado por la siguiente formula

$$P = A_g (0.18 f'_m + 0.65 p_g f_s) \left[ 1 - \left( \frac{h}{40t} \right)^3 \right]$$

En Donde:

**P:** carga axial máxima en la columna aislada

**A<sub>g</sub>:** área bruta de la columna

**f'<sub>m</sub>:** resistencia a la compresión de la mampostería

**P<sub>g</sub>:** porcentaje de refuerzo con respecto al área A<sub>g</sub>

**f<sub>s</sub>:** esfuerzo admisible a tensión o compresión en el refuerzo

**t:** dimensión menor de la columna aislada

**h:** altura libre de la columna aislada

- El esfuerzo de compresión producido por la flexión, en kg/cm<sup>2</sup>, no deberá exceder al valor obtenido con la siguiente fórmula:

$$F_b = 0.33 f'_m$$

- El esfuerzo de corte en muros producido por fuerzas laterales, en kg/cm<sup>2</sup>, no deberá de exceder al valor calculado de acuerdo con la siguiente relación:

$$f_v = 0.3 \sqrt{f'_m}$$

- El esfuerzo de contacto, en kg/cm<sup>2</sup>, no deberá ser mayor que los valores dados en las siguientes relaciones:

$$f_d = 0.25 f'_m \text{ (sobre el 100\% del área total)}$$

$$f_d = 0.30 f'_m \text{ (sobre 1/3 del área)}$$

- El esfuerzo de tensión en las barras de acero de refuerzo, en kg/cm<sup>2</sup>, no deberá exceder al valor indicado en la siguiente relación:

$$f_s = 0.4 f_y$$

- **Requerimientos mínimos de acero.** Como hemos visto anteriormente, la mampostería puede ser reforzada interiormente o bien confinada. La diferencia principal entre ambos tipos de mampostería es la forma en la cual se coloca el refuerzo de acero. A continuación se presentan los requerimientos mínimos para la colocación de refuerzo:
  - Muros reforzados interiormente:
    - La distancia libre mínima entre barras paralelas de refuerzo deberá ser el diámetro del refuerzo pero no menos de 25 mm, con excepción en los traslapes. (AGIES NSE 7.4. NR9: 2000)
    - Recubrimiento mínimo: Todo espacio que contenga una barra de refuerzo vertical deberá tener una distancia libre mínima entre el refuerzo y las paredes de la pieza igual a la mitad del diámetro de la barra y se deberá llenar a todo lo largo con graut. La distancia libre mínima entre una barra de refuerzo horizontal y el exterior del muro será de 15 mm o una vez el diámetro de la barra, la que resulte mayor. (AGIES NSE 7.4. NR9: 2000)
    - Traslapes: La longitud de traslapes se especifica en la norma de concreto reforzado, y su localización se deberá indicar en los planos estructurales. (AGIES NSE 7.4. NR9: 2000)
    - Refuerzo en las sisas: El refuerzo que se coloque en las sisas horizontales deberá quedar embebido completamente entre el mortero de pega y deberá tener un gancho a 180° que garantice su anclaje en cada uno de los extremos del muro. (AGIES NSE 7.4. NR9: 2000)
    - Refuerzo en las celdas: El refuerzo que se coloque en las celdas de las unidades prefabricadas deberá quedar completamente embebido dentro del graut de inyección. (AGIES NSE 7.4. NR9: 2000)
    - Número de barras por celda: En muros de 140 mm de espesor o menos, solo podrá colocarse una barra en una misma celda, para barras No. 4 o mayores, y el diámetro máximo de la barra será el No. 8 (25 mm). En ningún caso se podrán colocar más de dos barras por celda. (AGIES NSE 7.4. NR9: 2000)
    - Porcentaje de refuerzo en muros: La suma del porcentaje de refuerzo horizontal,  $p_h$ , y vertical,  $p_v$  no deberá ser menor que 0.002 y ninguna de los dos porcentajes deberá ser menor que 0.0007. El porcentaje de refuerzo horizontal se calculará como  $p_h = A_{sh}/st$ , donde  $A_{sh}$  es el área de refuerzo horizontal que se colocará en el espesor  $t$  del muro a una separación  $s$ ;  $p_v = A_{sv}/tL$ , en que  $A_{sv}$  es el área total de



refuerzo que se colocará verticalmente en la longitud L del muro. (AGIES NSE 7.4. NR9: 2000)

- Requisitos para el refuerzo vertical El diámetro mínimo para refuerzo vertical será No. 3. Las barras del refuerzo vertical deberán principiar en la cimentación y terminar en la solera superior, debidamente ancladas a ella.
  - En AGIES se especifican tres tipos de refuerzo mínimo vertical. El refuerzo tipo A deberá contar con eslabones No. 2 con gancho a 180° a cada 200 mm; el tipo B llevará eslabones No. 2 con gancho a 180° a cada 200 mm. A continuación se presenta el resumen de dichos refuerzos (AGIES NSE 7.4. NR9: 2000)

**Cuadro 5: Tipos de refuerzo vertical en muros confinados**

<b>Tipo A</b>	<b>Tipo B</b>	<b>Tipo C</b>
<b>4 No. 3</b>	<b>2 No. 3</b>	<b>1 No. 3</b>

- Separación del refuerzo vertical: Las separaciones máximas a que podrán estar los refuerzos mínimos verticales entre sí, de acuerdo al material de los muros, se indica en la tabla: (AGIES NSE 7.4. NR9: 2000)

**Cuadro 6: Separaciones entre refuerzos verticales**

<b>Material del muro</b>	<b>Ancho (mm)</b>	<b>Distancia entre refuerzos tipo A (m)</b>	<b>Distancia entre refuerzo tipo A y refuerzo tipo B (m)</b>	<b>Distancia entre refuerzo tipo A y refuerzo tipo C (m)</b>	<b>Distancia entre refuerzo tipo B y refuerzo tipo C (m)</b>	<b>Distancia entre refuerzos tipo C (m)</b>
Ladrillo tubular	230	5.00	2.50	1.00 <sup>(a)</sup>	1.00 <sup>(a)</sup>	1.00 <sup>(a)</sup>
Bloques de arcilla cocida	140	4.00	2.00	0.80	0.80	0.80
	110	3.00	1.75	0.75	0.75	0.75
Bloques de concreto	150	4.00	2.00	0.80	0.80	0.80

- Refuerzo en la intersección de muros: Para la distribución de las barras en refuerzos tipo A, en el caso de intersección de muros y esquinas, se deberá colocar una barra

- por cada pared que llegue a la misma. Si se trata de una intersección en esquina, forma de L, deberá contener dos barras de las cuatro que forman el refuerzo tipo A en el agujero común, las otras dos restantes se localizarán a continuación de dicho agujero. Con relación a la intersección de un muro con otro, forma de T, las cuatro barras del refuerzo tipo A se distribuirán en cada uno de los agujeros que conforman la T. (AGIES NSE 7.4. NR9: 2000)
- Porcentaje de refuerzo mínimo para columnas aisladas: El porcentaje de refuerzo para columnas de mampostería reforzada,  $\rho_g$ , no deberá ser menor que 0.5% ni mayor que 4% del área de la columna. Deberá tener al menos cuatro barras. Las barras no podrán tener un diámetro menor que No. 4. (AGIES NSE 7.4. NR9: 2000)
  - Refuerzo longitudinal para columnas aisladas: Las barras longitudinales en las columnas deberán estar rodeadas por estribos. Estos estribos deberán ser por lo menos barras No. 2. Los estribos no deberán espaciarse a más de 16 diámetros de barra longitudinal, 48 diámetros de barra de estribo, la dimensión mínima de la columna, la altura de las piezas de mampostería, ni 200 mm. (AGIES NSE 7.4. NR9: 2000)
  - Muros confinados
    - Requisitos para el refuerzo horizontal: Todo muro de carga o de corte deberá llevar refuerzos horizontales de acero ligados a todas las piezas de mampostería por medio de concreto. (AGIES NSE 7.4. NR9: 2000)
    - Dimensiones mínimas de las soleras: El ancho mínimo de las soleras de los muros estructurales deberá ser el espesor del muro y el área de su sección no deberá ser menor que 20,000 mm<sup>2</sup>. (AGIES NSE 7.4. NR9: 2000)
    - Sillares: Los sillares deberán ser de concreto reforzado con por lo menos 2 barras No. 2 y eslabones No. 2 a 200 mm, o su equivalente, debiendo anclarse adecuadamente al refuerzo vertical del borde del vano de la ventana. (AGIES NSE 7.4. NR9: 2000)
    - Dinteles: Los dinteles deberán ser de concreto reforzado y se calcularán según las condiciones de cada caso. (AGIES NSE 7.4. NR9: 2000)
    - Área mínima de acero: Los muros confinados de mampostería deberán reforzarse horizontalmente con un área de acero no menor que 0.0015 veces el área de su sección transversal. (AGIES NSE 7.4. NR9: 2000)
    - Tipos de soleras: Para edificaciones de un nivel se indican en esta norma, tres tipos de soleras: solera hidrófuga, solera intermedia y solera superior o de techo. Cuando

se trate de edificaciones de dos niveles se deberá agregar una solera de entrepiso. Si la altura libre del muro es mayor que 2.80 m, se deberá colocar más de una solera intermedia. (AGIES NSE 7.4. NR9: 2000)

- Acero de refuerzo mínimo en las soleras: A continuación se presentan los refuerzos mínimos para una solera:

**Cuadro 7: Refuerzo mínimo en soleras**

<b>Tipo de solera</b>	<b>Refuerzo mínimo</b>
Hidrófuga	4 No. 3; Estribos No. 2 a 200 mm
Intermedia	2 No. 3; Estribos No. 2 a 200 mm
Entrepiso	4 No. 3; Estribos No. 2 a 200 mm
Superior <sup>(a)</sup>	4 No. 3; Estribos No. 2 a 200 mm

- El Recubrimiento del acero de refuerzo no deberá ser menor de 15 mm.
- Requisitos para el refuerzo vertical: Todo muro de carga o de corte deberá llevar refuerzos verticales de acero ligados a todas las piezas de mampostería por medio de concreto. El refuerzo vertical debe principiar en la cimentación y terminar en la solera superior debidamente anclada a ella. Los vanos de puertas y ventanas deben rematarse con un mínimo de dos barras de refuerzo vertical.
  - Dimensiones mínimas del refuerzo vertical: Las dimensiones mínimas aceptables de elementos de concreto para el refuerzo vertical son:
    - En el sentido normal al muro: no menos que el espesor del muro;
    - En el otro sentido:
    - Refuerzos con armado de 4 barras o más: no menos que el espesor del muro;
    - Refuerzos con armado de 2 barras: 100 mm.
    - Área mínima de acero: Los muros confinados de mampostería deberán reforzarse verticalmente con un área de acero no menor que 0.0007 veces el área de su sección transversal.
    - Tipo de Refuerzo Vertical: Con la finalidad de cumplir con lo descrito en el inciso 4.4.2, en esta norma se establecen tres tipos de refuerzo vertical: tipo A para edificaciones de dos niveles, tipo A para edificaciones de un nivel, y refuerzo vertical tipo B. El refuerzo tipo B está indicado únicamente en los

vanos de puertas y ventanas. El refuerzo mínimo para cada uno de ellos se muestra en las siguientes tablas. La separación de los estribos, tanto para los refuerzos tipo A y tipo B, no excederá de 1.5 veces la menor dimensión del refuerzo vertical ni de 200 mm.

**Cuadro 8: Refuerzo vertical mínimo para viviendas de dos niveles**

No. del nivel	Refuerzo vertical mínimo	
	Tipo A	Tipo B
2º. Nivel	4 No. 3	2 No. 3
1º. Nivel	4 No. 4	2 No. 3

**Cuadro 9: Refuerzo vertical mínimo para viviendas de un nivel**

No. del nivel	Refuerzo vertical mínimo	
	Tipo A	Tipo B
1º. Nivel	4 No. 3	2 No. 3

- Separación entre refuerzos verticales: La separación máxima permitida entre refuerzos verticales con refuerzo mínimo se especifica en la siguiente tabla:

**Cuadro 10: Separación máxima entre columnas con acero mínimo**

Material del muro	Ancho (mm)	Distancia entre refuerzos tipo A (m)	Distancia entre refuerzo tipo A y refuerzo tipo B (m)
Ladrillo tubular y bloques de arcilla cocida	230	5.00	2.50
	200	5.00	2.50
	140	4.00	2.00
	110	3.00	1.50
Ladrillo tayuyo o perforado	230	5.00	2.50
	140	5.00	2.00
	110	4.00	2.00
Bloques de concreto	150	4.00	2.00

**2.2.4.2 Requerimientos estructurales mínimos de panel estructural o electropanel.** Actualmente en Guatemala, el uso del panel estructural es muy poco común, y normalmente es utilizado en pequeñas construcciones como garitas de ingreso, tabicaciones interiores de un edificio o vivienda o construcciones secundarias que normalmente no son diseñadas, aunque si existe una pequeña cantidad de viviendas y trabajos importantes que se han desarrollado en el país con electropanel en los últimos años.

Debido al poco uso que se tiene de este material, aún no existe ninguna normativa o regulación estructural que se pueda tener de referencia para elaborar un diseño de sus muros o losas, y únicamente se hace a través de técnicas aprendidas de manera empírica.

A pesar del uso empírico que existe en el país con este tipo de construcción, no se han registrado ningún colapso importante o de serias consecuencias de este tipo de estructuras. Esto se debe a las bondades que este material tiene y una de sus mayores virtudes que es muy liviano, por lo cual durante eventos sísmicos, su comportamiento es ideal, aunque no esté construido de la forma más adecuada o sin el cumplimiento de un diseño estructural

- **Cimentación.** El cálculo de la cimentación debe hacerse con base al estudio de mecánica de suelos, debido a lo liviano del sistema se puede hacer un cimiento corrido en T invertida de forma trapezoidal o bien una losa de cimentación, ambas hechas de concreto. En el caso en que se construya una losa de cimentación a causa de las condiciones del suelo, esta en la mayoría de casos será una plataforma de concreto doblemente armada con parrillas formadas con varillas de 5/16" o bien electromalla, antes de fundir la losa se colocan al armado trabes intermedios compuestas con 4 varillas de 1/2" y estribos de 1/4" a cada 45cm. (Alfaro, 2004)

La losa de cimentación esta perimetrada por una viga o solera la cual debe tener mínimo de 45cm de peralte y estar armada de 4 varillas de 5/8" y estribos de 1/4" a cada 45 cm., es necesario tomar en cuenta que no siempre se construirá una losa de cimentación con las especificaciones anteriores y esto es debido a que el suelo puede requerir más refuerzo o bien menos. (Alfaro, 2004)

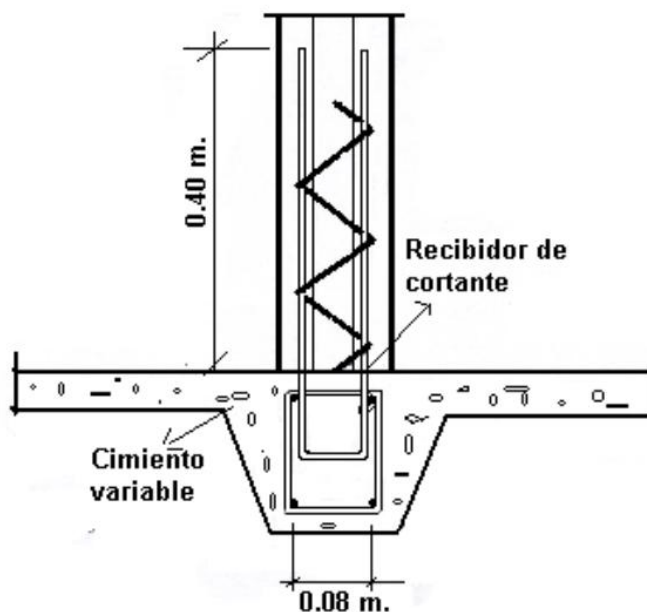
Como hemos mencionado anteriormente, el panel estructural tiene la ventaja de ser un sistema estructural muy liviano y usualmente es utilizado con losa liviana construida con el mismo panel estructural, o bien se debe construir con una estructura de techo liviano, por lo cual las cargas que una vivienda con este sistema de

construcción transmiten al suelo, es muy pequeña, normalmente su peso propio es insignificante con respecto a la capacidad de carga de un suelo, por lo cual es muy usual que el cimiento que se tenga únicamente cumpla con los requisitos mínimos de estabilidad y volteo.

Las losas de cimentación, es una solución que se usa normalmente en otros tipos de construcción cuando se tiene una carga muy grande de la construcción (tanto de peso propio como de ocupación). Ya que el peso de una vivienda construida con panel estructural es muy bajo, una losa de cimentación únicamente se utilizaran en casos en los cuales el suelo sea muy poco estable o tenga una capacidad de soporte casi nula.

Cuando se utilice una losa de cimentación, es importante señalar que la viga perimetral debe tener como mínimo un ancho de 8 cm para el panel estructural de menor espesor, y esta debe ir aumentando según el espesor del panel a utilizar

**Imagen 20: Cimentación mínima con losa de cimentación para muros en panel estructural**



Fuente: [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_2429\\_C.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_2429_C.pdf)

Es muy importante tomar en cuenta que antes de fundir la cimentación, se deben colocar los anclajes para los muros. La separación entre cada anclaje no debe sobrepasar los 1.22 m. de centro a centro, pero esta medida depende en gran manera

del despiece de los paneles en planta, lo cual nos formará el criterio de separación entre el anclaje.

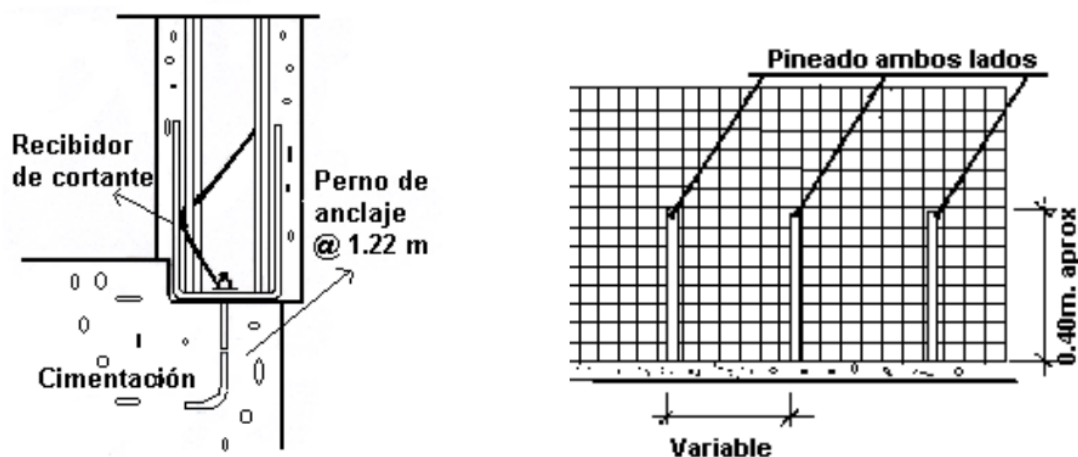
La colocación de las anclas debe hacerse sobre bastidores, los cuales son generalmente de madera o bien metal, estos van colgados en ganchos sobre la formaleta de la cimentación circundándola. La función de estos bastidores es proporcionar una forma correcta de poder alinear todo el anclaje y también para usarlos como moldes de separación en todas las cimentaciones constantemente.

En algunas ocasiones, cuando no es posible colocar todo el anclaje en la cimentación, es decir cuando se colocaran tabicaciones adicionales a una construcción existente, el anclaje se debe hacer a través de colocación de pines, como mínimo de 3/8" de diámetro de varilla corrugada, anclados a la losa por medio de un epoxico el cual debe ser colocado en una perforación mínima de 1/2".

Los dispositivos que se deben utilizar para anclar los muros a la cimentación son los siguientes:

- Anclaje para cimentación: esta ancla está elaborada con varilla lisa de 1.27cm. de diámetro (1/2") con rosca de 5cm. como mínimo en uno de sus extremos y gancho en el otro extremo, debe formar un ángulo de 90°, la longitud total del ancla debe de ser de 25cm. mínimo la cual incluye el gancho, el complemento de esta ancla será una tuerca y rondana plana de 1/2". Como se mencionó anteriormente, este no debe sobrepasar una separación de 1.22m (Alfaro, 2004)
- Recibidor de cortante: está fabricado de lámina galvanizada calibre 14 o bien de varilla corrugada de 0.95cm de diámetro (3/8") y de 1m de largo, el cual se coloca en forma de "U" y ambas patas deben tener un mínimo de 0.4m fuera del cimiento. Este recibidor se utiliza para la unión del panel con la cimentación. Estos están sujetos por un alambre de sujeción tienen un largo de 0.30cm está fabricado con alambre galvanizado calibre 12 y tiene en uno de sus extremos un gancho corto el cual está incluido en el largo del alambre. (Alfaro, 2004)

**Imagen 21: Detalle de anclaje de muros en cimentación**



Fuente: [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_2429\\_C.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_2429_C.pdf)

- **Levantado y fijación de muros.** Para el levantado de paredes los paneles se pueden pre ensamblar después ser transportados hasta el lugar donde se encuentra la cimentación con todos los recibidores de cortante. (Alfaro, 2004)

En el momento de ensamblado de los paneles es donde se puede apreciar la rapidez del sistema, asimismo es donde se requiere la mayor supervisión del preensamblado porque no deberá ensamblarse ningún muro o losa que no esté cumpliendo correctamente con el trazo, corte del proceso anterior. (Alfaro, 2004)

Para realizar los cortes en los paneles se utiliza una cortadora eléctrica o manual, equipada con disco de 140cms. y mesa de trabajo donde se combinan a diferentes ángulos. Todos los cortes que se realicen, tanto con la cortadora eléctrica como con la pistola neumática, deberán ser lo más rectos posible, para que esto permita un perfecto ensamblado entre las planchas. (Alfaro, 2004)

Se deben cuidar los cortes diagonales realizados en el sentido longitudinal del panel y se deberán asegurar todas las barras de poliestireno que queden sueltas con tiras de cinta gris, para evitar que las piezas pre-ensambladas vayan incompletas, provocando aumentos en los detalles posteriores. (Alfaro, 2004)

Para que el estibado sea correcto, el acomodo de las piezas pre ensambladas debe hacerse con el máximo cuidado, ya que se puede correr el riesgo de que algunas



mallas se desprendan, sobre todo en las secciones de losas que son de mayores dimensiones. (Alfaro, 2004)

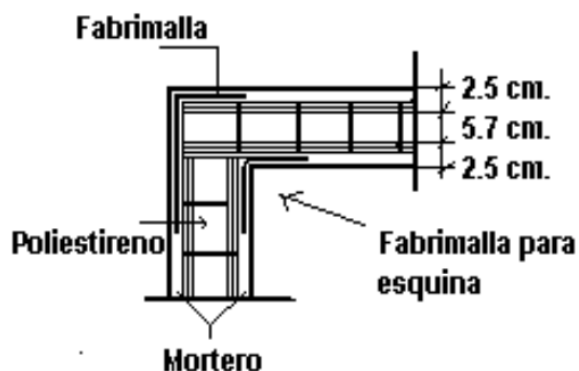
Nunca se deben recorrer con este material distancias mayores a los 50 m. entre el preensamblado y el lugar de la estiba. Para el levanto de muro se deben seguir las siguientes actividades:

- Distribución de secciones
- Distribución de soportes metálicos
- Aplicación de aceite en los soportes
- Suministrar todo el material interior y exterior requerido
- Levantar y soportar todos los muros
- Colocación de marcos
- Fijación, alineación y plomo de los paneles
- Fijación de refuerzo de muros y marcos

El panel debe incluir un excedente de electromalla en ambos extremos para su debido empalme longitudinal, para su instalación es recomendable la colocación de 4 varillas de 4.5mm de diámetro por 50cm de largo en ambas caras de la plancha colocadas horizontalmente en toda la altura del panel para evitar un desfase de las planchas durante el repellado. (Alfaro, 2004)

Para la unión de las planchas en esquinas como en paredes intermedias, estas se reforzarán con malla a escuadra que se coloca por el lado exterior de la pared como refuerzo de confinamiento y también se deben reforzar con anclajes en formas de U y L. Se debe colocar un cordón de aproximadamente 1 cm. de grosor de material elástico y adherente en la unión de dos planchas, el cual sellará la junta existente entre ellos. (Alfaro, 2004)

**Imagen 22: Detalle de juntas en muros**

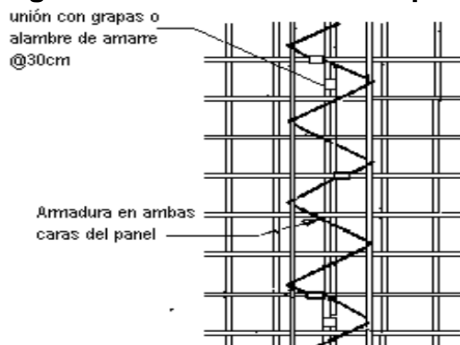


Fuente: [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_2429\\_C.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_2429_C.pdf)

En caso que no se hayan realizado los cortes para puertas y ventanas antes del levantado de muros, los vanos de estas deben ser marcados sobre el panel procediendo a cortar la malla y el poliestireno, en los vértices de cada vano debe colocarse a 45° una electromalla de refuerzo o varillas en los puntos donde se rompió con la continuidad de la estructura. (Alfaro, 2004)

Para unir pedazos del panel se deberá conservar siempre el sentido de la escalería y traslapar 15 cm. de electromalla para dar continuidad al refuerzo. Si el muro tiene una altura mayor a los 3 m. se deben poner varillas de 4.5mm de diámetro en ambas caras de la unión transversal del panel para dar mayor rigidez a la instalación. (Alfaro, 2004)

**Imagen 23: Detalle unión entre paneles**



Fuente: [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_2429\\_C.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_2429_C.pdf)

- **Mortero de rigidización.** La mezcla del mortero para que obtenga la resistencia mencionada anteriormente se debe hacer con una proporción de cemento y arena de 1:3 y una relación agua cemento de por lo menos 0.5, a esta mezcla se le puede incluir cal en una proporción de 1:3:0.10 con la misma relación agua cemento de 0.5 para obtener mayor resistencia y menos permeabilidad en la pared. (Alfaro, 2004)

La aplicación del mortero se puede hacer a mano o con máquina lanzadora de mortero con la cual se realiza un trabajo más rápido que manualmente y el impacto del mortero sobre la superficie mejora la adherencia. (Alfaro, 2004)

El mortero debe aplicarse en dos o tres capas alternando ambos lados del muro. Es necesario colocar el mortero en las paredes antes de fundir la losa ya que el mortero dará resistencia a los muros para soportarla. (Alfaro, 2004)

La primera capa de mortero debe aplicarse con un espesor aproximado de un centímetro usando como guía la electromalla, las superficies de concreto o tabiques deben humedecerse sin saturar antes de la aplicación del mortero. La primera capa se deja fraguar durante un día máximo y terminando ese período se aplica la otra capa para obtener mejor adherencia. (Alfaro, 2004)

La segunda capa de mortero deberá tener un espesor mínimo de 1.5 cm., para aplicarla la superficie de la primera capa debe estar uniformemente húmeda. La superficie de la segunda capa debe nivelarse y terminarse con una regla o arrastre metálico rectangular de 1" \* 2" pulgadas y un nivel de mano de 4' el cual sirve para chequear la verticalidad de la pared. Si se aplica una tercera capa para acabado, la superficie de la segunda capa debe dejarse con un acabado rústico para obtener mejor adherencia. (Alfaro, 2004)

El acabado o tercera capa debe aplicarse con un espesor de 3 mm, un día después de haber aplicado la segunda capa cuya superficie debe estar húmeda antes de la aplicación. Esta tercera capa debe curarse continuamente con agua por lo menos durante 24 horas, este curado mejorará la densidad, resistencia e impermeabilidad del aplanado, reduce la contracción y previene las grietas y fisuras. Es importante recordar mojar la superficie final para el fraguado mínimo durante cinco días. (Alfaro, 2004)

Debido a los esfuerzos causados por la contracción que pueden ser mayores que la resistencia a tensión del mortero se debe cuidar que las juntas de expansión en

superficies sólidas se continúen en el aplicado de este, una forma es que se permita piezas metidas en el mortero. (Alfaro, 2004)

**2.2.4.3 Requerimientos estructurales mínimos para viviendas de muros fundidos.** El concreto es uno de los materiales más utilizados en todo el mundo para la construcción, y en Guatemala no es la excepción, ya que tanto como en viviendas de muros fundidos, como en construcciones de mampostería, en pavimentos, y otra gran cantidad de construcciones, el concreto es muy utilizado. Esto resulta una ventaja, ya que al ser un material tan utilizado, existe una gran cantidad de estudios, desarrollos tecnológicos y variedad de productos que permiten que el concreto desarrolle su resistencia y su objetivo de mejor manera.

Las casas de muros fundidos han tomado un auge muy grande en los últimos tiempos, ya que son una alternativa de construcción muy económica para su construcción en serie, y tiene un tiempo de construcción muy bajo en comparación a los métodos tradicionales de construcción.

- **Cimentación.** La cimentación de un muro de concreto, es bastante parecida respecto a la cimentación de una vivienda de mampostería, respeta los mismos principios de transmisión de carga que se necesitan de la vivienda. Como en todos los tipos de vivienda, la cimentación depende de gran manera de los pesos que transmita la estructura al suelo, por lo cual la cimentación mínima se puede definir según cada caso de la siguiente forma:
  - Viviendas de un nivel con techo liviano: Su cimentación puede consistir en un cimiento corrido de concreto reforzado con un ancho de 300 mm por 200 mm de peralte situado a una profundidad de 350 mm medidos a la parte inferior. El refuerzo del cimiento corrido consiste en 2 barras No.3 (9.5 mm) corridas más eslabón No.3 (9.5 mm) a cada 200 mm.

También podría usarse un cimiento corrido trapezoidal de concreto reforzado que mida 350 mm de ancho en la base, 200 mm de ancho en el tope y 350 mm de peralte, con refuerzo de 4 barras corridas No.3 (9.5 mm) más estribo No.2 (6.4 mm) a cada 150 mm. El recubrimiento que debe tener el refuerzo es de 80 mm en el fondo, y de 50 mm en los laterales. Además se colocarán pasadores verticales No.3

(9.5 mm) a cada 300 mm con alturas de 300 y 450 mm alternados para traslapar el refuerzo del muro propiamente dicho.

Para algunos casos de muros prefabricados, el cimiento trapezoidal podría fundirse en dos etapas. La primera etapa hasta un peralte de 200 mm dejando expuesta la parte superior del estribo y las dos barras longitudinales superiores. La superficie de la primera etapa de fundición deberá dejarse con pequeñas irregularidades para facilitar la adherencia de la segunda etapa de fundición. También el estribo No.2 (6.4 mm) podría sustituirse por una combinación de “U” No.2 (6.4 mm) más un eslabón No.2 (6.4 mm) que abrace las dos barras longitudinales superiores.

- Viviendas de un nivel con techo de losa de concreto: Su cimentación puede consistir en un cimiento corrido de concreto reforzado con un ancho de 400 mm por 250 mm de peralte y luego un sobrecimiento de 200 mm de espesor y 200 mm de peralte. El refuerzo del cimiento corrido consiste en 3 barras No.3 (9.5 mm) corridas más eslabón No.3 (9.5 mm) a cada 200 mm. Mientras que el sobrecimiento tendrá un refuerzo de 4 barras No.3 (9.5 mm) corridas y una “U” No.3 (9.5 mm) a cada 300 mm, con patas que sobresalgan 300 y 450 mm alternadas para poder traslapar el refuerzo del muro propiamente dicho.

Alternativamente podría usarse un cimiento corrido trapezoidal de concreto reforzado que mida 400 mm de ancho en la base, 200 mm de ancho en el tope y 400 mm de peralte, con refuerzo de 3 barras corridas No.3 (9.5 mm) en la parte inferior y 2 barras No.3 (9.5 mm) corridos en la parte superior, más estribo No.3 (9.5 mm) a cada 200 mm. El recubrimiento que debe tener el refuerzo es de 80 mm en el fondo, y de 50 mm en los laterales.

- Viviendas de dos niveles (sin importar techo, ya que el peso de la estructura hace que el peso de un posible techo ya sea despreciable con respecto a todo el peso de la estructura): Su cimentación será un cimiento corrido de concreto reforzado con un ancho mínimo de 500 mm por 300 mm de peralte, luego un sobrecimiento de 200 mm de espesor y 400 mm de peralte. El refuerzo del cimiento corrido consiste en 3 barras No.4 (12.7 mm) corridas más eslabón No.3 (9.5 mm) a cada 150 mm. Mientras que el sobrecimiento tendrá un refuerzo de 6 barras No.3 (9.5 mm) corridas

y una "U" No.3 (9.5 mm) a cada 300 mm, con patas que sobresalgan 300 y 400 mm alternadas para poder traslapar el refuerzo del muro propiamente dicho.

- **Requerimientos mínimos para muros.** Existe varias formas de lleva a cabo el cálculo de un muro de concreto reforzado. Según el American Concrete Institute (ACI), se permite que los muros de sección transversal rectangular sin vacíos sean diseñados mediante la siguiente fórmula:

$$\phi P_n = 0.55\phi f'_c A_g \left[ 1 - \left( \frac{kl_c}{32h} \right)^2 \right]$$

En donde:

$P_n$  = Carga de compresión axial

$\Phi$  = Factor de seguridad para cargas axiales = 0.7

$K$  = Factor de longitud efectiva, el cual se escoge según los siguientes hechos:

- Para muros arriostrados en la parte superior e inferior con el fin de evitar el desplazamiento lateral y:
  - Restringidos contra la rotación en uno o ambos extremos (superior o inferior o ambos) = 0.8
  - No restringidos contra la rotación en ambos extremos = 1.0
  - Para muros no arriostrados con el fin de evitar el desplazamiento lateral = 2.0

$A_g$  = Área bruta de la sección del muro

$L_c$  = Longitud del muro

$h$  = Altura del muro

Para este diseño, el espesor de muros de carga no debe ser menor de 1/25 de la altura o longitud del muro, la que sea menor, ni tampoco puede ser menor que 100 mm.

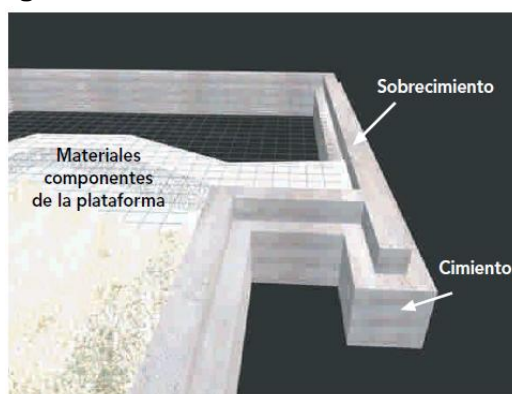
- Requerimientos mínimos de acero. Para que el muro sea capaz de soportar las cargas y actúe de una manera adecuada, debe cumplir con los siguientes requisitos de acero:
- La cuantía mínima para refuerzo vertical  $\rho_v$ , es:
  - 0.0012 para barras corrugadas no mayores que No. 16 con  $f_y$  no menor que 420 MPa
  - 0.0015 para otras barras corrugadas
  - 0.0012 para refuerzo electrosoldado de alambre (liso o corrugado) no mayor que MW200 ó MD200.
- La cuantía mínima para refuerzo horizontal,  $\rho_h$  es:
  - 0.0020 para barras corrugadas no mayores que No. 16 con  $f_y$  no menor que 420 MPa
  - 0.0025 para otras barras corrugadas
  - 0.0020 para refuerzo electrosoldado de alambre (liso o corrugado) no mayor que MW200 ó MD200.
- Los muros con un espesor mayor que 250 mm, deben tener el refuerzo en cada dirección colocada en dos capas paralelas a las caras del muro de acuerdo con:
  - Una capa consistente en no menos de 1/2, y no más de 2/3 de el refuerzo total requerido para cada dirección debe colocarse a no menos de 50 mm ni a más de 1/3 del espesor del muro a partir de la superficie exterior.
  - La otra capa, consistente en el resto del refuerzo requerido en esa dirección, debe colocarse a no menos de 20 mm ni a más de 1/3 del espesor del muro a partir de la superficie interior.
- El refuerzo vertical y horizontal debe espaciarse a no más de tres veces el espesor del muro, ni de 450 mm.
- El refuerzo vertical no necesita estar confinado por estribos laterales cuando el refuerzo vertical no es mayor de 0.01 veces el área total de concreto, o cuando el refuerzo vertical no se requiere como refuerzo de compresión.
- Alrededor de vanos de ventanas, puertas y aberturas de similar tamaño, además del refuerzo mínimo requerido, deben colocarse por lo menos dos barras No. 16(mm) en todos los muros que tengan dos capas de refuerzo en ambas direcciones y una barra No. 16 en los muros que tengan una sola capa de refuerzo en ambas direcciones. Estas barras deben anclarse para desarrollar el  $f_y$  en tracción en las esquinas de las aberturas.

#### 2.2.4.4 Requerimientos estructurales mínimos para viviendas de madera.

Una de las características sobresalientes del sistema constructivo de estas viviendas es el bajo peso de su estructura, comparado con los sistemas constructivos tradicionales (albañilería armada o reforzada y de concreto), por lo que los esfuerzos transmitidos al suelo son bastante menores. (CORMA Centro de Transferencia Tecnológica CTT)

- **Cimentaciones.** Por esta razón, los tipos de fundaciones superficiales más utilizados en las viviendas con estructura de madera son: fundación continua y la fundación aislada. (CORMA Centro de Transferencia Tecnológica CTT)
- Fundación continua: Los elementos que conforman la fundación continua son:
  - Sobrecimientos: paralelepípedo de concreto en masa o bloque de concreto que puede requerir refuerzos de barras de acero según cálculo. Se ubica sobre el cimiento y tiene un ancho igual o menor a éste e igual o mayor al del muro. Recepciona, ancla, aísla de la humedad y agentes bióticos a los tabiques estructurales perimetrales (muros), o tabiques soportantes interiores, siendo el nexo entre estos y los cimientos. (CORMA Centro de Transferencia Tecnológica CTT)
  - Cimientos: Paralelepípedo formado por la excavación de dos planos paralelos y separados por un ancho y altura según cálculo, que recibe las cargas de la vivienda y las transmite al suelo de fundación. (CORMA Centro de Transferencia Tecnológica CTT)
  - Zapatas: elementos estructurales de concreto, ubicados bajo el cimiento y que son requeridos cuando la capacidad de carga del terreno no es suficiente para soportar la presión que ejercen los cimientos sobre él. (CORMA Centro de Transferencia Tecnológica CTT)

**Imagen 24: Detalle de cimiento corrido**

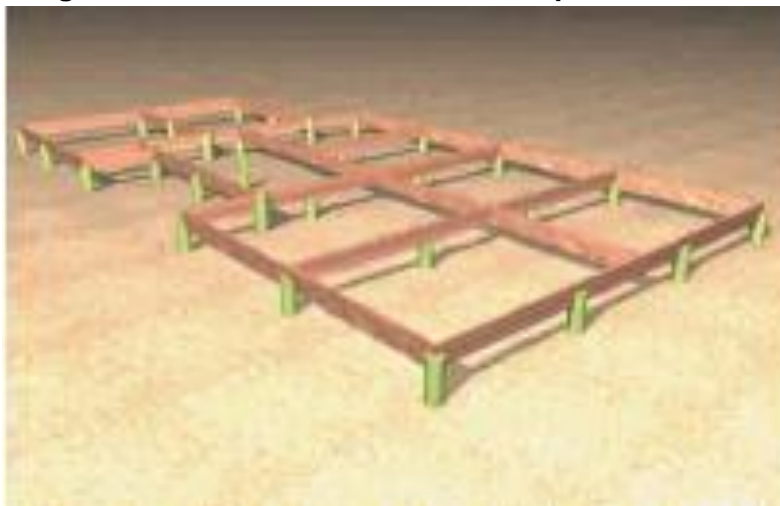


Fuente: Manual de Construcción de Madera (Corma)



- **Fundación aislada:** Esta fundación, puede ser materializada mediante pilotes de concreto armado o pilotes de madera. Normalmente se adopta esta solución en terrenos que tienen pendientes mayores al 10% en el sentido del eje mayor de la planta, por lo que es difícil realizar movimientos de tierra (difícil acceso de maquinaria, terrenos rocosos y duros) y en los que existe presencia de agua o gran humedad del terreno. (CORMA Centro de Transferencia Tecnológica CTT)
  - **Fundación aislada de pilotes de concreto** El sistema consiste en cimientos aislados de concreto en masa, a los que se les incorpora una armadura de acero en barras, cuya función es anclarlos a una viga de fundación de concreto armado que desempeña la función de un sobrecimiento armado.
  - **Fundación aislada con pilotes de madera:** Dada su facilidad, rapidez de ejecución y economía, este sistema de fundación es el más adecuado para viviendas de madera de uno y dos pisos. Al diseño del cimiento aislado de concreto en masa se le incorpora un rollizo de 8" a 10" de diámetro (pilote impregnado con 9 Kg/m<sup>3</sup> de óxidos activos de CCA) los cuales son unidos mediante las vigas principales de especificaciones, secciones y características estructurales según cálculo, donde se materializa la plataforma de madera que conforma el piso de la vivienda.

**Imagen 25: Detalle de cimentación con pilotes de madera**



Fuente: Manual de Construcción de Madera (Corma)

Para la cimentación continua, las medidas mínimas que tiene que respetar, son las siguientes:

- Viviendas de un nivel con techos livianos (único que se usa en madera):
  - Su cimentación puede consistir en un cimiento corrido de concreto reforzado con un ancho de 300 mm por 200 mm de peralte, con el sobrecimiento especificado anteriormente, o bien llamada solera de humedad. El refuerzo del cimiento corrido consiste en 2 barras No.3 (9.5mm) corridas más eslabón No.3 (9.5mm) a cada 200 mm, mientras que la solera de humedad de 2 barras No.3 (9.5mm) corridas más eslabón No.2 (6.4 mm) a cada 150 mm. (AGIES NSE 4 NR9: 2000)
  - También podría usarse un cimiento corrido trapezoidal de concreto reforzado que mida 350 mm de ancho en la base, 200 mm de ancho en el tope y 350 mm de peralte, con refuerzo de 4 barras corridas de No.3 (9.5 mm) con estribos de No.2 (6.4 mm) a cada 150 mm. El recubrimiento que debe tener el refuerzo es de 80 mm en el fondo, y de 50 mm en los laterales. (AGIES NSE 4 NR9: 2000)
- Viviendas de dos niveles con techo liviano:
  - Su cimentación será un cimiento corrido de concreto reforzado con un ancho mínimo de 500 mm por 250 mm de peralte. El refuerzo del cimiento corrido consiste en 4 barras No.3 y luego la solera de humedad o sobrecimiento (9.5 mm) corridas más eslabón No.3 (9.5 mm) a cada 150 mm. Mientras que la solera de humedad consiste de 4 barras No.3 (9.5 mm) corridas más estribo No.2 (6.4 mm) a cada 150 mm. (AGIES NSE 4 NR9: 2000)

Para los cimientos con pilotes, es necesario llevar a cabo un estudio más profundo en cuanto a las condiciones de cimentación, al igual que la estabilidad de la pendiente en la cual se construirá la vivienda y no existen requisitos preestablecidos, sino debe llevarse a cabo un estudio detallado del lugar.

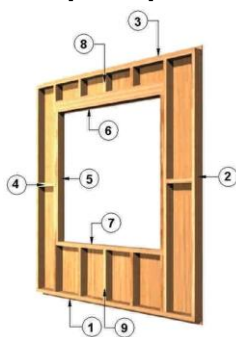
- **Diseño de muros y estructura de madera.** Actualmente en Guatemala la construcción de viviendas de madera es muy poco común, y la cultura tiende a pensar en estas construcciones como poco duraderas y de muy alto costo. Sin embargo, la tecnología para las construcciones de madera cada día crece más en distintos países del mundo (especialmente los desarrollados).

Para los muros de una casa de madera, es importante poder conocer los entremados que se puede encontrar en cada uno de ellos. Los componentes principales son:

1. Solera inferior
2. Pie derecho

3. Solera superior
4. Transversal cortafuego (cadeneta)
5. Jamba
6. Dintel
7. Alféizar
8. Puntal de dintel
9. Muchacho

**Imagen 26: Componentes principales de un muro de madera**



Fuente: Manual de Construcción de Madera (Corma)

Debido a la gran cantidad de posibilidades de las distintas especies de madera existente, no se puede generalizar un diseño de viviendas en madera, ya que cada tipo de madera tiene especificaciones distintas con propiedades distintas que se deben de tomar en cuenta el diseño. Para tener un buen diseño, se debe tener los siguientes datos de la madera a utilizar:

- Especie maderera: Tipo de madera que se utiliza, por ejemplo: Pino radiata, etc.
- Uso o destino de la madera: Madera para uso estructural. Por ejemplo, pie derecho.
- Escuadría nominal: Se debe recordar que la escuadría nominal de una pieza de madera (espesor x ancho), se expresa en pulgadas. Su grado de elaboración queda establecido por las dimensiones expresadas en milímetros. Por ejemplo: si se especifica la utilización de piezas de 2"X 4", sin informar sus dimensiones normalizadas en milímetros, queda abierta la probabilidad de utilizar tres tipos posibles de calidades de madera.
- Madera dimensionada (en bruto, verde, de 48 x 98 mm), con un contenido de humedad no menor al 25%.
- Madera dimensionada (en bruto, seca, de 45 x 95 mm), con un contenido de humedad de 13 a 15%.

- Madera cepillada (cep/4c de 41 x 90 mm), con un contenido de humedad de 13 a 15%.
- Largo comercial: Dependiendo de la escuadría especificada para muros, el largo de una pieza se expresa en metros con dos decimales.
- Contenido máximo de humedad: La madera que se utiliza para tabiques necesariamente debe ser secada en cámara y estabilizada con un contenido máximo de humedad del 14% con una tolerancia de  $\pm 2\%$ .
- Tiempo de estabilización: La madera en el lugar donde prestará servicio debe pasar por un período de estabilización de humedad, adaptándose a las condiciones locales de temperatura, humedad relativa del aire y época del año, antes de ser utilizada en la fabricación de elementos soportantes.
- Grado estructural de la madera: Por tratarse de madera para uso estructural, debe especificarse su clasificación como tal (dentro de la norma a la que está).
- Escuadrías mínimas recomendadas.

Para llevar a cabo la construcción de las tabicaciones de madera (muros autosoportantes) es necesario tomar en cuenta los siguientes puntos mínimos:

- El espaciamiento máximo de los pies derechos será de 0,50 m entre ejes.
- La distancia máxima entre ejes de los travesaños o riostras (cadenetas) y entre estos y las soleras será de 0,65 m.
- La altura de los diafragmas de fachadas no deberá ser mayor a 3 m para cada piso. Para estos efectos, la altura del diafragma es la distancia vertical medida entre los ejes de las soleras superior e inferior.
- La escuadría de las soleras, diagonales y travesaños, será igual a la escuadría de los pies derecho. Las diagonales podrán cortar a los pies derechos cuidando de mantener la continuidad estructural de estos a las soleras.
- La distribución de estos elementos será preferentemente simétrica y uniforme en cuanto a materiales y dimensiones, con el objeto de evitar solicitaciones de torsión en la estructura durante los sismos o bajo los efectos de ráfagas de viento.
- La longitud equivalente o longitud de los entramados verticales medidos en planta y necesarios para resistir las solicitaciones sísmicas o de viento, quedará determinada en metros lineales para cada una de las direcciones principales, por la mayor longitud que se determine aplicando los procedimientos que se describen más adelante.
- Para la fijación de los paneles de revestimiento a la estructura de madera se debe tomar en cuenta los siguientes puntos:

- La cantidad de fijaciones está determinada por la distribución y disposición de las piezas de madera que conforman los entramados. El perímetro del tablero contrachapado o tablero de hebras orientadas debe llevar una fijación (clavo corriente, helicoidal o tornillo autoperforante), distanciada cada 10 a 15 cm entre sí, y se entenderá como tal, a todo borde de tablero que se apoye en:
  - Soleras superior e inferior
  - Solera de montaje y de amarre
  - Pie derecho de encuentro entre tableros
  - Borde de vanos en puertas y ventanas (jamba, dintel y alféizar)
- En algunos casos, es recomendable que en la fijación del tablero colaboren cordones adherentes encolados, lo que permite distancias mayores entre fijaciones perimetrales.
- Toda línea de clavado o atornillado a piezas intermedias debe llevar una fijación cada 20 cm en pie derecho intermedios y transversales cortafuego.
- En caso de utilizar cordón adherente encolado, la distancia entre fijaciones intermedias puede aumentar.
  - Si la fijación de los tableros se realiza con clavo corriente o helicoidal, se recomienda que su largo mínimo sea de 2 1/2"
  - En el caso de utilizar tornillos autoperforantes, se recomienda utilizar unidades de 1 5/8" como mínimo.
  - La línea de clavado o atornillado perimetral de los tableros debe estar a una distancia mínima del borde no inferior a 10 mm.
  - La fijación de tableros estructurales en sus bordes, debe realizarse en forma perpendicular al tablero.
- Si el anclaje inferior se hace directo la cimentación debe darse de la siguiente manera:
  - Al momento de elaborar la fundición del sobrecimiento o solera de humedad, una solución aconsejable y segura fuera de otras entregadas por plano de cálculo, es la colocación de espárragos de acero estriado (A44-28H, Ø 10 a 12 mm) o barras hiladas de igual diámetro para recibir golilla y tuerca, perfectamente alineados y aplomados.
  - El espárrago o barra hilada para anclaje debe quedar incorporada (empotrada) a la masa de concreto, mínimo 20 cm de profundidad.
  - Sea un espárrago o una barra hilada, el elemento de anclaje debe dejarse con una escuadra o gancho de a lo menos 5 cm de longitud.
  - La ubicación, tanto de espárragos como de pernos hilados, debe ser definida por el diseño estructural. En general, se acepta el criterio de distribución siguiente:

- Un anclaje en cada extremo de los tabiques soportantes, respetando un espaciamiento mínimo de 120 mm entre dicho anclaje (perno) y el extremo del tabique.
- Un anclaje a cada costado en vanos de puertas.
- Un anclaje cada 80 cm máximo en extensión sobre
- la solera inferior.
- Anclaje de tabiques soportantes a fundación aislada en plataforma de madera se hace lo siguientes:
  - La unión de la solera inferior del tabique como la de montaje (en caso de ser proyectada) a la plataforma de madera, se recomienda con tirafondos de 12 mm mínimo de diámetro u otro sistema que especifique el plano de estructuras.
  - Los tirafondos deben fijarse a vigas principales, secundarias o componentes de apoyo de la plataforma, cuya distribución, dimensiones y forma de instalación se especifican en el plano de estructuras, aunque se aceptan las distribuciones especificadas anteriormente.
- Para el diseño de elementos estructurales (vigas y columnas aisladas) se debe de tener las especificaciones exactas de resistencia de cada madera, al igual que pruebas de resistencia para poder diseñar sin correr peligros estructurales.

## 2.3 Proceso de elaboración

Esta sección tiene como objetivo dar a conocer como actualmente se producen los principales materiales de construcción que son: madera, ladrillo, panel estructural, block y concreto. Es importante mencionar que se menciona el proceso de dicha elaboración de estos materiales de construcción de como se producen en Guatemala.

Es importante mencionar que algunos materiales no se producen en Guatemala y son importados, por lo tanto se mencionada el proceso de elaboración del material de donde es fabricado. Esto con el objetivo de dar a conocer como es el ámbito de fabricación del material en Guatemala para hacer un estudio lo más cercado a la realidad del país.

Para finalizar es importante mencionar que en dado en los casos que existan, se los procesos artesanales que en nuestro país actualmente distribuyen dichos materiales para construcción.

### 2.3.1 Block

- **Materia prima a utilizar y proceso de obtención.** Antes de mencionar la materia prima a utilizar para la fabricación del block es importante mencionar que es el un block y determinar los dos tipos que pueden existir, que son block de pómez y block de concreto.

Un block de pómez es una mezcla de cemento, agua y piedra pómez (conocida como gravilla) produciendo un block más artesanal y de baja resistencia. Al producir dicho block la resistencia alcanzada es de 25 kilogramos por centímetro cuadrado.

Un block de concreto es una mezcla de cemento, agua, arena triturada de origen de caliza volcánica y grava esto produce un block de color gris claro con una fina textura pensando entre 11.0 y 15 kg, siendo más liviano ante los blocks de pómez y alcanzando una resistencia entre 35 y 70 kilogramos por centímetro cuadrado.

El proceso de la elaboración del block comienza con una materia prima básica que es la arena. La arena a utilizar es la caliza volcánica. Para mantener un control del uso de la misma se tiene una licencia de extracción del mismo y un estudio de impacto ambiental que realiza la compañía interesada. Es importante mencionar que el estudio realizado permite solo cierto volumen de extracción en la cantera por un período de tiempo determinado. Esto va a ser determinado por el tamaño de la misma y la cantidad que se obtenga diariamente. El proceso es mecánico y regularmente es extraído de la cantera por máquinas retroexcavadores que van apilando la caliza volcánica para luego ser cargadas en camiones en volúmenes de 12 metros cúbicos que llevan a la empresa de fabricación del mismo. Esta previamente fue triturada para ser genera en forma de arena. Regularmente este procedimiento se realiza en las canteras. En lo que respecta a los blocks de pómez, la siguiente materia prima a extraer, como su nombre lo dice es la piedra pómez.

La piedra pómez es un tipo de piedra volcánica extrudida ya que se produce cuando la lava, con un alto contenido de agua y gases llamados volátiles, es expulsada por el volcán. La piedra pómez es la única roca que flota en el agua, sin embargo, eventualmente se satura de agua y se hunde. (Quiminet, Quiminet, 2011)

Es usualmente de un color blanco grisáceo lo cual indica que es una roca volcánica con alto contenido de sílica y bajo en fierro y magnesio, del tipo definido como riolita. La piedra pómez y la pumicita son minerales volcánicos formados por la solidificación de fragmentos de cenizas y espuma que produce el magma en forma de lava. Conforme las burbujas de gases se escapan de la lava, ésta se enfría, por lo tanto se endurece y el resultado es un material de una roca muy ligera rellena de pequeñas burbujas de gas. (Quiminet, Quiminet, 2011)

El proceso para la extracción del mismo es definiendo desde su origen:

Yacimiento: Es de origen volcánico y consiste de piedra pómez su génesis se debe a vulcanismo explosivo intermitente el cual generó piedra pómez. (Quiminet, Quiminet, 2011)

Separación: El material es seleccionado por medio de cribas vibratorias mediante las cuales se clasifica el material crudo de mina en donde pueden variar las medidas de las mallas para satisfacer las necesidades de los clientes. (Quiminet, Quiminet, 2011)

Limpieza: El material es seleccionado en las medidas que se requiera, se limpia mediante el proceso de flotación en donde por medio de lavado y presión de agua a las medidas desde 3/16 hasta 2 3/8.

A las medidas de piedra se les quitan las impurezas y polvo, posteriormente el material es transportado en otra banda en donde personal calificado inspecciona nuevamente la calidad de la piedra. (Quiminet, Quiminet, 2011)

Tamizado: En el área de tamizado se puede obtener medidas desde mallas 8 hasta malla 100. (Quiminet, Quiminet, 2011)

Embolsado: El embolsado se realiza mediante bandas transportadoras y tolvas de llenado que permiten llenar los envases con las medidas establecidas y en las presentaciones que el cliente requiere, poniéndolas en las tarimas para su manejo y entrega al cliente. (Quiminet, Quiminet, 2011)



**Imagen 27: Tamizado de piedra pómez para su extracción**



Fuente: Areasglobales, 2012

Es importante mencionar que este proceso es para fábricas dedicadas a la venta final de la piedra pómez en distribuidoras. La extracción de la piedra pómez en lo que respecta a la venta para fabricación de blocks tiende a ser solo separada, limpiada y tamizada.

**Imagen 28: Cantera para extracción de arena caliza volcánica**



Fuente: (ArenaSilicea, 2012)

**Imagen 29: Transporte de arena en camiones a la empresa de fabricación**

Fuente: (ArenaSilicea, 2012)

Como siguiente punto se utiliza cemento que es proporcionado a la empresa nacional que lo envía en pipas de camiones que abastecen la misma alrededor de 3 ó 4 veces por semana. Dicho cemento es almacenado en silos para luego ya utilizarlo en el proceso de fabricación. El otro material a utilizar es el agua entubada que tiene la acometida de la fábrica que se une también al proceso de fabricación.

Para finalizar el último material a extraer es la grava. La extracción de dicho material también es de canteras o minas a explosiones de cielo abierto. Los pasos para la extracción del mismo constan de: área de explotación, transporte, molienda (trituración), lavado especial y apilación de producto terminado.

El proceso de obtención del mismo es por medio de un tractor compuesto por una cuchilla y desgarrador fragmenta la piedra en pedazos más pequeños. Luego de esto una máquina llamada cucharón recoge el material para ser llevado a la trituradora. Este tiene como objetivo fragmentar en pedazos más pequeños a la roca. El siguiente paso consta de ser transportado a la trituradora de cono secundario que tiene como objetivo

mantener a un cierto nivel de temperatura todas las partes del cono. Luego de esto el pedrín cae sobre un transportador y es dirigido a una unidad vibratoria horizontal que básicamente tamiza la piedras hasta  $\frac{1}{4}$  de pulgada para luego ser transportado a su lugar de comercio. Es importante mencionar que existen diferentes tamices en los cuales se clasifica el pedrín para el uso que se le quiera dar.

**Imagen 30: Tanques de almacenamiento de cemento para fabricación de blocks**



- **Proceso de elaboración del material:** Es importante mencionar que actualmente la industria Guatemalteca se ve enfocada en la realización de blocks de concreto que a paso aligerado han ido desplazando al block de pómez en los últimos 40 años, a causa de esto el procedimiento a describir es la realización de blocks de concreto. Dicho proceso consta de cuatro pasos esenciales y muy sencillos, estos son: mezclado, moldeado, curado y estibado.

La caliza volcánica y grava se encuentran almacenadas en las afueras de la fábrica, como estos materiales están sueltos el proceso para que entren a la producción del material es por medio de retroexcavadoras que empujan en el caso de la grava a una parilla para que caiga en bandas que llevan a la máquina mezcladora.

**Imagen 31: Ingreso de grava que cae en bandas para el proceso de elaboración de blocks**



En el caso de la arena ésta es empujada directamente a un tanque inferior donde se encuentra una banda que lleva a la misma máquina anteriormente mencionada al material.

**Imagen 32: Arena almacenada previo a ser llevada en bandas para el mezclado de materiales**



Luego de obtener la materia prima para la elaboración se realizan pruebas de granulometría, resistencia y se revisa si existe segregación o no. Continuando el proceso las bandas de la materia prima se transportan hacia la planta a 5 tolvas donde se realizan las pruebas anteriormente mencionadas, de no ser pasadas dichas pruebas de granulometría el material es descartado. Luego de esto inicia el proceso en sí que es el mezclado en ese momento sube a la máquina mezcladora el cemento.

**Imagen 33: 6 bandas donde se transporta la arena y grava previo a la máquina de mezclado**



**Imagen 34: Máquina mezcladora para elaborar concreto**



De acuerdo a la granulometría escogida la tolva descarga el material que compone un 90 por ciento de base estructural y otra tolva otro 10 por ciento para el color del material querer utilizar. Luego la máquina despliega una relación agua cemento entre 0.3 y 0.4

donde por medio de sensores controla la humedad, esto lo revisa constantemente un operador en el cuarto máquinas.

**Imagen 35: Tolva que suben el material a la máquina mezcladora**



**Imagen 36: Cuarto de máquinas para el control de humedad**



**Imagen 37: Tolvas que descargan el material para ser mezclado e iniciar el proceso de fabricación de blocks**



Luego entonces se mezcla la arena y cemento y baja a la máquina llamada vibrobloquera que por medio de la teoría de vibraciones, y como su nombre lo dice por vibración produce el block.

La vibración es el método de asentamiento práctico más eficaz conseguido hasta ahora, dando un concreto de características bien definidas como son la resistencia mecánica, compacidad y un buen acabado. La vibración consiste en someter al concreto a una serie de sacudidas y con una frecuencia elevada. Bajo este efecto, la masa de concreto que se halla en un estado más o menos suelto según su consistencia, entra a un proceso de acomodo y se va asentando uniforme y gradualmente, reduciendo notablemente el aire atrapado. (CECyTECH, 2012 )

La duración de la vibración influye determinadamente en la compacidad del elemento. Un inconveniente que se encuentra a menudo en el campo de la vibración, es el efecto de pared, fenómeno que tiene lugar en aquellas piezas de paredes altas y espesor reducido. Aunque se haya calculado un vibrador que responda a la masa total a vibrar, el



asentamiento no será completo si tiene lugar tal fenómeno, debiéndose adoptar aparatos de mayor potencia para subsanar el efecto pared. (CECyTECH, 2012 )

El proceso es muy sencillo, el material entra a un caja y se empieza a vibrar, en ese momento baja el pizón y lo apizona para luego volver a vibrarlo en un tiempo entre 2.4 y 3.5 segundos.

**Imagen 38: Elaboración de block de molde**



En ese momento el block se encuentra ya con su forma característica y una máquina llamada finyer car transporta dicho material al carro transportador que saca del molde el block hacia las bodegas para su proceso de secado para el proceso de secado.

Dichas máquinas son automatizadas y al igual que todas las anteriores son utilizadas con energía eléctrica para su funcionamiento. Luego de estar ya almacenados los blocks el tiempo de secado es de 24 a 26 horas 80 y 95 por ciento de saturación respectivamente.

**Imagen 39: Proceso de secado en cámaras donde se controla la temperatura para el nivel de saturación de agua en el block**



Acá se controla humedad para mantener el cálculo termodinámico y así se mantenga húmedo. Estas máquinas son manejadas por siete personas que tiene la capacidad de producir 124,000 unidades cada 24 horas. En dicho proceso se observa que el nivel de contaminación para el ambiente es muy bajo ya que todas las máquinas trabajan por medio de electricidad. Continuando con el proceso y llegando a la última etapa es de estibado donde el block se apila para la venta y es recogido por camiones para su venta.

**Imagen 40: Blocks apilados y almacenados a la intemperie para su venta**



### 2.3.2 Ladrillo

- **Materia prima a utilizar y proceso de obtención:** Primero es necesario definir que es la arcilla, la arcilla es una roca sedimentaria, en la mayor parte de los casos de origen detrítico, con características bien definidas es un término granulométrico, que abarca los sedimentos con un tamaño de grano inferior a 2 mm. (Romero, 2012)

Las arcillas son constituyentes esenciales de gran parte de los suelos y sedimentos debido a que son, en su mayor parte, productos finales de la meteorización de los silicatos que, formados a mayores presiones y temperaturas, en el medio exógeno se hidrolizan. (Romero, 2012) El color de la arcilla cuando es virgen es de color blanco, el color cambia de acuerdo a la cocción por la presencia de óxido de hierro lo que provoca que se torne en colores oscuros.

**Imagen 41: Bancos de arcilla y mineral llamado “caolín” previo al proceso de elaboración del ladrillo**



El proceso de obtención es sencillo, dicho proceso es generalizado para una elaboración artesanal así como industrializado. Dicho proceso tiende a ser lo más sencillo posible en Chimaltenango Guatemala la extracción es en la capilla del barro de dicho lugar se extrae en forma en capas que se apilan en carretas, cortando por capas a lo largo de todo el terreno luego de esto es llevado a los centros de elaboración en camiones pequeños o picops.

Al momento de llegar como parte de la obtención es que el material se apalea y luego de esto se cuele. Al estar ya de esta forma se le agrega agua hasta que quede una especie de masa.

#### Imagen 42: Proceso de extracción del barro en Chimaltenango Guatemala



Pueblo de barro



Pascuala Tamat extrae barro desde que tenía 6 años de edad. Ahora tiene 58.



María Ofelia Cajero moldea el barro.

Fuente: Sandoval, 2008

**Imagen 43: Proceso de extracción de arcilla de forma artesanal cortando en capas del mismo terreno**



En lo que respecta al proceso industrial en el cual ya se realiza el proceso de extracción con retroexcavadoras tiende a ser de la siguiente manera. Se buscan los terrenos aledaños o muy cercanos a la fábrica de la elaboración del mismo.

El proceso es básicamente sencillo y muy parecido al de la extracción de barro como el proceso artesanal. Los terrenos se utilizan entre 0.50 metros y 2.5 metros para la extracción del barro. Luego de haber definido la profundidad a utilizar del terreno se procede a la extraer en capas de 0.30 metros en todo el terreno de forma homogénea el barro para luego ser montados en los camiones de volteo que lo llevan a la fábrica en volúmenes de 12 metros cúbicos.

**Imagen 44: Extracción de barro de forma industrializada utilizando retroexcavadoras y camiones de volteo**



**Imagen 45: Proceso de descarga de arcilla en bancos de depósito**



- **Proceso de elaboración del material:** El proceso de elaboración del ladrillo tienden también a ser muy sencillo básicamente consta de 4 pasos que son: preparación del barro, formación del ladrillo, secado y entrega. Como se mencionó en el punto anterior una vez el barro ya se ha “molido” reducido el tamaño, el primer paso es agregarle agua con el objetivo de lograr su plasticidad y una consistencia pastosa. El ladrillo debe remojarse al menos tres horas para empezar a amasarlo. En los procesos artesanales el barro es amado con los azadones. A comparación del proceso artesanal en el proceso o industrial el material se deja por lo menos dos meses en intemperie con el objetivo que cambie sus propiedades y libere el gas orgánico y el metano. Es importante mencionar que la lluvia es crítica cuando se deja expuesto mucho tiempo ya que el barro necesita el 25 por ciento de humedad al salir del proceso de elaboración.

**Imagen 46: Almacenamiento del barro antes de entrar en el proceso de elaboración**



En procesos industriales, se utiliza la primera máquina llamada mezcladora donde se empieza a mezclar el barro en un 75 por ciento y 25 por ciento de talpetate. El barro tiende a ser plástico y trabajable y el talpetate es grano grueso que el objetivo es que sea un desengrasante.

**Imagen 47: Bandas que llevan el barro para su trituración a la máquina trituradora**



Cuando ya se tiene el material preparado es molido y mezclado de manera de reducir su tamaño así como de triturar impurezas como piedra. Con esto se logra tener plasticidad e hidratación. La máquina, llamada molido laminar, se usa para moler el barro en dos rodillos que avanzan en sentido contrario y luego de eso cae en un piso colador de 3-4 milímetros.



**Imagen 48: Máquina trituradora**



Luego de esto refinada y homogeneizada. En lo que respecta al procedimiento artesanal se le agrega bastante agua de tal manera que quede una pasta que pueda ser utilizada al día siguiente.

**Imagen 49: Proceso de molienda de la arcilla en un proceso artesanal**



(GuatemalaWiki, 2012)

Continuando con dicho proceso se entra a la etapa de la elaboración del ladrillo, en un proceso industrializado consta de la siguiente manera:

La mezcla húmeda se extruye al vacío, es decir se fuerza a través de un molde que le da la forma al producto. En la extrusión se extrae todo el aire a la pasta para lograr mayor resistencia y menor porosidad. El producto sale del molde en un bloque continuo (también llamado “galleta”), el cual es cortado con las especificaciones necesarias de la pieza trabajada para luego ser colocados en tarimas que son utilizadas para secar el material. (INMACO, 2012)

**Imagen 50: Máquina extrusora al vacío para la formación del bloque de barro**



Esta máquina es una máquina extrusora de tornillo que es la que empuja en la forma de molde como se menciono anteriormente. Luego de esto se aperchan en bancos donde se llevan a cámaras de secado donde se le extrae la humedad.

**Imagen 51: Máquina de molde de ladrillo**



Para este proceso se utilizan aproximadamente dos operadores de máquina, uno que controla la mezcla y otro que supervisa la máquina extrusora; además de eso 21 personas para apilar los mismos.

**Imagen 52: Apilación de ladrillo para el proceso de secado**



El proceso de secado se hace en cámaras donde se hace circular aire caliente. La combinación de la temperatura y el aire en circulación logran secar el ladrillo, ya que el aire caliente tiene una mayor capacidad de retención de humedad. El tiempo de secado varía dependiendo de varios factores entre los que se pueden mencionar el tipo de material, el grosor de las paredes del mismo, la temperatura ambiente y la humedad relativa. Es importante mencionar que el ladrillo al salir del proceso de secado es un 6 por ciento más grande ya que posee un contenido de agua del 25 por ciento. Un aspecto a destacar es que el aire que utilizan para secar los ladrillos proviene de la combustión al utilizar papel, hojas plásticas entre otras en la máquina extrusora, de esta manera se contamina el medio ambiente.

En los procesos artesanales se utilizan moldes de aluminio donde pueden caber entre tres y cinco unidades. Se elaboran fila por fila de moldes. A estos se les coloca arena cernida para colocar el molde mojado en agua y luego de esto se coloca el barro, se amasa con los puños de las manos. Luego se le va dando forma hasta “alisarlo” se menciona este término ya que hay dos opciones que son dejarlo de manera rústica o alisado estridente. Cuando el ladrillo ya se encuentra más o menos seco se quita del molde para luego seguir al proceso de secado

En los proceso de elaboración los ladrillos se secan toda la noche y el día siguiente hasta por la tarde en un patio libre de piedras. También se usan hornos que son a base de leña de madera.

Estos hornos pueden clasificarse de dos o cuatro bocas. Los hornos se forman de arcos donde se coloca la leña gruesa, y es aquí donde empieza un proceso de contaminación por la combustión de la madera, y de la boca que sirve para alimentar al horno de leña constante.

El proceso de quemado entonces consta de la siguiente manera; se colocan alrededor de tres o cuatro filas de ladrillo de tres en tres separados aproximadamente 10 centímetros. Los dos primeros uno sobre otro y la tercera transversalmente.

**Imagen 53: Proceso de secado de ladrillo en cámaras de calor**



**Imagen 54: Contaminación al medio ambiente al momento de generar combustión para secado de ladrillos**



**Imagen 55: Proceso de secado de ladrillo en un patio en Chimaltenango Guatemala**



Fuente: (GuatemalaWiki, 2012)

Luego se forman tres basas sobre el piso de horno una pegada a cada pared del horno y una intermedia separada a 75 centímetros del de la pared. La cuarta fila se saca o corre el ladrillo sobre las bases hasta alcanzar una altura de nueve ladrillos quedando así dos arcos, terminado el cerramiento. Para finalizar cuando el fuego rojizo se observa en el horno se sabe que el proceso de quemado ya está listo. Para finalizar luego de esto se saca el ladrillo y se apila para venderlo.

**Imagen 56: Contaminación de un horno artesanal en la parte de quemado**



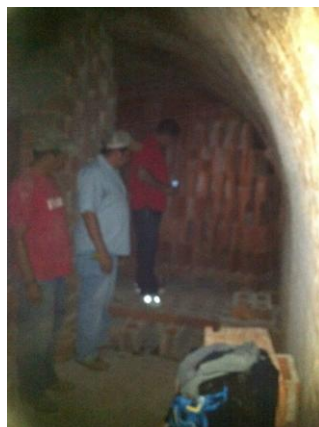
En el proceso industrial, el proceso es muy similar en el caso de que también se utiliza un horno a diferencia de la materia prima para la combustión a utilizar es la cáscara de café, esta tiene cierta ventaja que ya utiliza menor cantidad para generar más energía

**Imagen 57: Vista de horno exterior donde inicia el proceso de quemado del ladrillo**



En lo que respecta al proceso de quemado industrial el ladrillo se apila en filas una seguida de otra dejando una distancia aproximada de 10 centímetros entre cada uno, para que se transmita el fuego. Esto se realiza en cada cámara del horno con el objetivo de utilizar solo dichas cámaras que sean necesarias de acuerdo a las unidades requeridas.

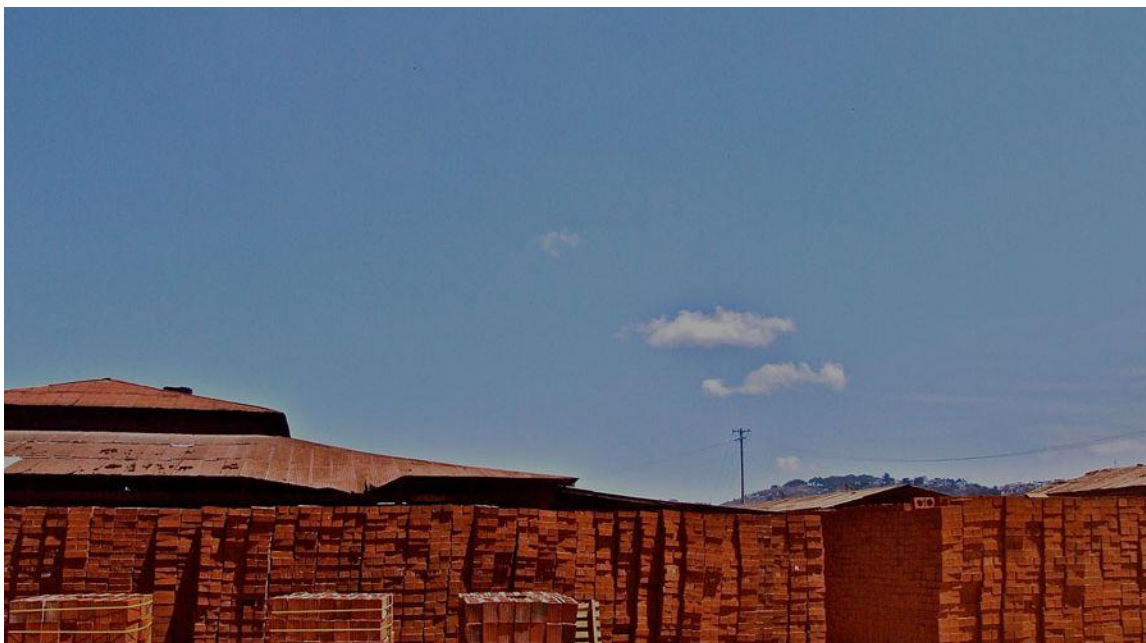
**Imagen 58: Vista interior de cámara de horno donde se muestra la apilación de los ladrillos**



Cuando ya se tienen apilados todos los ladrillos entonces se cierra la cámara con ladrillos. Entonces se vierte la cascara de café para aumentar dicha temperatura hasta llegar a los 1000 grados centígrados. Es importante mencionar que dicho fuego recorre cada una de las cámaras del horno, de esta manera se mantiene la facilidad de poder tener encendido dicho horno las 24 horas del día.

Como consecuente el cocido se deja alrededor de 40-48 horas, variando la temperatura por ciertos tiempos, pero de manera directa el fuego tiende a estar entre 2 horas y 2 horas y 30 minutos. Al finalizar los ladrillos se sacan de las cámaras del horno y se apilan para ser almacenados en las bodegas para su entrega.

**Imagen 59: Apilación de ladrillos para entrega**



Fuente: (INMACO, 2012)

### 2.3.3. Concreto

- **Materia prima a utilizar y proceso de obtención:** El concreto es una mezcla de cemento, grava, arena y agua que al mezclarse con agua producen un material altamente resistente, cambiando la misma de acuerdo a las proporciones entregadas de cada una de los materiales que la compone.



El concreto está conformado por cemento dicho material usa como materia prima, a consecuencia de esto se menciona el proceso de extracción de las piedras caliza y esquistos. Además de eso se menciona también la extracción de arena y grava o comúnmente llamado en Guatemala pedrín.

Actualmente en nuestro país en lo que respecta a la producción del cemento se ve apoderada por una empresa que tiene básicamente el control de la elaboración del mismo. Dicha empresa tiene como objetivo dentro de sus procesos, proteger el ambiente en la producción del cemento en Guatemala.

El proceso de elaboración del cemento comienza con la extracción de la materia prima en canteras que consisten básicamente en piedras calizas y esquistos. Los esquistos son rocas metamórficas con fuerte clivaje producido por un metamorfismo de contacto. Los esquistos tienen micas de tamaño visible. En contrario en las filitas las micas no alcanzan tamaños mayores de 0,02mm.

Los esquistos se forman en el interior de la corteza terrestre a partir del metamorfismo de rocas en una amplia franja de temperaturas y presiones, mientras algunos se forman a partir de presiones bajas a moderadas llamándose metamorfismo regional de grado medio, otros soportan presiones y temperaturas muy altas, es decir de grado alto. (Griem, 2006)

#### **Imagen 60: Esquisto en cantera previo a su extracción**



Las calizas son rocas carbonatadas, compuestas de calcita, aunque la dolomita puede ser un constituyente importante. El carbonato de calcio en la gran mayoría de los casos se ha extraído del agua del mar por acción de organismos diminutos y luego depositado en capas que finalmente se consolidan en rocas. Estas rocas son de estructura de grano fino y uniforme, a veces bastante densas. Algunas calizas son casi calcita pura, mientras que otras contienen materiales parecidos a la arcilla y varios óxidos como impurezas. Como estos se encuentran en canteras se tiene que usar explosivos para la extracción del mismo. (Quiminet, Quiminet , 2000)

**Imagen 61: Extracción de piedra caliza por medio de tractores**



Continuando entonces con el proceso de extracción de la piedra caliza así como los esquistos estos mantienen un proceso muy parecido en la extracción de dicho material. Con el objetivo de mantener el control para usar dicha materia prima se realiza un estudio geoestadístico el cual tiene como objetivo brindar un panorama de la cantidad de material a poder utilizar en las canteras sin que afecte directamente al medio ambiente. Considerando entonces se puede mencionar que para un período de 15 años se pueden utilizar 150 mil toneladas de materia prima sin ser afectada, de esta manera se mantienen los recursos a mediano y largo plazo.

Por lo tanto el proceso tiene a ser muy sencillo ya que se utilizan martillos y cortadores hidráulicos para quebrantar la roca luego de esto un camión de volteo extrae dichas rocas y esta se descargan dicho material en camiones de volteo, al igual que en los

otros procesos ya mencionados, de 12 metros cúbicos y que son llevados a la fábrica para su proceso de elaboración.

Es importante mencionar que en algunos casos cuando las rocas tienden a tener mayor dureza es necesario utilizar, para quebrantar el material, explosivos controlados sin afectar el medio donde se encuentran.

Una línea de hoyos para explosivos se taladran a una distancia atrás de la cara de la cantera, y las cargas de explosivos se insertan y disparan. El patrón de los hoyos explosivos, la cantidad de la carga a usar, y el tiempo de la explosión deben ser cuidadosamente regulados para asegurar una eficiencia máxima de los explosivos, la producción de bloques del tamaño adecuado, y la creación de una cara nueva y estable de la cantera. Es por lo tanto, una operación que requiere gran habilidad. Por ello, el operador experimentado de explosivos usará las discontinuidades naturales en la roca, diaclasas, capas, etc., para su ventaja; éstas son usualmente evidentes en la parte frontal de la roca, pero el geólogo tiene la responsabilidad de avisar cuando es probable que existan cambios atrás de la parte frontal de la roca que son aparentes, cuando por ejemplo, se acerca a una falla o flexión principal. (Machinery, 2004)

Para finalizar durante el proceso de extracción también se toma en cuenta humedad, granulometría y la composición química del material con el objetivo de cumplir con los requisitos para la elaboración de cemento.

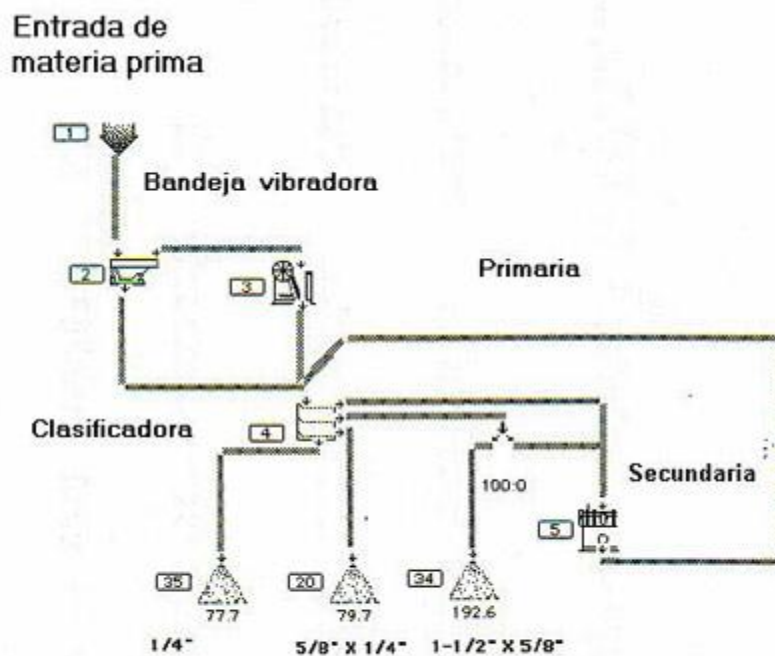
### **Imagen 62: Extracción de materia prima para la elaboración del cemento**



Fuente: (Machinery, 2004)

El siguiente material a utilizar para el concreto es el pedrín o grava. Como se había mencionado en el proceso de extracción para los blocks; el proceso de obtención del mismo es por medio de un tractor compuesto por una cuchilla y desgarrador fragmenta la piedra en pedazos más pequeños. Luego de esto una máquina llamada cucharón recoge el material para ser llevado a la trituradora. Este tiene como objetivo fragmentar en pedazos más pequeños a la roca. El siguiente paso consta de ser transportado a la trituradora de cono secundario que tiene como objetivo mantener a un cierto nivel de temperatura todas las partes del cono. Luego de esto el pedrín cae sobre un transportador y es dirigido a una unidad vibratoria horizontal que básicamente tamiza la piedras hasta  $\frac{1}{4}$  de pulgada para luego ser transportado a su lugar de comercio. Es importante mencionar que existen diferentes tamices en los cuales se clasifica el pedrín para el uso que se le quiera dar.

**Imagen 63: Esquema del proceso de elaboración del pedrín**



Típico diagrama de flujo utilizando el equipo presentado produciendo entre 350 -400 TPH entre 1-1/2\"/>

Fuente: (Liming, 2001)

Para finalizar con respecto a la extracción de la materia prima, se encuentra la arena. El proceso para extracción del material es básicamente sencillo y consta de por medio de una retroexcavadora tomar el material que se encuentran normalmente en las orillas de los ríos. Este es apilado en grandes proporciones para ser tamizado de acuerdo a la cantidad a vender y luego transportado en camiones de volteo a sus lugares de producción.

**Imagen 64: Arena para ser extraída en las orillas de los ríos**



Fuente: (Diario, 2012)

**Imagen 65: Tamización de arena**



Fuente: (Espinal, 2012)

- **Proceso de elaboración del material:** Continuando con el proceso de elaboración en lo que respecta al concreto se realiza la trituración del material con el objetivo de reducir los diámetros de dichas rocas que pueden tender a tener un diámetro de 1m. Acá es donde comienza entonces el proceso de mezclas entre esquistos y calizas. Y se realiza un tamizaje primario y secundario. Estas mezclas se realizan en un molino de mezcla.

Como la mezcla de estos materiales es para utilizarla en la preparación del cemento es necesario hacer ajustes de proporción entre los materiales, acá se tiene un ajuste de neutrones automáticos que regulan dichas mezclas.

**Imagen 66: Proceso de transporte de materia prima a molino de homogenización**



Fuente: (Horcalsa, 2012 )

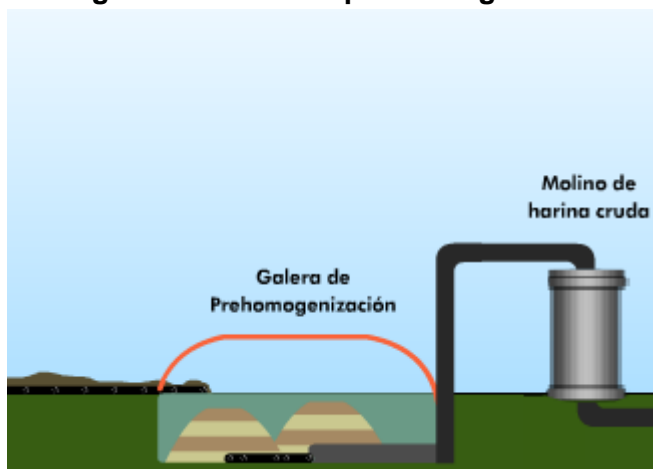
**Imagen 67: Trituración de piedra caliza**

Fuente: (CMI, 2004)

Al tener el material listo se lleva a una galera de pre homogenización. Ésta tiene como objetivo el apilamiento de mezcla por capas. El material cae y es transportado por una cinta que lo lleva a su próxima etapa. La ventaja del pre homogenización es que hay mayor uniformidad de la harina cruda y como consecuente la regularidad del clinker, que es la materia prima básica ya preparada para la realización del cemento, es la piedra caliza cocida.

**Imagen 68: Pre homogenización del material en galeras**

Fuente: (CMI, 2004)

**Imagen 69: Galera de pre homogenización**

Continuando con el siguiente paso se realiza la molienda de la harina cruda. Acá se reduce aún más el tamaño de las rocas. También se busca secar los materiales antes de ser sometido a altas temperaturas en los hornos. Al tener los materiales listos se mezcla y pulverizan los materiales con el objetivo de producir una granulometría fina que es la harina cruda, un polvo fino. El proceso entonces es dosificar el material en cantidad reguladas al molino donde se traslada a un separador que este busca la finura que quiere tener el material, cuando no cumple se regresa al molino. Para este proceso se utilizan molinos de bolas y molinos verticales de rodillos.

**Imagen 70: Molido de crudo**

Fuente: (CMI, 2004)



**Imagen 71: Separador por regulador de finura**



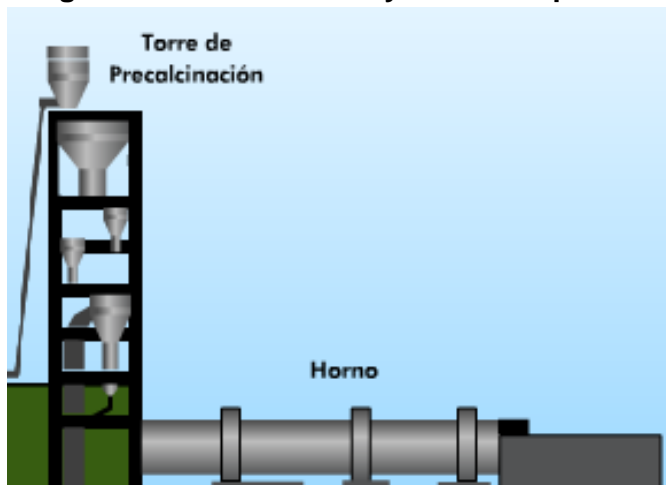
El siguiente paso es la clinkerización el llevado del material al horno. Consta de dos etapas la primera es el secado y la segunda el quemado, acá los materiales somete a 1450 grados centígrados temperatura a la cual reacción todos los componentes. Es sometido en hornos que rotan donde el material que consta de cuatro etapas de ciclones donde el material se calienta con el flujo de gases calientes de combustión. Luego la harina de ingresa a la base del calcinador, a una temperatura de 900 grados centígrados donde se realiza el 90 por ciento de la descarbonización. Dicha máquina es manejada por gas natural. Y al final se forma el material llamado clinker. Éste se deja en parillas para el enfriado, este material es granulado de forma redonda y de un color grisáceo.

**Imagen 72: Horno de preparación de clinker**



Fuente:(CooperativaBolivianadeCemento, 2012)

**Imagen 73: Precalcinación y horno de quemado**



Fuente: (CementosProgreso, Cementos Progreso , 2012)

Continuando con el siguiente paso es la molienda de cemento El clinker después de haber salido del enfriador y descargado al hangar, es trasladado a la playa de clinker para su enfriamiento, de donde se lo traslada nuevamente al hangar. Del hangar se dosifica junto al yeso, puzolana y filler caliza de acuerdo al tipo de cemento que se desea producir.

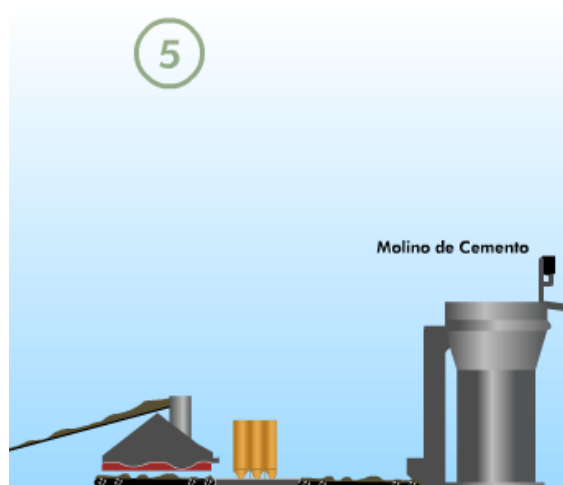
El cemento se muele a una finura determinada, para lo que se cuenta con separadores de alta eficiencia de tal forma lograr la finura deseada del producto, que es controlada cada hora y así lograr las resistencias establecidas.

**Imagen 74: Transporte del clinker a los molinos de cemento**



Fuente: (CooperativaBolivianadeCemento, 2012)

**Imagen 75: Transporte del clinker a los molinos de cementos.**



Fuente: (CementosProgreso, Cementos Progreso , 2012)

Para finalizar la última etapa, luego de haber salido del molino, el cemento producido se almacena en silos donde es despachado a pipas a granel o envasado en sacos Para su distribución.

**Imagen 76: Proceso de despacho a granel de cemento.**



Fuente: (CementosProgreso, Cementos Progreso , 2012)

**Imagen 77: Proceso de empaque y despacho a pipas**



Fuente: (CementosProgreso, Cementos Progreso , 2012)

Luego de terminar el gran proceso de elaboración de cemento se continúa con el proceso de elaboración del concreto dicho proceso es muy sencillo y consta de los siguientes pasos:

Luego de obtener toda la materia prima mencionada anteriormente se almacena en bodegas a excepción del cemento. Este llega a granel o dados casos cuando las producciones son en menor volumen y se realizan en obras llegan envasados. Estos se reciben en bandas transportadoras que llegan a silos en plantas dosificadoras para su almacenamiento luego de ser clasificadas.

**Imagen 78: Tolva donde ingresa la materia prima a utilizar para la producción del material que es llevada a los silos de almacenamiento.**



El siguiente paso consta de las tolvas y dosificadoras de agregados que se encargan de agregar los materiales de acuerdo a la necesidad de producto solicitado. En ella se pesan los materiales para ser llevados a la siguiente etapa que es la mezcla.

**Imagen 79: Básculas dosificadoras de agregados**



El siguiente paso es el transporte de agregados a un transcavo que tiene como objetivo la producción del concreto para ser transportados a las tolvas de dosificación. Donde se mezcla con el concreto que se deja caer por los silos y al mismo tiempo es alimentado por el agua para su mezcla.

**Imagen 80: Transporte de agregados**



Para finalizar la mezcla se descarga en camiones agitadores debajo del cabeza de espera donde se mantiene su fluidez hasta por una hora para que el mismo no se endurezca y sea utilizando en el punto final objetivo.

**Imagen 81: Descarga de concreto en camiones agitadores**



#### 2.3.4. Madera

- **Proceso de obtención del material:** El siguiente material a dar es establecido como un material verde constructivo esto por el hecho de su obtención de materia prima en lo que respecta a Guatemala y muchos países del mundo tiende a ser controlada. Esto implica también que durante el proceso de elaboración de vigas y plywood los desperdicios son usados en tu totalidad para otros fines. Otro aspecto a destacar es que en lo que respecta su producción tiende a ser un proceso muy sencillo y menor contaminación ante los demás procesos ya mencionados.

La madera es un material orgánico principalmente constituido por celulosa y liñina. En un árbol en pie esta conduce agua y otros nutrientes a las hojas y otra materia en crecimiento, esto es lo que le permite a los árboles crecer tan altos y ser tan gruesos. La humanidad ha usado la madera a lo largo de su historia para muchos propósitos, primariamente como combustible o como material de construcción para casas, herramientas, armas, muebles, embalajes, obras de arte, papel, etc.

Normalmente la madera es dividida, de acuerdo a su origen botánico, en dos tipos: coníferas y latifoleados o árboles de hojas anchas. Estructuralmente las coníferas tienen estructuras simples y menos densas que las maderas latifoleadas, cuya estructura es más compleja y más densa. Por lo anterior, la madera de pino es usualmente más liviana y fácil de procesar que la madera latifoleada. La densidad de las coníferas se encuentra en rangos entre los 350-700 kg/m<sup>3</sup>, mientras las latifoleadas entre 450-1250 kg/m<sup>3</sup>. En ambos casos con una humedad de aproximadamente 12% (HondurasPlywood, 2012)

Continuando entonces con el proceso de obtención de la madera es que la madera puede venir de:

- Bosques naturales
- Plantaciones forestales

Los bosques naturales como su nombre lo dice son bosques vírgenes que se ha encontrado a lo largo del tiempo y nunca han sido cortados. El proceso de obtención de la madera en Guatemala es por medio del Instituto Nacional de Bosques en el cual se pide un plan de manejo del bosque donde incluye los siguientes datos:

- Datos biofísicos: tipo de bosque y zona de vida
- Inventario forestal: Este con el objetivo de determinar el tipo de arboles existentes para su futura replantación.
- Planificación del manejo forestal: Se realiza un aprovechamiento debido a las clases diamétricas y luego se deja el restante para la conservación del bosque.
- Descripción tratamiento y recuperación del rodal a intervenir: Esto con el objetivo de dar a conocer cómo se va a recuperar dicho bosque a largo plazo.
- Corte permisible: El volumen que se puede cortar del bosque y se recupera en cierto tiempo de manera natural.
- Compromiso de repoblación forestal: Descripción de la recuperación de cada rodal de acuerdo al tipo del mismo y la forma de implementar su siembra.
- Propuesta de aprovechamiento forestal: Se propone técnicamente de como se aprovecha el bosque, corta final, entresaque selectivo y el manejo de recuperación del bosque analizando si es factible plantar o manejando rebrotes.

Luego de realizar el plan del manejo del bosque el Instituto Nacional de Bosques aprueba el mismo y se compromete a un plan de recuperación del bosque con una fianza y supervisiones por ciertos tiempos. Dicho plan se llama programa de incentivos forestales (PINFOR) y la misma paga al dueño del bosque por la reforestación del mismo luego de haber aprovechado el mismo.

**Imagen 82: Plantación natural de pino a utilizar**



La otra forma de poder obtener los bosques es por medio de plantaciones forestales es decir sembrar árboles en terrenos donde previamente fueron cortados bosques naturales o tenían otro uso anteriormente. Para poder realizar una plantación forestal es necesario realizar las siguientes actividades:

- Compra de semilla de planta a sembrar en dicho terreno.
- Elaboración del vivero: Este lugar se realiza dentro de la finca en un área céntrica donde se pueda transportar fácilmente la plantación.



**Imagen 83: Construcción de vivero y cuidado de plantación forestal**



- Preparación del área a plantar: Se realiza un limpia general, es decir chapeo del terreno, remoción de piedras, árboles podridos entre otros.
- Establecimiento de la población: Se realiza un trazo y ahoyado de los lugares donde se van a sembrar a los árboles, regularmente en Guatemala se usan distancias de 3 por 3 metros.

**Imagen 84: Plantación ya sembrada en bosques**



- Luego de esto se realizan los cuidados a la plantación, este consisten en limpias del terreno en general para evitar cualquier competencia para el crecimiento del árbol, podas y raleos que se realizan cuando la plantación ya tiene aproximadamente cinco años para darle prioridad al crecimiento de los arboles más grandes.

- Para finalizar se hace el aprovechamiento del bosque a los 25 años tiempo en el cual la plantación ha alcanzado cierta altura y diámetro que se puede vender en el mercado.

**Imagen 85: Plantación forestal al tiempo de 25 años.**



Estas entonces son las dos grandes formas de obtención de la madera como materia prima para su respectivo proceso para uso en casas. El siguiente paso entonces es realizar el corte de los árboles para su transporte a los aserraderos. El proceso es básicamente sencillo y consta de utilizar motosierras a base de gasolina donde cortan la parte inferior del árbol para luego ser almacenadas en un camión que los lleva al aserradero. Es importante mencionar que los bosques son cortados a cierto tiempo de la madurez del árbol con la idea de que se encuentre en óptimas condiciones.

**Imagen 86: Corte de árboles con motosierra.**



**Imagen 87: Transporte de troza en camiones.**



- **Proceso de elaboración del material:** Actualmente en Guatemala la producción de madera se ve enfocada para la utilización de tablonés y vigas en lo que respecta a la construcción de viviendas. Cierta tiempo atrás la madera contrachapada o plywood se fabricaba en el país pero debido a la alta inversión y poco mercado del nuestro es más barato exportar la misma.

Comenzando entonces con el proceso de elaboración de la madera en lo que respecta a tablonés y vigas de madera sólida es la recepción y almacenamiento de las trozas. Dichas trozas se mantienen alrededor de 10 días a la intemperie no importando que las mismas se mojen durante este lapso de tiempo, luego de esto si se dejan más tiempo la madera tiende a contener más humedad, alrededor de 30- 35 por ciento.

**Imagen 88: Trozas de madera almacenadas en aserradero previo al descortezado.**



Luego de esto son llevadas por medio de un tractor al carro transportador donde entran a la fase de descortezado por una máquina eléctrica que puede ser de sierra circular donde se le quitan  $\frac{1}{8}$  de pulgada por lado a la troza, o puede ser de sierra de cinta que esta tiende a cortar  $\frac{1}{4}$  de pulgada por lado de la troza, en este paso se forma de la troza a una pieza de madera llamada flinch.

**Imagen 89: Carro de transporte previo a ser descortezado.**



**Imagen 90: Sierra de corte de troza.**



**Imagen 91: Trozas de madera luego de ser descortezadas convertidas en flinch.**



El siguiente paso es el tronceado y despiece de la madera, este realiza de acuerdo las necesidades del usuario final para la madera. Para esto proceso se utiliza una máquina llamada sierra múltiple alternativa que determina las medidas de los tablones que pueden ser de 1,  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{3}{4}$  de pulgadas que respecta al revestimiento del machimbre para revestimiento de la casa, y para vigas y columnas se utilizan de 3x6, 3x8, 3x12 3 x3, 4x4 y 5x5 pulgadas respectivamente.

Para poder realizar estas medidas sólo se programa la máquina para la medida requerida de acuerdo las sierras de corte espaciadas.

**Imagen 92: Sierra múltiple alternativa que corta a medida la madera.**



Luego de esto la madera ya sale cortada en las piezas requeridas por el cliente y entra al proceso de cepillado. Este tiene como objetivo eliminar cualquier impureza de la madera para que tenga un acabado perfecto.

**Imagen 93: Cepillado de madera para eliminar desperfectos.**



Para finalizar se tiene la madera lista para entrar a un horno con el objetivo de reducir su humedad al 3 por ciento esto con la idea de evitar que la misma se expanda lo que produce que cambie su forma. La madera se deja por 10 días a una temperatura de 80 grados centígrados y el calor es proporcionado por la combustión de restos de madera del mismo aserrado.

**Imagen 94: Secado de madera en horno (vista interior).**



Al finalizar la madera se saca del horno y se almacena en bodegas totalmente cerradas para la distribución de la misma.

**Imagen 95: Tirantes para techo, columnas y vigas de madera.**



El otro proceso importante a mencionar es la elaboración de la madera contrachapada o plywood. El contrachapado o “plywood”, es un tipo de madera compuesta elaborado por capas de madera, llamadas chapas o chapillas de madera. El número de capas o estratos son pegadas entre sí, colocando cada capa con el grano a manera que forme un ángulo recto a las capas adyacentes para darle mayor resistencia. Usualmente el número de estratos es impar, la simetría en las capas hace que el tablero sea menos propenso a combarse, donde el grano en las superficies exteriores se coloca en la misma dirección.

El número de capas encoladas se prensan en calor presión con adhesivos especiales, usualmente se usa el fenol-formaldehído y urea-formaldehído, por esta razón el contrachapado se define como un material compuesto. Algunas veces el contrachapado es mencionado como el primer producto de madera compuesto, o el “Cadillac de los compuestos”. (HondurasPlywood, 2012)

El proceso de elaboración del material tiende a ser muy parecido al de manera solida, luego de tener ya las trozas de inicia con el mojado de la madera con agua caliente con el objetivo de poder ablandarla y se obtenga una capacidad de chapa buena. Se continua con el proceso de descortezado de la misma manera que se menciona anteriormente con el objetivo que quede la madera en un cubo llamada flinch. Estas son



clasificadas por largo, espesor y ancho con el objetivo de tener una homogeneidad en la utilización de la misma.

El siguiente paso es el desenrollado de la madera este se utiliza un bloque de desenrollado que girar alrededor de un eje de torno, es aquí donde se corta la hoja de chapa con una cuchilla montada en sentido paralelo al eje del bloque. Al mismo tiempo las hojas se enrollan en bobinas.

**Imagen 96: Máquina encargada de desenrollar la madera y ser embobinada en chapas.**



Fuente: (Monzón, 2005)

El siguiente paso es el corte en medidas estándar de las chapas donde una máquina digital clasifica el tres tipos según la calidad la madera, primario, secundario y terciario, para determinar la humedad y así mismo su proceso de secado. Estas son cortadas por cuchillas de gran velocidad ya programadas.

**Imagen 97: Máquina de cortado de láminas de madera.**



Fuente: (Monzón, 2005)

Luego de esto, se continua con el proceso de secado que es entre 10 y 12 por ciento de contenido de humedad, se utiliza vapor o combustión utilizando restos de madera llegando a temperaturas de 90 grados centígrados hasta 160 respectivamente. En algunos casos se utiliza 175 grados para reducir el tiempo de secado.

**Imagen 98: Secado de chapas de madera.**



Fuente: (Monzón, 2005)

El ensamblaje es el siguiente paso y consta de de unión de tiras delgadas de chapas que se encolan en los extremos, cada unión de chapas va primero en una dirección horizontal y luego la siguiente en dirección vertical. Luego de esto se encolan las capas exterior previo a su prensado. Para finalizar se realiza el proceso de prensado este consisten montar las chapas sobre prensas hidráulicas con el objetivo que el adhesivo entre en contacto con la madera, este se endurece por medio de calor a temperaturas de 80-180 grados centígrados. Luego de esto el material se empaqa para su distribución.

**Imagen 99: Prensado de chapas.**



Fuente: (Monzón, 2005)

**Imagen 100: Madera contrachapada.**

Fuente: (Monzón, 2005)

La etapa final del proceso de la madera es la protección de la misma con la idea de protegerla ante pudriciones, animales, humedad y cualquier otro factor que puede repercutir en el daño de la misma considerando que se utilizan por periodos de 40 años antes de ser reemplazadas.

Actualmente existen dos factores que afectan en la degradación de la madera estos son los agentes abióticos que son la luz, sol, temperatura y fuego así como los agentes bióticos que son insectos, hongos y bacterias. Para evitar en lo posible entonces la degradación de la madera existen dos tipos de químicos protectores que son los protectores hidrosolubles, que son insecticidas, fungicidas o retardantes de fuego que se emplean en contacto directo con el suelo y protegen la madera.

El otro es protector orgánico y estos son los más usados en la construcción y no son solubles en agua por lo tanto penetran de mayor forma y son químicos con propiedades insecticidas, fungicidas y repelentes de agua derivados del petróleo.

El cuperizado de la madera consiste en dar un protector orgánico a esta cuyo producto químico presente es el naftenato de cobre. (Quiminet, Quiminet , 2000). El naftenato de cobre tiene un alto poder fungicida en razón del ácido nafténico presente. Se emplea con alta concentración (20 ó 25%) en la solución orgánica, ya que es muy volátil. Normalmente se aplica por pulverización a baja presión mediante un compresor. (Quiminet, Quiminet , 2000)

Se deben extremar medidas de protección al aplicarlo pues es fácilmente inflamable y tóxico.

**Imagen 101: Xilofago (tipo de insecto) que daña la madera.**



### 2.3.5. Electropanel o panel estructural

- **Funcionamiento del sistema estructural:** Previo a mencionar cual es la materia prima a utilizar en este sistema constructivo es necesario detallar como funciona dicho sistema.

Electropanel o panel estructural es un sistema constructivo sismorresistente y termoaislante, basado en un conjunto de paneles estructurales de poliestireno expandido ondulado con una armadura básica adosada en sus caras constituida por mallazos de acero de alta resistencia y barras corrugadas, vinculados entre sí por conectores de acero electrosoldados. (Baupanel, Baupanel System , 2012 )

Estos paneles colocados en obra según la disposición de muros, tabiques y forjados que presente su proyecto son completados "*in situ*" mediante la aplicación de microhormigón a través de dispositivos de impulsión neumática. (Baupanel, Baupanel System , 2012 )

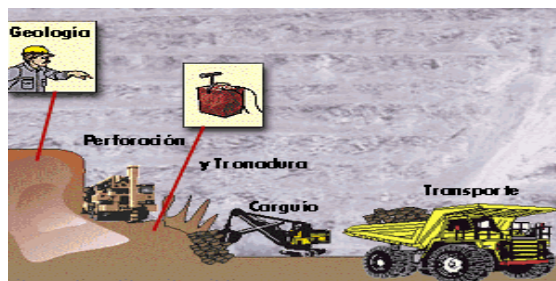
Este sistema es de junta húmeda, puesto que la unión entre los diferentes elementos que integran el sistema es continua. No existen por lo tanto ninguna clase de juntas horizontales ni verticales una vez proyectado el hormigón.

- **Materia prima a utilizar y proceso de obtención:** Los tres elementos básicos para la elaboración del electropanel o panel estructural son el acero, el poliestireno expandido así como concreto.

Ya que anteriormente se había mencionado como se realiza el cemento que es uno de los materiales para realizar el del concreto se va a ejecutar un énfasis a la producción del acero así como dándole mayor importancia al poliestireno.

El hierro básicamente está formado por mineral de hierro que abarca el 60 por ciento, carbón de coque con el 30 por ciento y fundente con el 10 por ciento. El proceso consta de realizar una perforación, luego la explosión y finalmente la extracción. Para obtener el mineral de hierro, previamente se necesita triturar y moler el mineral, para separar la parte útil llamada mena de la que no se utiliza que son las rocas, cal sílice tierra etc.

**Imagen 102: Extracción de mineral de hierro.**



Fuente: (Infoacero, 2000)

Este se obtiene de minas de hierro que son cargados directamente a camiones para que los lleven a los hornos. En lo que respecta al carbón de coque se crea artificialmente a partir de la hulla. La hulla es una roca sedimentaria orgánica, un tipo de carbón mineral que contiene entre un 45 y un 85 por ciento de carbono. Es dura y quebradiza, estratificada, de color negro y brillo mate o graso. (Infoacero, 2000)

La obtención de dicho material surge por la descomposición de la materia prima vegetal de los bosques y es el carbón más abundante por lo tanto es un material verde.

Para finalizar el fundente es un compuesto por piedra caliza. Que es lo mismo que la cal. La cal se obtiene del proceso de calcinación de la piedra caliza. El primer paso consiste en triturar y tamizar la piedra caliza con el objetivo de obtener cierto diámetro cuando se ingrese al horno de calcinación.

El siguiente paso es la calcinación acá el objetivo primordial es la descomposición de la piedra caliza, donde se pierde alrededor de la mitad del peso de la misma. Esta pérdida de peso surge a consecuencia por la pérdida de dióxido de carbono de la caliza.

En el proceso de calcinación se requiere un exceso de energía para descarbonizar y es el momento cuando la piedra caliza se vuelve cal viva. En este proceso se utiliza un horno vertical regenerativo que realiza un proceso controlado y automatizado, pero siempre generando combustión para que se genere la piedra caliza, el horno alcanza una temperatura de 1325 grados centígrados liberando dióxido de carbono. Para finalizar como se obtiene de esto la cal viva, la misma se tiene hidratar la cal viva, para esto se traslada a una hidratadora donde se le agrega agua. Este es un proceso exotérmico que al agregar agua libera calor.

**Imagen 103: Extracción de cal luego de ser calcinada.**



Fuente: (Horcalsa, 2012 )

**Imagen 104: Calcinación de piedra caliza donde libera dióxido de carbono.**



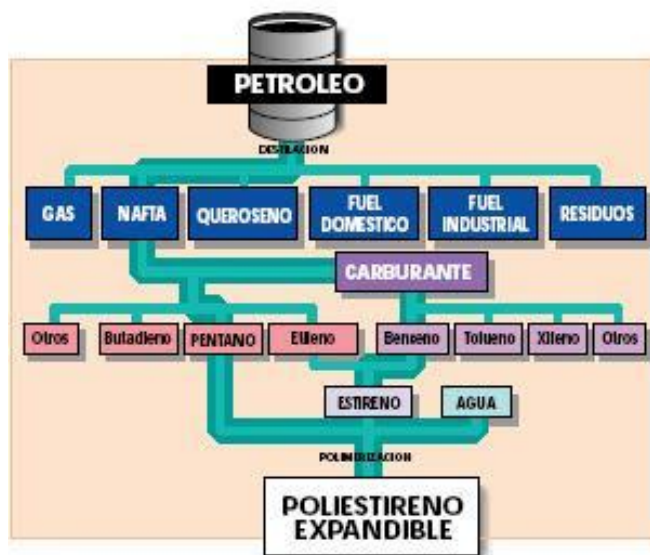
Continuando con respecto al poliestireno, dicho material se basa de la extracción de la brea y gas petróleo. Como es de saber la brea es un desecho del árbol que se obtiene de la corteza de árboles y arbustos se cortaba para producir incisiones por las que después fluye la resina. El proceso de obtención es básicamente sencillo ya que estos árboles son talados, se cortan en trozos pequeños y luego se almacenan para la producción de brea. La misma se empaca en barriles y trasportados al lugar de origen.

**Imagen 105: Brea que sale de los troncos de los arboles.**



El poliestireno expandido surge a partir del poliestireno expandible esto surge a partir del estireno, que se basa en la producción del petróleo básicamente.

**Imagen 106: Diagrama donde se muestra el origen del estireno que es básicamente del petróleo.**



Por lo tanto el siguiente material a utilizar es el gas petróleo. El proceso de obtención del gas petróleo tiende a ser un proceso muy largo y específico, pero manteniendo el objetivo de esta investigación se analizaran los procesos básicos de la elaboración del petróleo. El petróleo se forma bajo la superficie terrestre por la descomposición de organismos marinos. Los restos de animales minúsculos que viven en el mar y, en menor medida, los de organismos terrestres arrastrados al mar por los ríos o los de plantas que crecen en los fondos marinos se mezclan con las finas arenas y limos que caen al fondo en las cuencas marinas tranquilas. Estos depósitos, ricos en materiales orgánicos, se convierten en rocas generadoras de crudo. Una vez formado el petróleo, éste fluye hacia arriba a través de la corteza terrestre porque su densidad es menor que la de las salmueras que saturan los intersticios de los esquistos, arenas y rocas de carbonato que constituyen dicha corteza. El petróleo y el gas natural ascienden a través de los poros microscópicos de los sedimentos situados por encima (PaleoArgentina, 2000).

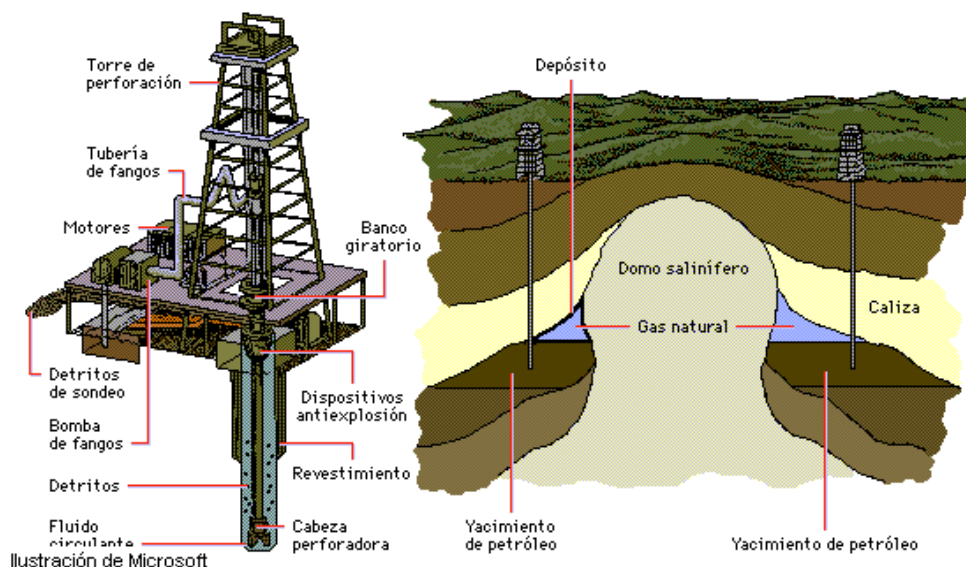
Para fraccionar el petróleo en la industria, se calienta previamente a unos 300 grados C. a medida que fluye, a través de un horno tubular, hacia la columna de fraccionamiento donde los compuestos del petróleo crudo son vaporizados, condensados y lavados repetidamente para lograr una separación satisfactoria. En la columna, que es un cilindro vertical, que contiene platillos horizontales debidamente espaciados, cada platillo actúa como una barrera al paso del vapor hacia la parte superior de la columna.



El grado de separación depende del número de platillos que tiene la columna. Conforme el vapor se desplaza hacia arriba se le fuerza a burbujear a través de la fase líquida de cada platillo. Esto hace que los vapores se laven y den lugar a una gran porción del material de mayor peso molecular se disuelva en el líquido y regrese a los platillos inferiores, mientras que los componentes más volátiles son vaporizados y pasan a los platillos superiores. Repitiendo este proceso se obtiene una separación efectiva.

Una vez extraído el crudo, se trata con productos químicos y calor para eliminar el agua y los elementos sólidos y se separa el gas natural. A continuación se almacena el petróleo en tanques desde donde se transporta a una refinería en camiones, por tren, en barco o a través de un oleoducto. Todos los campos petroleros importantes están conectados a grandes oleoductos. (PaleoArgentina, 2000)

**Imagen 107: Diagrama básico de extracción de petróleo.**



- **Proceso de elaboración del material:** Como ya se mencionó previamente, luego de la extracción de la materia prima que conforma el acero se transporta hacia el lugar de fabricación para la mezcla de dichos materiales.

El proceso entra a una operación llamada piro metalúrgica, este proceso se basa en la reducción del hierro, esto tiene como objetivo quemar el exceso de carbono e impurezas presentes en el hierro.

Dicho procedimiento se realiza en hornos con diferentes métodos y capacidades. Como el punto de fusión del hierro es de 1400 grados centígrados para este proceso se utiliza un horno llamado “alto horno” el objetivo primordial es reducir el hierro del mineral. Acá se desprende el oxígeno del óxido de hierro. La composición y mecanismo para el proceso de fusión del hierro es la siguiente:

El alto horno es virtualmente una planta química que reduce continuamente el hierro del mineral. Químicamente desprende el oxígeno del óxido de hierro existente en el mineral para liberar el hierro. Está formado por una cápsula cilíndrica de acero forrada con un material no metálico y resistente al calor, como ladrillos refractarios y placas refrigerantes. El diámetro de la cápsula disminuye hacia arriba y hacia abajo, y es máximo en un punto situado aproximadamente a una cuarta parte de su altura total. La parte inferior del horno está dotada de varias aberturas tubulares llamadas toberas, por donde se fuerza el paso del aire. Cerca del fondo se encuentra un orificio por el que fluye el arrabio cuando se sangra (o vacía) el alto horno. Encima de ese orificio, pero debajo de las toberas, hay otro agujero para retirar la escoria. La parte superior del horno, cuya altura es de unos 30 m, contiene respiraderos para los gases de escape, y un par de tolvas redondas, cerradas por válvulas en forma de campana, por las que se introduce la carga en el horno. Los materiales se llevan hasta las tolvas en pequeñas vagonetas o cucharas que se suben por un elevador inclinado situado en el exterior del horno. (Infoacero, 2000)

Luego de esto las materias primas se coloca en la parte de arriba del horno, esto con el objetivo de fundir el mineral y separar el hierro del mineral. Por lo tanto el aire ha sido precalentado hasta 1030 grados centígrados aproximadamente donde se quema el coque. De esta manera se produce básicamente la producción del hierro, no sin mencionar que actualmente al proceso ya descrito actualmente se ha añadido a este proceso es que se cerrando el flujo de gas de los respiradero del horno se aumenta la presión interior provocando una mejor combustión del coque y aumentando en un 25 por ciento la producción de hierro.

**Imagen 108: Elaboración de hierro en un alto horno en México.**



Fuente: (Infoacero, 2000)

Como ya se había mencionado el poliestireno expandido surge a partir del poliestireno expandible. Que éste a su vez surge del gas natural o del petróleo de donde se obtiene el etileno y luego de esto el estireno que contiene un agente llamado pentano que es el expansor y de es donde da origen a la materia prima de dicho material.

El proceso de elaboración del poliestireno expandido consta de las siguientes partes:

- Reactor de polimerización
- Centrifugado
- Secado
- Cribado recubrimiento
- Envasado y embalado

En la ilustración que se muestra a continuación se presenta un diagrama básico para entender y tener claro el procedimiento de la elaboración del poliestireno expandido.

**Imagen 109: Diagrama de proceso de elaboración de poliestireno expandible.**



Fuente: (Pineda, 2012 )

Como primer punto en lo que respecta al reactor de polimerización, el estireno es vertido en máquinas llamadas preexpansores, esto con el objetivo primordial de calentar la materia prima con vapor de agua a temperaturas que oscilan entre los 80 y 110 grados centígrados.

**Imagen 110: Máquina preexpansora para elaboración de poliestireno expandible**



Fuente: (Kurtz, 2012 )

Luego de esto se utiliza una relación entre estireno y agua de 1 a 3 con el objetivo de agitar el polímero. Es en dicho momento cuando el 90 por ciento de la solución se convierte de perlas compactadas de materia prima en perlas de plástico celular,

con celdas cerradas que contienen aire en el interior de las mismas. Es importante llegar a este punto que se alcanza el estado crítico de polimerización ya que el material tiende a ser sólido, pegajoso y denso.

**Imagen 111: Pre expansión de poliestireno expandible**



Fuente: (EMMEDUE, 2012)

Este proceso tiende a durar 5 minutos aproximadamente donde una máquina eléctrica libera vapor por la cocción. Acá se expande entre 20 y 25 veces cada partícula.

Con respecto al 10 por ciento que sobra de las perlas compactadas que no se convirtió en perlas de plástico celular es bombeada hacia un desvolatizador donde los residuos de estireno son vaporizados, condensado y reciclado para reutilizarlos nuevamente.

El siguiente paso luego de que ya se encuentra preexpandido el material se pasa a la etapa que es el secado. Es necesario mencionar que en esta parte las partículas poseen el 90 por ciento de aire dentro de ellas. El objetivo de esta etapa es penetrar aire por medio de difusión, con esto se logra una mejor capacidad de expansión así como estabilidad mecánica.

**Imagen 112: Proceso de cocción para elaboración de poliestireno**

Fuente: (EMMEDUE, 2012)

Luego de esto se deja al menos 24 horas secando dicho material en silos ventilados. Con el objetivo de obtener la resistencia requerida y la eliminación de humedad excesiva.

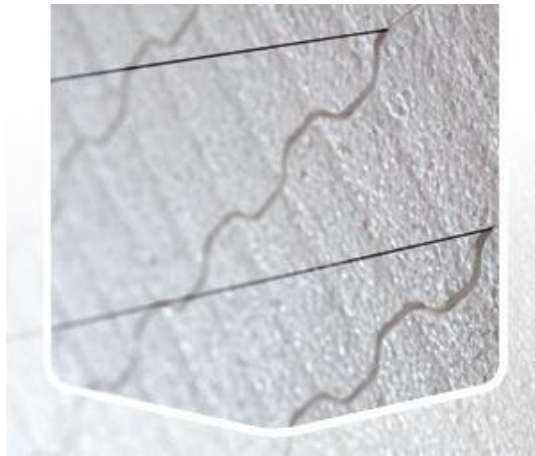
**Imagen 113: Secado en silos de poliestireno expandible**

Fuente: (EMMEDUE, 2012)

El siguiente paso es la sinterización o vaciado este paso básicamente es el proceso de compactación de las perlas, acá las perlas se expanden y ya secas se agregan a la máquina de cocción donde se someten nuevamente a la acción de vapor donde se eliminan espacios vacíos creando un bloque homogéneo y expandido.

Después de este proceso nuevamente los bloques se dejan secar antes de que nuevamente sean sometidos al corte en placas. La siguiente etapa consta del corte y perfilado, esta etapa consta mediante un pantógrafo de control numérico cortar cada uno de los bloques y perfilarlos. Estos cortes y perfilados se realizan de acuerdo los requerimientos

**Imagen 114: Perfilado del poliestireno expandido ya en planchas**



Fuente: (EMMEDUE, 2012)

Consecuente a esto se realiza la etapa de cocido, utilizando una máquina automática para paneles espaciales de doble conector realizan lo que es electropanel o panel estructural por medio de cocido. Acá se unen las dos o cuatro electromallas además de uno dos planchas de poliestireno de acuerdo a lo que el cliente requiera.

**Imagen 115: Máquina de unión de poliestireno y acero para formar el panel estructural**



Fuente: (EMMEDUE, 2012)

Para finalizar es importante mencionar que la misma fábrica produce las redes de acero que están integradas por 20 hilos longitudinales y transversales para la fabricación del panel estructural a medida o lo que el cliente requiera. Y de esa manera se ingresan a la máquina que une a poliestireno con el acero.

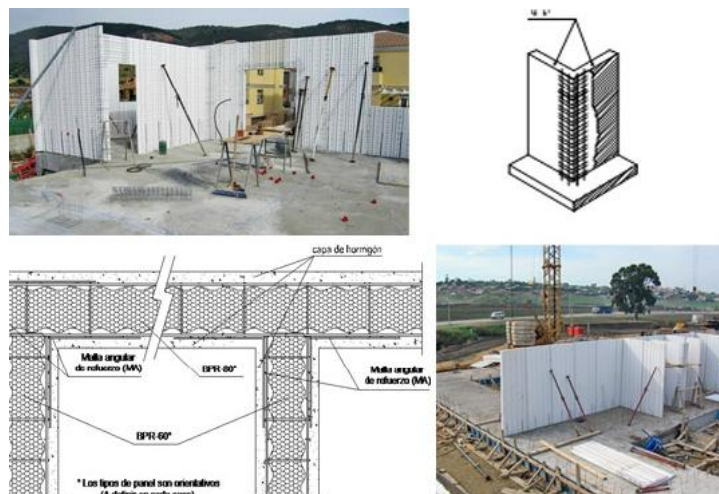
**Imagen 116: Producción de mallas de acero**



Fuente: (EMMEDUE, 2012)

Para finalizar se obtienen los paneles estructurales o electropanel de acuerdo a los requerimientos y se llevan a los centros de distribución.

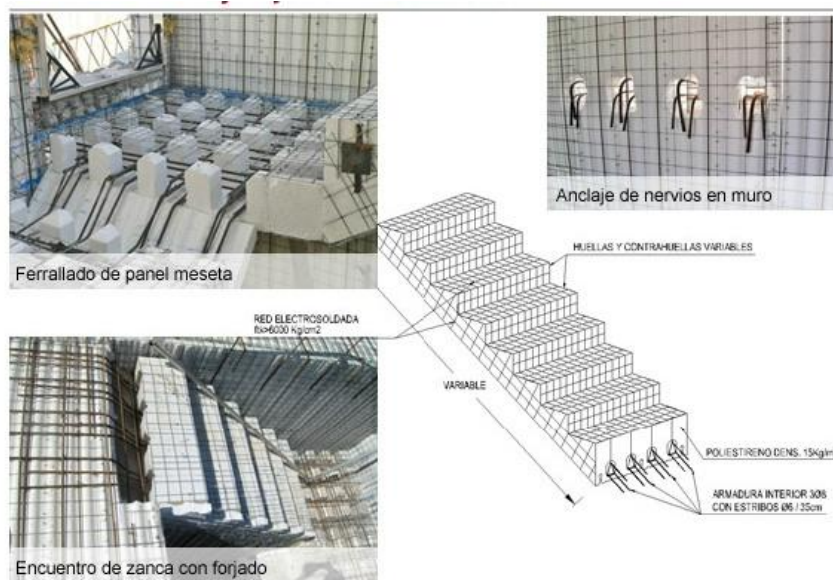
**Imagen 117: Panel estructural en muros para una casa**



Fuente: (Baupanel, Baupanel System , 2012 )



**Imagen 118: Panel estructural en gradas para una casa**



Fuente: (Baupanel, Baupanel System , 2012 )

## 2.4. Impacto ambiental en el proceso de elaboración

Luego de haber analizado cada proceso de elaboración de cada material de construcción anteriormente mencionados, se presenta la etapa de impacto ambiental. El objetivo esencial es el análisis de cada proceso en lo que respecta a los materiales que si se producen en nuestro país tales como block, ladrillo, concreto, madera sólida; y analizar los procesos también de los materiales que no se producen en Guatemala tales como en lo que respecta a la madera el panel contrachapado o plywood y electropanel o panel estructural.

Con esto entonces se presenta un análisis general de la realidad del proceso de elaboración de dichos materiales actualmente en el país.

### 2.4.1 Block

- **Extracción de materia prima:** Como se observó en los procesos de extracción de la materia prima, se tiene el común denominador de extracción de minas y canteras, por lo tanto el impacto ambiental que produce extraer grava, arena (caliza volcánica y pómez) tiende a ser el mismo, a continuación se muestran los efectos que repercuten en el mismo.

Si bien es cierto se tiene estudios de impacto ambiental así como medidas de prevención respecto a la extracción de la arena de origen volcánico y grava, con restricciones de volúmenes de la misma en lapsos definidos; No se debe dejar por un lado que existe una modificación del ambiente respecto a la morfología, daño en los suelos, sistema hídrico, pérdida de flora y fauna, partículas en suspensión como el polvo y la erosión del suelo que afectan a la cuenca.

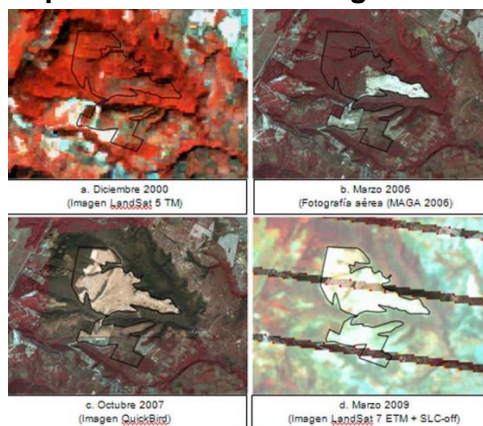
Además de las causas anteriormente mencionadas uno de los problemas más serios respecto a la destrucción de la morfología de un terreno se basa en los ríos y drenajes. Esto a causa de que al eliminar toda la vegetación provoca que el suelo se lave y se elimine partículas que protegen al suelo dando como consecuencia pérdida absorción, ya que el agua baja de manera drásticamente provocando surcos y desbordamiento de ríos, además de esto el aumento de 17 veces más la carga de sedimentos. Esto a su vez provoca automáticamente la destabilización del sistema acuático ya que pierde su relación con el paisaje, es decir la vida que existe en la cuenca.

Siguiendo con otro aspecto que afecta drásticamente es la calidad del agua. Como se menciono anteriormente la carga de sedimentos se aumenta provocando la contaminación física porque de deja de traspasar la luz, que provoca la absorción de metales y fosforo y la pérdida de almacenaje de los embalses.

La pérdida de flora y fauna dentro de la cuenca, al eliminarse la y fauna esta misma tiende a migrar hacia otros lugares lo que provoca indirectamente la deforestación de los valles. Esto a su vez causa el acumulamiento de partículas de polvo que se distribuyen a lo largo del ambiente y conjuntamente con el transporte de la materia prima llega a las poblaciones provocando enfermedades respiratorias en las personas principalmente. Un tema importante a mencionar es los daños provocados en el suelo. Es importante mencionar que para la extracción de materias primas, previamente se producen

daños en el suelo ya que se debe de remover la capa de vegetación natural para entrar en la primera capa de la misma que se encuentra a la arena es de 3 metros de profundidad. De tal manera se provoca erosión en el suelo y destrucción de muchos taludes para la elaboración de caminos para su extracción. Estos taludes pueden mantener su estabilidad durante mucho tiempo pero en algunos casos provocan desmoronamientos para la falta de estabilización de los mismos.

**Imagen 119: Fotos satelitales donde se muestra la degradación del suelo y bosque al explotar una cantera de grava**



En los cortes profundos, es visible una sucesión de erupciones volcánicas y periodos de formación de suelo, y es común ver suelos fósiles o enterrados en un corte de menos de 10 m de profundidad. En la mayoría de los lugares estas capas son concéntricas o paralelas con el terreno superficial actual, pero en otros es evidente que el relieve local fue alterado. (Monterroso, 2010)

**Imagen 120: Extracción de arena donde se muestra la degradación del suelo**



Fuente: (Monterroso, 2010)

En lo que respecta al daño de los bosques naturales actualmente en Guatemala el Instituto Nacional de Bosques provee licencias para la extracción de madera y cambio de uso de suelo, este último prevé que se realiza un incentivo monetario al Instituto Nacional de Bosques respectivamente al Fondo Forestal Privativo por hectárea con el objetivo de realizar plantaciones nuevas para la creación de bosques.

Si bien es cierto en Guatemala se posee dichas licencias para controlar la extracción de madera de los bosques, se han dado casos donde se ha cortado un tercio más de lo permitido con el objetivo de ampliar sus terrenos para la extracción de piedra caliza. Esto provoca entonces dos problemas conjuntos que son: extracción de madera ilegal y daños ambientales inherentes al proceso de explotación aprobado del suelo. Esto al final conduce a la pérdida del ecosistema lo que provoca que a mediano plazo no se pueda aprovechar nuevamente el suelo ya que afectan directamente a la cuenca y de esta manera no se mantenga un desarrollo sostenible de la misma.

A pesar de que se tienen muchos aspectos negativos respecto al abuso en lo que es extracción de madera como consecuente de la extracción de arena, el gobierno de Guatemala obliga a las instituciones, en los casos que sean necesarios, la recuperación del terreno. Esto quiere decir que se rellena nuevamente con la tierra vegetal para que el terreno sea ecológico y productivo nuevamente. Además de esto se realiza una revegetación con el objetivo de no perder la flora y fauna del mismo así como la erosión del suelo y la conducción de agua sobre las laderas. De esta manera se logra la recuperación de 0.90 metros de materia orgánica que se retiró previamente.

Como bien se sabe un luego virgen luego de ser explotado nunca va ser nuevamente mismo ni natural, se prevén medidas respecto a la prevención de destrucción de la cuenca con respecto a las lluvias. Para esto se realizó una construcción de sistema de drenajes para la escorrentía y la reducción de las pendientes de las excavaciones con esto se logra disminuir la velocidad del agua y cuidar la cubierta vegetal. Es importante también mencionar la construcción de contracunetas en las bajadas de los taludes ya que de esta manera se evita la formación de cárcavas que afectan nuevamente al suelo cuando el agua cae ya que se acumula en grandes cantidades. A pesar de realizar estas medidas de prevención el suelo vuelve a ser afectado, de esta manera es importante mencionar que no se realiza una recuperación al cien por ciento del suelo.

**Imagen 121: Hidrosiembra en taludes afectada por el exceso de agua de los taludes**

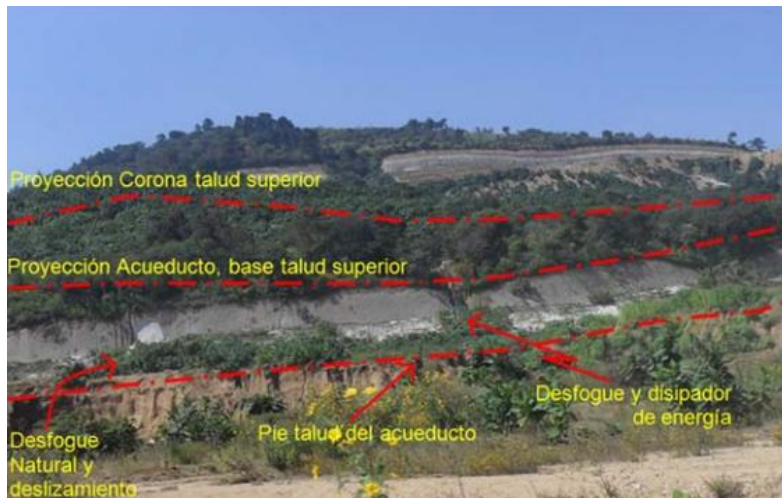


Fuente: (Monterroso, 2010)

En lo que respecta a la reforestación nuevamente del terreno es importante mencionar que además del retiro de la caliza volcánica se realiza la extracción de talpete, este último es básico para la restitución del suelo y sus nutrientes, para esto se realiza como se mencionó el relleno de 0.9 metros más una capa de de 0.20 metros como mínimo que necesita el suelo para el desarrollo de plantaciones nuevas luego de haber compactado previamente el suelo.

Con respecto al uso del agua muchas de las fábricas utilizan agua entubada que directamente no tienen un impacto ambiental directo en el proceso de obtención de la misma. Pero es importante no dejar por un lado que en el caso de provocar un daño de la fuente proveedora de agua que es Xayá Pixcayá se protege actualmente dicha fuente con la prohibición de extracción de materiales a no menos de 100 metros de la misma. Esto se debe por la peculiaridad de que una de las empresas dedicadas a la extracción de arena se encuentre en el terreno donde pasa la misma lo que provoco daños en los taludes de la misma que a su vez a provocados deslizamientos de material pequeño. Lo que actualmente a provocado la estabilización de los mismos con muros de retención armada así como disipadores de energía de esta manera se está previendo un colapso de la fuente alimentadora de agua para la ciudad de agua con un caudal de 3 metros cúbicos que de ser socado provocaría la falta de agua.

**Imagen 122: Fuente proveedora de agua Xayá Pixcayá donde se observa el daño de los suelos**



Fuente: (Monterroso, 2010)

- **Proceso de elaboración del material:** En lo que respecta al proceso de elaboración del block en Guatemala con las empresas que dominan el mercado Guatemalteco se puede mencionar que tienden a ser amigables con el ambiente. Esto por la consideración que para el proceso del mismo en la utilización de máquinas son en su totalidad eléctricas.

Otro aspecto determinante es la acumulación de la caliza volcánica, ya que esta genera una contaminación directa al ambiente porque actualmente la misma se almacena a la intemperie provocando generación de partículas de polvo que avanzan a lo largo de toda la fábrica hasta llegar las poblaciones cercanas de la misma. Para esto actualmente no se cuentan con ninguna medida de mitigación además de esto no se tienen problemas con La Municipalidad de Guatemala ya que poseen licencias de trabajo vigentes. Este es un problema que afecta a las poblaciones cercanas a dichas fábricas, a causa de esto se ha realizado bodegas de almacenamiento donde se mantienen a puerta cerrada con el objetivo de minimizar el impacto ambiental en la fabricación del material considerando que muchas de las fábricas se encuentran dentro de la ciudad.

**Imagen 123: Materia prima apilada a intemperie generado de partículas de polvo**



Otros aspectos importantes a mencionar son el ruido y vibraciones al utilizar las máquinas esto provoca un impacto auditivo que afecta principalmente a la zona de la población que se encuentre cerca de la fábrica y el exceso de uso energético que indirectamente proviene de la extracción de combustibles.

La reutilización de los recursos en lo que respecta al proceso es importante mencionar que se da en un cien por ciento esto debido a que los procesos son automatizados. Por lo tanto cuando las máquinas reconocen que no se cumple con la granulometría requerida la materia prima se desecha y se utiliza nuevamente luego de ser procesada para el tamizaje correcto. Además de esto cuando no se consigue la humedad correcta al mezclar los materiales se descartan para ser utilizados nuevamente en el proceso.

Para finalizar es importante mencionar que un porcentaje de minoría en nuestro país elabora blocks utilizando máquinas de vibraciones a base de gasolina, generando dióxido de carbono. Que provoca fundamentalmente, el aumento del efecto invernadero produce una afección sobre el clima, alterando el equilibrio de radiación, dado que permite el paso de la radiación solar pero absorbe la radiación infrarroja emitida por la Tierra. El consecuente incremento en la temperatura atmosférica podría derivar en alteraciones en las corrientes marinas a gran escala, interconectadas con posibles deshielos polares,

especialmente en el Ártico y, por consiguiente, en una variación en los regímenes de lluvias de amplias regiones, lo que podría derivar finalmente en una modificación de ecosistemas y una repercusión sobre la producción de alimentos. (Navarra, 2012)

**Imagen 124: Partículas de polvo en movimiento en el ambiente**



- **Desperdicios:** Con respecto a los desperdicios que genera el proceso de elaboración del block se pueden considerar básicamente por dos causas comunes: la mala formación del mismo durante el proceso automatizado de la elaboración: esto se debe a irregularidades en la forma del block o durante el proceso de secado que se extraiga en exceso el contenido de humedad causando la pérdida de las medidas de un block normal.

El otro aspecto es el manejo de los mismos durante la etapa de procesamiento y empaque. Como los procesos de elaboración y secado son automatizados no existen riesgos en esta etapa de accidentes que provocan que el block se destruya parcial o totalmente. El desperdicio surge por errores humanos respecto al traslado de los mismos al proceso de empaque; las principales causas son por el mal apilamiento para el empaque y manipulaciones cuando se realizan procesos de secado al apilarlos manualmente empaque. De esto se puede estimar que entre un uno por ciento de la producción se vuelve desperdicio.



**Imagen 125: Desperdicios de la creación de blocks**



Otro material que se desperdicia dentro del proceso es la arena que no pasa durante el proceso de tamizaje, al momento de realizar el mismo la arena es descargada en una tolva para luego ser retirada de la misma y llevarla a los bancos de desperdicio. Es así entonces como la arena y los restos de blocks se juntan en las afueras de la fábrica y los mismos son llevados para rellenos de barrancos básicamente.

El impacto al ambiente que procede negativamente es la alteración del suelo, es decir dicho suelo dejar de ser un suelo natural al mezclarse con estos desperdicios. El impacto tiende a ser visual y nuevamente la generación de partículas de polvo que afectan las poblaciones cercanas a dichos rellenos.

Como se mencionó que se alteran el uso del suelo éste proceden para edificaciones nuevas que a corto plazo no afectan al suelo ya que no tiene ningún uso forestal o agrícola.

### 2.4.1 Ladrillo

- **Extracción de materia prima:** Con respecto a la extracción de la materia prima el caso a analizar es para la arcilla que compone un 75 por ciento de la mezcla y el talpetate que forma un 25 por ciento respectivamente.

En análisis nuevamente es el mismo respecto a la extracción a del talpetate y arcilla. El efecto de la minera tienden a afectar la cuenca de donde se extrae el material, como ya se menciona, en cambio de unos de tierra, pérdida de flora y fauna, riqueza de los suelos, drenajes de escorrentías superficiales.

Además de lo anteriormente mencionado, la extracción de talpetate se encuentra a un nivel casi superficial. Se podría decir que se tiene dicha capa a 0.90 metros de altura lo que provoca la modificación del paisaje, es decir de las montañas, siendo suelos altamente inclinados, ya que es necesario realizar dicha extracción por medio de un método llamado terrazas que donde se extraen áreas de 10 mil metros cuadrados de material.

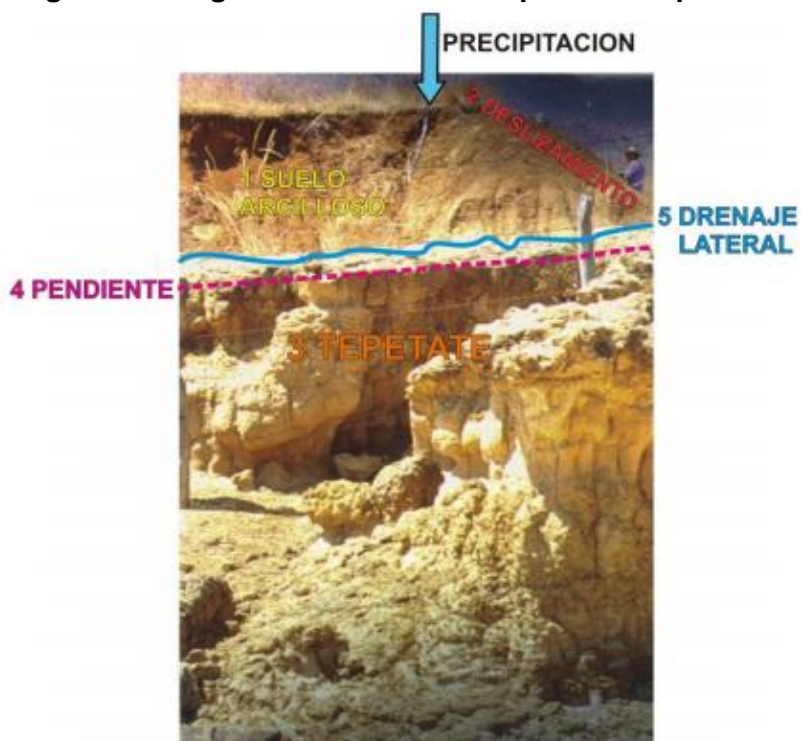
Las consecuencias al igual que la extracción de arena tienden a ser las mismas, que básicamente son pérdida de las propiedades del suelo en lo que respecta a ser un suelo natural. Es importante mencionar que en algunos casos la explotación de estos suelos tiende a reducir el impacto ambiental ya que el material requerido básicamente es superficial. Con lo anterior se logra una recuperación del suelo más rápida respecto a sus propiedades ya que las capas de relleno para el proceso de recuperación del suelo tienden a ser menores logrando una fácil adaptación. De lo anterior se descandena la recuperación de la cubierta vegetal, como tienden a ser suelos de alta inclinación es necesario realizar dos tipos de siembras:

- Revegetación sobre la superficie del talud o montaña.
- Revegetación de la cabecera.

La revegetación de la superficie del talud se basa en la hidrosiembra de las zonas críticas que representan grietas y concavidades con el objetivo de evitar el almacenamiento de arenas que pueden provocar el desmoronamiento de un talud.

La revegetación de la cabecera es de carácter pasivo y tiende a utilizar semillas del mismo tipo de talud con el objetivo de mantener la uniformidad del suelo. Seguido de esto se realiza la siembra de árboles para recuperar el área eliminada al haber explotado el suelo.

**Imagen 126: Degradación de suelo talpetoso o tepetate**



La arcilla tiende a ser un suelo húmedo esto a su vez provoca que las partículas de polvo en el ambiente sean bastante densas aproximadamente 150 miligramos por centímetro cúbico.

Otro aspecto a destacar es al momento de eliminar la tierra negra que es la primera capa que extraer para poder obtener la arcilla, el suelo tiende a tener la característica, en el momento de cambiar su morfología el escurrimiento natural del agua, y por lo tanto produce cárcavas y abarrancamientos por contraerse y humedecerse. Esto a su vez provoca un alto nivel de desmoronamiento y sedimentación del suelo.

Como consecuencia de este tipo de intervención se modifica la topografía, cambia la dinámica hidrológica e hidrogeológica, las napas descenden o se agotan, los torrentes y cañadas se desvían o se secan y, al fin, se crean pequeñas lagunas, lodazales o ciénagas, con diversos efectos sobre las características del sitio en cuestión. Las cavidades así formadas suelen generar abatimientos de los niveles piezométricos de los acuíferos, que a veces se extienden por varios kilómetros, inutilizando pozos y desaguando las barrancas y torrenteras. (Anton, 2012 )

**Imagen 127: Cantera de arcilla en etapa de abandono donde se provocó lagunas de agua por exceso de uso de suelos**



Fuente: (DiarioInformación, 2012)

En algunos sitios en que los niveles de las napas son más bajos, las canteras pueden volverse puntos de recarga subterránea, incorporándose al flujo subterráneo aguas superficiales contaminadas. De ese modo, pueden inutilizarse los acuíferos vecinos con los consiguientes perjuicios a la población. Parte del agua que escurría superficialmente o fluía bajo tierra pasa a ser recogida en las depresiones de las canteras donde se infiltra o evapora, restando metros cúbicos de agua a los balances hídricos de las microcuencas. Disminuye el agua disponible, algunas tomas quedan inutilizadas y, más particularmente, se reduce la capacidad de dilución de los cursos de agua, de gran importancia para disminuir los niveles de contaminación en ríos y arroyos urbanos. (Anton, 2012 )

Para finalizar por el tipo de suelo es importante mencionar que muchos de ellos no son re vegetados ni protegidos nuevamente para la creación de un ambiente natural, esto

provoco entonces que sean utilizados para el vertido de residuos de líquidos de fosas sépticas. Esto a su vez provoca insalubridad para la población circundante, que se vuelven criadores de insectos o de roedores.

Además lugares de merodeo de los animales domésticos que se vuelven transmisores de organismos patógenos. (Anton, 2012 )

Las canteras abandonadas son también frecuentadas por niños y adultos, que a veces incluso se bañan en las lagunas que en ellas se forman, con los riesgos sanitarios y de seguridad imaginables. (Anton, 2012 )

- **Proceso de producción:** El proceso de producción del ladrillo tiene aspectos positivos y negativos que provocan que pueda tener un efecto ante la naturaleza. Como bien se mencionó el proceso de elaboración del material inicia con la mezcla de la arcilla y talpetate. Al igual que el caso de los blocks la materia prima se encuentra apilada en las afueras de la fábrica a la intemperie. A diferencia de las arenas la arcilla es un material que retiene mucha agua por lo tanto las partículas de polvo tienden a estar más concentradas en el material y no existe contaminación alguna.

Continuando con el proceso de elaboración con lo que respecta al proceso de transporte, tamizaje y extrusión las máquinas tienden a ser eléctricas, directamente se puede considerar entonces dicho proceso como un proceso limpio ya que no se necesita de algún factor que produzca una contaminación legítima.

Si bien es cierto la primera parte del proceso tiende a ser limpia, en el proceso de secado y quemado del material se realiza una gran parte de la contaminación. Para poder emitir calor para el secado de los ladrillos se utilizan cámaras de secado alimentadas por un horno. La generación de calor para dicho horno se emplea de la combustión de papel y cartón que es donado por empresas que por seguridad deben de quemar dichos productos. El problema entonces radica en que nuevamente se emite dióxido de carbono al estar alimentando el horno para tener abastecidas las cámaras de calor. Es importante mencionar que dicho horno no nunca es apagado y que por lo tanto se contamina 24 horas del día. Éste provoca la quema de 1110 toneladas de aserrín y cascara de café al año.

**Imagen 128: Generación de dióxido de carbono al quemar papel para secado de ladrillos**



En la etapa de quemado nuevamente se realiza combustión. Es acá donde se realiza el calcinamiento del ladrillo que por lo tanto necesita obtener temperaturas de hasta 1400 grados centígrados lo que provoca gran requerimiento de combustión. Para dicho proceso se utiliza la semilla de la cáscara de café y aserrín. Por lo tanto la contaminación generada por el horno nuevamente es de gran impacto ya que también se mantiene encendido las 24 horas del día provocando alta contaminación, para las personas que se encuentran cercanas al poblado de la fabrica ya que dicho gas contiene solo 0.03 por ciento de aire puro, a largo plazo provoca enfermedades respiratorias.

Para finalizar entonces dicho proceso en su mayor parte tiene influencia sobre el efecto invernadero ya que se reduce la emisión de calor al espacio y provoca un mayor calentamiento al planeta.

En el proceso artesanal del quemado de ladrillo se utiliza nuevamente la combustión pero en este caso de madera (leña) está a su vez provoca la contaminación al ambiente con gases tóxicos y que afectan de manera más directa a las poblaciones cercanas ya que estas fábricas se encuentran dentro de la ciudad. Por lo tanto no hay ningún tipo de regulación ante la fabricación de dichos materiales.

**Imagen 129: Contaminación de ladrillera en Guatemala**



Fuente: (Skyscrapercity, 2012)

- **Desperdicios:** Respecto a los desperdicios de la elaboración de los ladrillos, tiende a ser un 10 por ciento de la producción total. Esta está debidamente causada por el manejo de los mismos durante el proceso de elaboración. Regularmente en las fases de apilación para secado, quemado y empaque.

Una de las ventajas que se tiene para el uso de los desperdicios se basa en la reutilización del producto como materia prima. Del 10 por ciento aproximadamente que se desperdicia se utiliza entre un 2 y 3 por ciento para la nueva creación de materiales, la desventaja de no reutilizar todo el material es el gasto excesivo en energía y sobretodo de tiempo para el molido.

Los desperdicios que en verdad ya no se utilizan se clasifican en dos tipos:

- Residuos de la quema de papel
- Residuos de producción de ladrillos

**Imagen 130: Residuos de ladrillos en terrenos abandonados**

Fuente: (Tecnoeraser, 2012)

Dichos residuos son almacenados en barrancos para los rellenos de terreno y construcción de nuevas edificaciones. Durante el proceso de relleno de terreno producen en el ambiente contaminación tales como:

Partículas de PST y PM10 que básicamente producen enfermedades respiratorias que pueden causar hasta la muerte. El plomo que puede llegar al torrente sanguíneo e incrustarse en los huesos y el hígado.

Óxidos de Nitrógeno. Los más importantes son el monóxido y el bióxido de nitrógeno. El bióxido puede formar ácido nítrico y ácido nitroso en presencia de agua. Ambos pueden precipitarse junto con la lluvia o combinarse con el amoniaco de la atmósfera para formar nitrato de amonio.

El óxido nítrico al igual que el monóxido de carbono, puede combinarse con la hemoglobina de la sangre reduciendo su capacidad de transporte de oxígeno. El bióxido de nitrógeno irrita los alvéolos pulmonares. Estudios de salud ocupacional muestran que este gas puede ser fatal a concentraciones elevadas.



### 2.4.3 Concreto

- **Extracción de materia prima:** Como se mencionó previamente para la elaboración del concreto la materia básica es el cemento y la que más influencia tiene durante su proceso de extracción. Pero también es importante no dejar por un lado la extracción de la grava.

Nuevamente y como ya se hace mencionado anteriormente para la extracción de esquistos, piedra caliza y grava se realiza de minas donde nuevamente se destruye la ecología del ambiente por la eliminación básica de árboles y recubierta vegetal del terreno está a su vez crea la contaminación de partículas de polvo en el ambiente, enfermedades en las poblaciones cercanas y destrucción parcial o total de las cuencas a largo plazo luego del abandono de la mina.

Siendo más específicos y con datos reales el impacto que se tiene respecto a la contaminación auditiva es la siguiente: el manejo de la maquinaria y el corte de bosque de 50.3 decibeles afectando a las poblaciones cercanas. La contaminación por polvo a los ríos cercanos genera la perdida de fauna a corto y mediano plazo. El uso del suelo en exceso para la extracción del material provocando erosión.

**Imagen 131: Eliminación de árboles en cantera para extracción de materia prima en Guatemala**



Fuente: (Basterrechada, 2007)

Si bien es cierto, todos estos aspectos negativos de la extracción de la materia prima que principalmente genera contaminación ambiental y auditiva, con el objetivo de reducir el impacto que tienen dichas minas se ha implementado actualmente el transporte

de la materia desde las canteras a la planta es por medio de canteras que viajan en un especie de teleférico lo que no se levante ni una sola partícula de polvo durante el proceso de traslado, luego de esto ya entra a la fábrica a puerta cerrada no teniendo ninguna conexión directa con el ambiente. Luego en lo que respecta al transporte del cemento como producto terminado se realizaron carreteras aledañas al poblado que no afectan el paso de los camiones ya que se encuentran fuera del mismo para llegar a la planta, esto reduce aun más el impacto ambiental respecto a daños en terrenos e impacto auditivo.

Además de los aspectos anteriormente mencionados en Guatemala respecto a la lideración de producción de cemento existe una empresa que en su fabricación controla el impacto ambiental. Desde la parte de evaluación se rigen por medio de la autoridad nacional en términos de protección ambiental del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.

Seguido de esto mantienen un monitoreo donde principalmente analizan las variables ambientales de las emisiones que realiza la extracción del material así como de la calidad del ambiente en los alrededores de la misma. Esto con el objetivo de asegura una convivencia armoniosa con el ambiente y las poblaciones en lo que respecta a los trabajos diarios de extracción luego de haber destruido la cuenca. Luego se realizan medidas de prevención con el objetivo de analizar si es factible seguir explotando la cantera rigiéndose por normas internacionales ante la falta de normas en nuestro país de cumplimiento legal ambiental.

- **Proceso de producción:** Durante el proceso de producción la influencia de impacto negativo se ve reflejada en las emisiones de partículas de polvo durante el almacenaje, molienda y enfriamiento del horno ya que en esta última se crea la escoria de polvo de horno. Seguido de estos los gases para combustión de los hornos contienen monóxido y dióxido de carbono, adehidos, cetonas y óxidos de sulfuro y nitrógeno. (Cementosargos, 2011)

Los impactos ambientales negativos de las operaciones de cemento ocurren en las siguientes áreas del proceso: manejo y almacenamiento de los materiales (partículas), molienda (partículas), y emisiones durante el enfriamiento del horno Los contaminantes hídricos se encuentran en los derrames del material de alimentación del horno (alto pH,

sólidos suspendidos, sólidos disueltos, principalmente potasio y sulfato), y el agua de enfriamiento del proceso (calor residual). El escurrimiento y el líquido lixiviado de las áreas de almacenamiento de los materiales y de eliminación de los desechos puede ser una fuente de contaminantes para las aguas superficiales y freáticas. (Cementosargos, 2011)

El polvo, especialmente la sílice libre, constituye un riesgo importante para la salud de los empleados de la planta. Es peligroso exponer a los empleados a niveles altos de ruido. El ruido y el tráfico de los camiones pueden ser molestias para la comunidad circundante. (Cementosargos, 2011)

La generación de combustión para el proceso de elaboración del cemento es esencial para eso se utiliza un 85 por ciento de aceite y 15 por ciento de otros combustibles lo que provoca alta contaminación en lo que respecta al aire ya que genera principalmente grandes cantidades de dióxido de carbono, óxido nitroso, nitrógeno y gran concentración de metales.

Seguido de esto la generación de excesivo sonido genera contaminación ambiental soportando 100 decibeles o más durante el proceso de producción continuo. El mal manejo de residuos de hidrocarburos por residuos en el suelo provoca el daño del mismo por lo que se ha sugerido plantar árboles para la recuperación de los mismos.

A pesar de todos los factores anteriormente mencionados es necesario dar un énfasis en la contaminación que se realiza al agua durante este proceso. El proceso de elaboración del cemento tiende a ser un proceso seco, es decir no se utiliza agua, pero para generar el enfriamiento de las máquinas es necesario de su utilización.

Los equipos se encuentran en circuito cerrado, es decir se reutiliza constantemente por medio de un sistema de retorno, en donde los tanques de retorno almacenan el agua ya utilizada y la envían a las torres de enfriamiento donde se procede a su utilización para los equipos que la necesiten. Existe el problema de que con el tiempo está agua es contaminada por aceite de los equipos, especialmente en los intercambiadores de calor,

este aceite es arrastrado y es depositado en los tanques de almacenamiento y el agua comienza a perder sus características. El problema radica en la eliminación del aceite del agua, para una correcta funcionalidad de la misma. (Portillo, 2004)

A pesar de mencionar muchos aspectos negativos acerca de la contaminación de la producción de cemento, es necesario mencionar algunos aspectos positivos que se ha ido mejorando con el objetivo de reducir la contaminación en el ambiente. Se ha implementado la Norma ISO14001:2004 con el objetivo de garantizar y demostrar la mejora continua del desempeño ambiental.

**Imagen 132: Línea de visión donde se muestra la distancia de la cementera de las poblaciones cercanas**



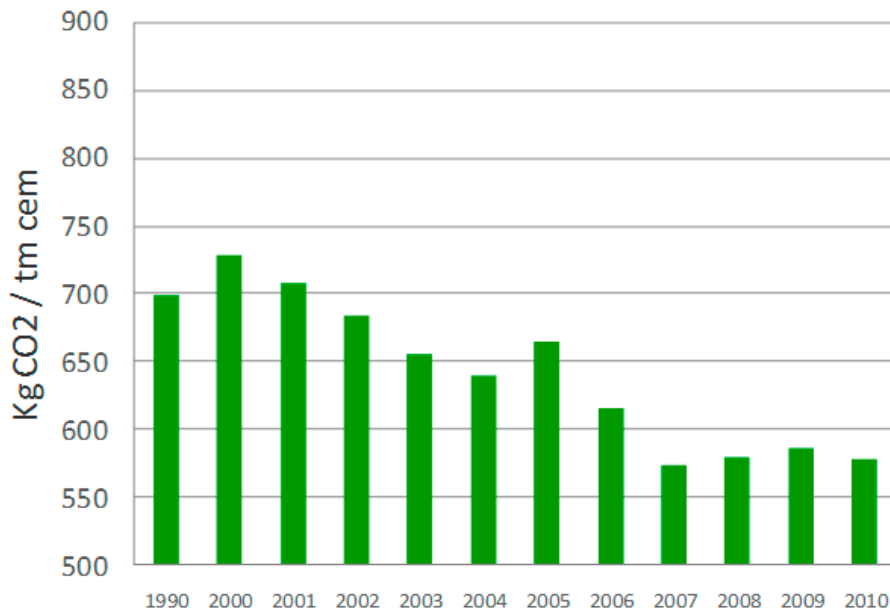
Fuente: (Basterrecheda, 2007)

Además de esto se busca reducir el uso de recursos no renovables sustituyéndolos con recursos alternativos logrando un 6 por ciento de la energía térmica utilizada en la fabricación de cemento. De esta manera se implementan procesos y sistemas que permiten darle valor a materiales que son considerados desechos en actividades industriales, con esto se convierten en materiales homogéneos y de características adecuadas para ser utilizados en los procesos.

- **Desperdicios:** Las emisiones del horno de cemento provienen de las reacciones físicas y químicas de las materias primas y de la combustión de los combustibles. Los principales componentes de los gases emitidos por el horno de cemento son el nitrógeno del aire de combustión, el CO<sub>2</sub> de la calcinación y la combustión, el vapor de agua del proceso de combustión y de las materias primas y el exceso de oxígeno. Los gases emitidos contienen una mínima cantidad de polvo, cloruros, dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono y una cantidad aún más pequeña de componentes orgánicos y metales pesados. (Oficemen, 2012 )

En Guatemala la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> ha tenido una tendencia de por cada tonelada de cemento producido en 18 por ciento comparado hace 22 años.

**Imagen 133: Reducción de emisiones de carbono en 20 años.**



Fuente: (CementosProgreso, Cementos Progreso , 2012)

Respecto a la fijación de carbono se realizan plantaciones con el objetivo de que las mismas absorban la generación del CO<sub>2</sub>. Además de esto cuando se realizan explotaciones mineras para la generación de materia prima se destruyen grandes bosques de esta manera se recuperan y al mismo tiempo la cubierta vegetal. Adicional a esto se protege el agua en las cercanías de las fábricas manteniendo entonces un ecosistema sostenible. (CementosProgreso, Cementos Progreso , 2012)

**Imagen 134: Pantano artificial para la reutilización de agua**



Fuente: (CementosProgreso, Cementos Progreso , 2012)

Además de esto se realizan viveros con el objetivo de producir alrededor de 1.3 millones de plantas al año con el objetivo de proteger la cuenca del río Pixcayá principal fuente de agua para la ciudad y muchas industrias que se encuentran dentro de la misma. Esto un sistema que permite el tratamiento de aguas residuales domesticas mediante la replicación controlada de los procesos que ocurren en un pantano y humedal. El efluente de este sistema es posteriormente almacenado, bombeado y reutilizado en el riego de jardines de la planta.

#### 2.4.4 Madera

- **Extracción de materia prima:** Históricamente el sector forestal se ha caracterizado por ser un campo al que no se le ha prestado la atención que de acuerdo a las condiciones de clima y suelo del país, debiera tener. Esto ha traído como consecuencia la explotación irracional del recurso bosque, provocando la desaparición de algunas especies, el deterioro genético de otras y, en consecuencia, la disminución del recurso mismo.

Lo anterior es una situación preocupante y se refleja en el contexto de la Constitución Política de la República que declara de urgencia nacional y de interés social la reforestación del país y en el Plan Nacional de Desarrollo que contempla la necesidad de ampliar la superficie de bosques a través de la forestación y reforestación artificial ordenada y de la regeneración natural, tanto con fines de protección como económicos, así como

asegurar el suministro permanente y adecuado de productos forestales con fines energéticos e industriales.

Los problemas fundamentales del sector forestal se pueden resumir en:

- Insuficiente disponibilidad de materia prima para la industria, incluyendo el uso como energético,
- Deterioro de los recursos naturales renovables que implican desequilibrios ambiental y ecológico, y
- Desempleo que trae consigo problemas de pobreza a la población.

En cuanto a los recursos naturales, estos han sufrido un deterioro profundo ya que, se perdió más del 40% de sus bosques; en la actualidad el ritmo de deforestación es de 73,000 hectáreas anuales. Asimismo, el uso inadecuado de los recursos naturales se refleja también en el uso del suelo: el 51% se está sobre utilizando y solamente el 39% está siendo utilizado de acuerdo a su capacidad. Además, existe contaminación de ríos y cuerpos de agua por la falta de tratamiento de las emisiones líquidas domésticas e industriales

En síntesis, la situación conjunta del deterioro ambiental y social con bajos niveles de inversión productiva, implica que se están agotando los recursos naturales. Y esto en lo que respecta al comercio de madera se ve reflejaba principalmente por la explotación de bosques sin licencias autorizadas por el Instituto Nacional de Bosque donde se protege y rige la tala moderada de arboles

La tala ilegal de arboles surge de la impetuosa necesidad de la industria de comercio de la madera. La extracción de dicha madera ya sea de bosques naturales o plantaciones tiene como consecuencia el cambio de uso de terreno, la poblaciones aledañas a los bosques destruidos creen que dichos suelos son ricos para la agricultura, por lo tanto queman el terreno para realizar una limpieza general sin saber que el daño que realizan es la muerte de flora y fauna del terreno. A causa de esto está provocando que el mismo se utilizado solo un par de años para agricultura y luego se convierta en un terreno árido y degradación del suelo.

**Imagen 135: Quema de suelo en bosque talado para uso agrícola**



Cuando se talan árboles se deja de generar la transpiración en los mismos provocando que exista sequía, ya que no se puede retener en lo absoluto el agua generando otro problema que es el cambio climático, las regiones antes frías tienden a volverse más áridas.

Además de esto, al eliminar grandes bosques se crea la generación de dióxido de carbono, uno de los grandes problemas del efecto invernadero, esto provoca en gran cantidad al cambio climático. Otro aspecto importante a mencionar es los incendios provocados en los meses de verano por la aridez de los terrenos, generando combustión y más daño al suelo que se le tenía luego de la extracción de los árboles.

Los caminos y áreas limpias de los terrenos se ven afectadas por el flujo del agua provocando inundaciones, deslizamientos de tierra y socavación. Esto a su vez conduce a la pérdida en la calidad del agua y a su vez del hábitat. Dicha contaminación a causa de los productos petroleros, herbicidas y desechos orgánicos relacionados con las operaciones forestales; la turbiedad causada por la mayor concentración de sedimento cambia la penetración de la luz solar, afectando las plantas acuáticas y perjudicando a los peces.

Para finalizar otro aspecto que se muestra en daño ambiental es la sequía de los ríos ya que al talar los árboles desaparece el efecto esponja que producen los mismos, provocando que se evite el uso para riego, generación de energía y abastecimiento de agua a las poblaciones cercanas.



A pesar de todos los efectos negativos que preceden de la tala irracional de los bosques es importante mencionar que en Guatemala se controla por lo menos el diez por ciento de la tala de árboles, por medio del Instituto Nacional de Bosques. Ellos poseen dos programas de reforestaciones y recuperación de terrenos naturales, lo que de alguna manera afectan positivamente, en una recuperación lenta, los bosques en nuestro país.

A continuación se presentan las regiones en las cuales el Instituto Nacional de Bosques divide el país para controlar las áreas reforestadas.

**Imagen 136: Regiones del Instituto Nacional de Bosques para control de áreas reforestadas**



Fuente: (INAB, 2012)

De lo anterior el INAB posee dos grandes programas de reforestación llamados PINFOR (Programa de incentivos forestales) y PINPEP (Programa de incentivos para pequeños poseedores de tierra de vocación forestal)

El siguiente cuadro muestra el programa PINFOR y la recuperación de los bosques por hectárea.

**Imagen 137: Recuperación de bosques por regiones en Guatemala según el INAB en el año 2010 por el programa PINFOR**

REGIÓN	Manejo Bosque Natural Protección		Manejo Bosque Natural Producción		TOTAL	
	No	Has	No	Has	No	Has
I	5	254.40	0	0.00	5	254.4
II	150	3,072.36	7	80.17	157	3152.53
III	59	3,152.25	3	32.18	62	3184.43
IV	10	242.17	2	105.53	12	347.7
V	8	113.16	5	54.03	13	167.19
VI	13	985.30	2	93.86	15	1079.16
VII	42	560.00	4	26.00	46	586
VIII	71	1,300.61	25	487.79	96	1788.4
IX	7	1,951.86	0	0.00	7	1951.86
<b>TOTAL</b>	<b>365</b>	<b>11,632.11</b>	<b>48</b>	<b>879.56</b>	<b>413</b>	<b>12,511.67</b>

Fuente: (INAB, 2012)

Para finalizar se muestra el proceso de el programa PIMPET y la recuperación de los bosques por hectárea.

**Imagen 138: Recuperación de bosques por regiones en Guatemala según el INAB en el año 2010 por el programa PINPEP**

REGIÓN	Manejo Bosque Natural Protección		Manejo Bosque Natural Producción		Sistema Agroforestal		TOTAL	
	No.	Has	No.	has	No.	has	No.	has
II	81	254.83	1	4.57	0	0.00	82	259.4
III	52	494.00	0	0.00	29	171.02	81	665.02
IV	11	70.49	0	0.00	2	1.31	13	71.8
V	24	98.91	6	15.60	6	23.25	36	137.76
VI	119	370.98	5	12.87	4	2.82	128	386.67
VII	98	259.67	10	26.22	3	1.71	111	287.6
<b>TOTAL</b>	<b>385</b>	<b>1,548.88</b>	<b>22</b>	<b>59.26</b>	<b>44</b>	<b>200.11</b>	<b>451</b>	<b>1,808.25</b>

Fuente: (INAB, 2012)

- **Proceso de producción:** La madera es un material de construcción renovable, si la obtención de la misma se realiza extracción legal de bosques. Partiendo de esto se puede decir que los efectos al realizar productos de la madera tienden a tener diferentes efectos sobre la naturaleza. Se sabe que los árboles durante su crecimiento fijan el CO<sub>2</sub> en toda su estructura provocando que al momento de cortarla liberen por cada tonelada de madera 1.64 toneladas de CO<sub>2</sub>. A pesar de esto la madera es el material constructivo que genera la menor contaminación de dióxido de carbono, por lo tanto se puede determinar que el grado de contaminación tiene a ser muchísimo menor. A causa de esto se puede lograr una menor emisión de estos gases al utilizar madera en grandes cantidades para la sustitución en la construcción de casas de esta manera se protege ambiente reduciendo el costo grande energético y el uso de combustibles fósiles en la elaboración de otros productos.

En lo que respecta a la elaboración de madera sólida es necesario mencionar que los aspectos más determinantes son: contaminación auditiva y generación de partículas de polvo generadas por el destronque de las trozas así como el cortado de piezas para uso final en la construcción.

**Imagen 139: Lepa de madera almacenada a la intemperie causa de generación de partículas de polvo**



La contaminación auditiva se ve reflejada en el transporte, corte, cepillado generando alrededor de 55 decibeles cuando se produce la madera en aserraderos abiertos que afectan a las poblaciones que se encuentran cercanas a la misma.

La generación de partículas es otro aspecto importante en la creación de la madera como comercio. Uno de los primeros pasos es el corte de la viruta en la madera, como es madera fresca y de fibras saturadas, se crean partículas de polvo que son difíciles para su eliminación. Esto produce enfermedades respiratorias ya que pueden llegar a penetrar en los pulmones. Además de esto el aserrín almacenado en grades cantidades afecta nuevamente ya que se crean partículas mucho más finas de polvo que pueden llegar a correr grandes distancias contaminando las poblaciones más cercanas.

Se habla que durante el proceso de elaboración de la madera se incluye de energía por utilizar solo máquinas eléctricas. La madera tiende a utilizar energía casi nula respecto a otros materiales de construcción ya que un árbol para crecer utilizar energía solar, seguido de esto se utiliza un aproximadamente para la producción de 1 tonelada de madera 430 kilowatt por hora que es 6 veces menos que lo que el acero consume para una tonelada de producción respectivamente. Tomando en cuenta que dicha madera es aserrada y secado conteniendo un 12 por ciento de humedad.

**Imagen 140: Almacenamiento de aserrín a intemperie que genera partículas más finas de polvo que puede llegar a los pulmones**



Es bueno indicar, que un alto porcentaje de la energía empleada en el proceso de producción de madera aserrada se utiliza en los hornos de secado. Gran parte de esa

energía es producida con frecuencia por los propios aserraderos quemando los subproductos, como las cortezas y el aserrín.

Finalmente, desde el punto de vista de contaminación ambiental, la producción de madera aserrada causa leves emisiones contaminantes en el agua, el suelo y el aire.

En lo que respecta al proceso de producción de la madera contrachapada o plywood es importante dar a conocer que aspectos negativos se pueden encontrar el proceso de elaboración de las mismas. El procedimiento para la obtención del material previo a su proceso de elaboración es el destronque de la madera que nuevamente genera partículas de polvo en el ambiente por la viruta y el ruido excesivo de la sierra al cortar la troza.

Luego de esto, es importante mencionar tres problemas más básicos de la contaminación de la producción de plywood:

- Generación de combustión por madera en el proceso de secado de los paneles.
- El pegamento a utilizar de acuerdo al tipo de enchapado que es: urea-formaldehído en el caso de la construcción de viviendas.
- Quemado de aceite para el pegado de los tableros.

Nuevamente los procesos de secado son los que mas afectan en la madera. La generación de combustión utilizando madera provoca dióxido de carbono en el ambiente ya que se necesita llegar a temperaturas de hasta 175 grados centígrados para el secado del producto que algunos casos puede llegar a ser de hasta 10 días de forma continua. La emisión de dichos gases provoca contaminación en el aire afectando principalmente a los poblados cercanos por la inhalación prácticamente permanente de dicha generación de gases.

Además genera otras sustancias cancerígenas como lo es el benzopireno e hidrocarburos policíclicos que esto al momento de tener contacto con el suelo se vuelven en sustancias que contiene nitrógeno y oxígeno que poseen mayores cantidades de sustancias cancerígenas que las anteriores.

**Imagen 141: Emisiones de gases en la etapa de combustión de secado de madera**

Fuente: (Intercom, 2004)

La resina adhesiva de urea formaldehído es hecha por condensación de la urea y el formaldehído cerca de los límites de compatibilidad del agua a fin de que este se recupere rápidamente. (SanidadAmbiental, 1999)

El formaldehído un gas incoloro de olor penetrante y altamente inflamable y volátil. Surge de la oxidación del alcohol metílico y soluble en agua. El formaldehído normalmente se encuentra en bajas concentraciones, en general menos de 0,06 ppm, tanto al aire libre como en lugares cerrados. En concentraciones de 0,1 ppm o más, puede producir trastornos agudos, tales como ojos llorosos, náuseas, accesos de tos, opresión en el pecho, jadeos, sarpullido, sensación de quemazón en los ojos, nariz y garganta y otros efectos irritantes. (SanidadAmbiental, 1999)

Algunas enfermedades tales como resfríos, la gripe y las alergias pueden producir síntomas similares a algunos de los causados por exposición al formaldehído. (SanidadAmbiental, 1999)

Otra desventaja de este material es que ha demostrado ser cancerígeno en animales de laboratorio y también puede serlo en el hombre. No hay parámetros en las cuales se puede determinar de la exposición del mismo para que surja el cáncer. Dicho riesgo depende de la concentración y del tiempo de exposición. (SanidadAmbiental, 1999)

Con respecto a la combustión del aceite el componente metálico que desprende es la generación de plomo. El efecto sobre la atmosfera es excesivamente grande. De

quemarse alrededor de 70 mil toneladas por año de aceite la atmosfera acumula 350 toneladas de plomo.

Se puede dar un ejemplo que quemar 5 litros de aceite equivalen en la atmosfera considerando que los componentes de metales, cloro, que contiene producen gases tóxicos que deben ser depurados, contaminan un volumen de lo que respira un adulto durante tres años de su vida. (Depuroil, 1999)

El aceite no se disuelve en agua, es un producto no biodegradable, por lo tanto forma películas impermeables que evitan el paso de oxígeno. La contaminación es tan grande que se puede mencionar que 1 litro de aceite contamina 1 millón de litros de agua. Esto a su vez daña los ecosistemas acuáticos. Ya que muchos de ellos se vierten en los drenajes alcanzando capas freáticas. (Depuroil, 1999)

Los aceites usados vertidos en suelos producen la destrucción del humus y contaminación de aguas superficiales y subterráneas. La eliminación por vertido de los aceites usados origina graves problemas de contaminación de tierras, ríos y mares. En efecto, los hidrocarburos saturados que contiene el aceite usado no son degradables biológicamente, recubren las tierras de una película impermeable que destruye el humus vegetal y, por tanto, la fertilidad del suelo. (Depuroil, 1999)

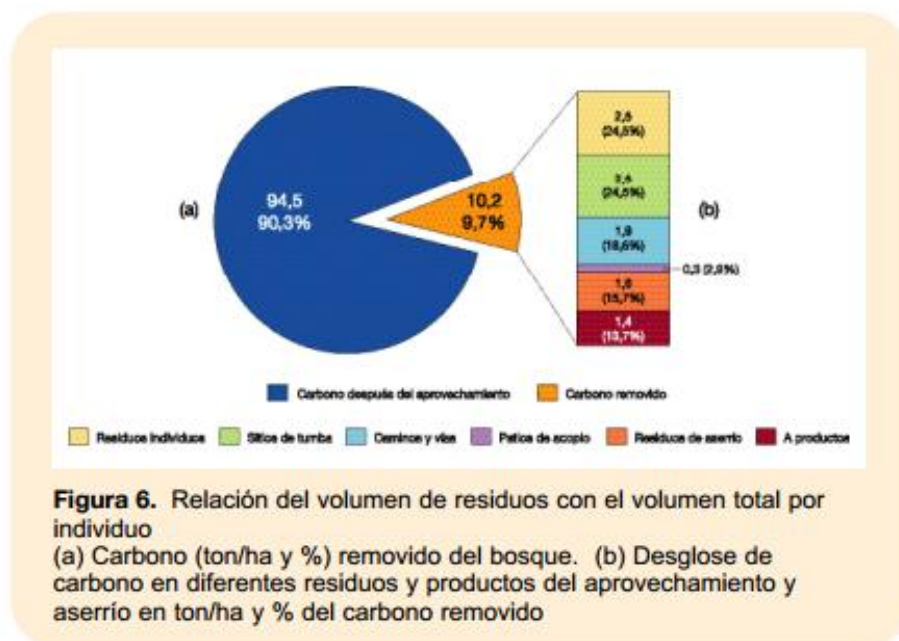
- **Desperdicios:** El gas de efecto invernadero que ha aumentado en 25 por ciento desde la revolución industrial es uno de los principales contaminantes en la tierra, esto debido principalmente al cambio de uso de tierra y la quema de combustibles fósiles.

De un árbol de 6.72 metros cúbicos se puede aprovechar apenas el 47 por ciento del mismo, el restante es desperdicio y se utiliza con otros fines. Del 47 por ciento se puede mencionar que al menos 30 por ciento es originario de las ramas, material que se deja abandonado en los bosques. (Bámaca, 2004)

Del proceso de aprovechamiento y aserrío extrae, sólo el 13,5% se mantiene secuestrado en productos de madera, y el resto 86,5% queda en proceso de descomposición y, por lo tanto, en proceso de liberación.

El carbono que se extrae con el aprovechamiento forestal es relativamente poco, en comparación con el remanente; esto se debe, más que todo, a las variables que influyen sobre la cantidad de carbono removido, la intensidad de corta y las técnicas desaprovechamiento utilizadas. (Bámaca, 2004)

**Imagen 142: Relación del volumen de residuos con el volumen total por individuo de madera**



Fuente: (Bámaca, 2004)

Respecto a la producción de madera se puede mencionar que los desperdicios que genera crear la misma son utilizados en su totalidad. Los desperdicios creados son:

- Lepa originado del destronque de las trozas.
- Aserrín generado por el corte de la troza para la creación de vigas, columnas.
- La viruta es la creación de láminas finas de madera ocasionadas por el cepillado.
- Restos de madera que durante el proceso de elaboración pudieron haberse fracturado o astillo.

La lepa en Guatemala es utilizada principalmente para la creación de casas para gente de escasos recursos ya que los tablas generadas son de medidas considerablemente largas, las medidas oscilan entre los 0.50 m y 1 m respectivamente. También son



utilizadas para acabados arquitectónicos en construcciones y otros casos se usan para generar combustión en los hornos de secado.

El aserrín se utiliza como combustible en hornos por ejemplo para cal y ladrillos. Estos se venden en sacos de 100 libras que luego mezclados con semillas de café son utilizados para la generación de calor en los hornos para la producción de otros materiales constructivos.

Los restos de madera básicamente son utilizados durante el proceso de secado de la madera, estos sirven nuevamente para la generación de combustión. La madera elimina menos gases de CO<sub>2</sub> considerando un daño menor al aire. El respeto por el ciclo de carbono implica respetar esta secuencia de uso de la madera, de forma que se puedan conseguir los mejores resultados no sólo de un período mayor de almacenamiento de carbono, sino también de la energía y los recursos ahorrados en la producción de materiales alternativos derivados de combustibles fósiles

Los desechos, cortezas no utilizables y cenizas, son la causa principal de las emisiones sobre el suelo. La corteza desechable se utiliza cada vez más para la producción de energía y como relleno en la pavimentación de caminos. Las cenizas y astillas pueden ser devueltas al bosque, lo que conlleva un menor impacto medioambiental

Otro aspecto importante a mencionar es el uso de la madera de los desperdicios mencionados anteriormente también son utilizados como una fuente de energía de biomasa que puede ser utilizada para calefacción, así como para calor industrial y generación de energía. Se estiman datos que de 1 metro cubico de madera se puede llegar a producir hasta 290 kilowatts por hora de energía.

#### 2.4.5 Electro panel o panel estructural

- **Extracción de materia prima:** Con respecto al panel estructural se sabe que los dos materiales principales para la elaboración de dicho material constructivo son el acero y poliestireno expandido. El enfoque de este material esta dado respecto al poliestireno expandido. Pero es importante también mencionar el origen del acero.

El hierro no es un material renovable, considerando que el 5 por ciento de la corteza terrestre está ocupada por ella misma, de esto se puede determinar que todavía queda mucho material a largo plazo. A pesar de esto en Guatemala se cuentan con 100 mil millones de toneladas que representan el 12 por ciento de las reservas mundiales. Pero si se extrae al ritmo que actualmente se está haciendo, con 10 metros de profundidad la extracción solo podría durar 20 años. (COPAE, 2011)

Los ecosistemas más representativos y al mismo tiempo productivos en Guatemala cerca de la extracción de las, son las playas arenosas y los manglares. Cada uno posee dinámicas altamente dependientes entre sí. (COPAE, 2011)

El manglar genera innumerable bienes y servicios ambientales: productos maderables y no maderables, recursos pesqueros de captura directa en el manglar (peces, moluscos y crustáceos), miel, recursos cinegéticos (cacería), fibras de valor comercial y productos químicos y medicinales. Nuevamente para la extracción de la misma se pierde la flora y fauna, degradación de suelos y escorrentías superficiales que dañan las grandes extensiones de terrenos. (COPAE, 2011)

Las excavaciones a profundidad propias de la minería de arenas negras también van a modificar las relaciones físicas a nivel del subsuelo. Suelos granulares saturados y poco consolidados al experimentar esfuerzos cortantes anómalos y rápidos, dan lugar a movimientos verticales y horizontales de su masa, que se traducen en deslizamientos, o en grandes asientos. Esto como consecuencia genera a largo plazo el abandono de la mina provocando que la misma se vuelva desértica, así como acumule agua y genere enfermedades a las poblaciones cercanas por la utilización como basureros. Este fenómeno de licuación de suelos tiene un potencial destructivo muy alto y se observa generalmente en los sectores ubicados junto a las riberas de los ríos y en el borde costero. (COPAE, 2011)

Cabe mencionar también que los impactos de la posterior explotación minera en el área modificarán las costas y ecosistemas marino costeros dejándolos desprotegidos y vulnerables ante los impactos de eventos naturales extremos como tormentas tropicales, huracanes y tsunamis. (COPAE, 2011)

Además de esto nuevamente el transporte de dichos materiales dentro de la cuenca hasta el lugar de producción generan partículas de polvo que se mantienen en el ambiente

y afectan principalmente las comunidades más cercanas a la mina, produciendo enfermedades respiratorias que en algunos casos la inhalación de dichas partículas llegan a los pulmones.

Respecto a la producción del poliestireno expandido su origen es del petróleo la extracción de dicho producto se basa en un proceso altamente contaminante dentro de los aspectos que se pueden mencionar son:

- Prospección sísmica: Es la generación de temblores artificiales con el fin de crear una ecografía que determina estructuras existentes incluyendo algunas que pueden almacenar hidrocarburos. (Bravo, 2007 )
- Perforación: Proceso en el cual básicamente se tritura el suelo que tiende a ser rocoso a una profundidad de 6 kilómetros, que contienen sustancias radioactivas y contaminantes. El proceso de extracción se utiliza lodo y aceites que pueden llegar a ser contaminantes ya que además de esto para la perforación del mismo se utilizan lubricantes. Además de utilizar espumas y anticorrosivos. (Bravo, 2007 )
- Otro aspecto son las plataformas ya que estas alteran la vida silvestre del lugar, ya que pueden llegar a afectar el apareamiento, alimentación y rutas de migración de muchas especies. Además de esto se genera ruido y luz que afectan el comportamiento de los animales. También se menciona el calor producido por las plataformas que sobrecalienta el ambiente produciendo impactos negativos en las especies del lugar. (Bravo, 2007 )
- Para finalizar la extracción del petróleo se realizan sobre piscinas aledañas a la perforación para verificar la calidad del petróleo, el mismo se deposita en el suelo provocando que algunas no tengan la capacidad de almacenar toda el producto provocando que se dé la migración a estratos superiores que contaminan acuíferos subsuperficiales e incluso algunos superficiales. (Bravo, 2007 )

- **Proceso de elaboración:** La creación de acero provoca proceso pilo metalúrgicos donde la emisión de gases a la atmosfera son los principales desechos que produce el mismo. Como se menciona en el proceso de elaboración del acero este utiliza grandes hornos que requieren temperaturas que alcanzan los 1400 grados centígrados. Para poder mezclar el oxígeno del hierro se realizan una mezcla de gases ricos en dióxido de carbono e hidrogeno. Utilizando como base gas natural y agua. El gas natural entonces es un principal contaminante ya que surge el proceso de extracción del petróleo que destaca los procesos anteriormente mencionados que dañan al ambiente. Además de la generación de polvo ya que contiene cantidades considerables de metales pesados y emisión de dióxido de carbono.

Además la maquinaria utilizada hornos, acerías e instalaciones laminadoras provoca excesos de vibraciones en el suelo y ruidos.

Otro aspecto es el exceso de arena que sobra de las escorias de los hornos que se dejan apilados sin uso provocando nuevamente la generación de polvo.

Para finalizar la generación de gases provocadas por la producción son:

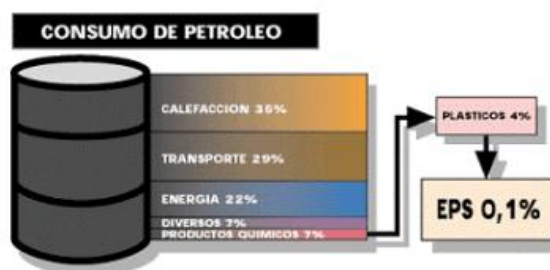
- gas de alto horno con los siguientes componentes potencialmente de relevancia ambiental:  
CO, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, H<sub>2</sub>S, HCN, CH<sub>4</sub>, As, Cd, Hg, Pb, Tl, Zn
- polvo del gas (seco), rico en hierro (35 - 50 %), procedente de las instalaciones depuradoras de gas
- escoria con los componentes principales  
SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, MgO
- lodo de la depuración de gas
- agua residual procedente de la depuración de gas, con las sustancias tóxicas: cianuros, fenoles, amoníaco
- polvo de los colectores de las naves de fundición. (Estrucplan, 2003)

La producción de poliestireno expandido se origina del petróleo, pero es importante que mencionar que solo el 4 por ciento de la producción mundial se destina a la producción de plásticos. Y dentro del 4 por ciento solo se utiliza un 2.5 por ciento para la producción de poliestireno expandido. Por lo tanto se puede deducir que el 0.01 por ciento se utiliza en la producción del mismo.

De lo anterior podemos considerar entonces que la materia prima utilizada a pesar de generar una alta contaminación el producto final a utilizar es muchísimo menor considerando entonces un proceso limpio.

Dentro del proceso de fabricación del poliestireno expandido, este no daña la capa de ozono. Ya que no utiliza gases de la familia de los fluoro carbonatos ni compuestos organodorado, esto hace una contribución positiva al calentamiento global que tanto afecta a nuestro planeta actualmente.

### Imagen 143: Consumo de petróleo para la producción de poliestireno expandido



Fuente: (ANAPE, 2012)

Es importante mencionar que el agente expansor utilizado es un gas natural que es originado de fuentes naturales, dicho gas se descompone rápidamente en la atmósfera y no se encuentra dentro de los elementos contaminantes orgánico volátiles.

Otro aspecto que destaca es que el gas natural no es gas de efecto invernadero y por lo tanto todas las industrias de producción de poliestireno expandido están reguladas como industrias no contaminantes de compuestos volátiles.

Se ha estudiado que el poliestireno expandido no tiene ninguna influencia medio ambiental perjudicial con el agua. Además se ha caracterizado que durante su ciclo de vida se ahorra 500 veces la energía que se consume cuando se fabrica. Además de esto la generación de dióxido de carbono al producir dicho material es un 60 por ciento menor respecto a un material constructivo típico.

Otro aspecto a destacar es que los plásticos son fáciles de procesar y por lo tanto se vuelven ligeros. Esto genera entonces que se reduzcan los costos de manufactura como de transporte que se basa por el contenido energético de los plásticos mismos.

A pesar de que el poliestireno expandido posee características positivas con respecto al ambiente es importante mencionar algunos aspectos negativos que afectan:

- El Cloro-Fluoro-Carbonos (CFC), e Hidro-Cloro-Fluor-Carbonos (HCFC) producen cáncer al estar en contacto con los mismos a largo plazo.
  - La degradación del poliestireno expandido puede estar en la tierra alrededor de 150 años por lo tanto no es un producto biodegradable.
- **Desperdicios:** La cualidad del acero es que puede ser reutilizado, en Guatemala se nombra como chatarra y cuando se produce nuevamente acero a partir del mismo se ahorra energía entre un 60 y 70 por ciento además de un 85 por ciento en agua y aire. Además de esto pueden utilizarse indefinidamente.

El acero y sus recubrimientos (aluminio, cromo, materiales cerámicos) permanecen inertes en el interior de los rellenos sanitarios. Con el transcurso del tiempo, la presencia de ciertos productos químicos puede conducir a un ataque de los elementos desechados. El resultado de las reacciones químicas es incorporar metales pesados a los líquidos lixiviados que se generan en los entierros de desechos. Estos lixiviados son muy tóxicos y corrosivos, y pueden contaminar las aguas subterráneas.

El acero no es biodegradable. Sin embargo, se degrada mediante corrosión (reacción química en lugar de reacción biológica). El acero se oxida en presencia de agua y oxígeno, produciendo escamas que se desprenden y exponen la masa interna a los agentes oxidantes. La velocidad de degradación varía grandemente como función del tipo de material que se haya usado para recubrimiento. (Moreno, 2007)

Con respecto al poliestireno expandido se puede mencionar que la polimerización de dicho material no puede ser reversible pero si se puede utilizar nuevamente en la producción de poliestireno expandido lo que hace que dicho material sean 100 por ciento reciclable. (ANAPE, 2012)

Otro aspecto a mencionar es que se puede reutilizar en el sector de la construcción:

- Componentes de concreto liviano
- Rellenos de terrenos
- Tras el molido del poliestireno expandido pueden ser usados para morteros livianos y ladrillos ligeros.

El poliestireno expandido también tiene la característica de luego ser moldeado y molido al mezclarse con el suelo genera mejor aireación y drenaje.

Una de las características más importantes que destaca al poliestireno expandido es el gran potencial que tienen para la generación de energía ya que 1 kilogramo equivale a 1.3 kilogramos de combustible líquido. De esta manera dicho producto puede ser utilizado para la generación de energía. Se podría mencionar que el poliestireno expandido toma prestada la energía contenida en el petróleo para luego ser devuelta en la generación de combustibles. (ANAPE, 2012)

Otros aspectos importantes positivos a mencionar son que dicho material no sirve como alimento para animales ni tiene valores nutritivos para organismos como hongos y bacterias. Ninguno de los componentes del poliestireno expandido es soluble en agua, por lo tanto no emiten sustancias hidrosolubles que contaminen aguas subterráneas. En los vertederos no se descomponen ni forman sustancias contaminantes.

Para finalizar otra de las ventajas que se obtienen en la reutilización del poliestireno expandido es en uso agrícola, puede aplicarse en los siguientes casos:

- Producción de aditivos para el suelo
- Para mezclas de sustratos de plantas y vegetal
- Cultivo en situaciones difíciles
- Como material filtrante en tuberías de drenajes

**Imagen 144: Aplicaciones de poliestireno expandido en Europa**



Fuente: Fuente: (ANAPE, 2012)

## 2.5 Propiedades de los materiales

Para poder determinar si un material es apto para considerarse material de construcción se deben de realizar pruebas a sus distintas propiedades. Dichas propiedades son de suma importancia ya que de estas dependerá el uso dentro de una construcción, además dará la pauta si es factible utilizarlo en determinada región según sea el caso de cada edificación.

Se define un material de construcción como el conjunto de sustancias utilizadas para producir un elemento constructivo.

Existe una clasificación para las propiedades generales de los materiales, entre las cuales tenemos:

- **Propiedades físicas**

- Formas y dimensiones: el conocimiento de esta propiedad permite determinar la necesidad de crear medios de unión adecuados para su empleo (adicionar y/o yuxtaponer para obtener un dispositivo) o en caso contrario buscar los procedimientos para efectuar las operaciones inversas (cortes, devastación). En las operaciones antedichas hay que verificar que no se modifiquen las propiedades del conjunto en relación con los elementos originales. (Facultad de Arquitectura, Universidad de Uruguay, Departamento de Enseñanzas de la Tecnología de la Construcción, 2002)
- Peso Específico: se define como el peso de la unidad de volumen de un cuerpo.
  - Volumen aparente. Cantidad de espacio ocupado por un cuerpo.



- Volumen absoluto. Cantidad de espacio ocupado por la materia que contiene un cuerpo.
  - Masa: es la cantidad de materia que contiene un cuerpo.
  - Porosidad: Se define la porosidad de un material como la relación del volumen de vacíos con el volumen aparente.
  - Compacidad: se denomina compacidad o grado de densidad al cociente del volumen absoluto con el volumen aparente.
  - Higroscopicidad: es la propiedad de algunos cuerpos o materiales de absorber el agua y modificar su peso.
  - Grado de humedad: es la relación entre el peso del agua en el material y el peso del material seco.
  - Permeabilidad: es la capacidad de ciertos materiales de dejarse atravesar por el agua u otro líquido. Esta se mide por la cantidad de líquido que pasa a través de un cuerpo de espesor y superficies dadas en un tiempo dado y en condiciones de presión y temperaturas también determinadas. La permeabilidad aumenta con la presión y la temperatura. (Facultad de Arquitectura, Universidad de Uruguay, Departamento de Enseñanzas de la Tecnología de la Construcción, 2002)
  - Homogeneidad: son materiales homogéneos aquellos que en todos sus puntos tienen una estructura molecular igual o idénticas propiedades físicas.
- **Propiedades mecánicas**
    - Resistencia: se denomina así al mayor y menor grado de oposición que un cuerpo presenta a las fuerzas que tratan de deformarlo. Esta oposición está dada por la fuerza intermolecular que se opone a la separación entre ellas. (Facultad de Arquitectura, Universidad de Uruguay, Departamento de Enseñanzas de la Tecnología de la Construcción, 2002)
    - Tenacidad/Fragilidad: cuando una fuerza actúa sobre un cuerpo este siempre sufre deformaciones las cuales aumentan a medida que van aumentando las fuerzas. Previo a la rotura por incremento de fuerzas, los cuerpos pueden deformarse mucho en relación a su dimensión primera mientras que otros apenas sufren pequeños deformaciones previas a la rotura. Se llama tenacidad a la propiedad de aquellos cuerpos de tener deformaciones considerables y

fragilidad a los que rompen con poca deformación previa. (Facultad de Arquitectura, Universidad de Uruguay, Departamento de Enseñanzas de la Tecnología de la Construcción, 2002)

- Elasticidad: es la propiedad de los cuerpos deformados de recuperar su forma inicial una vez desaparecida la carga deformante.
- Plasticidad: por oposición a elasticidad se define plasticidad como la propiedad de mantener la deformación una vez desaparecida la fuerza actuante pero conservando la cohesión.
- Rigidez: es la propiedad de los cuerpos que, para un esfuerzo dado, tienden a sufrir menores deformaciones.
- Dureza: esta propiedad se relaciona con la forma de penetración de un material en otro por intermedio de una fuerza.
- Isotropía: se define que los cuerpos en todos y cada uno de los puntos de su masa y en cualquier dirección presentan propiedades iguales.

- **Propiedades térmicas**

- Calor: es una magnitud que mide el contenido energético que posee un cuerpo debido al movimiento desordenado de sus moléculas.
- Temperatura: es una magnitud de intensidad que da la medida del valor medio de la energía de las moléculas aisladas.
- Calor específico: Se entiende como calor específico a la cantidad de energía necesaria para elevar en un grado °C la temperatura de un kilogramo de un material determinado.
- Calor latente: Es la energía perdida o ganada cuando un cuerpo cambia de estado. Se denomina como calor de fusión, de vaporización o de condensación dependiendo de los correspondientes cambios de estado. (Facultad de Arquitectura, Universidad de Uruguay, Departamento de Enseñanzas de la Tecnología de la Construcción, 2002)
- Dilatabilidad: fenómeno físico que permite el aumento del volumen de un cuerpo por el incremento de la temperatura. Este fenómeno se explica cualitativamente por la necesidad de mayor espacio entre las moléculas por el aumento de sus vibraciones debido al incremento de la temperatura. (Facultad de Arquitectura,

Universidad de Uruguay, Departamento de Enseñanzas de la Tecnología de la Construcción, 2002)

- Transmisión de calor: el calor se transmite de los cuerpos con mayor temperatura a aquellos de menor temperatura y permite el intercambio entre un sistema y el exterior.
- Conducción: se produce en los sólidos y los líquidos viscosos por la vibración molecular del cuerpo o sustancia y que lo transmite partícula a partícula.
- Conductividad térmica: es la cantidad de calor expresado en kilocalorías que un cuerpo de 1 m<sup>2</sup> de superficie y 1 m de espesor es capaz de transmitir por cada hora transcurrida y por cada °C de diferencia de temperatura entre sus caras. (Facultad de Arquitectura, Universidad de Uruguay, Departamento de Enseñanzas de la Tecnología de la Construcción, 2002)
- Concepto importante para fijar la transmisión del calor a través de los elementos constructivos y para determinar espesores.
- Convección: se realiza a través de los fluidos en movimiento. Este movimiento se produce justamente por las diferencias de temperatura formándose corrientes convectivas.
- Radiación: Se produce sin intervención de los medios materiales, por ejemplo el calor del sol llegando a la tierra. Son radiaciones del tipo electromagnéticas.
- Reflexión y absorción de calor: los cuerpos de acuerdo a su permeabilidad al calor se definen como atérmanos (impermeables) o diatérmanos (permeables) siendo estos los que no modifican su temperatura al ser atravesados por la energía calorífica radiante. Interesa en construcción los atérmanos pues la energía calorífica radiante sufre al contacto con el cuerpo en proceso de reflexión, absorción y transmisión. (Facultad de Arquitectura, Universidad de Uruguay, Departamento de Enseñanzas de la Tecnología de la Construcción, 2002)

- **Propiedades acústicas**

- Aislación acústica: Capacidad de un cuerpo de impedir el pasaje de la onda sonora.

- Absorción acústica: capacidad de un cuerpo de reducir el nivel sonoro al interior de su masa.
- Reflexión y refracción: cuando una onda pasa de un medio a otro se descompone y parte se refleja formando un ángulo con la normal a la superficie llamando ángulo de incidencia y otro atraviesa la superficie sufriendo un cambio de dirección en relación al rayo incidente y formando un ángulo con respecto al plano llamado ángulo de refracción y que depende de la densidad de los medios interconectados. (Facultad de Arquitectura, Universidad de Uruguay, Departamento de Enseñanzas de la Tecnología de la Construcción, 2002)

- **Propiedades tecnológicas**

Separación, agregación, transformación, fragilidad, maleabilidad, ductilidad, plasticidad y soldabilidad.

- **Propiedades químicas**

Composición, estabilidad, solubilidad, etc.

- **Propiedades organolépticas**

Aquellas determinadas por los sentidos (visión, olfato, tacto y oído).

Hay ciertas propiedades de los materiales que son interesantes porque afectan las propiedades físicas de la construcción. Entre ellas, las más importantes son:

- Propiedades aislantes de conductibilidad o de inercia térmica.
- Velocidad de absorción de la humedad.
- Capacidad para la rápida disipación de la humedad.
- Capacidad higroscópica de los materiales.
- Inalterabilidad estructural del material ante la humedad.
- Inalterabilidad de forma y volumen ante los cambios de temperatura y humedad.
- Comportamiento del material ante temperaturas extremas, ante condiciones de mala ventilación, cambios rápidos de temperaturas y ante a la exposición de los rayos solares.
- Conservación o variación de las propiedades ante influencia de humedad o temperatura.

- Facilidad a la corrosión o pérdida de las propiedades.
- Propiedad electrolítica en metales.
- Envejecimiento por el paso del tiempo y por las inclemencias atmosféricas.

### 2.5.1 Principios y conceptos básicos.

- **Resistencia de los materiales:** La resistencia de los materiales se refiere a las propiedades mecánicas de dicho material las cuales nos permitirán que este resista todas las cargas a las que será sometido.

Existe una rama en la ingeniería llamada mecánica de los materiales la cual está enfocada en como los materiales sólidos se comportan cuando están sujetos a distintas cargas. El objetivo de ésta es poder determinar los esfuerzos generados por estas cargas, como las deformaciones y desplazamientos a los que se encuentra sometidos un cuerpo para así poder tener una representación completa del comportamiento de dicho material; al lograr dicho objetivo se puede entonces hablar de un diseño seguro para todo tipo de estructuras. (Gere & Goodno, 2009)

Además de los análisis teóricos que requiere la mecánica de los materiales, se debe dar suma importancia al análisis práctico y experimental, ya que en muchos de los casos se desconocen las propiedades de los materiales por lo que es imposible la utilización de fórmulas y ecuaciones para predecir el comportamiento de este.

La experimentación ha jugado un papel muy importante en la historia de la resistencia de los materiales, pudiendo así poder llegar a ciertos valores representativos de las propiedades de los materiales que facilitan los cálculos hoy en día, sin embargo no se debe dejar llevar siempre por estos datos ya que en la mayoría de los casos los materiales se encuentran sujetos a distintos cambios los cuales han hecho que sus propiedades sean modificadas, por lo que siempre que se produzca un material destinado para la construcción se debe de realizar distintas pruebas para poder determinar el material con el que estamos trabajando.

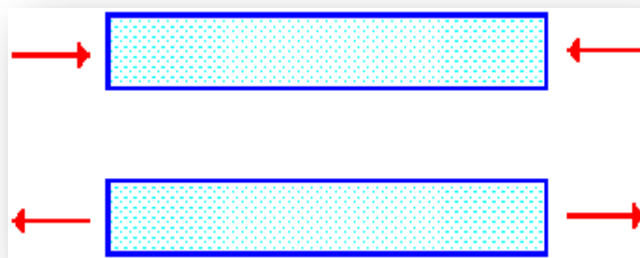
Los elementos de una estructura normalmente se encuentran sometidos a distintos tipos de cargas, generando así en este una serie de esfuerzos, ya sea que estos se presenten puros o combinados, entre los cuales tenemos:

- Esfuerzos axiales. (compresión y tensión).
- Esfuerzos de torsión.
- Esfuerzos de flexión.
- Esfuerzos de corte.
- Esfuerzos combinados. (Flexión-axial, flexión-corte-axial, etc.)

Los distintos materiales cuentan con propiedades que los hacen resistentes a ciertos esfuerzos como débiles para otros por lo que esto nos dará la pauta de saber que elementos se deben de utilizar para los distintos casos que se presenten en la estructura, por ejemplo una columna sujeta a compresión pura es recomendable utilizar un material cerámico como lo es el concreto ya que sus propiedades están basadas en resistir estos esfuerzo, por el otro lado una viga sujeta a flexión presenta en la parte inferior un esfuerzo de tensión por lo que si deseamos seguir utilizando el concreto se debe colocar un refuerzo de acero para soportar dicho esfuerzo ya que este material trabaja perfectamente con cargas que provoquen tensión; y así sucesivamente se puede asignar un material para cada distinto caso para aprovechar al máximo las propiedades de los materiales y así lograr un equilibrio entre economía y seguridad en nuestra estructura.

Esfuerzos axiales: Los esfuerzos axiales son aquellos que actúan en dirección perpendicular a la superficie del material debido a fuerzas de compresión y tensión, estos son comúnmente llamados esfuerzos normales.

**Imagen 145: Esfuerzos axiales. Compresión y tensión.**



Fuente: <http://www.linalquibla.com/TecnoWeb/estructuras/contenidos/esfuerzos.htm>

Esfuerzos de torsión: Se refiere al fenómeno de torcimiento a la que se encuentra sometido un elemento provocado por momentos o un pares de torsión, los cuales producen una rotación con respecto al eje longitudinal del elemento.

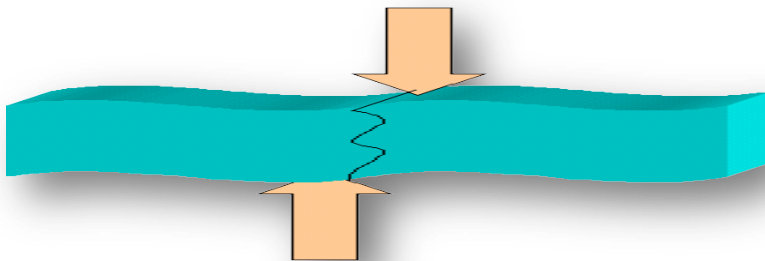
**Imagen 146: Esfuerzo de torsión.**



Fuente: <http://www.linalquibla.com/TecnoWeb/estructuras/contenidos/esfuerzos.htm>

Esfuerzos de corte: es aquel esfuerzo ocasionado por fuerzas cortantes, que actúa de manera tangencial a la superficie del material, en otras palabras es la fuerza que tiende a cortar el material en la superficie transversal del elemento.

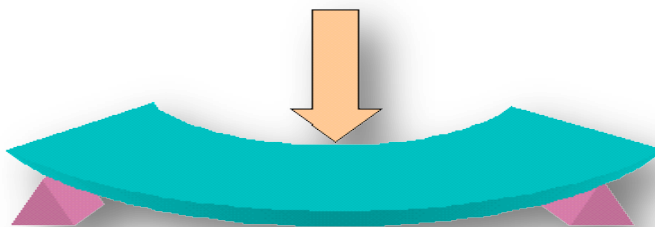
**Imagen 147: Esfuerzo de corte.**



Fuente: <http://www.linalquibla.com/TecnoWeb/estructuras/contenidos/esfuerzos.htm>

Esfuerzos de flexión: el esfuerzo de flexión, comúnmente en vigas, es aquel esfuerzo ocasionado por momentos flectores, provocando así una combinación de esfuerzos de tensión y compresión dando como resultado una deflexión a lo largo del elemento.

**Imagen 148: Esfuerzo de flexión.**



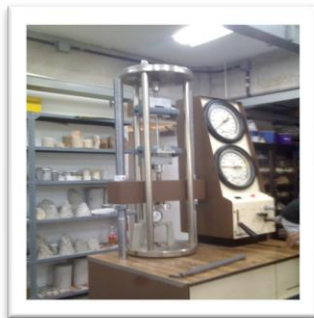
Fuente: <http://www.linalquibla.com/TecnoWeb/estructuras/contenidos/esfuerzos.htm>

- **Determinación de propiedades mecánicas de los materiales:** La experimentación: a lo largo de la historia se han ido creando maquinarias con el fin de poder realizar pruebas a los materiales, para lograr esto es muy importante conocer el comportamiento mecánico de dichos materiales que serán sometidos a las pruebas para así poder diseñar estas máquinas con el fin de obtener valores reales.

Usualmente para obtener resultados se procede a colocar una muestra del material deseado en la máquina de ensayo, se aplican las cargas y se miden las deformaciones y cambios obtenidos en dicha muestra.

Existen maquinarias específicas para realizar las distintas pruebas a los materiales para conocer sus propiedades mecánicas. Los equipos más sofisticados cuentan con equipos de medición de deformaciones como de un procesador de datos el cual gráfica los resultados obtenidos, de no ser así las mediciones deben ser realizadas manualmente, aunque en ambos casos se cuenta con un sistema de medición de la carga que se está ejerciendo.

**Imagen 149: Maquinaria para prueba de tensión, compresión y torsión**



Fuente: Laboratorio de Materiales 1, Universidad del Valle de Guatemala.



Para pruebas a compresión la maquinaria consiste en un gato hidráulico el cual ejerce una presión uniforme a la muestra, dicha maquinaria se encuentra cerrada en su totalidad para evitar accidentes. Como la maquinaria de tensión, esta también cuenta con un sistema para medir la fuerza ejercida, normalmente las deformaciones se miden manualmente.

**Imagen 150: Maquinaria para prueba de compresión.**



Fuente: Laboratorio de Materiales 1, Universidad del Valle de Guatemala.

Para todas las pruebas existentes y poder comparar los resultados, se debe estandarizar las medidas de las muestras y los métodos de aplicación de cargas; para poder lograr estas normas existen organizaciones dedicadas a estandarizar estas pruebas como lo son la American Society for Testing and Materials (ASTM), American Standards and Association (ASA), National Institute of Standards and Technology (NIST), etc. (Gere & Goodno, 2009)

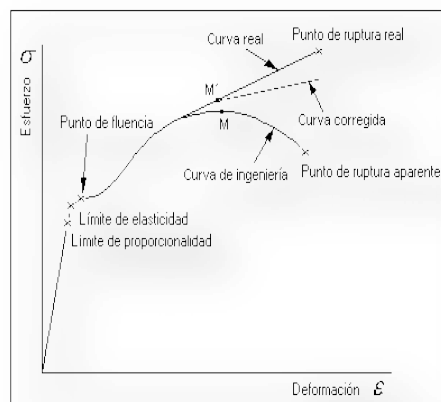
**Imagen 151: Mecanismo para prueba de Torsión.**



Fuente: Laboratorio de Materiales 1, Universidad del Valle de Guatemala.

Todo resultado de un ensayo dependerá de las dimensiones de la muestra ensayada, pero debido a que normalmente las estructuras contarán con elementos de mayor tamaño al de la muestra los resultados se deben llevar a una forma en que estos resultados se puedan aplicar a cualquier forma, el método que se utiliza es el de los diagramas de esfuerzo-deformación, llevando los resultados de ensayo a valores de esfuerzos y de deformaciones unitarias. Este diagrama presentará información muy importante sobre las propiedades mecánicas del material tal como lo es el esfuerzo de fluencia, esfuerzo último y punto de falla, todos estos datos son los que servirán al momento de diseñar. (Gere & Goodno, 2009)

**Imagen 152: Diagrama Eesfuerzo-deformación unitaria.**



Fuente: <http://blog.utp.edu.co/metalografia/2012/07/31/2-propiedades-mecanicas-de-los-materiales/>

**Cuadro 11: Propiedades físicas y mecánicas de los materiales.**

Material	Peso específico		Densidad específica	
	lb/ft <sup>3</sup>	KN/m <sup>3</sup>	slugs/ft <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>
Acero	490	77	15.2	7850
agua dulce	62.4	9.81	1.94	1000
Agua de mar	63.8	10	1.98	1020
Aleaciones de Aluminio	160-180	26-28	5.2-5.4	2600-2800
Aleaciones de Magnesio	75-135	12-21	2.3-4.2	1200-2200
Arena, suelo, grava	110-114	17-18	3.4-3.5	1760-1830
Bronce	510-550	80-86	16-17	8200-8800
Caucho	60-80	9-13	1.9-2.5	960-1300
Cobre	556	87	17	8900
concreto				
Concreto simple	145	23	4.5	2300
concreto reforzado	150	24	4.7	2400
concreto de peso ligero	70-115	11-18	2.2-3.6	1100-1800
fundición gris	435-460	68-72	13-14	7000-7400
Latón	520-540	82-85	13-14	7000-7400
Madera (secada al aire)				
Abeto Douglas	30-35	4.7-5.5	0.9-1.1	480-560
Roble	40-45	6.3-7.1	1.2-1.4	640-720
Pino del sur	35-40	5.5-6.3	1.1-1.2	560-640
Monel	550	87	17	8800
Níquel	550	87	17	8800
Plásticos				
Nailon	55-70	8.6-11	1.7-2.2	880-1100
Polietileno	60-90	9.4-14	1.9-2.8	960-1400
Roca				
granito, mármol, cuarzo	165-180	26-28	5.1-5.6	2600-2900
caliza, arenisca	125-180	26-28	3.9-5.6	2000-2900
Titanio	280	44	8.7	4500
Tungsteno	1200	190	37	1900
Vidrio	150-180	24-28	4.7-5.4	2400-2800

Fuente: Gere &amp; Goodno, 2009.

**Cuadro 12: Propiedades físicas y mecánicas de los materiales.**

Material	Módulo de elasticidad E		Módulo de elasticidad G		Relación de Poisson
	ksi	GPa	ksi	GPa	
Acero	28000-30000	190-210	10800-11800	75-80	0.27-0.3
Aleaciones de Aluminio	10000-10400	70-79	3800-4300	26-30	0.33
Aleaciones de Magnesio	15000-17000	100-120	5600-6400	39-44	0.33
Bronce	14000-17000	96-120	5200-6300	36-44	0.34
Caucho	0.1-0.6	0.0007-0.004	0.03-0.2	0.0002-0.001	0.45-0.5
Cobre y aleaciones de cobre	16000-18000	110-120	5800-6800	40-47	0.33-0.36
concreto (compresión)	2500-4500	17-31			0.1-0.2
fundición gris	12000-25000	83-170	4600-10000	32-69	0.2-0.3
Latón	14000-16000	96-110	5200-6000	36-41	0.34
Madera (Flexión)					
Abeto Douglas	1600-1900	11-13			
Roble	1600-1800	11-12			
Pino del sur	1600-2000	11-14			
Monel	25000	170	9500	66	0.32
Níquel	30000	210	11400	80	0.31
Plásticos					
Nailon	300-500	2.1-3.4			0.4
Poliestireno	100-200	0.7-1.4			0.4
Roca (compresión)					
granito, mármol, cuarzo	6000-14000	40-100			0.2-0.3
caliza, arenisca	3000-10000	20-70			0.2-0.3
Aleaciones de Titanio	6000-6500	41-45	2200-2400	15-17	0.35
Tungsteno	50000-55000	340-380	21000-23000	140-160	0.2
Vidrio	7000-12000	48-83	2700-5100	19-35	0.17-0.27

Fuente: Gere &amp; Goodno, 2009.

**Cuadro 13: Propiedades físicas y mecánicas de los materiales.**

Material	Esfuerzo de fluencia $\sigma_y$		Esfuerzo ultimo $\sigma_u$	
	ksi	Gpa	ksi	GPa
Acero				
de alta resistencia	50-150	340-1000	80-180	550-1200
para maquinarias	50-100	340-700	80-125	550-860
para resortes	60-240	400-1000	100-270	700-1900
inoxidable	40-100	280-700	60-150	400-1000
para herramientas	75	520	130	900
Acero Estructural	30-100	200-700	50-120	340-830
ASTM-A36	36	250	60	400
ASTM-A572	50	340	70	500
ASTM-A514	100	700	120	830
Aleaciones de Aluminio	5-70	35-500	15-80	100-550
2014-T6	60	410	70	480
6061-T6	40	270	45	310
7075-T6	70	480	80	550
Aleaciones de Magnesio	12-40	80-280	20-50	140-340
Bronce	12-100	82-690	30-120	200-830
Caucho	0.2-1	1-7	1-3	7-20
Cobre y aleaciones de cobre	8-110	55-760	33-120	230-830
concreto (compresión)			1.5-10	10-70
fundición gris (compresión)			50-200	340-1400
fundición gris (Tensión)	17-42	120-290	10-70	69-480
Latón	10-80	70-550	30-90	200-620
Madera (Flexión)				
Abeto Douglas	5-8	30-50	8-12	50-80
Roble	6-9	40-60	8-14	50-100
Pino del sur	6-9	40-60	8-14	50-100
Monel	25-160	170-1100	65-170	450-1200
Madera (compresión paralela a la veta)				
Abeto Douglas	4-8	30-50	6-10	40-70
Roble	4-6	30-40	5-8	30-50
Pino del sur	4-8	30-0	6-10	40-70
Aleaciones de Titanio	110-150	760-1000	130-170	900-1200
Alambre de acero	40-150	280-1000	80-200	550-1400

Fuente: Gere &amp; Goodno, 2009.

**Continuación Cuadro 13: Propiedades físicas y mecánicas de los materiales.**

Material	Esfuerzo de fluencia $\sigma_y$		Esfuerzo ultimo $\sigma_u$	
	ksi	Gpa	ksi	GPa
Níquel	15-90	100-620	45-100	310-760
plásticos				
Nailon			6-12	40-80
Poliestireno			1-4	7-28
Roca (compresión)				
granito, mármol, cuarzo			8-40	50-280
caliza, arenisca			3-30	20-200
Tungsteno			200-600	1400-4000
Vidrio			5-150	30-1000
vidrio cilindrado			10	70
Fibra de Vidrio			1000-3000	7000-20000

Fuente: Gere & Goodno, 2009.

## 2.5.2 Física de las construcciones

**2.5.2.1 Física de las construcciones:** El consumo de energía en edificaciones representa alrededor del 20% del consumo energético total de un país, por lo cual un buen diseño térmico de ellas se verá reflejado en la disminución en el dispendio energético del sector residencial. Un mejor conocimiento de las diferentes variables que influyen en los procesos de transferencia de calor desde o hacia el interior de la edificación coadyuvará a llevar a cabo un mejor diseño térmico de la misma, más apegado a la realidad y, por lo tanto, más preciso. Por lo anterior es importante contar con datos confiables del comportamiento térmico de los diferentes materiales de construcción para diseñar y evaluar la edificación, y lograr un confort térmico humano en su interior. (R. Almanza, 2006)

Por estas razones es necesario determinar experimentalmente las propiedades de ganancia o pérdida de calor de los principales materiales de construcción, o en su caso, lograr encontrar información de estos materiales acerca de las propiedades de ganancia o pérdida de calor, ya que no se cuenta con el equipo requerido para poder realizar las pruebas experimentalmente. Toda esta información, con base en los materiales con los cuales se

construyen las casas en el país, para los cuales también se debe de tomar en consideración la influencia del viento en las pérdidas de calor.

Con lo cual se pretende generar nueva información respecto a propiedades térmicas de algunos de los materiales de construcción más usados en la industria de la construcción nacional, los cuales incluso puede ayudar a actualizar y extender las normas de construcción en el país de eficiencia energética para envolvente de edificios de uso no residencial, así como la que actualmente se desarrolla con respecto a envolvente de edificios para uso residencial. (R. Almanza, 2006)

- **Importancia de la física de las construcciones:** Tanto ingenieros como arquitectos deben tener algunos conocimientos acerca de las relaciones termo - fisiológicas entre el cuerpo humano y el ambiente.

En oposición a los animales de sangre fría, cuya temperatura se adapta a la del ambiente, el hombre mantiene siempre constante su temperatura corporal y esto bajo cualquier condición climática. (S. Lugano, 2002)

El cuerpo se comporta fisiológicamente como un complicado aparato acondicionador de regulación automática. El calor lo obtiene de la oxidación de los alimentos. La temperatura de la sangre se mantiene entre 36.5°C y los 37°C. Del mismo modo que sucede en una calefacción de agua caliente con bomba aceleradora; en el cuerpo la sangre hace el papel del agua como transmisora del calor, que transporta las calorías producidas en el interior del organismo a las extremidades y la piel, pierde algo de su temperatura, vuelve al sitio de origen y recupera el calor perdido, con lo que se cierra el ciclo.

En climas como el nuestro la temperatura del cuerpo está casi siempre por encima de la temperatura del medio ambiente, por lo tanto el cuerpo siempre cede calor al medio ambiente. Este intercambio se realiza fundamentalmente a través de la piel y la regulación del mismo se hace mediante el sistema nervioso. Es importante saber que cada una de las condiciones fundamentales para el bienestar está íntimamente ligada con estos procedimientos. El cuerpo humano tiene muchos procedimientos para lograr un equilibrio térmico. (S. Lugano, 2002)

Cuando la temperatura ambiente es demasiado fría crece la pérdida de calor del cuerpo humano. Si entonces no estamos suficientemente protegidos por un ropaje

apropiado, el cuerpo manifiesta el desequilibrio mediante el hambre. Por ello en climas fríos son convenientes alimentos ricos en calorías, en las épocas de calor disminuye sin embargo el apetito. El tiritar y la necesidad de hacer ejercicios físicos que produzcan calor son fenómenos que abundan en lo dicho.

Cuando la temperatura del ambiente es demasiado alta, existe el peligro de que la temperatura de la sangre se eleve demasiado. Los vasos sanguíneos se dilatan, la sangre aumenta la temperatura de la piel y con ello aumenta la pérdida de calor, al mismo tiempo el cuerpo produce el efecto de enfriamiento. Este sistema es tan eficaz que en realidad son muy frecuentes los constipados de verano, a veces más que en invierno. La evaporación de un litro de agua representa para el cuerpo humano una pérdida de 580kcal. Cuando no se puede evitar un aumento de la temperatura del cuerpo, puede aparecer dolor de cabeza, desvanecimiento, congestión e incluso la muerte.

Si el cuerpo no es capaz de mantener su temperatura entre los 32 y os 42°C no puede sobrevivir, tan limitada es la variación de temperatura admisible por el cuerpo humano. (S. Lugano, 2002)

Sin embargo el cuerpo no solo cede calor sino que también lo recibe del ambiente por medio del aire caliente o e radiación. El ambiente en el cual el hombre se encuentra bien tiene unos límites muy estrechos y no exactamente conocidos, pues hay muchas variaciones según los países, vestidos, edad, sexo, etc.

De todos modos es fácil de delimitar un campo bastante concreto de bienestar o confort. Esto es de gran interés para el especialista en física - constructiva, pues así obtiene datos para lo que debería ser la solución ideal de un edificio desde el punto de vista térmico – fisiológico. (S. Lugano, 2002)

- **Física de las Construcciones y el ahorro de energía en edificios:** El consumo de energía en las edificaciones es cada vez mayor, debido a varios factores datos tales son el incremento del empleo de aparatos que consumen energía y la complejidad así como la cantidad de las mismas. (S. Pacheco, 2011)

Los consumos energéticos en las edificaciones se concentran de manera directa en la energía eléctrica y el gas, siendo los sistemas de climatización y refrigeración uno de los



principales consumidores en los climas cálidos, como ocurre en buena parte de nuestro país.

El diseño y la planificación de un espacio influyen de manera determinante en su desempeño energético, principalmente los aspectos de selección de sitio, orientación más adecuada al servicio que va a prestar, el tipo y material de envolvente a utilizar, los apoyos de plantas y dispositivos ornamentales (tipo de árboles, barreras de plantas, fuentes, etc.). (S. Pacheco, 2011)

El concepto de tener un uso racional de la energía en una edificación nueva implica que pueda ser construida, operada y mantenida con un mínimo de uso de la energía sin restringir las funciones del edificio ni el confort y la productividad de sus ocupantes. Los sistemas consumidores de energía dentro de un edificio no residencial son en forma natural entre otros, la iluminación, el acondicionamiento ambiental, la potencia eléctrica de suministro a aparatos y equipos de trabajo, el bombeo de agua, los elevadores y sistemas específicos de acuerdo al uso que tenga el edificio como puede ser agua caliente, cocina, refrigeración, lavandería, etc. (S. Pacheco, 2011)

Los aspectos más importantes de climatización en un diseño arquitectónico son el tamaño, forma y orientación de las superficies formadas de cristales; la disposición y uso de los espacios interiores, la ubicación y forma de las superficies utilizadas para ventilación. Las elección de los materiales y procedimientos constructivos para los muros y las cubiertas, el empleo de elementos arquitectónicos de climatización como son: pórticos, aleros, volados, parteluces, pérgolas, invernaderos, sótanos, áticos, etc. Con frecuencia menospreciamos la importancia que tiene la selección de materiales constructivos y acabados en el desempeño final de una edificación, tomando en cuenta solamente los costos de inversión sin considerarlos costos operativos del mismo. La selección de cada uno de los materiales que intervienen la construcción es fundamental para su desempeño total. Es importante destacar que aplicando un criterio racional al diseño de la envolvente de un edificio se pueden reducir los consumos de una manera muy significativa especialmente en los sistemas de climatización. Todo esto se puede lograr siguiendo normas y dictámenes propuestos por *La Física de las Construcciones*. (S. Pacheco, 2011)

- **El Confort:** El concepto de confort está influido por lo menos por cuatro conceptos distintos, de ellos hay dos que dependen de la temperatura. Son fundamentales la temperatura de aire interior por un lado y por otro la temperatura de las superficies de los paramentos incluyendo en esta la superficie de los radiadores. El efecto de la radiación de paredes y ventanas muy frías es muy importante. (S. Lugano, 2002)

La temperatura de confort para el hombre depende no solo de la temperatura del aire sino también de las paredes que la rodean. En un ambiente con una temperatura de aire de 24° con paramentos muy fríos puede parecer baja, sin embargo, rodeado con superficies calientes puede encontrarse bien con 18° y aun con 16°. Las superficies interiores con superficies interiores con temperaturas críticas son las paredes exteriores, las aberturas acristalada y en los últimos pisos también el techo. Paredes interiores y techos entre viviendas con calefacción no pueden estar muy frías.

Los tratados de calefacción definen como temperatura sensible el promedio entre la temperatura del aire y de las superficies interiores de techos y paredes. Recknagel afirma que estas dos temperaturas deben ser lo más próximas posibles y que deben estar alrededor de los 20°C. Cuando menos difieran estas temperaturas entre sí, más uniforme es la pérdida de calor humano. (S. Lugano, 2002)

En las construcciones actuales se suelen montar instalaciones de calefacción que ceden el calor por convección (convectores). Así, primero se calienta el aire de la habitación y después por medio del aire, se calientan las paredes. Por ello sucede que la temperatura entre el aire y las superficies interiores puede ser muy diferente.

Por regla general se puede afirmar que la temperatura del aire sumada a la temperatura media de las superficies interiores debe alcanzar los 38°C. En el esquema hay un diagrama que refleja esta afirmación. Así, con una temperatura de aire de 20°C el promedio de las paredes debería ser de 17 a 18°C. Con el sistema normal de construir no se llega con mucho a estos resultados. (S. Lugano, 2002)

A través de mediciones se ha podido establecer que en paredes normales los paramentos interiores bajan por debajo de los 12°C cuando en el exterior alcanzan los 0°C. Según el diagrama sabemos que el cuerpo humano necesita en este caso por lo menos 25°C para notar una sensación de confort, esto explica el hecho conocido que en

edificios nuevos mal aislados, las estufas o calefacciones están estropeadas poco tiempo después , debido a que se obligan a trabajar sobrecalentados. (S. Lugano, 2002)

Prescindiendo de los casos en los que hay suelos, paredes o techos radiantes, se puede asegurar el bienestar del hombre si este está dispuesto a soportar algunas temperaturas bajas de radiación de las superficies interiores de la habitación, pues no existe otra solución, con un tal débil aislamiento térmico de las paredes y del aislamiento aun más bajo de los cristales, y por ello el aire debe estar más caliente.

También los acondicionadores tienen el mismo modo de trabajar. El hombre está rodeado de aire caliente pero expuesto a radiaciones frías. Cada vez es más discutido si esto es lo más correcto para el hombre, lo más saludable y lo mejor para el sistema nervioso. (S. Lugano, 2002)

H. Lueder resalta el hecho de que el hombre cede muy poco calor por convección al aire ambiente, solo de un 4 a un 15% y, además en la operación inversa también es una parte muy pequeña de calor la que pasa del aire al cuerpo humano.

Del mismo modo las paredes y cerramientos de una habitación se calientan muy lentamente por medio del aire. Lueder y otros autores afirman que desde un punto de vista higiénico lo más saludable es lograr una temperatura del aire más bien baja, o sea inferior a 18°C y sin embargo que la temperatura de las superficies de la habitación este entre 22 y 23°C. Esta afirmación solamente se puede mantener tal como hemos dicho desde un punto de vista higiénico. (S. Lugano, 2002)

Para apoyarlo se menciona el efecto sedante del clima de alta montaña con aire frío y una compensación por radiación solar. El hecho de calentar una habitación por medio de la radiación tiene además la ventaja de que la ventilación con una regular renovación de aire no representa una pérdida considerable de calor, mientras que en otros tipos de calefacción al renovar el aire hay una mayor pérdida de calor, por este motivo en muchos casos la ventilación es muy diferente durante los meses fríos.

El ambiente ideal logrado mediante la radiación solo se puede alcanzar mediante paredes o techos calientes. El uso generalizado de estos tipos de calefacción está reservado para el futuro. Sin embargo, hay que exigir que las condiciones higiénicas de control ambiental se observen estrictamente. (S. Lugano, 2002)

Los defectos de un edificio mal hecho hay que compensarlos con una calefacción capaz. Al usuario hay que dejarle la oportunidad de poder subir la temperatura del ambiente, o sea las fuentes productoras de calor no deben ser dimensionadas por debajo de las necesidades.

Este es un defecto normal en las construcciones actuales, porque al diseñarlas no se tiene en cuenta el problema de las radiaciones de frío y se toma como temperatura de proyecto del aire interior 20°C, sin tener en cuenta que en el caso de existir radiaciones de frío la temperatura del aire debe ser más alta. (S. Lugano, 2002)

Todo ello es un problema muy extendido, por ejemplo, Korsgeard afirma que en Dinamarca deberían existir unas disposiciones legales para la protección fisiológica de viviendas insalubres. En otros países se han fijado normas para el aislamiento térmico de las viviendas. (S. Lugano, 2002)

- **Condiciones de confort térmico:** Podemos definir el confort como un estado de completo bienestar físico, mental y social. Pretendemos que las personas se encuentren bien. El confort, depende de multitud de factores personales y parámetros físicos. De entre todos los factores, el confort térmico representa el sentirse bien desde el punto de vista del ambiente higrotérmico exterior a la persona. Los límites extremos, desde el punto de vista térmico, pueden resultar dañinos, e incluso mortales, para el ser humano. (S. Zaranda, 2011)

El cuerpo humano se puede considerar como una máquina térmica que intercambia energía con su entorno, en forma de calor y humedad. Se alcanza el confort térmico, sólo si hay equilibrio entre el calor producido por el metabolismo y las diferentes formas de disipación. Estas son:

- **Transferencias conductivas:** por contacto entre el cuerpo y otros sólidos. Por ejemplo, los pies con el suelo, o la mano con una mesa. Esas transferencias son de poca importancia, en general.
- **Transferencias convectivas:** piel, ropa, o circulación de aire en los pulmones.
- **Transferencias por radiación:** desde la piel o la ropa, hacia el entorno.
- **Transferencias latentes:** debido a los procesos de respiración o evaporación y transpiración.

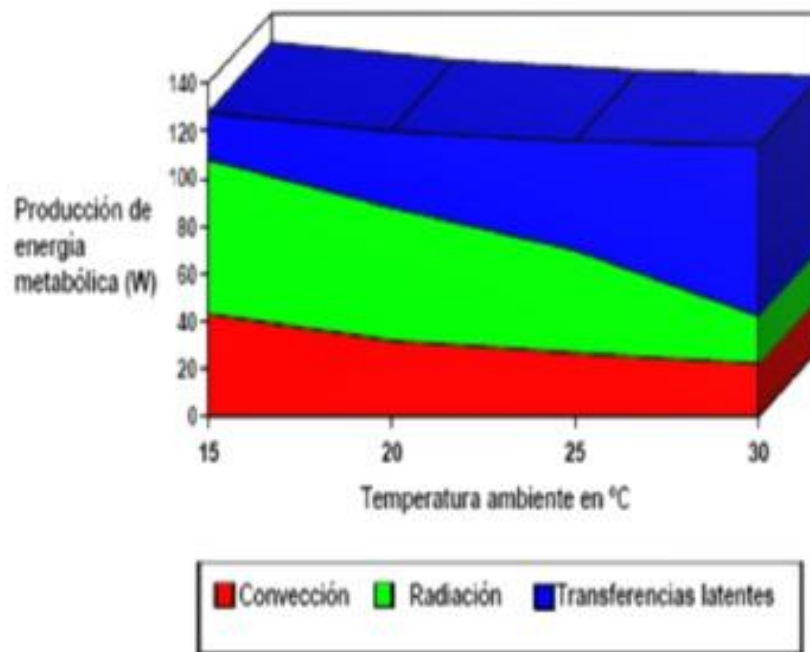
- **Criterios de confort:** Se considera que existe confort térmico, cuando se dan simultáneamente las dos siguientes condiciones: (S. Zaranda, 2011)
  - **Equilibrio térmico global:** la producción de calor del cuerpo humano es igual a la emisión de calor hacia el entorno. Con potencias frigoríficas normales y una regulación de temperatura adecuada, la obtención del equilibrio térmico global no presenta dificultad. Este mismo criterio, en la práctica, se usa tanto para la previsión del consumo de energía, como para la verificación formal de las condiciones de confort.
  - **Confort térmico local:** el individuo no siente en ninguna parte de su cuerpo, ni calor ni frío desagradable. Las causas de incomodidad (corrientes de aire, efectos de pared, etc.) son múltiples.
  
- **Balance térmico global:** El balance térmico global depende de:
  - La producción de calor, del metabolismo del ocupante y de la humedad del aire (evaporación más o menos importante en los pulmones).
  - La emisión de calor, de la vestimenta, de la temperatura operativa y de la velocidad del aire. Cuanto menor sea el equilibrio, mayor será el porcentaje previsible de insatisfacción.
  
- **Condiciones atmosféricas que afectan al confort humano**
  - **Temperatura:** el adecuado control de la temperatura del medio ambiente que circunda en el cuerpo humano elimina el esfuerzo fisiológico de acomodación, obteniéndose con ellos un mayor confort y la consiguiente mejora del bienestar físico y de las condiciones de salubridad. (S. Zaranda, 2011)
  - **Humedad:** una gran parte del calor que posee el cuerpo humano se disipa por evaporación a través de la piel. Como quiera que la evaporación se favorezca con la humedad relativa del aire baja y se retarda si ésta es alta, se deduce que la regulación de la humedad tenga una importancia tan vital como la de la temperatura. Un exceso de humedad no sólo da como resultado reacciones fisiológicas perjudiciales, sino que también afecta por lo común en forma perjudicial a las cualidades de muchas de las

sustancias contenidas en el lugar de que se trate, y muy particularmente sobre los vestidos y muebles. (S. Zaranda, 2011)

- **Confort térmico y humedad del aire ambiente:** Las transferencias sensibles, radiación, convección, y casualmente conducción son menores según se eleva la temperatura. Entonces, la disipación del calor metabólico, sólo se efectúa por medio de transferencias latentes, más difíciles de controlar cuando más alta sea la humedad del ambiente. Por encima de un cierto nivel de humedad, se produce un fenómeno de incomodidad fisiológica, que puede llegar a manifestarse en forma de sudor. Por lo tanto, en condiciones de verano, el ambiente será más confortable, cuanto más seco sea el aire. (S. Zaranda, 2011)

Se puede observar la disipación del calor del cuerpo humano en función de la temperatura en el grado situado a continuación:

**Imagen 153: Disipación de calor del cuerpo humano.**



Fuente: (<http://confort-térmico.html>)

- **Influencia de la humedad en el aire:** La humedad del aire es importante para lograr unas condiciones climáticas de confort. El hombre no es capaz de percibir por sus sentidos diferencias de humedad relativa entre 35 y 70%. Por ello, bajo el punto de vista higiénico, una humedad comprendida entre estos valores se considera normal (salvo una buena instalación de aire acondicionado).

Cuando la humedad relativa es inferior al 35% se produce polvo seco que se quema encima de los radiadores, y se produce amoniaco que irrita las vías respiratorias, por este motivo se fija este mínimo de humedad relativa del aire del 35%. Aunque el cuerpo humano soporta fácilmente, aunque con molestias, valores más bajos. (S. Lugano, 2002)

Con la humedad relativa superior al 70% se favorece la formación de moho y de manchas de humedad por condensación sobre superficies frías. Con temperaturas ascendentes del aire, la humedad relativa llega a ser un factor determinante de las condiciones de confort ambiental, pues influye de un modo directo en la evaporación de la respiración de la piel. Cuanto más húmedo es el aire más facilidad se tiene para sudar. Para asegurar el bienestar hay que tener en cuenta que a medida que aumenta la temperatura hay que disminuir la humedad relativa del aire.

Como este problema es de capital importancia para los meses más cálidos del año, en la tabla se señalan, para las temperaturas medias del aire exterior en verano ( $T_e$ ), las temperaturas más aconsejables del aire interior ( $T_i$ ) y los valores de la humedad relativa del aire ( $\phi_i$ ). (S. Lugano, 2002) Estas exigencias sirven para asegurar el bienestar en las habitaciones con exigencias especiales y normales.

- **Movimiento del aire:** El movimiento del aire es otro factor que interviene en las condiciones de confort ambiental. El hombre en locales cerrados es muy sensible a las corrientes de aire, especialmente cuando este aire que nota es más frío que el de la habitación.

**Cuadro 14: Temperaturas interiores de proyecto y valores máximos de la humedad relativa en relación a la temperatura exterior en verano.**

Te (°C) Temperatura exterior	Ti (°C) Temperatura interior	$\phi$ I (%) Humedad relativa
20	20	80
22	21	75
24	22	72
25	22.5	70
26	23	68
28	24	64
30	25	60
32	26	56
34	27	52
35	27.5	51
36	28	50

Fuente: (S. Lugano, 2002)

Las corrientes de aire no se producen solamente mediante equipos de ventilación. Se pueden producir de forma muy desagradable por ventanas que ajusten mal y también por paredes mal aisladas cuya superficie interior tiene una temperatura muy baja que enfría el aire y cae y corre por el suelo de la habitación hasta llegar a la estufa. En su camino continuo este aire frío encontrara los pies de la persona o personas que están en la habitación; lo cual genera un grado de bajo confort dentro de la edificación. (S. Lugano, 2002)

La pregunta de qué velocidad puede tener el aire interior de una habitación sin que moleste a los ocupantes tiene una respuesta desde un punto de vista higiénico relacionada con la temperatura del ambiente. Con una temperatura de 20 a 22°C la velocidad ( $w$ ) del aire no debería sobrepasar los 0.15 a los 0.25 m/s, con temperaturas más altas también pueden crecer las velocidades del aire; sin embargo, existe un límite ya que además de un efecto refrigerante, temible con temperaturas bajas, hay el peligro de que levante polvo cuando la velocidad crezca demasiado. (S. Lugano, 2002)



Por lo tanto, el conocimiento de los datos anteriores es útil porque en el futuro se deberá trabajar en estrecha colaboración entre arquitectos, ingenieros y los técnicos de acondicionamiento y los de sanidad. Además, las relaciones entre el hombre, el edificio y los medios mecánicos deberían merecer de una manera especial el cuidado y el interés del responsable de la construcción.

Una de las principales tareas del ingeniero o arquitecto al construir un edificio será la capacidad de poder coordinar, según la función a que este destinado, las exigencias de tecnologías, higiene, técnico-constructiva y economía, sin olvidarse del confort que se le pretende dar a los habitantes de dichas edificaciones. (S. Lugano, 2002)

- **Estructura física de los materiales de construcción:** El conocimiento de las características físicas de los principales materiales de construcción y aislamiento para el técnico en construcción son tan imprescindibles como el dominio de los cálculos teóricos como de los detalles estéticos. Las propiedades tan distintas de los distintos materiales de construcción pueden ser muy difícilmente concretadas en la mayoría de los casos. Además, el resultado de los cálculos teóricos solo puede tener un sentido con un profundo conocimiento de las estructuras físicas de los materiales. (S. Lugano, 2002)
- **Propiedades críticas:** Hay ciertas propiedades muy importantes de los materiales que interesan porque afectan las propiedades físicas de la construcción; estas propiedades muy a menudo se omiten en tratados de construcción. Entre ellas, las más importantes son: (S. Zaranda, 2011)
  - Propiedades aislantes de conductibilidad o de inercia térmica.
  - Velocidad de absorción de la humedad.
  - Capacidad para la rápida disipación de la humedad.
  - Capacidad higroscópica de los materiales.
  - Inalterabilidad estructural del material ante la humedad.
  - Inalterabilidad de forma y volumen ante los cambios de temperatura y humedad.
  - Comportamiento del material ante temperaturas extremas, ante condiciones de mala ventilación, cambios rápidos de temperaturas y ante la exposición de rayos solares.
  - Conservación o variación de las propiedades ante influencia de humedad o temperatura.

- Facilidad de corrosión o pérdida de las propiedades.
- Propiedad electrolítica en metales.
- Envejecimiento por el paso del tiempo y por las inclemencias atmosféricas.

El comportamiento de los materiales debido a estas circunstancias no depende del material en sí, sino también en su estructura celular.

- **Cámaras de aire:** Por el nombre de cámara de aire se entiende generalmente un espacio grande o pequeño lleno de aire dentro de un material o de un elemento constructivo. Los espacios grandes son poco apropiados en el sentido físico - constructivo pues permiten movimientos de aire y formación de condensación en las superficies frías. Para el aislamiento solo son útiles las cámaras de aire pequeñas. (S. Lugano, 2002)
- **Burbujas:** Son cámaras de aire cerradas, pequeñas, de forma esférica o elíptica, resistentes a la presión debido a su pequeño tamaño no permiten el fenómeno de la convección. Un material lleno de burbujas tiene normalmente un elevado coeficiente de aislamiento térmico. Este puede ser muy bueno cuando las paredes de estas burbujas son poco porosas o impermeables. En este caso el material es un poco permeable al paso de la humedad (agua y vapor), por eso los materiales aislantes destinados a sitios poco ventilados, o que no pueden desprenderse de la humedad, deberían ser de naturaleza llena de burbujas cerradas.
- **Poros, distribución y tamaño de los mismos:** Poros son cámaras de aire pequeñas comunicadas entre sí con el aire. Se puede tratar de poros circulares o aperturas muy finas en la superficie (superficie porosa) o de canales de comunicación muy finos. (S. Lugano, 2002)

Los poros se forman por la conducción de conductos naturales o artificiales. En materiales calcinados también se forman poros característicos. La cantidad, tamaño, forma y distribución de estos poros tienen una influencia decisiva sobre la capacidad de aislamiento térmico y el comportamiento ante la humedad del material. (S. Lugano, 2002)

Dos elementos de mismo material pueden tener el mismo peso específico, o la misma densidad de poros y sin embargo tener un aislamiento térmico diferente. Cuando la

misma cantidad de aire se distribuye en muchos poros pequeños, aumenta la resistencia a la conductibilidad térmica; sin embargo, a aumentar el tamaño de los poros disminuye el aislamiento térmico. Al bajar el promedio de tamaño de los poros de un material, aumenta su capacidad de aislamiento. Así se puede determinar para poros:

- Más pequeños de 1 mm además de la convección se acumula también la radiación.
- Más pequeño de 10 mm se anula la conductibilidad del calor por convección.

A la eficacia del tamaño de los poros se debe por ejemplo, con materiales de fibra y espumas de resina artificial. (S. Lugano, 2002)

- Con una densidad baja (poros grandes) el aislamiento sea bastante bajo.
- Con densidad media la capacidad de aislamiento aumenta porque al crecer la densidad disminuye el tamaño de los poros.
- Con densidad mayor vuelve a perder aislamiento debido a que los poros disminuyen al aumentar la densidad.

Para cada clase de material corresponde una densidad determinada para lograr un aislamiento óptimo. (S. Lugano, 2002)

Al bajar esta densidad se perjudica el aislamiento debido al aumento de poros. Al subir de la densidad óptima también se perjudica el aislamiento pues los poros son desplazados por material. (S. Lugano, 2002)

Sabiendo esto es fácil de explicar porque pruebas de hormigón ligero con materiales reconocidos y con la densidad prescrita no correspondían al aislamiento térmico esperado. El único motivo eran los poros demasiado grandes.

- **Capilares:** Conductos capilares son canales de diámetro finísimo, que serpentean a través del material como una red en conexión con el aire y entre sí. Por fenómenos de capilaridad, los líquidos (agua) empapan estos materiales y avanzan a través de ellos incluso subiendo, venciendo la fuerza de gravedad. Motivo determinante de estos fenómenos de capilaridad es el diámetro de los canalillos. El agua sube en estos conductos según su diámetro. (S. Lugano, 2002)

**Cuadro 15: Diámetro de capilares y altura que sube el agua en relación a los diámetros.**

Diámetro de capilares (mm)	Altura que sube (mm)
1.00	15.00
0.01	1,500.00
0.0001	150,000.00

Fuente: (S. Lugano, 2002)

También influyen en estos fenómenos la forma de estos conductos, así en capilares de forma cónica que se van estrechando el agua avanza más rápidamente.

La capilaridad de un material puede ser una ventaja o un inconveniente pero en todos los casos es una característica importante en considerar. (S. Lugano, 2002)

- **Estructura celular:** El porcentaje de poros abiertos o cerrados dentro de un material puede ser muy distinto dentro de un mismo material. Un material puede tener una estructura:
  - Celular abierta
  - Celular cerrada
  - Celular mixta

Un material lleno de burbujas es de células cerradas. Existe, por ejemplo, espuma de vidrio tanto de células cerradas como de células abiertas. El primer material es un buen aislante térmico, el segundo un buen aislante acústico (la opinión de muchos de la espuma de vidrio de células cerradas es, además de un buen aislante térmico, un buen aislante acústico no se ha visto confirmado). Una espuma plástica porosa u hormigón poroso no tienen solo burbujas sino también conductos capilares y son, por tanto, de estructura celular abierta y no tienen conductos capilares.

La estructura celular no es lo único que determina el comportamiento físico de un material ya que el material en sí y su composición química tienen una influencia importante. La estructura explica sin embargo la capacidad o la deficiencia del material para ser empleado como aislamiento o como cerramiento. (S. Lugano, 2002)

Cuando capas de material de poros finos están en estrecho contacto con otros poros mayores, la humedad siempre avanza de los poros gruesos a los finos, nunca al revés. Materiales de poros abiertos pueden tener canales verticales que actúan como conductores capilares y absorben agua, como por ejemplo fibras vegetales calcinadas.

La humedad, sin embargo, proviene no solo de los materiales vecinos sino también del aire. Los materiales tienden a equilibrar su presión higroscópica con la humedad del aire de acuerdo con su temperatura y humedad. Para placas de aislamiento es conveniente que esta tendencia sea la más baja posible, sino nos encontramos en la práctica con que el contenido de humedad es demasiado alto. Se ha calculado para cada material la humedad de equilibrio higroscópico; técnicamente se determina en condiciones ambientales y viene determinada por la temperatura y humedad del aire. La cantidad de humedad de equilibrio higroscópico depende no solo de la estructura celular sino también de la composición química del material. Por ejemplo, virutas de madera cuyo material de cohesión sea cemento o sulfato de magnesio. (S. Lugano, 2002)

Materiales pesados como bloques de cemento o ladrillos pesados no absorben mucha cantidad de agua debido a su pequeña cantidad de poros. Piedras ligeras como ladrillos de escoria o ladrillos ligeros tienen un volumen tan grande de poros que no llegan a producirse los fenómenos de capilaridad. El hormigón poroso tiene la mayor parte de poros cerrados y redondos y por ello un carácter totalmente distinto del carácter capilar de algunos ladrillos. En hormigones porosos el agua rellena las cámaras y con ello forma puentes térmicos que alteran mucho el comportamiento térmico del material. (S. Lugano, 2002)

- **Proceso físicos en la construcción**

- **Transmisión de temperatura:** El calor cuya unidad de medida es la kilocaloría, siempre sigue la ley de caída de temperatura siempre pasa de un ambiente caliente a otro más frío, nunca al revés. Así, en invierno las paredes transmiten calor de dentro afuera y los techos y azoteas, de abajo arriba, estos procesos no se pueden evitar ni invertirlos, lo único que se puede hacer es frenarlos o disminuirlos. (S. Lugano, 2002)

En verano estos procesos son inversos. Hay que tener en cuenta que bajo la influencia del sol las paredes exteriores y sobre todo las azoteas planas, que reciben la

radiación solar, están más calientes que el aire que las rodea. Los diversos procesos de transmisión de calor los damos por conocidos.

La conducción térmica se puede medir fácilmente con la ayuda de los valores de los coeficientes térmicos de transmisión. El proceso de conducción que se produce en gases o líquidos se observan normalmente en nuestra vida cotidiana.

La radiación, a pesar de su enorme importancia, es a lo que menos atención se presta. Cuando dos cuerpos están a distinta temperatura  $t$  están separados por un medio permeable a la radiación, se produce un cambio porque el cuerpo más caliente envía calor al cuerpo más frío por radiación. Este fenómeno es importante en espacios vacíos y cámaras de aire usadas en la construcción. (S. Lugano, 2002)

La radiación que se produce en elementos de calefacción como estufas y radiadores tiene importancia para la temperatura de las superficies de elementos exteriores propensos a la compensación. (S. Lugano, 2002)

Todos estos procesos de cambios de calor son percibidos por el cuerpo humano, incluso la radiación a pesar de que no necesita medio conductor. Pero ninguno de nuestros sentidos capta la existencia o los cambios de vapor de agua, por este motivo durante mucho tiempo se ha sabido tan poco de los procesos de difusión y no se les ha dado ninguna importancia. (S. Lugano, 2002)

- Transmisión de humedad en estado de vapor: La humedad en forma de vapor se mide por gramos de agua por m<sup>3</sup> de aire (gr/m<sup>3</sup>). O por la medida de la presión del vapor de agua en el aire. El vapor de agua siempre pasa del ambiente donde hay más presión de vapor a la inferior. Estos movimientos que se producen sin ayuda de otros medios, e incluso venciendo la gravedad, se conocen por difusión. La dirección de la difusión se determina por el contenido absoluto de vapor de agua. El vapor de agua se dirige a donde su contenido absoluto es menor. (S. Lugano, 2002)

Esta ley no solo es válida para el aire, sino también para el vapor de agua que contiene los materiales y los aislantes que empleamos en la construcción y, siguiendo la pendiente de la presión de vapor de agua, se transmite por los poros y conductos capilares de los materiales. La difusión de vapor se puede producir cuando las

temperaturas están equilibradas, pero en la práctica lo normal es que estos procesos tengan lugar con cambios importantes de temperaturas, como se puede comprobar con cálculos detallados. En las épocas extremas, el calor y el vapor van en el mismo sentido, es decir, del lugar más caliente al más frío; esto es válido tanto para edificios con calefacción como con refrigeración. (S. Lugano, 2002)

La difusión del vapor es independiente de la presión barométrica del aire y solo busca equilibrar la presión de vapor. Por estos motivos los materiales constructivos y aislantes se pueden humedecer de manera considerable ya que, si la presión de vapor sobrepasa la presión de saturación, se produce agua de condensación. Cuando se produce este fenómeno con temperaturas inferiores a 0°C se puede producir hielo, lo cual es un fenómeno que debe tenerse en cuenta sobre todo para edificios frigoríficos.

- **Transmisión de humedad en estado líquido:** La mayoría de elementos constructivos contienen agua, que se mueve según la estructura capilar del material. En materiales que no tienen capilares no se produce transporte de agua. Sin embargo en el yeso, los ladrillos, el mortero y otros materiales capilares el movimiento de agua es continuo.

La humedad líquida, o sea el agua, siempre se traslada hacia el lugar relativamente más seco a través de la red capilar. El vapor de agua se difunde hacia donde es absolutamente seco. Esto puede significar que el vapor y el agua vayan en el mismo sentido, pero es frecuente también que ocurra lo contrario. Sin conocimiento de estos procesos no se pueden comprender las características de una pared de ladrillo y tampoco entre una pared de ladrillo y una de hormigón ligero. (S. Lugano, 2002)

- **Cambios de fase**

- **Introducción:** El uso eficiente de la energía es uno de los grandes retos a que se enfrentan constructores hoy en día. El sector residencial es una gran demandante de energía para ofrecer tanto enfriamiento como calentamiento. En el desarrollo de los proyectos arquitectónicos se incluyen dispositivos y sistemas que permitan un ambiente confortable y por otro un ahorro substancial en el consumo de energía. (P. Oteiza, 2010)

La climatización de un espacio se refiere en términos generales a crear y mantener un ambiente, cuyas condiciones de temperatura, humedad y circulación y

pureza del aire produzcan un efecto tal, que el ocupante o ocupantes de dicho espacio, puedan desarrollar eficientemente sus actividades. Lo anterior se conoce como condiciones de confort o de bienestar. La climatización se aplica en general al tratamiento del aire, actuando sobre los parámetros ya mencionados, provocando efectos de enfriamiento o de calentamiento no sólo sobre la fisiología humana sino también, para crear condiciones para conservar, transformar o manejar algunos productos o materiales sin perjudicar su apariencia y propiedades como el caso de los alimentos. (P. Oteiza, 2010)

El aire seco al nivel del mar contiene aproximadamente un 78% de  $N_2$  y el 21% de  $O_2$  en volumen. El 1% restante está compuesto principalmente de argón, junto con una variedad de otros gases ( $CO_2$ , gases nobles, etc.). La composición local de la atmósfera puede ser ligeramente distinta a causa de condiciones naturales o provocadas por el hombre. En las grandes ciudades la combustión de petróleo hace que la que proporción de  $CO_2$  tome valores elevados. Una componente variable muy importante de la atmósfera es el vapor de agua. Su proporción varía grandemente con el tiempo y de un punto a otro de la tierra. En los climas húmedos y cálidos puede existir hasta un 4% de nivel de agua, mientras que en las regiones árticas muy frías y secas puede alcanzar valores tan bajos como el 0.01%. En el intervalo normal de las condiciones atmosféricas el vapor de agua es el único gas condensable en la atmósfera. El intercambio de agua entre la superficie de la tierra y la atmósfera desempeña un papel importante en el desarrollo de las condiciones climáticas, ya que durante la evaporación se absorbe calor y durante la condensación se libera. (P. Oteiza, 2010)

- **Definición de cambios de fase:** Una fase es un sistema de composición química y estructura física homogéneas. Un cuerpo puro en un estado de agregación determinado (sólido, líquido o gas) constituye una fase. El agua y el alcohol mezclados constituyen una fase, porque son perfectamente miscibles; en cambio, el agua y el aceite constituyen dos fases. Cuando un sistema puede presentarse en dos fases distintas para diversos valores de la presión y de la temperatura, es posible observar el paso de una fase a otra modificando continuamente el valor de dichos parámetros. Entonces se dice que hay cambio de fase. (P. Oteiza, 2010)



Los cambios de fase clásicos se representan en la figura, también se les denomina transiciones o cambios de fase de primer orden:

**Imagen 154: Cambios de fase de primer orden.**



Fuente: (P. Oteiza, 2010)

En estos cambios de fase más conocidos y en algunos menos conocidos, tales como el pasar de una forma cristalina a otra, la temperatura y la presión permanecen constantes, mientras que varían la entropía y el volumen. Se realizan siempre con absorción o cesión de calor y la cantidad de calor transferida por unidad de masa se llama *calor latente*. (P. Oteiza, 2010)

De los fluidos termodinámicos de importancia a estudiar, el agua y el vapor de agua es uno de los esenciales porque transporta importantes cantidades de energía si hay cambio de fase. El vapor de agua tiene una gran capacidad de absorción y transmisión de radiación, dependiendo del dominio de longitudes de onda, teniendo la capacidad de poder absorber y poder transmitir y permitir el paso de la radiación. (P. Oteiza, 2010)

- **Psicrometría**

- **Introducción:** La psicrometría estudia las propiedades termodinámicas de mezclas de gas con vapor. En particular la mayoría de las aplicaciones se refieren al aire húmedo considerado como la mezcla de aire seco y vapor de agua. (M. Navacerrada, 2009)

El estudio termodinámico de un sistema complejo como es el aire puede realizarse de forma más o menos sencilla. El hombre ha sido capaz de definir importantes conceptos termodinámicos que por una parte permiten un desarrollo teórico sencillo y que, por otra coinciden con las variables que pueden medirse en la práctica. También se han diseñado diagramas apropiados que facilitan enormemente los cálculos y que además, permiten tener una imagen “visual” del estado termodinámico del aire y su evolución en los procesos que sufre. (M. Navacerrada, 2009)

- **Composición y propiedades del aire:** Se denomina aire seco al aire atmosférico una vez eliminados tanto todo el vapor de agua como los contaminantes presentes. Numerosas mediciones han demostrado que la composición del aire seco es relativamente constante:

- Nitrógeno: 78,08 %
- Oxígeno: 20,94%
- Argón: 0,93%
- Anhídrido Carbónico: 0,031%
- Neón: 0,0018%
- Helio: 0,00052%
- Metano: 0,0002
- Anhídrido sulfuroso: de 0 a 0,0001%
- Hidrógeno: 0,00005
- Componentes minoritarios (kriptón, xenón y ozono): 0,0002%

El peso molecular medio de todos los componentes resulta ser para el aire seco 28,96. (M. Navacerrada, 2009)

El aire húmedo es una mezcla binaria de aire seco y vapor de agua. La cantidad de vapor de agua en el aire húmedo varía desde 0 (aire seco) hasta un máximo que depende de las condiciones de presión y temperatura. En este último caso se habla de saturación,

un estado de equilibrio entre el aire húmedo y la fase de agua condensada. (M. Navacerrada, 2009)

Desde un punto de vista termodinámico el estudio del aire húmedo se trata de un estudio de un sistema abierto que puede intercambiar materia, masa de agua con sus alrededores. Es una mezcla de gases que no se combinan, no reaccionan químicamente. En condiciones normales las temperaturas son superiores a la temperatura críticas de sus componentes por tanto, suponemos que la mezcla y comporta como un gas ideal, y todos y cada uno de sus componentes de comportan como gases ideales. En consecuencia se puede utilizar para cada uno y para la mezcla la ecuación de estado de los gases ideales:

$$PV = nRT$$

(M. Navacerrada, 2009)

siendo:

P = presión

V = volumen

n = número de moles

R = constante de los gases

T = temperatura

Ahora bien, para el tratamiento del aire húmedo se tienen las siguientes ecuaciones: (M. Navacerrada, 2009)

Ecuación de estado de aire seco:  $P_s V = m_s r_s T$

Ecuación de estado del vapor de agua:  $eV = m_v r_v T$

Ecuación de estado del aire húmedo:  $PV = mrT$

Una relación interesante es la relación entre las densidades del vapor del agua y del aire seco:

$$P_s = \frac{m_s}{V} r_s T = \rho_s r_s T$$

$$e = \frac{m_v}{V} r_v T = \rho_v r_v T$$

En idénticas condiciones de presión y temperatura:

$$\varepsilon = \frac{\rho_v}{\rho_s} = \frac{\frac{e}{r_v T}}{\frac{P_s}{r_s T}} = \frac{r_s}{r_v}$$

- **Humedad atmosférica i índices de humedad:** Se define la humedad atmosférica como la proporción de vapor de agua que existe en el aire húmedo. Existen diversas formas de expresar dicho contenido como por ejemplo, por el porcentaje en peso, volumen, masa de vapor por unidad de volumen.... A continuación enumeramos los parámetros habituales o índices de humedad que se utilizan para expresar el contenido de vapor de agua en el aire húmedo: (M. Navacerrada, 2009)

- **Humedad específica q:** Se define como la masa de vapor de agua por unidad de masa del aire húmedo:

$$q = \frac{m_v}{m} = \frac{m_v}{m_v + m_s}$$

- **Razón de mezcla w:** Se define como la masa de agua que acompaña a la unidad de masa de aire seco:

$$w = \frac{m_v}{m_s}$$

(M. Navacerrada, 2009)

- **Tensión de vapor e:** Se define como la presión parcial del vapor de agua en la porción de aire húmedo considerada.
- **Humedad relativa h o f:** Se define la relación entre la masa de vapor de agua que contiene un volumen dado de aire y la que podría contener si estuviese saturado a igual temperatura:

$$h = f = \frac{m_v}{m_{v\text{sat}}} = \frac{e(T)}{e_{\text{sat}}(T)}$$

siendo:

$e_{\text{sat}}(T)$  = la tensión de vapor saturante a la temperatura considerada.

- **Humedad absoluta a:** Se define como la masa de vapor de agua, medida en gramos, que hay en un metro cúbico de aire:

$$a = 10^6 \rho_V (g/m^3)$$

estando expresada  $\rho_V$  en  $(g/m^3)$ . Teniendo en cuenta que  $e = \frac{m_V}{V} r_V T = \rho_V r_V T$ , por lo tanto, se puede escribir:

$$a = 10^6 \rho_V = 10^6 \frac{e}{r_V T}$$

La humedad relativa es el índice que mejor caracteriza la sensación fisiológica de humedad, de este índice dependen la mayor parte de los efectos meteorológicos y biológicos causados por la presencia del vapor de agua en la atmósfera. Si la humedad relativa alcanza el valor 100% tienen lugar precipitaciones acuosas (rocío, lluvia, niebla, nieve). Si la presión atmosférica permanece constante, al crecer la temperatura decrece la humedad relativa ya que  $e_{\text{sat}}(T)$  crece mientras  $e(T)$  permanece invariable. Esta es la causa de que el aire parezca húmedo por las mañanas y más seco a mediodía. Así en un local cerrado con mucha gente a temperatura constante, a causa de la respiración la humedad relativa crece y conviene desecar. En cambio, en un local con pocas personas y calentado artificialmente el aire puede hacerse demasiado seco y conviene humedecerlo. (M. Navacerrada, 2009)

- **Temperatura de rocío o punto de rocío:** Si enfriamos una mezcla no saturada de aire y vapor de agua de manera que la temperatura disminuya hasta que la presión parcial del vapor en la mezcla iguale a la presión de vapor la mezcla quedará saturada y un enfriamiento posterior dará lugar a la condensación. La temperatura  $T_r$  a la cual el vapor de agua comienza a condensarse si el aire se enfría, sin cambiar la tensión de vapor  $e$  ni la razón de mezcla  $w$ , se llama punto de rocío o temperatura de rocío.

Es decir, el concepto de temperatura de rocío es totalmente equivalente al de temperatura de saturación a presión constante. Si el aire está muy seco, el punto de rocío corresponde a una temperatura muy distinta de la del aire; en cambio, con aire húmedo, las dos temperaturas están muy próximas. Por ello, la temperatura de rocío también puede utilizarse como índice de humedad. (M. Navacerrada, 2009)

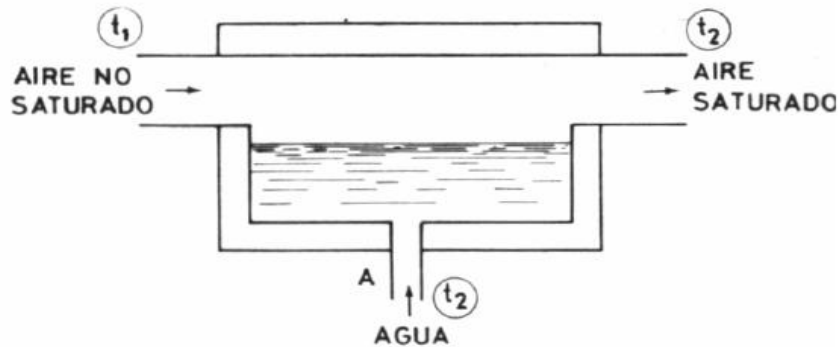
En la atmósfera, el enfriamiento isobárico necesario para alcanzar la temperatura de rocío se suele producir bien por la mezcla del aire con otro aire más frío, o bien por el enfriamiento nocturno. De esta manera cuando la temperatura de las plantas desciende durante la noche hasta la temperatura en que el vapor de agua de la atmósfera se hace saturante dicho vapor se condensa sobre ellas formando rocío. En general si la temperatura de rocío es mayor que  $0^{\circ}\text{C}$  se podrían producir gotas de agua, es decir, rocío, nieblas o lluvia, mientras que si la temperatura de rocío es menor que  $0^{\circ}\text{C}$  se podrían formar cristales de hielo, dando lugar a nevadas o a la escarcha.

En esta misma línea, la tensión de vapor en un recinto cerrado no puede ser mayor que la tensión saturante correspondiente a la más fría de sus paredes, en otro caso en esta pared tendrá lugar la condensación del agua. (M. Navacerrada, 2009)

- **Temperatura de saturación adiabática:** La temperatura de saturación adiabática es la temperatura teórica a la que el vapor de agua del aire húmedo se hace saturante pero sin intercambiar calor con los alrededores. Se trata de un proceso adiabático e isobárico. Esto es, para cualquier estado de aire húmedo, existe una temperatura a la que el agua líquida (o sólida) se evapora en el aire para llevarlo a la saturación, exactamente a esa misma temperatura y presión. La temperatura de rocío es similar pero se consigue enfriando, esto es con intercambio de calor con los alrededores. (M. Navacerrada, 2009)

Para entender mejor esta temperatura vamos a considerar el siguiente experimento: supongamos una cámara de saturación adiabática, esto es un depósito aislado sin intercambio de calor con el exterior pero abierto (intercambia materia):

**Imagen 155: Cámara de saturación adiabática.**



Fuente: (M. Navacerrada, 2009)

El aire húmedo caracterizado por una masa de vapor  $m_v$ , una temperatura  $T$  y una razón de mezcla  $w$  entra en la cámara de adiabática, el aire se satura de vapor de agua. Para que el agua se evapore y se incorpore a la corriente de aire tiene el aire húmedo que ceder calor, por lo que se enfría, esto es, disminuye su temperatura hasta  $T_h$ , la *temperatura de saturación adiabática*. Lógicamente para que se produzca el proceso,  $T_h$  debe ser menor que la  $T$  inicial. Entonces, el aire de la cámara adiabática saturado con una temperatura  $T_h$ , una masa de vapor de agua  $m_v$  y una razón de mezcla  $w = \frac{m_v}{m_s}$ . Se considera además que el proceso isobárico, esto es a presión constante. (M. Navacerrada, 2009)

Esta definición parece difícil de entender en la práctica, ya que es necesario que el agua líquida, se reponga precisamente a la temperatura de saturación adiabática cuyo valor en principio desconocemos. En realidad debe entenderse que se trata de una definición operacional de forma que la temperatura de saturación adiabática puede encontrarse mediante las siguientes operaciones: (M. Navacerrada, 2009)

- 1) Agregar agua a cualquier temperatura hasta que el aire se sature adiabáticamente.
- 2) Medir la temperatura del aire saturado.
- 3) Cambiar la temperatura del agua líquida de forma que coincida con la medida en el paso anterior.

- 4) Repetir los pasos 2 y 3 hasta que la temperatura del aire saturado se iguale a la del agua que está siendo agregada. Cuando ambas coincidan habremos encontrado la temperatura de saturación adiabática.

La temperatura de saturación adiabática dependerá de la humedad que contenga el aire, y por tanto, constituye otro índice de humedad. En efecto, para una temperatura dada  $T$ , cuando mayor sea la humedad del aire menos agua se evaporará, se requerirá menos cantidad de agua para evaporarla y por tanto, la  $T_h$  será mayor. (M. Navacerrada, 2009)

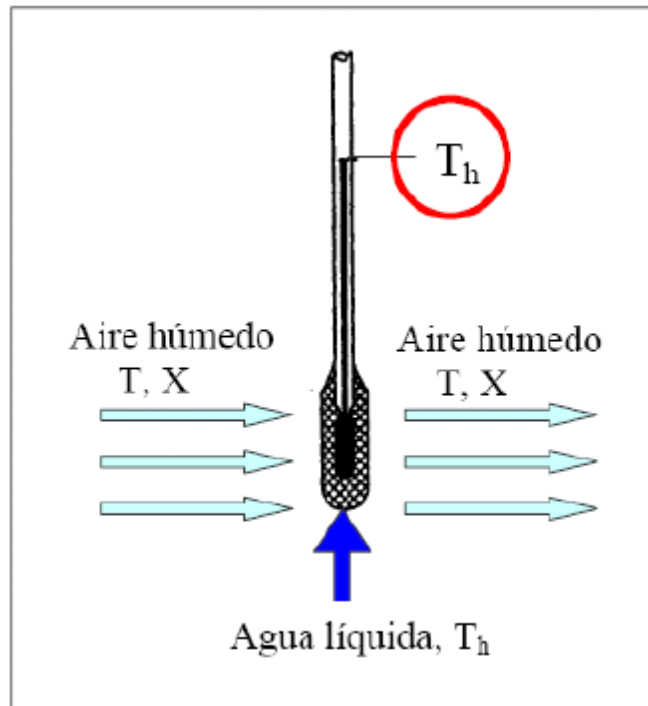
Para establecer la relación analítica entre  $T_h$  y los índices de humedad aplicamos los correspondientes balances de masa y energía. Como el proceso es adiabático todo el calor cedido por el aire que entra en la cámara se invierte exclusivamente en la evaporación del agua necesaria para que la mezcla salga saturada. (M. Navacerrada, 2009)

Como ya hemos indicado, la principal utilidad del concepto de temperatura de saturación adiabática es su dependencia con la humedad del aire, y por tanto, su posible uso como índice de humedad. Para poder calcular dicho índice sería necesario medir experimentalmente la temperatura  $T_h$ , sin embargo como ya se ha indicado su medida directa requeriría un proceso altamente ideal e iterativo, lo que no resulta útil en la práctica. (M. Navacerrada, 2009)

En realidad, el concepto de temperatura de saturación adiabática  $T_h$  fue introducido para poder explicar el fenómeno de termómetro húmedo. En el caso del aire húmedo,  $T_h$  puede obtenerse experimentalmente de una forma sencilla, ya que coincide prácticamente con la temperatura que mide un termómetro húmedo situado en una corriente de aire no saturado, denominada temperatura de termómetro húmedo. La temperatura de termómetro húmedo es la temperatura que alcanza un termómetro cubierto con un paño húmedo que se expone a una corriente de aire sin saturar que fluye a velocidades cercanas a 5 m/s, también puede hacerse que sea el termómetro el que remueva.



**Imagen 156: Termómetro húmedo.**



Fuente: (M. Navacerrada, 2009)

Cuando el paño se expone al aire, parte del agua se evapora, consumiendo inicialmente calor latente del paño y produciendo un descenso de la temperatura del termómetro. A partir de dicho momento fluye calor desde el aire hacia el paño, permitiendo la evaporación de más agua. El proceso sigue hasta que se alcanza el equilibrio entre ambos flujos de calor, de manera similar a como ocurre en el proceso de saturación adiabática. (M. Navacerrada, 2009)

Hay que tener en cuenta varios aspectos fundamentales que distinguen esta nueva magnitud de la anterior:

- 1) En este caso se trata de una magnitud estacionario de no equilibrio, ya que depende de las velocidades con las que se transfieren el calor y la materia.
- 2) En este caso la cantidad de líquido es tan pequeña, en comparación con la masa de aire que las variaciones que se producen en las propiedades de este último son despreciables, y el efecto del proceso se manifiesta solamente en el líquido.

- 3) La temperatura del termómetro húmedo depende de los ritmos de transferencias de calor y masa entre el paño húmedo y el aire. Puesto que dichas transferencias dependen, a su vez, de la geometría del termómetro, de la velocidad del aire, de la temperatura del agua suministrada y de otros factores, la temperatura del termómetro húmedo no puede considerarse como una propiedad de la mezcla.

La temperatura del termómetro húmedo depende de la humedad que contenga el aire, por tanto también puede utilizarse como índice de humedad y estará relacionado con los índices como ya hemos indicado y hemos denominado a ambas por  $T_h$  ya que prácticamente coinciden. (M. Navacerrada, 2009)

Para otras mezclas de aire y vapor, como la que se produce en tanques de almacenamiento de aceite o en mezclas de alcohol y aire, no se produce esta coincidencia y la temperatura de saturación adiabática será distinta de la temperatura del termómetro húmedo. (M. Navacerrada, 2009)

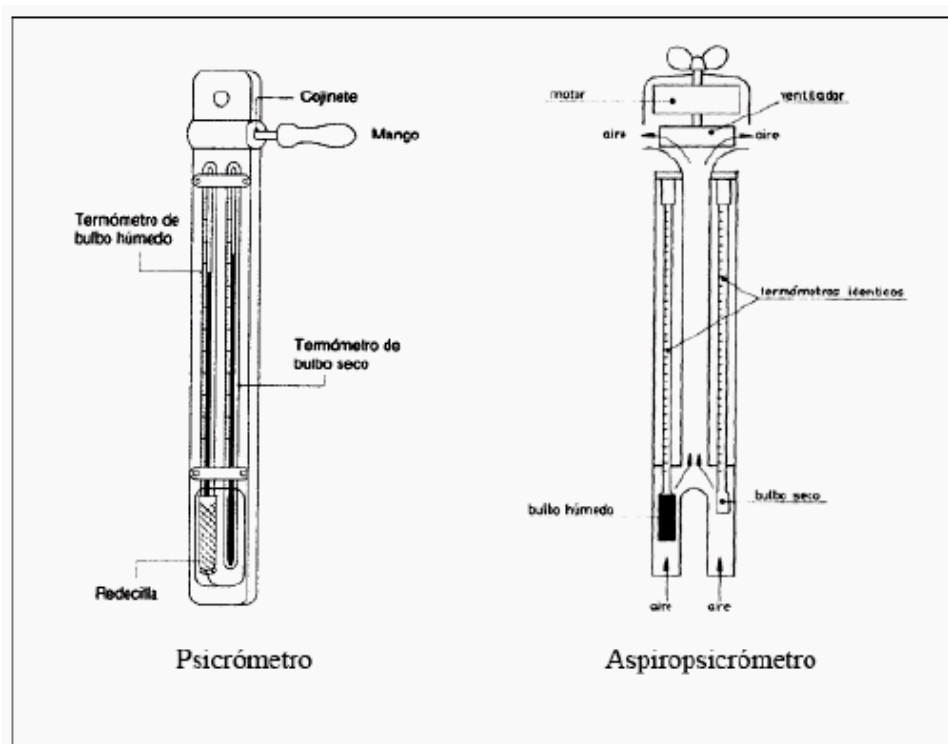
Algunos procesos naturales están relacionados con el concepto de temperatura de termómetro húmedo. Así la disminución de la temperatura en la piel de personas y animales o en los órganos tiernos de los vegetales en corriente de aire, es debida a la evaporación del líquido procedente de la transpiración producida por los mismos. También es conocido que si el aire está muy húmedo la evaporación de sudor se ve disminuida y aumenta la sensación de bochorno o sofocación. Así, para una misma temperatura el calor resulta menos sofocante cuanto más seco esté el aire, ya que es posible evaporar mayor cantidad de sudor y la piel alcanzará una temperatura  $T_h$  más baja. Por ejemplo, la sensación de bochorno para una humedad del 30% empieza a sentirse a los 32°C, mientras que para una humedad del 60 % comienza a sentirse a los 25°C siendo la  $T_h$  aproximadamente igual a 20°C en ambos casos. (M. Navacerrada, 2009)

- **Psicrómetros:** Una vez introducidos los conceptos teóricos necesarios, resulta conveniente estudiar cómo pueden ser medidos en la práctica. Una de las facetas más importantes de la psicrometría es precisamente, la medida directa o indirecta de los índices de humedad. Se hace necesario, disponer de instrumentos de medida de la humedad que permitan una lectura cómoda y que proporcionen una exactitud suficiente. (M. Navacerrada, 2009)

Uno de los más habituales es el psicrómetro. Consta básicamente de dos termómetros, uno normal (seco) y otro con su bulbo permanentemente humedecido gracias a un paño o gasa mojados que lo recubre. El paño o gasa, en forma de mecha, recibe el agua de un pequeño depósito en el que está sumergido el otro extremo del mismo. Este depósito presenta sólo un orificio para dejar paso a la mecha evitando la evaporación.

Resulta conveniente que el termómetro esté ventilado, evitándose además los efectos de la radiación. Por ello, se suele utilizar un psicrómetro en forma de honda, como el mostrado en la figura, de manera que ambos termómetros giran mediante un movimiento manual. (M. Navacerrada, 2009)

**Imagen 157: Psicómetro en forma de honda y aspiripsicrómetro de Assman.**



Fuente: (M. Navacerrada, 2009)

Más perfecto es el aspiripsicrómetro de Assmann, en el que el movimiento del aire se logra mediante un ventilador. Como se muestra en la figura, los dos termómetros son ventilados por la corriente de aire aspirada por un pequeño ventilador. Para rechazar la radiación se rodea a los termómetros con tubos niquelados. (M. Navacerrada, 2009)

Como ya se ha indicado, la diferencia entre la temperatura del aire y  $T_h$  dependerá de la humedad del aire, permitiendo así medir ésta. En la mayoría de los casos, junto al psicrómetro se suministra una tabla con doble entrada  $T$  y  $T - T_h$  que proporciona directamente la humedad relativa del aire. (M. Navacerrada, 2009)

Por otro lado están los higrómetros o psicrómetros eléctricos que basados en algunas sustancias (óxido de aluminio, polímeros...) varían su resistencia eléctrica superficial y su capacidad eléctrica en función de la humedad relativa del aire que les rodea. Permiten una medida cómoda y rápida. (M. Navacerrada, 2009)

**Imagen 158: Psicrómetros eléctricos.**



Fuente: (M. Navacerrada, 2009)

- **Transmisión de calor**

- **Introducción:** La energía calorífica se transmite desde las zonas de alta temperatura a las de baja temperatura, en un proceso que va acompañado de un cambio de entropía hasta que se alcanza, si es posible, el estado de equilibrio térmico caracterizado por una distribución uniforme de temperaturas. Denominamos calor a la transferencia de energía que tiene lugar sin un movimiento ordenado del sistema, en contraposición a la transferencia de energía que tiene lugar con un movimiento ordenado durante la realización de un trabajo mecánico. (A. Domingo, 2011)

La termodinámica de los procesos reversibles estudia la transferencia de energía en éstos, pero siempre a lo largo de una sucesión de estados de equilibrio. A pesar de esto, en un proceso de intercambio de calor entre cuerpos a distintas temperaturas, en tanto se mantenga una diferencia finita de temperaturas entre los mismos habrá un flujo irreversible de calor entre dichos cuerpos y no tendremos estados de equilibrio. Sin embargo, sí podemos tener estados en los que las variables macroscópicas del sistema no cambian con el tiempo, pero que no corresponden a estados de equilibrio sino a estados estacionarios en los que se mantienen constantes las temperaturas de los distintos cuerpos involucrados y el flujo de calor entre ellos. También podemos tener situaciones en las que el sistema está evolucionando con el tiempo y ni siquiera tenemos estados estacionarios. (A. Domingo, 2011)

Como se comentó anteriormente, en la ciencia de la termodinámica, que estudia la energía en sus diversas formas, así como su transformación de una en otra, se definen dos formas transitorias especialmente importantes: el trabajo y el calor. Designamos estas energías con el nombre de transitorias ya que, por definición, existen solamente cuando hay un intercambio de energía entre dos sistemas o entre un sistema y su entorno. Cuando tiene lugar un intercambio como éste sin transmisión de masa del sistema y sin que medie una diferencia de temperatura, se dice que la energía se ha transmitido mediante la realización de un trabajo, si por otra parte, el intercambio se debe a una diferencia de temperatura, se dice, entonces, que la energía se ha transmitido por un flujo de calor. (A. Domingo, 2011)

Por otro lado, calor y trabajo, no son funciones de estado, ninguna de estas dos magnitudes son algo contenido en el sistema. Son magnitudes que caracterizan la

transformación y dependen por tanto de la forma en que ésta se realizó. El calor es una medida de la energía que fluye de un sistema a otro a causa de una diferencia de temperatura. El trabajo es una medida de la energía que fluye de un sistema a otro porque debido a la acción de una fuerza. Por lo tanto, es correcto decir que un sistema tiene una gran cantidad de energía interna pero no es correcto afirmar que un sistema tiene una gran cantidad de calor o de trabajo. (A. Domingo, 2011)

En este apartado vamos a estudiar el calor y las leyes básicas que gobiernan su intercambio. Para iniciar este estudio conviene tener en cuenta tres premisas importantes: (A. Domingo, 2011)

- La existencia de una diferencia de temperaturas es una característica peculiar de la forma de energía conocida como calor.
- Cuando tienen lugar estos intercambios de energía interna o calor, la primera ley de la termodinámica exige que el calor desprendido por un cuerpo debe ser igual al absorbido por el otro.
- La segunda ley de la termodinámica exige que la transmisión de calor desde el sistema más caliente hacia el más frío.

Desde el punto de vista práctico conocer las formas de transmisión del calor es interesante para reducir el consumo energético de una instalación con un adecuado aislamiento térmico. Las condiciones térmicas del aire que circula por el interior de las instalaciones son diferentes a las del aire exterior, lo que supone una transferencia de calor entre ambas masas de aire. Si esta transferencia es elevada pueden producirse corrientes de aire no adecuadas, que afectarán a las condiciones de los locales y a una pérdida de eficiencia de la instalación junto con el coste energético que representa. (A. Domingo, 2011)

- **Modalidades básicas de la transmisión del calor:** Suele ser costumbre clasificar los distintos procesos de transmisión calorífica en tres tipos. No obstante, aunque estos mecanismos de transmisión el calor casi siempre intervienen a la vez, según los casos uno de los tres es preponderante sobre los otros que pueden despreciarse. Las tres modalidades de transmisión son conducción, convección y radiación. (A. Domingo, 2011)

- **Conducción calorífica:** es el término que se aplica al mecanismo del intercambio de energía interna de un cuerpo a otro o de una parte de este cuerpo a otra mediante el intercambio de la energía cinética del movimiento de las moléculas por comunicación directa o por el flujo de electrones libres cuando se trata de la conducción calorífica en los metales. Este flujo de energía o de calor se dirige desde las moléculas de energía más elevadas a las que tienen una cantidad menor. Si calentamos el extremo de una barra metálica, al cabo de algún tiempo se habrá calentado también el otro extremo. Es el ejemplo más sencillo de la conducción. Por lo tanto, es necesario un soporte material pero no hay transferencia de materia. (A. Domingo, 2011)

Los materiales que tienen electrones libres son buenos conductores de calor. Por el contrario los materiales que retardan la transferencia de calor son los aislantes como el caso de la madera. Generalmente, los líquidos y los gases son buenos aislantes. Así el aire conduce muy mal el calor. Los materiales porosos son también aislantes, pues presentan pequeñas cavidades llenas de aire. (A. Domingo, 2011)

- **Convección:** es el mecanismo de transmisión calorífica que se produce en un fluido cuando una parte de éste se mezcla con otra, a causa de los movimientos de la masa del mismo, existe por lo tanto simultáneamente transporte de energía y de cantidad de movimiento. Esto, es el proceso real de la transmisión de energía de una partícula o molécula del fluido a otra, sigue siendo un proceso de conducción pero la energía puede transportarse de un punto a otro del espacio por el desplazamiento del mismo fluido.

En este caso, puede producirse el movimiento del fluido por causa mecánicas externas, una bomba o ventilador, en cuyo caso al proceso se le llama *convección forzada*. Si el movimiento del fluido se produce por diferencias de la temperatura que existen en la masa de aquel, al proceso se le denomina *convección libre o convección natural*. Tenemos un ejemplo de convección libre en la circulación del agua en un recipiente calentado al fuego. (A. Domingo, 2011)

Es imposible observar la conducción de calor pura en un fluido porque tan pronto como exista una diferencia de temperatura en éste, se producirán corrientes

de convección naturales. Mientras las leyes que gobiernan la conducción térmica pueden tratarse analíticamente en términos matemáticos concisos, el proceso de la convección es mucho más complejo, pues hay que acoplar las leyes de la conducción con las del movimiento del fluido. (A. Domingo, 2011)

- **Radiación térmica:** históricamente se concebía la radiación como un flujo de energía emitida por los cuerpos en virtud de su temperatura. Esta energía es de naturaleza electromagnética. Por lo tanto, radiación térmica es el término que se emplea para describir la radiación electromagnética emitida por la superficie de un cuerpo excitado térmicamente. Esta radiación electromagnética se emite en todas las direcciones y, cuando es sobre otro cuerpo, una parte de la misma puede ser reflejada, otra transmitida y otra absorbida. La radiación absorbida produce el mismo efecto que hubiera producido un flujo de calor por conducción o convección. La radiación térmica no exige medio de transporte alguno.

En resumen, esto significa que un cuerpo caliente que se coloca en presencia de otros más fríos pero que no está en contacto físico con ellos, se observa que pierde energía. El calor del sol es el ejemplo más obvio de radiación térmica. (A. Domingo, 2011)

Estos mecanismos básicos actuarán de forma combinada, no sólo para dar la temperatura final del recinto que estamos estudiando, sino en combinación con otros elementos como la humedad del aire, para dar el grado de comodidad del ser humano en el espacio considerado. Así, mayores o menores grados de humedad darán lugar a una sensación de comodidad mayor o menor para una misma temperatura. Por otra parte, para una misma temperatura en un lugar, el hecho de que esté soleado puede hacer más agradable la estancia en el mismo en invierno, no sólo por la luz sino por la radiación térmica que incide sobre la persona. (A. Domingo, 2011)



### 2.5.2.2 Acústica de los materiales: Introducción a la Ingeniería Acústica

- **Percepción del sonido:** El hecho de que un evento sonoro pueda ser percibido, presupone la existencia de una cadena sencilla de efectos. Una fuente sonora genera vibraciones de pequeña amplitud en el aire que la rodea y debido a la compresibilidad y la masa del aire estas se propagan y llegan al oído del auditor. Físicamente en este proceso ocurren pequeñas variaciones de la presión en el aire u otro fluido. A esas pequeñas variaciones de la presión se combinan con la presión estática, se les denomina presión sonora. Esta magnitud, dependiente del tiempo y el espacio, es la magnitud acústica más importante. La radiación de la fuente produce un campo sonoro con una determinada distribución espacial, al que cada instante de tiempo le corresponde una nueva presión instantánea. (Moser & Barros, 2009)

El evento sonoro captado en un punto del espacio posee esencialmente dos características: volumen y tono. El volumen se relaciona con la magnitud física de la presión sonora y el tono con la frecuencia. El rango de frecuencias de interés se extiende desde los 16 hertz hasta los 16000 hertz. El sonido por debajo de este rango se denomina infrasonido y rara vez juega un papel importante en fenómenos de propagación a través del aire, más bien juega un papel dentro de las vibraciones como lo son los movimientos sísmicos, mientras que arriba del rango se le denomina Ultrasonido, y estos se encuentran asociados con modelos acústicos, ensayos destructivos y medicina. (Moser & Barros, 2009)

- **Sonido estructural:** Se denomina sonido estructural a las vibraciones en objetos u estructuras solidas como lo son las placas, barras, paredes, barcos y edificios entre otros. El sonido estructural juega un papel sumamente importante en el control de ruido, ya que la radiación de un sonido aéreo desde las estructuras es ocasionado por la vibración de las superficies de la misma, es más, frecuentemente el sonido estructural es el responsable del sonido aéreo. Además otro de los campos a tomar dentro del sonido estructural es el aislamiento acústico de paredes, cielos, ventanas etc. El cual es el tema de interés a desarrollar, mediante dos partes: absorción del sonido y aislación del sonido.
- **Absorción del sonido:** Dentro del diseño acústico de salas frecuentemente surge la necesidad de modificar la reflexión del sonido que ocurren en las superficies, como por ejemplo dentro de una fabrica es necesario que el ruido emitido por las máquinas al menos no se propague a sectores lejanos por medio de las reflexiones, en este caso lo que se

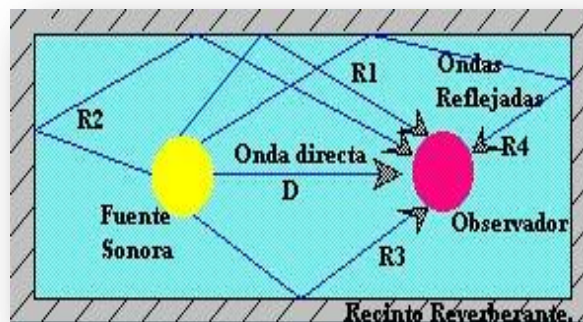
desea es que las superficies absorban el sonido en su mayoría, por otra parte dentro de los auditorios y salas de concierto se debe lograr suficiente intensidad del sonido en todos los sectores, pero al mismo tiempo evitando un exceso de reverberación, puesto que esto podría afectar la inteligibilidad. (Moser & Barros, 2009)

Esto se puede lograr utilizando paredes y cielos absorbentes, con características de reflexión bien definidas que se ajusten al propósito correspondiente. A continuación se presentarán los distintos elementos constructivos que permitirán alcanzar dicho objetivo y se explicará el efecto de estos sobre el espacio de aire que nos rodea.

- **Acondicionamiento acústico interior de locales y recintos:** Al provocar energía acústica o un sonido, las ondas sonoras se propagan en forma esférica si no encuentran obstáculos en su camino, al chocar contra algún obstáculo estas ondas se reflejan cambiando su dirección. Por lo tanto si la superficie contra la que chocan es impermeable al aire y es perfectamente rígida no existirá una pérdida en la energía con cada choque que la onda tenga, sin embargo la realidad está lejana a esto, y es que no existe un reflector perfecto ya que puede que este entre en vibración por el efecto de onda incidente o permita que la onda e propague en el interior del material debido a su estructura porosa. Como consecuencia de dichos efectos las ondas reflejadas se podrá decir que han sido absorbidas por dicho material.

El sonido que genera un foco sonoro en el interior de un recinto incide sobre las superficies límite de éste, reflejándose en parte, y estas reflexiones tienden a aumentar el nivel de presión sonora en el interior del recinto. (Marín, 2001)

**Imagen 159: Ondas directa y reflejada en un recinto.**



Fuente: Marín, 2001.

Los materiales absorbentes se definen como todo aquel material el cual reducirá la energía sonora durante las reflexiones dentro de un recinto o local. Dentro de un recinto en dado caso sus superficies sean parcialmente reflectantes, el campo sonoro contendrá dos componentes:

1. El sonido directo de la fuente al observador.
2. Los sonidos reflejados que llegan al observador luego de reflejarse contra las superficies límite, creando un campo reverberante.

De acuerdo con la teoría de la acústica, el campo sonoro se determina a partir de la potencia acústica de la fuente que genera el sonido y las propiedades reflectantes de las superficies del recinto, para que la superficie de un material absorba energía sonora es necesario que la superficie sea relativamente transparente al sonido y que el medio sea capaz de transformar la energía de las ondas en energía calorífica de fricción. La transparencia se podrá lograr con un material altamente poroso o mediante perforaciones en la superficie. (Marin, 2001)

El acondicionamiento acústico de un local o recinto tiene como fin eliminar o reducir la energía sonora del campo acústico creado por el foco emisor mediante la absorción del mismo por medio de repetidos choques contra las superficies límite o en dado caso muros. Al momento de que una onda choque contra una superficie absorbente, parte de la energía es absorbida, parte es reflejada y parte transmitida a través de dicha superficie. Dicha proporción que se asignara a cada situación dependerá de la frecuencia de la onda incidente, ángulo de incidencia de onda y de las características del material.

Existe una relación entre la energía acústica absorbida y la incidente sobre un material por unidad de superficie la cual se conoce como el coeficiente de absorción, dicho coeficiente dependerá de la naturaleza del material, de la frecuencia de la onda sonora y el ángulo de dicha onda como se menciono anteriormente. Como el coeficiente varía de acuerdo con la frecuencia, existen distintos valores a determinadas frecuencias según la norma UNE 74041-80, las cuales son 125, 250, 500, 1000, 2000 y 4000 hertz.

Los materiales acústicos absorbentes reciben las ondas bajo distintos ángulos de incidencia de forma aleatoria, es por ello que los coeficientes de absorción se calculan en cámaras reverberantes y el resultado considera un valor medio para todos los ángulos

ocurridos durante la prueba. Este coeficiente se conoce como el coeficiente de Sabine. Los coeficientes de absorción disminuyen cuando un ruido ocurre a frecuencias menores a una de corte dada por el espesor del volumen de aire ya que cuando su espesor es menor que  $\frac{1}{4}$  de la longitud de onda incidente, el volumen actúa como resistencia acústica rígida, de manera que esta frecuencia de corte está dada por:

$$f = \frac{c}{2d}$$

Donde d, es el ancho total del volumen de aire. es por eso la baja absorción de materiales con espesores de 1 a 2 centímetros cuando se montan directamente sobre soportes rígidos para frecuencias de 125 a 250 hertz. Por lo que se necesita de un espesor mínimo de 10 centímetros para mantener una absorción elevada a bajas frecuencias. (Marín, 2001)

En la tabla a continuación se presentan algunos de los valores de coeficientes de absorción a ciertas frecuencias de materiales porosos y blandos los cuales permiten la penetración de la onda sonora a través de ellos. Cuando tenemos superficies con acabados no porosos generalmente solo es absorbido un 5% sobre todo a bajas frecuencias.

**Cuadro 16: Coeficientes de absorción de distintos materiales.**

Material	Frecuencia (hertz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
Ventana abierta	1	1	1	1	1	1
Hormigón	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03
Madera	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,02
Filtro asbestos (1cm)	-	-	0,35	0,30	0,23	-
Filtro de pelo y asbestos	-	-	0,38	0,55	0,46	-
Filtros sobre pared (3cm)	0,13	0,41	0,56	0,69	0,65	0,49
Corcho (3 cm)	0,08	0,08	0,30	0,31	0,28	0,28

Fuente: Marín, 2001.

**Continuación Cuadro 16: Coeficientes de absorción de distintos materiales.**

Corcho perforado y pegado a la pared	0,14	0,32	0,95	0,90	0,72	0,65
Tapices	0,14	0,35	0,55	0,75	0,70	0,60
Ladrillo visto	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05
Enlucido de yeso sobre ladrillo	0,02	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04
Ídem sobre cemento	0,04	0,04	0,04	0,05	0,06	0,03
Enlucido de cal	0,04	0,05	0,06	0,08	0,04	0,06
Paneles de madera	0,10	0,11	0,10	0,08	0,08	0,11
Alfombra sobre cemento	0,04	0,04	0,08	0,12	0,03	0,10
Celotex (22 mm)	0,28	0,30	0,45	0,51	0,58	0,57
Celotex (16 mm)	0,08	0,18	0,48	0,63	0,75	-
Vidrio	0,04	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02
Placas perforadas de material poroso	0,44	0,57	0,74	0,93	0,75	0,76

Fuente: Marín, 2001.

Para facilitar el diseño constructivo, la ingeniería propuso un nuevo coeficiente el cual es usado ya en muchas regiones, el cual consiste en la media aritmética de los

coeficientes de absorción de un material a frecuencias de 250, 500, 1000 y 2000 hertz, redondeado a las próximo en 0.05, a este coeficiente se le conoce por sus siglas como NRC (Coeficiente de reducción de sonido). La unidad para la medición de la absorción es el Sabin, el cual equivale a una superficie de un pie cuadrado la cual tenga un coeficiente de absorción de la unidad, y el Sabin MKS, el cual es para el sistema internacional.

En la mayoría de situaciones, en el interior de un recinto o habitación se logra alcanzar una distribución homogénea de la energía sonora, así de esta forma se cumple con las condiciones del campo difuso. Además de esto, existe un campo directo generado por la energía sonora radiada por la fuente y la cual se propaga en el aire alejándose de esta fuente. (Marin, 2001)

El nivel de presión sonora en cualquier punto de una habitación completamente cerrada, será el resultado de las contribuciones de los campos directo y reverberante, éste se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$L_w = L_p - 10 \log\left(\frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{K}\right)$$

En donde:

$L_w$ : Es el nivel de potencia sonora de la fuente, en decibeles.

$L_p$ : nivel de presión sonora en el punto considerado, en decibeles.

Q: factor de directividad de la fuente.

r: distancia entre la fuente sonora y el punto, en metros.

K: constante del local, en metros cuadrados.

La constante denominada K es aquella que mide la capacidad que tiene la habitación para absorber el sonido la cual se calcula de la siguiente manera:

$$K = \frac{\alpha_m * S}{1 - \alpha_m}$$

En donde:

$\alpha_m$  es el coeficiente medio de absorción el cual se calcula de la siguiente manera:

$$\alpha_m = \frac{S_1 * \alpha_1 + S_2 * \alpha_2 + \dots + S_3 * \alpha_3}{S_1 + S_2 + \dots + S_3}$$

En donde S es la superficie en metros cuadrados.

La ecuación anterior describe al campo sonoro en cualquier punto de una habitación, además de que permite conocer la importancia relativa de las contribuciones de los campos directo y reverberante, por lo tanto si la absorción acústica es mínima, el factor K es pequeño y predomina el término  $4/K$  con lo que el nivel sonoro del recinto será constante independiente de la distancia, condición llamada reverberante. Si existe lo contrario, una absorción elevada, el factor K es grande y predomina el término  $Q/4\pi r^2$ , con esto el nivel de presión sonora disminuye con la distancia, condición conocida como anecoica. (Marin, 2001)

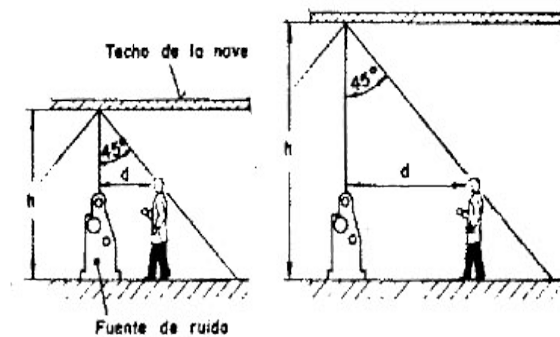
Dentro de la teoría del campo acústico existe una distancia a la cual el nivel sonoro debido a ondas reflejadas es igual al de las ondas directas, dentro de esta distancia crítica, no es apreciable el acondicionamiento acústico de las paredes ya que lo que predomina son las ondas directas. Dicha distancia se puede calcular con la siguiente ecuación:

$$r = 0.14 \sqrt{K * Q}$$

En donde r es la distancia crítica que se desea conocer, en metros, K es la constante del local en metros cuadrados y Q es el factor de directividad.

Prácticamente, se puede decir que mediante la representación de un cono dentro del recinto predomina el ruido directo estando en el centro de este la base fuente sonora, el vértice representado por el techo del recinto y el radio de la base igual a la altura, lo cual indica que el acondicionamiento de paredes y techos, puede llegar a ser más eficiente en habitaciones con techos más bajos. (Marin, 2001)

**Imagen 160: Acondicionamiento en locales con techos bajos y altos.**



Fuente: Marín, 2001.

De acuerdo con esto se puede concluir que cuanto mayor sea la absorción de un recinto o local, mayor es la distancia a la fuente a la cual un incremento de la absorción es efectivo. La fórmula que se describió con anterioridad, solo es efectiva en el caso de que se tengan distribuciones uniformes de la absorción y siempre y cuando la distancia  $r$  obtenida, sea inferior a la que existe entre la fuente de ruido y una pared límite del recinto, así como para pequeños coeficientes de absorción. (Marín, 2001)

A continuación se presentará el procedimiento para el cálculo de la atenuación del ruido, fuera de la distancia crítica, mediante superficies con materiales absorbentes:

- Conceptos básicos

- Absorción  $A$ : es aquella que cuantifica la energía extraída del campo acústico cuando la onda sonora atraviesa un medio, o choca contra las superficies límites del local. Se calcula de la siguiente forma: (Marín, 2001)

$$A_f = \alpha_f S \quad ; \quad A = \alpha_m S$$

En donde  $A_f$  es la absorción para la frecuencia  $f$  en metros cuadrados,  $A$  es la absorción media en metros cuadrados,  $\alpha_f$  es el coeficiente de absorción para una frecuencia dada,  $\alpha_m$  es el coeficiente de absorción medio, y  $S$  la superficie del material en metros cuadrados.

La absorción sonora debido a varias superficies límites será de la siguiente manera:



$$A_1 = \sum_{i=l}^{i=n} (\alpha_i * S_i)$$

- Absorción equivalente: se define como la absorción total de un objeto de un metro cuadrado de superficie, cuyo coeficiente de absorción es numéricamente igual a la absorción producida por el objeto. En el caso de que existan objetos o personas dentro del recinto, para conocer la absorción debido a estos, se multiplica la absorción equivalente por el número de objetos iguales que haya, para explicar de mejor forma lo anterior se presenta la siguiente ecuación: (Marín, 2001)

$$A_2 = \alpha_1 * S_1 + \alpha_2 * S_2 + \dots = \sum_{j=l}^{j=m} (\alpha_j * n_j)$$

La absorción total se representara por:  $A = A_1 + A_2$

Cuando se tiene un recinto con un gran número de personas dentro, este es un recinto muy absorbente, para calcular la absorción no basta sólo con multiplicar el coeficiente de absorción de una persona por el número de personas, sino que se aproxima más a una realidad de multiplicar el área ocupada por las personas con un coeficiente experimental. Dichos coeficientes experimentales se presentan a continuación:

**Cuadro 17: Coeficientes de absorción experimentales de grupo de personas.**

Hertz	125	250	500	1000	2000	4000
Coeficiente	0.44	0.6	0.77	0.89	0.82	0.7

Fuente: Marín, 2001

- Tiempo de reverberación: la reverberación es el fenómeno producido por la reflexión de las ondas sonoras dentro de un recinto, este fenómeno es aquel el cual da la sensación de tener seguir teniendo un sonido dentro de un recinto a pesar de que la fuente sonora ya haya cesado. Si las superficies límites son poco absorbentes el sonido se disminuirá lentamente.

El tiempo de reverberación es aquel en el cual la presión acústica se reduce a la milésima parte de su presión inicial, una vez haya cesado la fuente sonora, en pocas palabras es el tiempo en el cual un sonido decae 60 decibeles. Este tiempo dependerá de las dimensiones del recinto, la absorción de las superficies límites y del contenido dentro del recinto. La ecuación que describe este fenómeno es la siguiente: (Marin, 2001)

$$T = \frac{0.163V}{-s \ln(1 - \alpha_m) + 4mV}$$

En donde T es el tiempo de reverberación en segundos, V es el volumen del local en metros cúbicos, S es la superficie del local en metros cuadrados y  $\alpha_m$  es el coeficiente de absorción media del local.

La importancia de atenuación acústica ofrecida por el aire dependerá de los valores totales de absorción del recinto así como el volumen de este. En conclusión el aporte del aire solo será considerable cuando tengamos volúmenes superiores a 5000 metros cúbicos y con frecuencias en el rango de 2000-4000 hertz, en otros casos podemos despreciar la atenuación por el aire.

En el caso de que tuvieras un recinto 100% absorbente se tendría un coeficiente de absorción igual a 1, pero al tener este valor quiere decir que la energía sonora será absorbida en su totalidad por las paredes por lo que no tendría sentido hablar de reverberación. En general la ecuación presentada anteriormente, se adapta a la mayoría de las situaciones, y para coeficientes superiores a 0.2 y 0.3 el error que se comete es de tan solo el 10%. (Marin, 2001)

Para poder determinar el tiempo de reverberación dentro de un recinto con varios materiales, se utiliza la siguiente ecuación:

$$T = 0.163 \frac{V}{\sum_{i=j}^{i=n} S_i \ln(1 - \alpha_i)}$$

El tiempo de reverberación no es constante para todas las frecuencias, ya que la absorción sonora tanto del aire como de las superficies límites del interior del recinto dependen de la frecuencia. Generalmente dichos cálculos se realizan en bandas de

octava para frecuencias de 125, 200, 500, 1000, 2000 y 4000 hertz, las cuales son las que normalmente manejan los fabricantes de los productos. (Marin, 2001)

La reducción de los niveles sonoros dentro de un local antes y después del acondicionamiento acústico se calcula de la siguiente forma:

$$\Delta dB = 10 \log \frac{T_0}{T_1} ; \Delta dB = 10 \log \frac{A_1}{A_0}$$

En donde T0 y T1 son los tiempos de reverberación antes y después del acondicionamiento y A1 y A0 la absorción total del local después y antes del tratamiento.

- **Aislamiento acústico:** El aislamiento acústico brevemente es el estudio de la transmisión del sonido entre dos salas o el sonido del exterior al interior de una sala. Dicho tema es de suma importancia, ya que está relacionado con la protección de espacios interiores contra los ruidos externos producidos por las distintas fuentes. El ruido transmitido a una sala se debe a uno de los siguientes motivos:
  1. Directamente sobre las paredes o el techo actúan fuerzas, por ejemplo debidas a los pasos sobre un piso superior o al funcionamiento de una maquina en el edificio. La fuerza hace vibrar el elemento constructivo, esta vibración se puede transmitir vía estructura hasta los sectores más alejados. La vibración del elemento constructivo excita el aire que lo rodea produciéndose radiación sonora. La transmisión de sonido por esta vía puede resumirse como fuerza-sonido estructural-sonido aéreo. (Marin, 2001)
  2. También el sonido aéreo es producido en una sala, por ejemplo por una conversación o un aparato de audio, se traduce en fuerzas que actúan sobre las paredes o cielos circundantes, las cuales poseen una distribución espacial determinada y ya no actúan puntualmente. También por esta vía se producen vibraciones en las paredes, el camino de transmisión puede ser resumido como sonido aéreo-sonido estructural-sonido aéreo. (Marin, 2001)

La transmisión del sonido no es necesariamente transmitida por un camino directo, la propagación de la onda de vibración puede seguir caminos variados y distribuirse en

elementos constructivos conectados entre sí por lo que no es posible determinar por qué punto se transmitirá la onda vibratoria sin haber hecho algunas mediciones previas. Por ejemplo, en una habitación la pared de separación que este tiene con otra puede tener un aislamiento acústico tan elevado, que los caminos indirectos llegan a ser más influyentes en la transmisión, por lo que en conclusión, el mejoramiento del aislamiento acústico de una pared divisoria no necesariamente implica el mejoramiento acústico total entre las habitaciones.

De acuerdo con lo anterior se puede notar el grado de complejidad que implica la transmisión del sonido en edificaciones. En la mayoría de los casos, pero no en todos, la transmisión directa coincidirá con el camino principal de transmisión, como lo sería el caso del sonido exterior y la ventana de una habitación, este es un punto crítico y podría permitir despreciar los otros elementos constructivos.

- **Conceptos Básicos:** El aislamiento acústico es la protección de un recinto contra la penetración de sonidos que interfieran con la actividad que se desea realizar, o bien para evitar que los altos niveles de presión sonora generados en el interior puedan salir al exterior o pasara a terceros recinto en que no son deseables. (Marin, 2001)

Algo que se debe tener muy en cuenta cuando se habla de aislamiento acústico es que las fuentes que originan el sonido pueden estar dentro o fuera del local que se pretende aislar, por lo que el enfoque será distinto en cada caso. El primer paso es establecer la naturaleza del sonido y los caminos de entrada al local por medio de sus superficies límite. A continuación se presentan las vías más frecuentes de penetración del sonido:

- Vía aérea:
  - Aberturas y grietas en paredes.
  - Conductos de ventilación.
  - Vibraciones de la pared que separa a dos habitaciones.
- Penetración por propagación a través de cuerpos sólidos:
  - Vibraciones de paredes no adyacentes al local y las cuales se propagan por el espesor de las paredes, las cuales alcanzan el interior por paredes laterales.

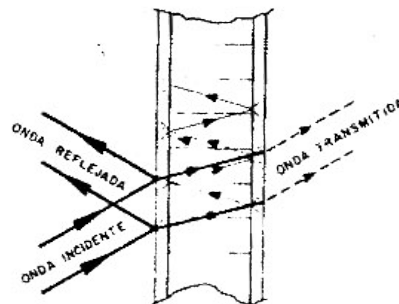
- Impactos sonoros.
- Vibración de maquinaria.
- Vibración del material de la pared adyacente.

Cabe mencionar que el aislamiento acústico dependerá de gran manera de las características del material de las superficies límites del recinto así como de características del ruido como lo es su frecuencia.

- Definición: El aislamiento del sonido consiste en impedir su propagación por medio de obstáculos reflectores. Se trata de interponer al sonido en su camino un medio cuya impedancia acústica sea lo más diferente posible de la del medio que lo conduce. La transmisión de ondas sonoras a través de una partición de separación entre locales puede explicarse considerando que se propagan en forma de fluctuaciones de presión. Un elemento de aire infinitamente próximo a la superficie se verá forzado a desplazarse al llegar hasta él la onda sonora, obligando a vibrar a la superficie sólida. Ésta, por reacción, actuará sobre el elemento de aire próximo a ella en sentido opuesto al de propagación de la onda inicial. Así, parte de la energía sonora incidente es transmitida y parte reflejada. (Marín, 2001)

La energía transmitida se emplea de dos formas, parte de ésta en desplazar las moléculas del sólido, para propagarse en el interior de este, y la otra parte es disipada por los efectos de las fuerzas intermoleculares. Durante la propagación en el interior del sólido, éste alcanza la otra superficie en la cual es irradiada al nuevo ambiente como ruido aéreo.

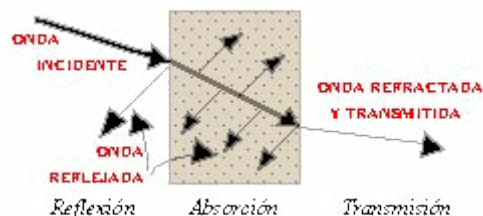
#### **Imagen 161: Transmisión de ondas sonoras a través de particiones.**



Fuente: Marín, 2001.

De acuerdo con la siguiente imagen podemos apreciar que las ondas sonoras parten de la fuente que las genera a un sinnúmero de direcciones, y parte de ésta es reflejada. De acuerdo con la teoría de la ingeniería acústica, el ángulo del sonido reflejado es igual al ángulo del sonido incidente, esto es conocido como la ley de Reflexión, pero solo aplica a la reflexión del sonido sobre una superficie la cual más grande comparada con la longitud de la onda.

**Imagen 162: Reflexión de las ondas sonoras.**



Fuente: Marín, 2001.

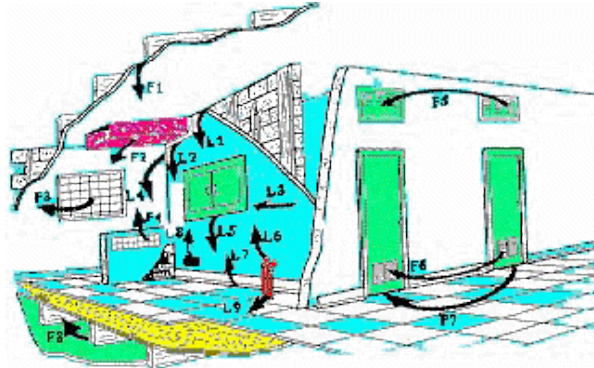
Si la superficie contra la que choca la onda sonora no fuese porosa, y perfectamente rígida, no habría pérdida de energía debido a la reflexión de la onda, y el nivel de presión sonora sería el mismo. Sin embargo ninguna superficie cumple con tales propiedades, y siempre tendremos que parte de la energía se absorberá por la pared o superficie. Si la superficie reflectante no es muy grande comparada con la longitud de onda, no se cumple la ley de la reflexión, por tanto no tendrán el mismo ángulo la onda reflejada con la incidente.

A continuación se presenta un listado de factores los cuales afectan en el aislamiento acústico de una pared:

1. Techos falsos y cámaras abiertas en la pared.
2. Conductos de aire acondicionado.
3. Ventanas.
4. Unidades de climatización individual.
5. Aberturas en la pared.
6. Aberturas en puertas.
7. Aberturas en el suelo.
8. Cierres de pared, techos y esquinas.

9. Sellado inadecuado de conductos.
10. Uniones entre materiales de la pared.
11. Sellado incorrecto de paredes laterales.
12. Montaje inadecuado de ventanas.

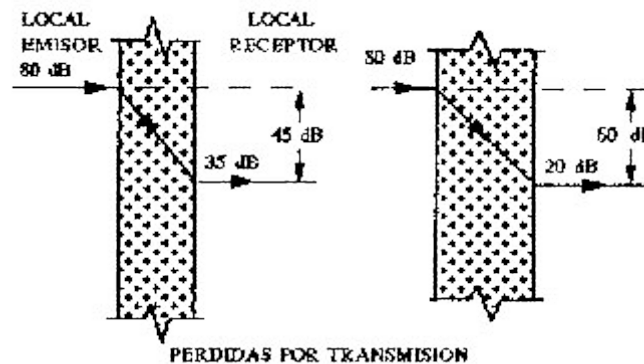
**Imagen 163: Distintas formas de penetración de ruido a un recinto.**



Fuente: Marín, 2001.

El cálculo del aislamiento acústico es relativamente sencillo, tan solo basta con conocer el nivel de presión sonora del ruido incidente y el aislamiento acústico bruto del material que se interpone a la onda, mediante una resta de ambos se obtiene la energía que será transmitida.

**Imagen 164: Aislamiento acústico de un material.**



Fuente: Marín, 2001.

Algo que se debe tener muy en cuenta a la hora de aislar acústicamente una habitación, es que no necesariamente los sonidos directos son los que estarán afectando.

Como se menciono anteriormente existen algunos sonidos indirectos que se transmiten mediante la unión de elementos estructurales mediante vibraciones, estos sonidos generados en otras partes que no son contemplados pueden ser los principales influyentes en que no podamos resolver nuestro problema.

- **Aislamiento acústico: Pared simple:** Se define como una pared simple aquella en que los puntos de la masa que están sobre la misma no modifican su distancia mutua a la hora de presentarse una vibración. Estas paredes pueden ser no homogéneas, estar formadas por varias capas y contener huecos.

La medida de aislamiento acústico viene dada por el factor  $\tau$ , que se define como la relación entre las energías de las ondas transmitidas e incidentes.

$$\tau = \frac{P_t^2}{P_i^2}$$

Siendo  $P_t$  y  $P_i$  las amplitudes de presión acústica de las ondas transmitidas e incidentes respectivamente. De aquí es donde nace el concepto de pérdida por transmisión, designada con la letra  $R$ , la cual se expresa de la siguiente forma:

$$R = 10 \log\left(\frac{1}{\tau}\right) = L_{Ii} - L_{It}$$

Lo que quiere decir que es la diferencia entre los niveles de intensidad de las onda incidente y transmitida. Podemos creer que el aislamiento acústico es un factor del material el cual estamos usando, pero no debemos olvidar la frecuencia del sonido ya que sin duda una variación de esta alterara el aislamiento acústico de un material.

De acuerdo con el aislamiento acústico de un sistema global, se deben de conocer los siguientes términos:

**Aislamiento acústico bruto:** Se refiere a la diferencia entre niveles de presión sonora entre emisor y receptor de forma promediada. Se calcula con la siguiente ecuación:

$$D = L_{pe} - L_{pr}$$

**Aislamiento acústico normalizado:** es la capacidad que tiene una pared de impedir que el sonido se transmita a través de ella. Expresada en decibeles y contempla las distintas frecuencias del sonido. Se calcula de la siguiente manera:



$$R = D + 10 \log \frac{S}{A}$$

En donde S es el área de la partición en metros cuadrados, A es el área de absorción equivalente del recinto receptor.

Para lograr determinar el aislamiento acústico de una pared ya existente, es necesario medir el nivel de presión sonora en ambos lados, se calcula la diferencia de estos dos valores y luego se le suma el factor de  $10 \log (S/A)$ .

- **Ley de masa y frecuencia de coincidencia:** De acuerdo con la teoría de la pérdida por transmisión con la frecuencia para paredes, estas pérdidas se pueden subdividir en tres regiones. Dentro de la primera región, se tienen bajas frecuencias, dentro de las cuales la pérdida por transmisión está controlada por la rigidez del panel, que hace que este se comporte como una membrana, presentando una serie de frecuencias naturales de resonancia para las cuales disminuyen las pérdidas por transmisión. Dentro de la segunda región, el movimiento del panel está controlado por la masa del mismo, la pérdida por transmisión en esta región puede calcularse de la siguiente manera: (Marin, 2001)

$$R_o = 10 \log \left( 1 + \left( \frac{w * m}{2\rho c} \cos\theta \right)^2 \right)$$

En donde m es la masa en kilogramos partido metro cuadrado, w es  $2\pi f$  en donde f es la frecuencia incidente,  $\rho$  es la densidad del aire en kilogramos partido metro cubico y c es la velocidad del sonido en metros sobre segundo. Para efectos prácticos la ecuación anterior se puede resumir en:

$$R_o = 10 \log (f m)^2$$

A esto se le conoce como la ley de masa, la cual establece que la reducción de la intensidad acústica es en función del cuadrado del producto de la masa unitaria por la frecuencia considerada.

Dentro del caso más real de campos acústicos difusos, en el que las ondas sonoras inciden sobre las superficies solidas bajo todo los ángulos comprendidos entre 0 y 90 grados, la pérdida por transmisión se representa de la siguiente forma: (Marin, 2001)

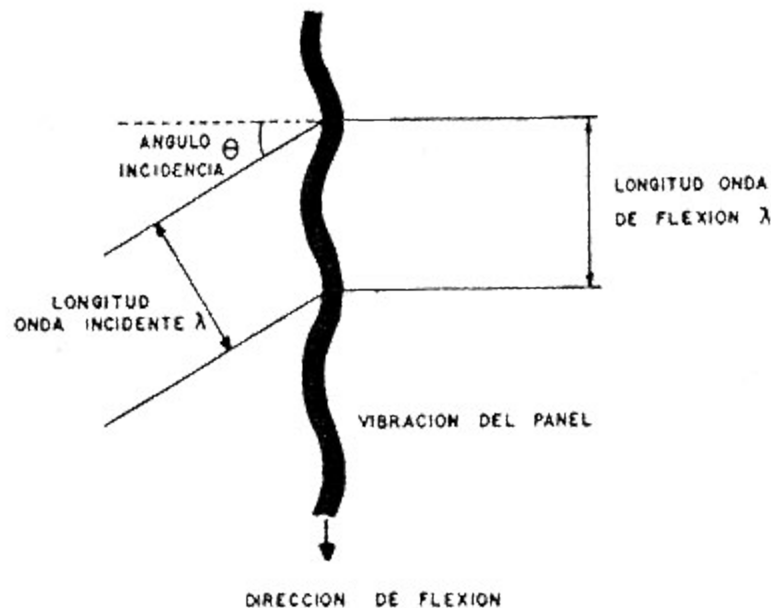
$$R_D = R_o - 10 \log(0.23R_o)$$

Además existen una “incidencia practica” la cual es la incidencia de ondas con ángulos comprendidos entre 0 y 80 grados. La pérdida por transmisión es equivalente a:

$$R_f = R_0 - 5$$

Por último se tiene la tercera región, dentro de la cual el aislamiento acústico está controlado por la rigidez y el amortiguamiento interno del panel, presentando una disminución de la perdida por transmisión debido al efecto de coincidencia. Todos los cuerpos al recibir una onda acústica, entran en vibración y buscan vibrar a sus frecuencias propias. Al vibrar una pared, puede dar lugar a ondas de flexión, y cuando la proyección de la longitud de onda del sonido incidente es igual a la longitud de onda de la onda libre de flexión a lo largo del panel es cuando se produce el efecto de coincidencia. Esto ocurre a la frecuencia crítica. Entonces en la frecuencia crítica, la energía acústica incidente se transmite a través de los parámetros en forma de onda de flexión que se acoplan a las del campo acústico, provocando así una respuesta del parámetro máxima, y un aislamiento mínimo. (Marín, 2001)

**Imagen 165: Efecto de coincidencia.**



Fuente: Marín, 2001.

La frecuencia crítica se expresa con la siguiente ecuación:

$$f_c = \frac{6.4 * 10^4}{d} \sqrt{\frac{\rho (1 - \sigma^2)}{\varepsilon}}$$

En donde  $d$  es el espesor del parámetro en metros,  $\rho$  es la densidad del material en kilogramos partido metro cubico,  $\sigma$  es el coeficiente elástico de poisson del material y  $\varepsilon$  es el modulo de elasticidad de Young del material en Newton partido metro cuadrado.

Un aumento de masa que supone doblar el espesor puede ser fatal para el aislamiento, ya que puede hacer bajar la frecuencia crítica hasta frecuencias importantes para el ruido que se desea aislar. Esto es debido a que la frecuencia critica depende inversamente de su espesor. (Marin, 2001)

Para el cálculo del coeficiente de asilamiento en función de la masa tenemos las siguientes ecuaciones:

$$R = 16.6 \log M + 2 \text{ si } M \leq 150 \frac{kg}{m^2}$$

$$R = 36.5 \log M - 41.5 \text{ si } > 150 \frac{kg}{m^2}$$

En el caso de tabicaciones prefabricadas mediante elementos blandos como los son el tabla yeso o fibras aglomeradas, las ecuaciones anteriores no aplican a este tipo de estructuras por lo que para el cálculo de su aislamiento o propiedades acústicas se debe de realizar mediante pruebas de laboratorio. Un método efectivo para lograr un mayor aislamiento, es lograr tener una separación del recinto a aislar con la estructura de la edificación, como por ejemplo los estudios de radio, televisión etc. Con los cuales se trabaja un sistema conocido como flotante el cual mantiene al recinto aislado de los elementos de la edificación. Para la maquinaria se recomienda montarla sobre cimientos separados del suelo, y además de esto realizar un cerramiento acústico. En el caso que se tengan dos o más materiales para la misma pared, se debe procurar que tengan distintas masas para evitar la aparición de resonancias que disminuyan el asilamiento acústico.

En la realidad, las habitaciones presentan diversas superficies de distintos materiales, cada uno con sus distintas propiedades acústicas, como lo es el ejemplo de una pared con ventana o con una puerta. Estas denominadas superficies compuestas, son el

las cuales el sonido se transmite a través de las partes más débiles acústicamente, presentando un aislamiento totalmente distinto al que posee cada material por sí solo. El índice de aislamiento global para estos casos se representa con la siguiente ecuación:

$$R_g = 10 \log \left( \frac{\sum S_i}{\sum \frac{S_i}{10^{0.1 R_i}}} \right)$$

En donde  $S_i$  es la superficie de los distintos materiales presentes y  $R_i$  es el aislamiento específico de cada uno de los materiales. En el caso que se tengan paredes dobles como en el caso de paneles sándwich con cámara de aire intermedia o un panel absorbente intermedio, la estimación del aislamiento acústico se basa en otro sistema.

- **Aislamiento acústico: Paredes dobles:** Uno de los métodos más utilizados para aumentar el aislamiento acústico sin recurrir a un aumento de masa, es realizar paredes múltiples, o mejor dicho la pared se divide en un número de capas delgadas a menara que el ruido vaya recudiéndose por etapas. Tomemos por ejemplo una pared doble, Si se asume que cada capa trabaja individualmente, y que la masa se divide en dos, entonces el aislamiento total de esta capa doble sería:

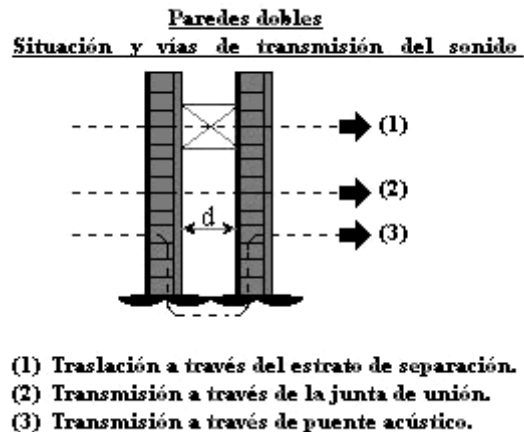
$$R_t = 20 \log M_1 w + 20 \log M_2 w$$

Con lo que en cuanto aislamiento la ganancia obtenida sería:

$$R_d = 20 \log \left( \frac{M_1 * M_2}{M_1 + M_2} \right)$$

A continuación un ejemplo ilustrativo: si se tiene una pared con una masa superficial de 100 kilogramos por metro cuadrado, se tendrá un aislamiento de 40 decibeles. Al colocar una capa unida a esta primera, el conjunto trabajaría para obtener un aislamiento de 46 decibeles, simplemente con haber duplicado la masa. Ahora en el caso de paredes doble, si se coloca la segunda capa separada a cierta distancia de la primera, se podría obtener hasta 80 decibeles de aislamiento debido a la capa de aire que debe atravesar la onda sonora. Para frecuencias muy bajas esta cámara de aire no tendrá mayor significado, mientras que para espaciamentos elevados, recomendablemente entre 8 y 12 cm, se podrán tener efectos significativos en el aislamiento. (Marin, 2001)

### Imagen 166: Paredes dobles.



Fuente: Marín, 2001.

El aspecto fundamental que se debe recordar cuándo se utiliza paredes de varias capas es evitar la repercusión de las distintas capas entre sí. Este sistema de doble capa es capaz de vibrar con una frecuencia de resonancia, que es función de ambas masas y del espesor de la cámara de aire, la cual se puede describir con la siguiente expresión: (Marín, 2001)

$$f_r = 60 \sqrt{\frac{1}{d} \left( \frac{1}{M_1} + \frac{1}{M_2} \right)}$$

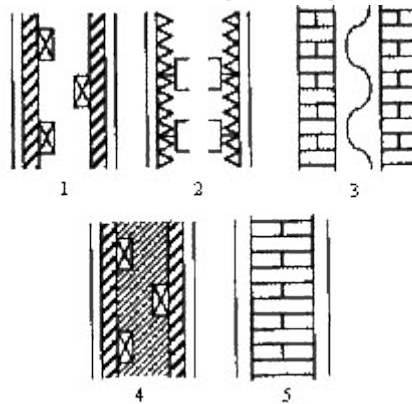
Para esta frecuencia, la transmisión de sonido puede ser mucho mayor en el caso de que las paredes estén unidas entre sí por una unión rígida, por lo que debe cuidarse la elección de las masas y la separación entre sí para evitar que la frecuencia sea demasiado baja para que quede fuera del espectro que se pretende aislar.

Si se desea utilizar un material absorbente entre la separación de ambas paredes, se debe tener mucho cuidado y se deben de ser utilizados adecuadamente, ya que el uso de un material inadecuado puede generar grandes reducciones en el aislamiento global de la pared. El hecho de que se pueda utilizar un material poroso y no rígido entre las paredes se debe a que se puede dar un tipo de acoplamiento entre capas contiguas de la pared doble debido a las ondas estacionarias. Es de suma importancia que el material absorbente no toque la pared que estará sujeta al sonido para obtener mejores resultados.

A continuación se presenta un gráfico con distintos tipos de paredes dobles:

1. Pared doble con yeso en ambas caras.
2. Pared doble con relleno sobre metal.
3. Dos paredes de bloques huecos con un relleno de material poroso.
4. Pared doble de madera con una capa de yeso, rellena de material poroso.
5. Pared de bloques con capa de yeso.

**Imagen 167: Distintos tipos de paredes dobles.**



Fuente: Marín, 2001.

Este tipo de pared no debe de tener uniones rígidas ya que estas actúan como puentes acústicos, reduciendo dramáticamente el aislamiento acústico del sistema. Si este tipo de uniones son inevitables, se debe de tener en cuenta que para paredes pesadas, las uniones deben de ser lo más blandas y ligeras posibles, mientras que para una pared liviana, los puentes deben de ser pesados. En cualquier caso ya sea horizontal o vertical el número de puentes debe ser el mínimo posible.

Para calcular el aislamiento en paredes dobles se debe de seguir el siguiente procedimiento:

- Para frecuencias que sean inferiores a la frecuencia crítica, los elementos de la pared doble se comportan como un solo elemento siendo la masa igual a la siguiente expresión,  $M=M_1+M_2$ .
- Para frecuencias superiores a una frecuencia crítica 1, el aislamiento total será dado por la suma de los aislamientos individuales de cada elemento de la pared. La siguiente expresión matemática es utilizada para este cálculo:

$$R_t = R_{M1} + R_{M2} - 10 \log\left(\frac{1}{\alpha} + \frac{1}{4}\right)$$

En donde  $R_T$  es el aislamiento total,  $R_{M1}$  y  $R_{M2}$  son los aislamientos de cada elemento y  $\alpha$  es el coeficiente de absorción de la cavidad de aire.

- Para frecuencias comprendidas entre la frecuencia crítica y la frecuencia crítica 1, el aislamiento se define bajo la siguiente expresión matemática:

$$R_t = R_{M1} + R_{M2} + (10 \log d + 10 \log \alpha' + 10 \log\left(\frac{h+b}{h*b}\right)) + 3$$

Donde  $d$  es la distancia entre capas,  $\alpha'$  es igual a  $k*\alpha$ , en donde  $k=0.1$  para  $d=0.1m$ ,  $k=0.2$  para  $d=0.2m$  y  $k=0.5$  para  $d$  entre  $0.3$  y  $0.5m$ ,  $\alpha$  es el coeficiente de absorción del material colocado entre las capas,  $h$  y  $b$  son dimensiones del parámetro a aislar en metros.

En el caso anterior, si no se utilizara algún tipo de material absorbente entre la pared, la ecuación estaría sujeta a algunos cambios ya que ya no se estaría utilizando el factor  $\alpha'$ , en vez de esto se utilizará  $10 \log(\alpha_0)$  para sustituir dentro de la ecuación. Para esto se adoptan los siguientes valores:

$$10 \log(\alpha_0) = 10dB \text{ para } d \geq 0.1 m$$

$$10 \log(\alpha_0) = -3dB \text{ para } d \leq 0.02m$$

En el caso de poseer capas adicionales, como primer paso se debe conocer de qué lado de la pared se instalará ya que según el fenómeno físico, el proceso es reversible, mejor dicho la intensidad acústica en el local receptor no se altera si se intercambian las posiciones de la fuente acústica y del receptor, así en este caso sería indiferente de qué lado se situara la capa extra. Pero en el caso de un tercer local que no limite directamente con la pared aislante variara. Por lo tanto para evitar mayores vibraciones y que éstas se transmitan de modo estructural la capa extra debe de ser colocada del lado donde tengamos la fuente acústica. Este caso de tres o más capas es un caso especial y solo se utiliza cuando el peso del material debe reducirse. (Marin, 2001)

Por último, para lograr un buen rendimiento en este tipo de paredes dobles se debe tener en cuenta los siguientes factores:

- Que las masas por unidad de superficie de las dos paredes sean diferentes.

- Que las frecuencias críticas y de resonancia de los materiales sean diferentes.
- Que se debe evitar uniones rígidas.
- Que se debe colocar de zapatas elásticas entre el suelo y tabicaciones.
- Que se debe revestir las juntas de los materiales.

## 2.6 Características y propiedades de los materiales.

Luego de haber visto los principios básicos en los que se basan los estudios para la determinación de las propiedades de un material, se debe de estudiar individual y detalladamente cada material para conocer su comportamiento bajo las distintas situaciones a las que será sometido.

Los investigadores han puesto su empeño en descubrir nuevos materiales, para poder mejorar la calidad de las construcciones, obteniendo así información con respecto a dichos materiales, ya que de esta manera el ingeniero podrá determinar con esta información que material se adaptara a cada necesidad.

**2.6.1 Madera.** La madera, por su apariencia, es uno de los materiales que más gustan ante los ojos de las personas, sin importar el tipo de corte o acabado, siempre tendrá un aspecto elegante y placentero, además de tener un aroma agradable, por lo que sus propiedades físicas y organolépticas son el atractivo principal para ser utilizado en muchas construcciones. (Herubin & Marotta, 1977)

En cuanto a sus propiedades térmicas, es muy pobre debido a que cuenta con gran conductividad de calor, por lo que a diferencia del resto de los materiales al tener contacto con la madera siempre se sentirá una temperatura tibia.

Una de las principales propiedades de la estructura de la madera, es que su comportamiento ante esfuerzos es mucho mejor a lo largo de la dimensión más larga de sus fibras, esta es una ventaja a la hora de la producción de madera, ya que esta dimensión coincide con el lado largo del árbol, por lo que esto nos permite obtener elementos de mayor dimensión trabajando en su dimensión más resistente.

Los coeficientes de expansión térmica varían entre 0.000001 a 0.000003 por grado Fahrenheit (0.0000005 a 0.000002 por grado Celsius) de forma paralela a la fibra y de 0.000015 a 0.000035 por grado Fahrenheit (0.000008 a 0.000019 por grado Celsius) de forma



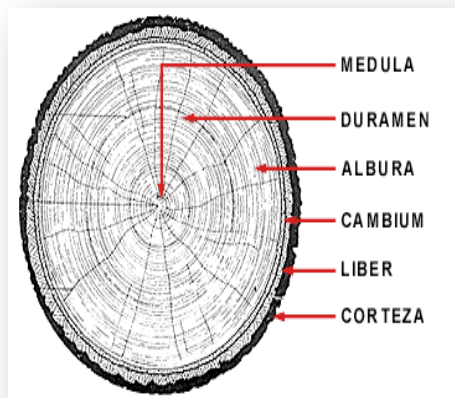
perpendicular a la fibra. Dichos datos variaran de acuerdo a la especie debido a que estos datos dependerán de la humedad que contenga la madera. (Herubin & Marotta, 1977)

La estructura hueca de la fibra de la madera es un excelente aislante par el paso de calor y de sonido aunque generalmente la madera no es utilizada como aislante, pero si ayuda en las ocasiones en que este material es utilizado como miembro de paredes o de techo.

Se debe tener mucho cuidado con la humedad en la madera, debido a que su estructura cuenta con ciertos vacios que se encuentran llenos de humedad, al evaporarse dicha humedad podemos llegar a un equilibrio, pero de excederse dicha humedad optima la madera tendera a encogerse provocando rajaduras en su estructura. La humedad en la madera es medida como un contenido de humedad el cual es el peso de agua como un porcentaje del peso de la madera seca. Para alcanzar el equilibrio de humedad para la madera verde requiere de muchos anos, aunque en muchos casos la madera es secada al aire, se puede utilizar hornos para acelerar el proceso, o se pueden utilizar químicos los cuales aun más el tiempo, aunque para esto se debe tener sumo cuidado en la aplicación. (Herubin & Marotta, 1977)

La resistencia de una pieza de madera aumente mientras más disminuya el porcentaje de humedad, es por esto una de las principales razones por las cuales la madera se seca antes de ser utilizada. Otro motivo por el cual esta se seca antes de usarla es debido al encogimiento que sufre, este encogimiento no es uniforme por lo que se espera para lograr tener medidas exactas.

**Imagen 168: Estructuración de la madera.**



Fuente: <http://carpinteria-de-madera.blogspot.com/>

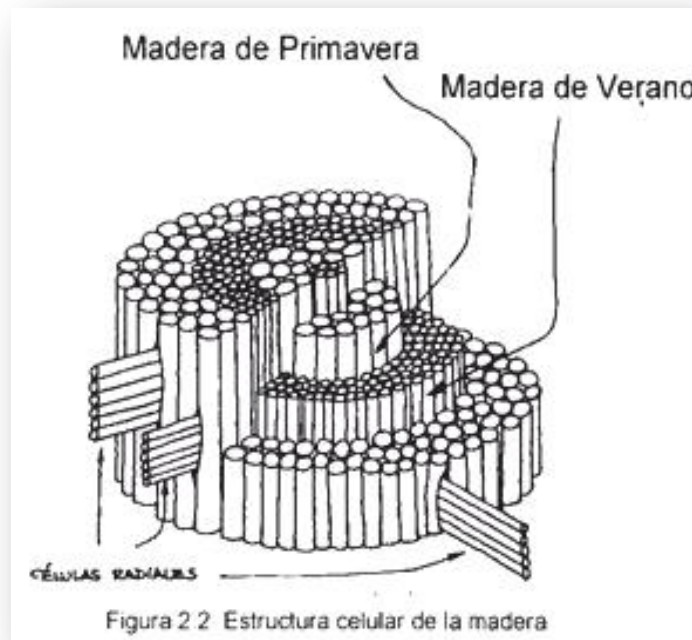
**Cuadro 18: Promedio de contenido de humedad en especies de madera.**

especie	promedio de contenido de humedad (%)	
	duramen	albura
<b>madera dura</b>		
fresno blanco	38	40
haya	53	78
abedul amarillo	68	71
olmo americano	95	92
eucalipto	50	61
arce plateado	60	88
arce (sugar)	58	67
<b>madera suave</b>		
abeto douglas	36	117
abeto blanco	91	136
cicuta oriental	58	119
cicuta occidental	42	170
pino loblolly	34	94
pino lodgepole	36	113
pino longleaf	34	99
pino norway	31	135
pino poderosa	40	148
pino shortleaf	34	108
secoya	100	210
picea engelmann	54	167
picea sitka	33	146

Fuente: Herubin & Marotta, 1977.

Durante la época de primavera, el crecimiento de las fibras de la madera es de manera rápida, formando así fibras largas y delgadas, mientras que durante la época de verano crecen de manera lenta pero con un porcentaje alto de fibra de pared. La madera de verano es mucho más pesada, oscura, dura y más resistente que la madera de primavera, por lo tanto la resistencia de una pieza de madera puede ser determinada por la cantidad de madera de verano comparada con la cantidad de madera de primavera en su sección. Otra forma de determinar la resistencia es a partir del peso específico de la madera ya que a más madera de verano que contenga la pieza mayor será la resistencia y su peso.

**Imagen 169: Madera de verano y primavera.**



Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos48/maderas/maderas2.shtml>

Existen seis medidas de resistencia de la madera las cuales son: (Herubin & Marotta, 1977)

- Módulo de elasticidad (  $E$  ): es una medida de la rigidez o de la resistencia a la deflexión. Esta no es usualmente considerada una medida de resistencia, pero si es una medida de la habilidad de la madera a resistir la falla por un exceso de deformación. Es utilizada para predecir el movimiento o deformación bajo carga y evitar la falla debida al exceso de deformaciones.
- Esfuerzo en la fibra de extremo debido a deflexión (  $F_b$  ): es la unidad de esfuerzo (compresión en la fibra superior, tensión en la fibra inferior) que debe resistir una viga bajo cargas de flexión.
- Tensión paralela a la fibra (  $F_t$  ): es una resistencia a la unidad de esfuerzo inducida por una separación en la dirección longitudinal. La resistencia a la tensión perpendicular a la fibra es tan débil que en muchos casos es considerada despreciable.
- Compresión paralela a la fibra (  $F_c$  ): es la resistencia que tiene el elemento al ser presionado a lo largo de su eje longitudinal.

- Compresión perpendicular a la fibra ( $F_{cT}$ ): es la resistencia que se tiene debido a una presión inducida de forma transversal. No existe una diferencia apreciable en cuanto a la resistencia a la compresión perpendicular a los anillos o paralelos a estos.
- Corte horizontal ( $F_v$ ): la resistencia a la tendencia de las fibras superiores a deslizarse sobre las fibras inferiores mientras la viga se deflecta.

El primer paso para obtener esfuerzos permisibles útiles y un módulo de elasticidad preciso, es mediante la prueba de pequeños y perfectas muestras de madera para determinar el esfuerzo de falla y su módulo de elasticidad para cada especie. Estas pruebas son realizadas acorde a las pruebas ASTM D2555, Methods for establishing clear Wood strength values.

Los esfuerzos permisibles de la madera son determinados mediante la reducción de su esfuerzo de falla por medio de factores de seguridad alrededor de 2.5. De acuerdo con esto el esfuerzo permisible y modulo de elasticidad son determinados para cada especie de árbol existente. Estos se encuentran listados en el ASTM D245, Methods for establishing structural grades for visually graded lumber, as basic stress form clear lumber under long-time service at full design load.

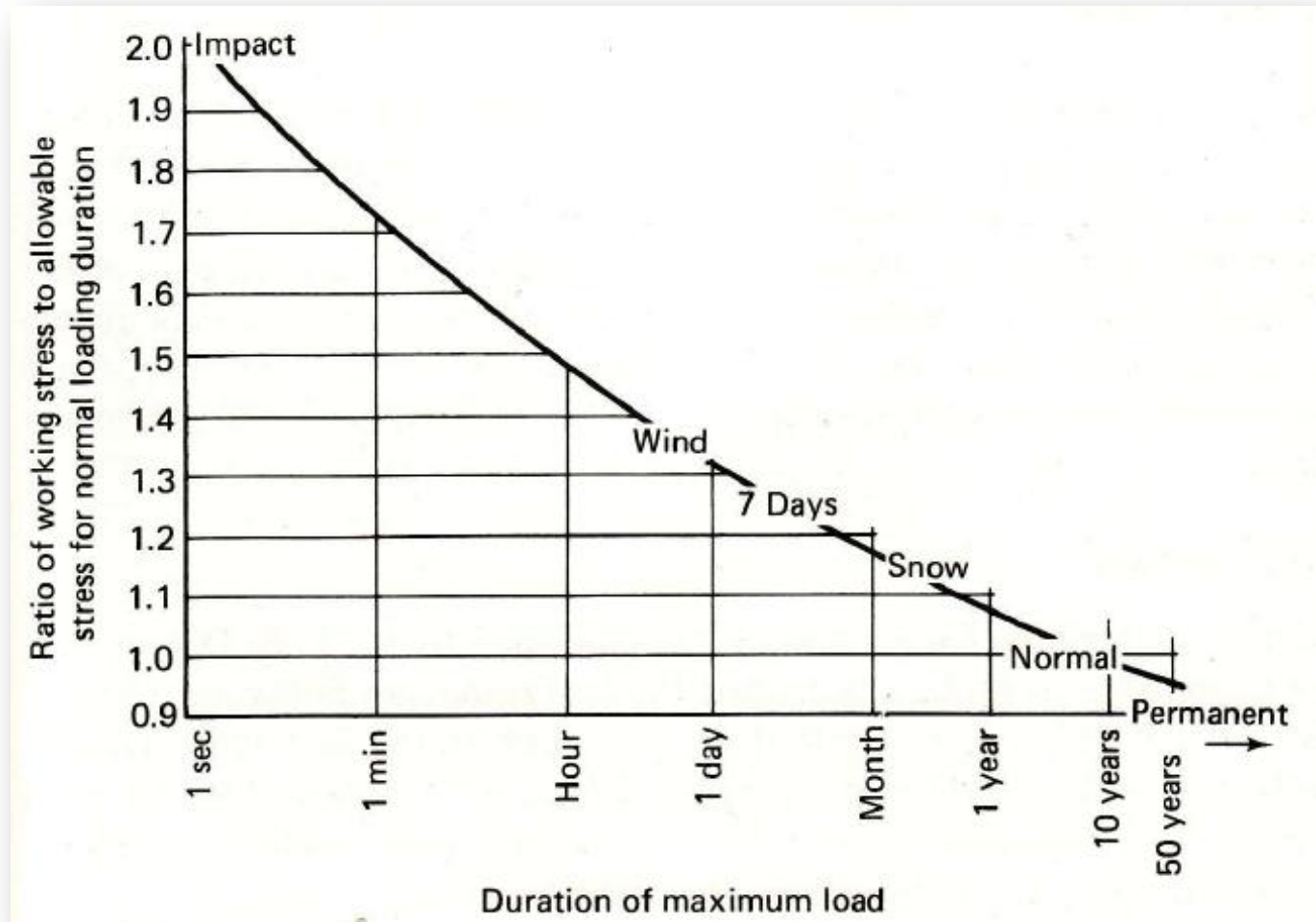
Debido a que ciertas piezas de madera contienen defectos los cuales reducen su resistencia y rigidez, estudios y pruebas se han enfocado en determinar la reducción de la resistencia causada por la variedad de defectos que pueden presentar. El esfuerzo permisible y el módulo de elasticidad correctos son determinados por medio de la reducción de los valores de la madera clara usando los procedimientos del ASTM D245. (Herubin & Marotta, 1977)

El método requiere la determinación de la localidad, magnitud y condición del defecto que reduce la resistencia y rigidez, para así poder determinar el valor de reducción. Cada defecto reduce la resistencia a modo que el total del efecto de estas reducciones es expresado como una relación que representa la resistencia unitaria de la pieza de madera evaluada con relación a la pieza de madera limpia.

Cada organización manufacturera debe establecer reglas para categorizar los productos de madera de acuerdo al grado de esta. Cada pieza es asignada al grado correcto de acuerdo a las reglas impuestas por la asociación y solo podrán ser utilizadas bajo los esfuerzos permisibles establecidos según el grado en que se encuentren.

Los esfuerzos permisibles son específicos para una duración normal de la carga y estos decrecerán para una carga de mayor duración. La madera podrá resistir cargas mayores por un periodo de tiempo corto. La duración de carga normal se refiere a aproximadamente diez años de duración para que el esfuerzo permisible trabaje al 100%, a continuación se muestra una grafica como el esfuerzo decrece con el tiempo. (Herubin & Marotta, 1977)

**Imagen 170: Relación esfuerzo ejercido-esfuerzo admisible vs duración de la carga.**



Fuente: Herubin & Marotta, 1977.

**Cuadro 19: Esfuerzos admisibles de la madera.**

Especies y grados comerciales	clasificación de tamaño	esfuerzo permisible (kg/cm <sup>2</sup> )						Módulo de Elasticidad
		Fb		Ft	Fv	Fc $\bar{T}$	Fc	
		uso de elemento individual	uso de elemento repetidamente					
<b>Abeto Douglas (superficie Seca o verde)</b>								
Dense select structural		172.3	196.9	98.4	6.7	32.0	130.1	133583.3
Select structural		147.6	168.7	84.4	6.7	27.1	112.5	126552.6
Dense No.1		144.1	168.7	84.4	6.7	32.0	101.9	133583.3
No.1		123.0	144.1	73.8	6.7	27.1	87.9	126552.6
Dense No.2		119.5	137.1	70.3	6.7	32.0	80.9	119521.9
No. 2		101.9	116.0	59.8	6.7	27.1	70.3	119521.9
No. 3	2" a 4" de espesor	56.2	65.0	33.4	6.7	27.1	42.2	105460.5
Apariencia	2" a 4" de ancho	123.0	144.1	73.8	6.7	27.1	105.5	126552.6
Soportes de montaje		56.2	65.0	33.4	6.7	27.1	42.2	105460.5
Construcción	2" a 4" espesor	73.8	84.4	43.9	6.7	27.1	80.9	105460.5
Estándar	4" ancho	42.2	47.5	24.6	6.7	27.1	65.0	105460.5
Utilidad		19.3	22.8	12.3	6.7	27.1	42.2	105460.5
Dense select structural		147.6	168.7	98.4	6.7	32.0	116.0	133583.3
Select structural		126.6	144.1	84.4	6.7	27.1	98.4	126552.6
Dense No.1		126.6	144.1	84.4	6.7	32.0	101.9	133583.3
No.1		105.5	123.0	70.3	6.7	27.1	87.9	126552.6
Dense No.2	2" a 4" de espesor	101.9	119.5	66.8	6.7	32.0	87.9	119521.9
No. 2	6" en adelante	87.9	101.9	58.0	6.7	27.1	73.8	119521.9
No. 3		51.0	59.8	33.4	6.7	27.1	47.5	105460.5
Apariencia		105.5	123.0	70.3	6.7	27.1	105.5	126552.6

Fuente: Herubin & Marotta, 1977

Continuación Cuadro 19: Esfuerzos admisibles de la madera.

Especies y grados comerciales	clasificación de tamaño	esfuerzo permisible (kg/cm <sup>2</sup> )						Módulo de Elasticidad
		Fb		Ft	Fv	FcT	Fc	
		uso de elemento individual	uso de elemento repetidamente					
<b>Abeto Douglas (superficie Seca o verde)</b>								
Dense select structural	Vigas y largueros	133.6	----	77.3	6.0	32.0	91.4	119521.9
Select structural		112.5	----	66.8	6.0	27.1	77.3	112491.2
Dense No.1		109.0	----	54.5	6.0	32.0	77.3	119521.9
No.1		91.4	----	47.5	6.0	27.1	65.0	112491.2
Dense select structural	postes y columnas	123.0	----	80.9	6.0	32.0	98.4	119521.9
Select structural		105.5	----	70.3	6.0	27.1	84.4	112491.2
Dense No.1		98.4	----	66.8	6.0	32.0	84.4	119521.9
No.1		84.4	----	58.0	6.0	27.1	70.3	112491.2
Select dex	cubiertas	123.0	140.6	----	----	27.1	----	126552.6
Dex comercial		101.9	116.0	----	----	27.1	----	119521.9
Dense select structural	Vigas y largueros	133.6	----	87.9	6.0	32.0	91.4	119521.9
Select structural		112.5	----	73.8	6.0	27.1	77.3	112491.2
Dense No.1		109.0	----	73.8	6.0	32.0	77.3	119521.9
No.1		94.9	----	63.3	6.0	27.1	65.0	112491.2
Dense select structural	postes y columnas	123.0	----	80.9	6.0	32.0	94.9	119521.9
Select structural		105.5	----	70.3	6.0	27.1	80.9	112491.2
Dense No.1		98.4	----	66.8	6.0	32.0	84.4	119521.9
No.1		84.4	----	58.0	6.0	27.1	70.3	112491.2
Select dex	cubiertas	----	140.6	----	----	----	----	126552.6
Dex comercial		----	116.0	----	----	----	----	119521.9
Select dex	cubiertas	----	151.2	Superficie al 15% max m.c. y uso a 15% max. m.c.			----	133583.3
Dex comercial		----	126.6				----	119521.9

Fuente: Herubin & Marotta, 1977

Continuación Cuadro 19: Esfuerzos admisibles de la madera.

Especies y grados comerciales	clasificación de tamaño	esfuerzo permisible (kg/cm <sup>2</sup> )						Módulo de Elasticidad
		Fb		Ft	Fv	Fc $\bar{T}$	Fc	
		uso de elemento individual	uso de elemento repetidamente					
Pino Ponderosa (superficie Seca o verde)								
Select structural		98.4	116.0	58.0	4.9	17.6	73.8	84368.4
No.1		84.4	98.4	49.2	4.9	17.6	59.8	84368.4
No.2		70.3	80.9	40.4	4.9	17.6	47.5	77337.7
No.3	2" a 4" de espesor	38.7	43.9	22.8	4.9	17.6	28.1	70307.0
Apariencia	2" a 4" de ancho	84.4	98.4	49.2	4.9	17.6	59.8	84368.4
Soporte de montaje		38.7	43.9	22.8	4.9	17.6	28.1	70307.0
Construcción		51.0	58.0	29.9	4.9	17.6	54.5	70307.0
Estándar	2" a 4" espesor 4" ancho	28.1	31.6	15.8	4.9	17.6	43.9	70307.0
Utilidad		14.1	15.8	7.0	4.9	17.6	28.1	70307.0
Select structural		84.4	98.4	58.0	4.9	17.6	66.8	84368.4
No.1	2" a 4" de espesor	73.8	84.4	49.2	4.9	17.6	59.8	84368.4
No.2	6" en adelante de ancho	59.8	68.5	38.7	4.9	17.6	49.2	77337.7
No.3		35.2	40.4	22.8	4.9	17.6	31.6	70307.0
Apariencia		73.8	84.4	49.2	4.9	17.6	59.8	84368.4
Select structural	Vigas y largueros	77.3	----	51.0	4.6	17.6	52.7	77337.7
No.1		65.0	----	35.2	4.6	17.6	43.9	77337.7
Select structural	postes y columnas	70.3	----	47.5	4.6	17.6	56.2	77337.7
No.1		58.0	----	38.7	4.6	17.6	49.2	77337.7
Select Comercial	cubiertas	----	101.9	----	----	17.6	----	91399.1
		----	87.9	----	----	17.6	----	77337.7

Fuente: Herubin & Marotta, 1977



Continuación Cuadro 19: Esfuerzos admisibles de la madera.

Especies y grados comerciales	clasificación de tamaño	esfuerzo permisible (kg/cm <sup>2</sup> )						Módulo de Elasticidad
		Fb		Ft	Fv	FcT	Fc	
		uso de elemento individual	uso de elemento repetidamente					
Pino Ponderosa- Sugar Pine (superficie Seca o verde)								
Select structural		98.4	116.0	58.0	4.9	16.5	73.8	84368.4
No.1		84.4	98.4	49.2	4.9	16.5	59.8	84368.4
No.2		70.3	80.9	40.4	4.9	16.5	47.5	77337.7
No.3	2" a 4" de espesor	38.7	43.9	22.8	4.9	16.5	28.1	70307.0
Apariencia	2" a 4" de ancho	84.4	98.4	49.2	4.9	16.5	70.3	84368.4
Soporte de montaje		38.7	43.9	22.8	4.9	16.5	28.1	70307.0
Construcción	2" a 4" espesor 4" ancho	51.0	58.0	29.9	4.9	16.5	54.5	70307.0
Estándar		28.1	31.6	15.8	4.9	16.5	43.9	70307.0
Utilidad		14.1	15.8	7.0	4.9	16.5	28.1	70307.0
Select structural		84.4	98.4	58.0	4.9	16.5	66.8	84368.4
No.1	2" a 4" de espesor	73.8	84.4	49.2	4.9	16.5	59.8	84368.4
No.2	6" en adelante de ancho	59.8	68.5	38.7	4.9	16.5	49.2	77337.7
No.3		35.2	40.4	22.8	4.9	16.5	31.6	70307.0
Apariencia		73.8	84.4	49.2	4.9	16.5	70.3	84368.4
Select structural	Vigas y largueros	77.3	----	51.0	4.6	16.5	52.7	77337.7
No.1		65.0	----	43.9	4.6	16.5	43.9	77337.7
Select structural	postes y columnas	70.3	----	47.5	4.6	16.5	56.2	77337.7
No.1		58.0	----	38.7	4.6	16.5	49.2	77337.7
Cubierta seleccionada		----	94.9	----	----	----	----	84368.4
cubierta comercial	cubiertas	----	80.9	----	----	----	----	77337.7
Cubierta seleccionada		----	101.9	Superficie al 15% máx. m.c. y uso a 15% máx. m.c.			----	91399.1
cubierta comercial	cubiertas	----	87.9				----	77337.7

Fuente: Herubin & Marotta, 1977

Continuación Cuadro 19: Esfuerzos admisibles de la madera.

Especies y grados comerciales	clasificación de tamaño	esfuerzo permisible (kg/cm <sup>2</sup> )						Módulo de Elasticidad
		Fb		Ft	Fv	Fc $\bar{T}$	Fc	
		uso de elemento individual	uso de elemento repetidamente					
Pino rojo (superficie Seca o verde)								
Select structural		98.4	11.2	56.2	4.9	19.7	73.8	91399.1
No.1		84.4	94.9	49.2	4.9	19.7	58.0	91399.1
No.2		68.5	77.3	40.4	4.9	19.7	45.7	84368.4
No.3	2" a 4" de espesor	36.9	43.9	22.8	4.9	19.7	28.1	70307.0
Apariencia	2" a 4" de ancho	84.4	94.9	47.5	4.9	19.7	65.0	91399.1
Soporte de montaje		36.9	43.9	22.8	4.9	19.7	28.1	70307.0
Construcción		49.2	56.2	28.1	4.9	19.7	52.7	70307.0
Estándar	2" a 4" espesor 4" ancho	28.1	31.6	15.8	4.9	19.7	42.2	70307.0
Utilidad		12.3	15.8	7.0	4.9	19.7	28.1	70307.0
Select structural		84.4	94.9	56.2	4.9	19.7	63.3	91399.1
No.1	2" a 4" de espesor	70.3	80.9	47.5	4.9	19.7	58.0	91399.1
No.2	6" en adelante de ancho	58.0	66.8	38.7	4.9	19.7	47.5	84368.4
No.3		35.2	38.7	22.8	4.9	19.7	29.9	70307.0
Apariencia		70.3	80.9	47.5	4.9	19.7	65.0	91399.1
Select structural	Vigas y largueros	73.8	----	43.9	4.6	19.7	51.0	77337.7
No.1		61.5	----	31.6	4.6	19.7	42.2	77337.7
Select structural	postes y columnas	70.3	----	47.5	4.6	19.7	54.5	77337.7
No.1		56.2	----	38.7	4.6	19.7	47.5	77337.7
Select Comercial	cubiertas	80.9	94.9	----	----	19.7	----	91399.1
		68.5	77.3	----	----	19.7	----	91399.1

Fuente: Herubin & Marotta, 1977

- Deterioración de la madera: La madera tiene cuatro grandes enemigos: los insectos, el fuego, los hongos y los moluscos y crustáceos del mar. Cualquiera de los cuatro puede destruir en su totalidad a la madera, aunque existen métodos con los cuales podemos proteger a la madera mediante el uso de ciertos químicos especiales para esto. Ciertas maderas como el cedro, el ciprés, la secoya entre otros, son muy resistentes a los hongos a diferencia de otras especies y han sido utilizadas a lo largo de la historia como postes de barandas y en algunos casos como parte de la cimentación de edificaciones pequeñas. El duramen de muchas especies es más resistente a pudrirse como a los ataques de insectos ya que muchas de las sustancias que contiene esta sección de la madera son venenosas, mientras que la albura absorbe de mejor manera los químicos ya que sus células no se encuentran ocupadas por estas sustancias venenosas, por lo tanto la albura tiene más opciones a alcanzar mayor resistencia a estos problemas mediante el tratamiento con químicos. (Herubin & Marotta, 1977)

Existen dos métodos para proteger la madera de la termita, uno es mediante la creación de una barrera física, y otro mediante la creación de una barrera química para mantener a la termita lejos de la madera. El método físico consiste en crear soportes de madera o de acero para que la madera no se encuentre en un contacto inmediato con el suelo, sin embargo esta barrera no garantiza que las termitas no lleguen a la madera, pero es posible determinar por donde están atacando. La barrera química consiste en la saturación del suelo adyacente a la estructura con veneno, además se puede imprimir una capa de este veneno a la sección de la madera que se encuentra en contacto con el suelo, como además se puede colocar una capa de pintura.

El hongo, normalmente se alimenta de las fibras de la madera, dejando una gran debilidad y una madera podrida. El hongo necesita de aire y de humedad para poderse mantener activo, con unas temperaturas alrededor de los 27 grados Celsius. Una madera con un contenido de humedad de 19% o más bajo, lo cual es lo normal en el exterior, no es objeto de la pudrición, mientras que la madera en los interiores es mucho más seca. (Herubin & Marotta, 1977)

El fuego es el enemigo más obvio de la madera, aun así edificaciones de madera puede ser consideradas seguras contra el fuego así como son consideradas otras estructuras construidas con otros materiales. La gente no puede sobrevivir en un cuarto con fuego por más de algunos minutos aunque este tenga un gran espacio, la gente muere

debido al calor, el humo o la falta de oxígeno en el cuarto. El contenido del cuarto rápidamente se encuentra dañado debido al calor y al humo aun mientras este no se haya quemado. Por lo tanto la técnica utilizada por muchos diseñadores es atrasar el colapso de cualquier parte de la edificación para que todos los ocupantes puedan salir, proveer rutas seguras para que los ocupantes puedan salir y prevenir que el fuego se esparza a otros lugares. La seguridad al fuego de muchas instalaciones dependerán del contenido dentro de esta y los lugares donde lo tengan almacenados, orden y limpieza, sistemas de sprinklers y alarmas para fuego, y métodos para combatir el fuego así como el tipo de construcción.

La madera puede ser impregnada con químicos retardantes de fuego, los cuales decrecen la esparción de la llama y la generación de humo. La madera se quema al momento en que alcanza una temperatura de 149 grados Celsius y los gases que se escapan explotan en llamas. Estos químicos previenen esto mediante el cambio de estos gases combustibles a gases de agua no combustibles. (Herubin & Marotta, 1977)

- **Preservación de la madera:** Preservar la madera involucra tratarla con venenos para que el hongo y los insectos no se alimenten de ella. La resistencia no se ve afectada por los preservantes venenosos. Los preservantes pueden ser colocados mediante brochas sobre la superficie de la madera, esto provee una pequeña protección de la madera. Para mejorar la protección se puede sumergir la madera en estos químicos, estos dos métodos son utilizados solamente para un proyecto pequeño o para madera que solo requiere una mínima protección.

La mejor protección se obtiene forzando a los preservativos entrar en las fibras de la madera. La retención del líquido en libras por pie cúbico es especificada dependiendo del tipo de preservante que se esté utilizando, tipo de la madera y las condiciones en las cuales se utilizara la madera. Algunas maderas deben ser perforadas antes de ser tratadas para poder absorber la cantidad necesaria de químico. A toda la madera se le debe remover la corteza antes de ser tratada ya que el químico no penetra la corteza. La madera es cortada a su tamaño último antes de ser tratada para de este modo no desperdiciar el preservante.

Los preservantes son de tres tipos comúnmente, las sales solubles en agua con químicos como los son el cloruro de sodio, sulfato de cobre o cloruro de zinc, inyectándose a la madera en soluciones débiles (menos del 5%). El agua se evapora, dejando las sales entre la madera con las cantidades necesarias, alrededor de 16 kilogramo por metro cúbico, para la protección de hongos e insectos. Sales como los son el cloruro de zinc, se echan en

cantidades de hasta 80 kilogramo por metro cubico para protección contra el fuego. (Herubin & Marotta, 1977)

Estos preservantes son inofensivos en apariencia y olor, y la madera podrá ser pintada después de ser tratada luego de ser tratada con estos químicos. Estos preservantes son útiles para madera con uso en interiores, sin embargo hay ciertas desventajas. La madera se expande y aumenta en peso cuando se le inyecta agua, por lo que es necesario en muchos casos secar la madera antes de su uso para alcanzar un porcentaje de humedad optimo. Ya que estos químicos son solubles en agua, la madera tratada con estos químicos no podrá ser utilizada en sectores donde se encuentre expuesta a lluvia sin que esta pierda cierta cantidad de este químico, por lo que no son útiles para exteriores.

Ciertos materiales venenosos como lo son el pentaclorofenol o el naftenato de cobre, al ser disueltos en aceite de petróleo, sirven para proteger a la madera de hongos e insectos. Ya que estas sustancias venenosas no son solubles con el agua son perfectos para usos en exteriores y en lugares húmedos. El aceite se evapora de manera rápida por lo tanto esta madera se encuentra habilitada mucho más rápido para su uso. La madera no puede ser pintada luego del tratamiento, aunque no presenta una apariencia desagradable. (Herubin & Marotta, 1977)

La creosota es el preservante mas efectivo hasta el momento para combatir el hongo y los insectos, además de estos es la única efectiva contra todos los moluscos y crustáceos del mar. Se puede utilizar sola, o mezclada con petróleo u otros componentes. La madera tratada con creosota es muy difícil de pintar. Generalmente la creosota no es un peligro para los incendios ya que para el tiempo en que la pieza será colocada, esta ya paso por una serie de reacciones químicas las cuales dejan la pieza inflamable. La retención típica va de 8 libas por pie cubico, y en casos de pilotes en agua salada es de 400 kilogramo por metro cubico.

Existe otro método el cual es un tratamiento a presión, el proceso de este es colocar la madera en un recipiente a presión, inundarlo con el preservante y forzar al preservante a entrar en las células de la madera. Esta madera al entrar en contacto con el ambiente se torna gris y un poco erosionada, por lo que puede ser protegida con pintura, barniz o un sellante.

- **Propiedades acústicas:** Las propiedades acústicas de la madera permiten, su utilización en la construcción si se conoce su comportamiento y sobre todo como diseñar e instalar los elementos de madera.
- **Absorción de sonido:** Los materiales absorbentes de sonido pueden ser de dos tipos: porosos y paneles resonantes. Los paneles de madera maciza o los tableros derivados a la madera adheridos a superficies rígidas son pobres absorbentes del sonido (absorben entre el 5 - 10% y reflejan más del 90%); dejando la superficie de la madera en forma rugosa se aumenta muy ligeramente la absorción. Por el contrario las placas acústicas porosas fabricadas con fibras de madera pueden absorber más del 90% del sonido y reflejar el resto. Los paneles de tableros contrachapados pueden utilizarse como paneles resonantes, diseñados para absorber sonidos de baja frecuencia, que se colocan separados de la superficie rígida unos centímetros.
- **Transmisión del sonido (tabiques o suelos) - ruido aéreo:**La pérdida de transmisión se rige por la ley de masas, cuanto mayor sea la masa por unidad de superficie del tabique la transmisión será menor. Esta ley indica que la madera, de forma aislada no es un buen aislante acústico; pero si las paredes o suelo constan de dos o más elementos de madera y se incorporaran otros productos con mejores propiedades acústicas, de tal forma que queden sin contacto entre sí, se consigue un buen nivel de aislamiento. El diseño y composición del tabique o suelo es de gran importancia para mejorar sus prestaciones acústicas. Los espacios con madera producen un menor tiempo de reverberación por lo tanto estos espacios producen menos ruido y ecos.
- **Aislamiento de impactos (suelos - techos) - ruido de impactos:** Mide el grado en que un suelo o techo produce la transmisión del ruido de pisada u otros impactos. Los mejores resultados se consiguen con suelos pesados y no resonantes, en ambos casos la madera está en desventaja. Pero al igual que en el caso de transmisión una posible solución se centraría en el diseño y composición de estos elementos.
- **Propiedades térmicas:** Los coeficientes de dilatación de la madera son muy bajos (del orden de  $3 \text{ a } 6 \times 10^{-6}$  en la dirección paralela y de  $30 \text{ a } 70 \times 10^{-6}$  en la perpendicular), por lo que se puede decir que apenas se dilata.

Así mismo la madera es un mal conductor del calor debido a la escasez de electrones libres, por ejemplo el coeficiente de conductividad calorífica de las coníferas (pino y abetos) en la dirección perpendicular varía aproximadamente de 0.09 a 0.12 Kcal/mh°C. (AITIM, 1998)

El calor específico de la madera es bajo, varía de 0.4 a 0.7 Kcal/kg°C, lo que significa que no necesitamos mucho calor para llegar a los 150°C, temperatura a la que empiezan a desprenderse gases combustibles y por tanto a aparecer las llamas.

Una vez que la madera entra en combustión hay que tener en cuenta la formación de carbón en las capas externas, que retrasa la difusión del calor hacia su interior constituyendo una barrera térmica que actúa como aislante. La zona interior de la pieza no sufre apenas ninguna modificación y conserva intactas sus propiedades mecánicas, el acero o el hormigón se comportan de forma totalmente diferente. La velocidad de carbonización aproximada de la madera es de 0.7 mm/mn. (AITIM, 1998)

A pesar de que es un material inflamable a temperaturas relativamente bajas, en relación con las que se producen en un incendio, es menos peligroso de lo que la gente se piensa por las siguientes razones: (AITIM, 1998)

- Su baja conductividad térmica hace que la temperatura disminuya hacia el interior.
- La carbonización superficial que se produce impide por una parte la salida de gases y por otra la penetración del calor.
- Al ser despreciable su dilatación térmica no actúa sobre las estructuras y no las deforma. (AITIM, 1998)

Como todos los materiales, la madera se dilata con el calor y se contrae al descender la temperatura, pero este efecto no suele notarse pues la elevación de temperatura lleva consigo una disminución de la humedad y como esto último es mayor, lo otro es inapreciable. (Construmática, 2005)

La transmisión de calor dependerá de la humedad, del peso específico y de la especie. No obstante, se efectúa mejor la transmisión en la dirección de las fibras que en las direcciones perpendiculares a ésta.

Una característica muy importante de la madera en referencia al calor, es que los agujeros que posee la madera dificultan el paso del calor y la convierten en un buen aislante térmico así como también retardan el paso del fuego en el caso de vigas de Madera gruesas. (Construmática, 2005)

- La madera como aislante térmico: Es de sobra conocida la utilización de la madera y de sus productos derivados como aislantes térmicos en la edificación, principalmente en paredes y cubiertas. La madera y demás materiales celulósicos son malos conductores del calor debido a que estos cuerpos tienen escasez de electrones libres, que son los responsables de una fácil transmisión de esta forma de energía (lo contrario de lo que ocurre en los metales), y también debido a que la madera y sus productos derivados son cuerpos porosos y por consiguiente su amplitud conductora tiene un valor intermedio entre los de sus componentes sólidos y los del aire contenido en poros.

La conductividad térmica del aire en reposo es:

$$\lambda = 0.0216 \text{ Kcal/mh } ^\circ\text{C a } 20^\circ\text{C}$$

La conductividad térmica de la sustancia leñosa en la dirección longitudinal a las fibras es  $\lambda = 5.62 \text{ Kcal/mh } ^\circ\text{C}$  y en la dirección perpendicular  $\lambda = 0.362 \text{ Kcal/mh } ^\circ\text{C}$ . La razón de esta diferencia hay que buscarla en la micro estructura de la madera, ya que el transporte del calor por conducción, tropieza con menores resistencias en la dirección de las largas moléculas en cadena de celulosa, que ortogonalmente a ellas. (H. Álvarez, 2007)

- Conductividad térmica: La conductividad térmica de los materiales corrientemente empleados en la construcción es muy superior a la que presentan los productos forestales, como se puede apreciar en los valores siguientes:

**Cuadro 20: Conductividad térmica de los materiales.**

Material	Conductividad térmica (Kcal/mh°C)
Aluminio	172
Hacer	39
Hormigón	1
Ladrillo macizo	0.75
Vidrio	0.6



**Continuación Cuadro 20: Conductividad térmica de los materiales.**

Material	Conductividad térmica (Kcal/mh°C)
Yeso	0.45
Madera de frondosas	0.15
Madera de coníferas	0.11
Tablero de partículas	0.08
Tablero de fibras	0.06

Fuente: (H. Álvarez, 2007)

En todas las aplicaciones prácticas de aislamiento térmico desempeña un papel importante el coeficiente de conductividad térmica  $\lambda$  que puede definirse técnicamente como aquella cantidad de calor, en Kcal, que atraviesa por hora, en régimen permanente, un cubo de un metro de arista, desde una de sus caras a la opuesta, cuando entre éstas existe una diferencia de temperatura de 1°C. (H. Álvarez, 2007)

En el sistema internacional (SI) la unidad es W/m°K.

$$1 \text{ Kcal/h} = 1.163\text{W (vatio)}$$

Es frecuente que este coeficiente venga expresado en unidades inglesas Btu in/hft<sup>2</sup>. deg F que para convertirlo en unidades térmicas c.g.s Kcal/mh°C basta multiplicar las primeras por 0.12404. (H. Álvarez, 2007)

La conductividad térmica es la propiedad física que nos indica la mayor o menor facilidad con que una sustancia determinada realiza la transmisión de calor, dependiendo, en el caso concreto de la madera de los siguientes factores: temperatura, dirección de la fibra, densidad, humedad, contenido de extractos e irregularidades estructurales tales como fendas y nudos. De todos estos factores, los cuatro primeros son los más importantes y a continuación se verá su influencia. (H. Álvarez, 2007)

**2.6.2 Concreto.** El concreto tiene muchas características que lo hacen un material de construcción de uso amplio. Entre estas características encontramos que hay una alta disponibilidad de la materia prima, la habilidad del concreto que tiene para tomar cualquier forma que deseamos y la facilidad con la cual podemos modificar sus propiedades. La facilidad con la que el concreto se puede modificar puede ser una ventaja y a la vez una desventaja del usuario ya que se debe mantener un control constante de todas las operaciones realizadas para que este funcione correctamente.

Básicamente el concreto está formado en un 60 al 80% por agregados, y un 20 al 40% de una pasta conformada por el cemento y el agua, considerados como los ingredientes activos del concreto. Estos materiales son combinados, mezclados, transportados, colocados y curados para desarrollar la mejor resistencia que el concreto pueda alcanzar.

Durante la producción, el concreto es producido por una compañía la cual consigue la materia prima de otras dos o más compañías, lo cuales a su vez venden el concreto sin ser terminado a un contratista el cual lo colocara, lo curara y terminara el proceso. Durante este proceso se verá sujeto a cambios climáticos y otras variables, por lo que para garantizar que el concreto que inicialmente se diseño para un uso específico, se debe de tomar en cuenta todos estos factores que podrán afectar sus propiedades. (Herubin & Marotta, 1977)

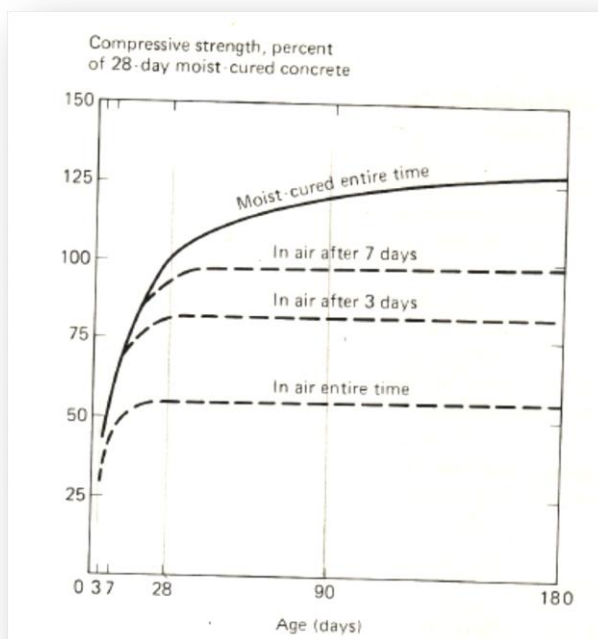
- **Propiedades físicas del cemento:** Uno de los factores que afectaran la hidratación del cemento, independientemente de su composición química, es la finura. Entre más fino sea un cemento, mayor será el calor de hidratación y ganara mayor resistencia. El aumento de resistencia debido a la finura es evidente durante los primero siete días. Para un peso dado de cemento, la superficie de los granos de un cemento más grueso es menor que la del cemento con grano fino. Ya que el agua se encuentra en contacto con más superficie en el cemento fino, el proceso de hidratación ocurre de manera más rápida. Si el cemento es demasiado fino, hay posibilidades de pre hidratación debido a la humedad por vapor durante el proceso de fabricación y almacenamiento, resultando una pérdida de las propiedades del material. En muchos casos existen pruebas de que un cemento muy grueso nunca completa su hidratación. (Herubin & Marotta, 1977)

La finura del cemento se define como una superficie específica por gramo de cemento. Sin importar que la superficie específica solo sea una aproximación del área verdadera, buenas

correlaciones se han logrado obtener entre el área específica y aquellas propiedades que son influidas debido a la finura.

La solidez es la capacidad del cemento de mantener un volumen estable luego de haber sido colocado. Un cemento no firme presentará rajaduras, rupturas y eventualmente desintegración de la masa del material. La expansión de esta destrucción posterior es causada por el exceso de cantidades de cal libre o magnesio. (Herubin & Marotta, 1977)

**Imagen 171: Gráfico resistencia vs tiempo basado en la humedad contenida en el concreto**



Fuente: Herubin & Marotta, 1977.

- Agregados: Los agregados de una mezcla de concreto forma el 60 al 80 % del volumen de un concreto, y sus características influirán en las propiedades del concreto. La selección de los agregados determinara el diseño de la proporción de la mezcla y la economía del concreto resultante, por lo tanto es necesario entender la importancia de la selección de los agregados, pruebas y manejo de estos.

Los agregados seleccionados deben de ser limpios, duros, fuertes y con partículas durables, libres de químicos, capas de arcillas y otros materiales que afectaran la unión con la pasta cementante. Agregados que contengan esquistos u otras partículas orgánicas

deben de ser evitados ya que tienen una resistencia baja ante la intemperie, los agregados muy gruesos deben de ser inspeccionados visualmente para buscar cualquier debilidad. Cualquier agregado que no cuente con un record adecuado de servicio debe de ser sometido a pruebas para verificar si cumple con los requerimientos. La mayoría de fuentes de los agregados del concreto se chequeadas periódicamente para asegurar que los agregados que están siendo producidos cumplan con las especificaciones del concreto. (Herubin & Marotta, 1977)

Los agregados usualmente utilizados como lo son la arena, grava y la piedra triturada producen un peso normal de concreto entre 2162 a 2560 kilogramos por metro cubico. Algunos que contengan esquistos o arcillas producen una disminución teniendo pesos entre 1360 a 1840 kilogramos por metro cubico, otros concretos más livianos andan en el rango de 240 a 1440 kilogramos por metro cubico, los cuales son llamados concretos aislantes. Se puede producir concretos pesados con un peso específico alrededor de 6400 kilogramos por metro cubico utilizando partículas de hierro y derivados. (Herubin & Marotta, 1977)

Los agregados deben de poseer ciertas características para producir un concreto trabajable, fuerte, durable y económico, estas características se presentan a continuación:

**Cuadro 21: Características del agregado.**

Característica	Significado o importancia
Resistencia a la abrasión	Índice de calidad de los agregados, para pisos del almacenamientos, plataformas de carga y pavimentos
Resistencia a la congelación y descongelación	Estructuras sujetas a cambios de temperatura
Estabilidad química	Resistencia y durabilidad de todo tipo de estructuras

Fuente: Herubin & Marotta, 1977.

**Continuación cuadro 21: Características del agregado.**

Característica	Significado o importancia
Forma de las partículas y textura de la superficie	Trabajabilidad de un concreto fresco
Clasificación	trabajabilidad de un concreto fresco y economía
Peso específico bruto	Calculo del diseño de mezcla, clasificación
Gravedad específica	Calculo del diseño de mezcla
Absorción y humedad de superficie	Control de calidad del concreto

La porosidad, absorción y la estructura del poro determinan la resistencia al cambio de temperaturas de un agregado. Si la partícula de un agregado absorbe mucha agua, cuando se encuentra expuesto a un clima muy bajo habrá muy poco espacio para que el agua se expanda. A cualquier tasa de congelamiento habrá un tamaño crítico de partícula la cual fallará cuando esta se encuentre saturada de agua.

Existen dos formas utilizadas para determinar la resistencia al cambio climático de un agregado: un record pasado de su desempeño, si se encuentra disponible o por pruebas de laboratorio para determinar la reactividad alcalina de un agregado.

El concreto fresco es afectado por la textura y forma de las partículas más que por la dureza del agregado. Una textura áspera o plana de un agregado requiere más agua para producir un concreto trabajable. Haciendo una aproximación, los agregados planos, alongados y con forma angular requerirán 15 kilogramos más de agua por metro cubico, por lo tanto requiere más cemento para mantener la relación agua-cemento. El uso de agregado como la grava permitirá una reducción de hasta 6.8 libras en el agua, por

consiguiendo un ahorro en cemento. Es muy importante que el agregado plano no exceda un 15% del peso del agregado total. (Herubin & Marotta, 1977)

- Aditivos: Una mezcla básica de concreto puede ser modificada al añadir aditivos a esta. Los aditivos se definen como cualquier material distinto al cemento, agua y agregados, el cual es añadido al concreto antes o después del mezclado. Usualmente una buena práctica de mezclado de concreto, producirá las cualidades que se requieren a la hora de colocar el concreto. En muchos casos usando un distinto tipo de cemento o modificando el diseño de la mezcla, se podrán obtener los cambios necesarios en las propiedades para usos especiales.

En muchos casos es muy importante modificar el diseño, y la única manera de lograrlo es a través del uso de aditivos. Los aditivos generalmente se utilizan debido a las siguientes situaciones: (Herubin & Marotta, 1977)

- Mejorar la trabajabilidad del concreto.
- Reducir el contenido de agua, por lo tanto aumentar la resistencia para una relación agua-cemento específica.
- Aumentar la durabilidad de la dureza del concreto.
- Retrasar o adelantar factores relacionados con el tiempo.
- Proporcionar color al concreto.
- Mantener la estabilidad del volumen reduciendo los encogimientos durante el curado.
- Para aumentar la resistencia del concreto sujeto a cambios climáticos.

La mayoría de los aditivos desempeñan más de una función, por ejemplo cuando un aditivo para incorporar aire a la mezcla es utilizado, aumenta la resistencia ante los cambios climáticos, y reduce la pérdida de agua además de aumentar la trabajabilidad del concreto fresco. Muchas veces el aditivo produce reacciones adversas ante los efectos que deseamos.

Ya que la efectividad de un aditivo varía dependiendo de la cantidad de cemento, forma del agregado, graduación del agregado, las proporciones, tiempo de mezcla, contenido de agua, temperaturas del aire, es muy importante realizar pruebas antes de utilizar el aditivo. Estas pruebas, simulan una condición de trabajo lo más cercano posible, para que la dosis de aditivo y los resultados sean lo más exacto posible al caso real. Estas

pruebas permitirán el estudio de la compatibilidad de los aditivos, si es que se pueden utilizar más de uno en el concreto.

- Curado: El curado adecuado se debe realizar luego de que las superficies ya estén terminadas para que el concreto gane adecuadamente su resistencia, aumente su resistencia a los cambios climáticos, mejore su almacenamiento de agua y adquiere una resistencia ante la intemperie. Para esto se requiere que el cemento mantenga su humedad para la hidratación y se tengan temperaturas favorables durante un periodo de tiempo adecuado. El tiempo dependerá del tipo de cemento, la proporción de la mezcla, el diseño de resistencia, tamaño y forma de la estructura del concreto y su exposición futura.

La temperatura óptima de un concreto a la hora de ser colocado variara dependiendo de la condición, pero generalmente 32.2 grados Celsius es el límite de temperatura. Para obtener la temperatura específica al colocarlo en ambientes calurosos, a veces se necesita el uso de agregados pre enfriados y la sustitución de hielo rapado por el agua. Durante los climas fríos los agregados y el agua podrán ser calentados para aumentar la temperatura del concreto. (Herubin & Marotta, 1977)

Durante condiciones cálidas, la pérdida de humedad luego de colocar el concreto es crítica, y se puede utilizar un sinnúmero de métodos para prevenir que la humedad se pierda. Estos métodos para prevenir la pérdida de humedad incluyen el uso de capas impermeables, capas plásticas, y líquidos especiales.

Durante condiciones frías, el concreto requiere el mantenimiento de un calor interno o el uso de calor adicional para proveer la temperatura adecuada de curado. Para mantener el calor interno, existen recubrimientos aislantes, para proporcionar un calor exterior se pueden utilizar salamandras o calentadores de ambientes. En el caso de utilizar calentadores a base de combustible, se tiene que prever ventilación para evitar la carbonatación.

- Resistencia a la compresión: Como sucede con la mayoría de los materiales cerámicos, el concreto tiene una mayor resistencia a la compresión comparada con la resistencia a tensión. Por lo tanto la carga principal en este tipo de estructuras es en compresión, aunque se puede aumentar su resistencia a tensión por medio de un refuerzo de acero. La reacción de la pasta de cemento depende del tiempo. La resistencia a la compresión aumenta significativamente con la baja relación de agua cemento.

- **Contracción:** La contracción se puede representar en dos etapas, en la primera etapa, ocurre mientras el concreto aun se encuentra en estado plástico, esta etapa es dependiente del agua, del tiempo y de la temperatura. Hay pérdidas de agua en las formaletas y también por evaporación, además del consumo de agua para la hidratación. Mientras tanto, el aumento en la temperatura es la principal causa de un agrietamiento, comúnmente conocido como la expansión térmica. En los casos extremos se puede producir agrietamiento plástico. (Herubin & Marotta, 1977)

La segunda etapa de contracción ocurre después del endurecimiento inicial de la pasta. Se debe a una hidratación adicional y a un enfriamiento de la masa. Esto generalmente produce pocas dificultades, pero en algunos casos la masa de concreto no endurece uniformemente debido a la falta de uniformidad en la humedad de los alrededores, como en el caso de encontrarse por encima y por debajo del suelo. Si esto sucede se pueden establecer esfuerzos complejos y la masa de concreto se puede agrietar aun después de un curado de un año o más. (Herubin & Marotta, 1977)

- **Concreto reforzado y pretensado:** La resistencia a la tensión es aproximadamente un decimo de la resistencia a la compresión, por lo que el concreto es utilizado normalmente en cargas de compresión, sin embargo existen varias situación en las cuales el esfuerzo a tensión está presente en este tipo de estructuras, por lo que es una práctica muy común aplicar un refuerzo de acero en una proporción adecuada para que pueda trabajar con los esfuerzos a tensión. (Richard A. Flinn, 1994)

El concreto reforzado se puede agrietar como resultado de la acumulación de esfuerzos de tensión durante el curado y la contracción. La amplitud de las grietas se minimiza en la mayoría de los casos, con un buen enlace entre el concreto y el acero. Una de las causas principales de estos agrietamientos es la falta de un recubrimiento suficiente para el refuerzo.

La escasa resistencia a la tensión y alta resistencia a la compresión del concreto, sugiere que se puede utilizar la compresión residual, la cual deberá ser vencida antes de que el elemento pueda trabajar a tensión, es por esto que se da como resultado el concreto pretensado y se obtiene de dos formas: (Richard A. Flinn, 1994)

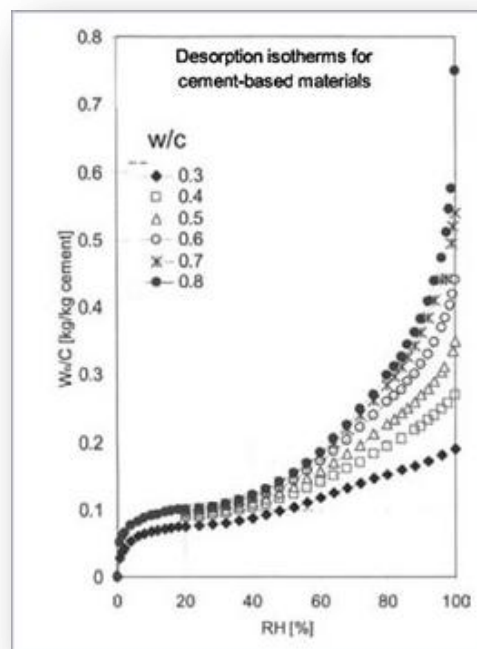
- **Pretensado:** Éste consiste en colocar las varillas de acero en tensión, se vierte el concreto alrededor de las varillas, y posteriormente se retira la tensión después del



curado del concreto. Cuando la tensión es eliminada de las varillas, éstas producen compresión en el concreto. Esta técnica requiere de un buen enlace entre el acero y el concreto y configuraciones ahusadas en los extremos del acero el cual se ancla al concreto para prevenir el alivio de esfuerzos.

- Post tensado: esta técnica no requiere de enlaces con el acero y concreto. Su aplicación es mucho más sencilla, las varillas se colocan dentro de un tubo y el concreto se funde alrededor de este, luego de que el concreto haya curado se colocan las varillas en tensión y se anclan sus extremos al concreto. Al momento en que la tensión es eliminada de la varilla, la longitud empotrada del acero produce la compresión en el concreto.

**Imagen 172: Gráfico contracción en el secado contra contenido de cemento.**



Fuente: Herubin & Marotta, 1977.

- Propiedades Térmicas: Según estudios realizados, existe un método para reducir la conductividad térmica del concreto mediante la incorporación de altos volúmenes de materiales como la ceniza en la mezcla. En los morteros los resultados pueden lograr una reducción de hasta un 45% de la conductividad térmica. Esto indica que para lograr un

coeficiente de conductividad térmica bajo, se debe lograr un concreto de baja densidad, por lo que la densidad juega un papel importante en el aislamiento térmico de una construcción de concreto.

Por lo tanto podemos decir que un concreto de alta densidad tendrá un coeficiente de transmisión térmica elevado, mientras que un concreto de baja densidad representará un coeficiente de transmisión térmica bajo, esto se presentara más adelante mediante una tabla que contiene los valores de los coeficientes. Todo esto se reduce a la estructura interna que tendrá el concreto, su porosidad y cantidad de vacíos. Comúnmente el concreto utilizado es de una densidad media hasta una densidad alta debido a la facilidad de fabricación de este tipo de concreto, sin recurrir a una mezcla complicada, además de los materiales que se mueven en el mercado que son normalmente grava y arena, por lo que se obtiene un material con una aislación térmica baja.

Al reducir el coeficiente de conductividad térmica en el concreto permitirá un aumento en el valor de aislamiento (valor R), y de esta forma se contribuirá a una reducción en el costo de calefacción-enfriamiento para edificaciones residenciales y comerciales de concreto. (Bentz, Peltz, Duran-Herrera, Valdez, & Juarez, 2010)

#### **Cuadro 22: Conductividad térmica del concreto**

Conductividad térmica ( k ) W/(m.K)	
Material	Temperatura 25 grados Celsius
Concreto de peso liviano	0.1 - 0.3
Concreto medio	0.4 - 0.7
Concreto denso	1.0 - 1.8
Concreto ciclópeo	1.7

Fuente: <http://www.engineeringtoolbox.com>

- Conductividad térmica: El coeficiente de conductividad térmica del hormigón seco tiene un valor comprendido entre 0.05 y 1.15 Kcal m/m<sup>2</sup>.h°C dependiendo de la naturaleza de los áridos, de su composición y del contenido de aire. Los hormigones celulares y los de áridos ligeros poseen valores más bajos, especialmente si no poseen árido fino, debido a que los granos de arena tienen una influencia muy marcada en la conductividad al actuar como puentes térmicos que facilitan el paso del calor. (M. Carrasco, 2005)

La naturaleza de los áridos influye mucho en la conductividad. Los basaltos y la barita presentan valores bajos, mientras que las calizas y dolomitas tienen valores medios y los áridos silíceos los poseen altos. La pasta de cemento tiene una conductividad parecida a la de los áridos ligeros de aquí que cuanto más rico sea el hormigón en cemento más baja será su conductividad térmica.

El contenido de humedad del hormigón influye en la conductividad siendo mayor ésta en los hormigones saturados que en los secos, lo cual es lógico debido a que en los secos los poros están llenos de aire que tiene una conductividad térmica más baja que la del agua. (M. Carrasco, 2005)

Para un hormigón ordinario seco, la conductividad térmica se puede estimar en 1.10 Kcal m/m<sup>2</sup>.h°C y con un contenido de humedad del 2 % en volumen se incrementa a 1.50 Kcal m/m<sup>2</sup> h°C. La conductividad de un hormigón puede ser determinada, de acuerdo con Loudon, multiplicando el valor de la conductividad en seco, en función de la densidad, por un factor  $K_1$  que depende del contenido de humedad y otro  $K_2$  que es función del tipo de hormigón y cuyos valores están dados en los cuadros (6 y 7) que se muestran a continuación.

Como valores usuales del tanto por ciento de humedad, en volumen, se recomiendan tomar los siguientes: para hormigón expuesto a la intemperie el 5 % si es de áridos ordinarios y el 8 % si es de áridos ligeros o es aireado. Para hormigones protegidos de la intemperie el 2.5 % con áridos ordinarios y el 5 % con áridos ligeros u hormigones aireados. (M. Carrasco, 2005)

Así, en un hormigón de áridos ordinarios, de densidad en seco de 2.2 kg/dm<sup>3</sup>, expuesto a la intemperie, con un contenido de humedad del 5 %, el valor de la

conductividad se puede estimar, de acuerdo con los cuadros anteriormente indicados, en:  
(M. Carrasco, 2005)

$$0.8 * 1.75 * 1.10 = 1.54 \text{ kcal, m/m}^2 \cdot \text{h}^\circ\text{C}$$

**Cuadro 23: Conductividad térmica base en función de la densidad del hormigón seco**

Densidad del hormigón en seco (kg/m <sup>3</sup> )	Conductividad base (Kcal.m/m <sup>2</sup> h°C)
192	0.05
300	0.06
590	0.09
801	0.13
993	0.17
1,200	0.21
1,393	0.27
1,601	0.35
1,704	0.43
2,002	0.58
2,195	0.8

Fuente: (M. Carrasco, 2005)

**Cuadro 24: Factor K1 dependiente del contenido de humedad**

Contenido de humedad (% en volumen)	1	2.5	5	10	15	20	25
K <sub>1</sub>	1.30	1.55	1.75	2.10	2.35	2.55	2.75

Fuente: (M. Carrasco, 2005)

**Cuadro 25: Factor K2 dependiente del tipo de hormigón**

Hormigón	K <sub>2</sub>
Hormigón con áridos ordinarios o arcillas expandidas, cenizas volantes sintetizadas, o sin finos.	1.10
Hormigones aireados.	0.9
Hormigones con áridos de pómez, chamota o escoria expandidas.	0.75

Fuente: (M. Carrasco, 2005)

- Calor específico y difusividad térmica: El calor específico de los hormigones se puede considerar independiente de la naturaleza de los áridos y prácticamente constante dentro de determinados rangos de temperatura, no obstante, aumenta con el contenido de humedad del hormigón. Puede considerarse que su valor oscila entre 0.20 y 0.28 Kcal/kg°C dependiendo de la naturaleza de los áridos empleados. Se considera que 1 cal/g°C es equivalente a 4.18 J/g°C. (M. Carrasco, 2005)

La difusividad térmica representa la velocidad a la cual tienen lugar los cambios de temperatura dentro de la masa del material considerado. La conductividad  $k$  y la difusividad térmica  $\alpha$ , están relacionadas por la expresión:

$$\alpha = \frac{k}{c_e \rho_H}$$

siendo:

$\alpha$  = Difusividad térmica

$k$  = Conductividad térmica

$c_e$  = Calor específico

$\rho_H$  = Densidad del hormigón

Para un hormigón ordinario protegido de la intemperie y de densidad 2.24 kg/dm<sup>3</sup> puede tomarse como valor de la conductividad térmica,  $k$  el de 1.47 kcal/m<sup>2</sup>.h°C y para un hormigón de áridos de arcilla expandida y densidad 1.28 kg/dm<sup>3</sup> el de 0.49 kcal.m/m<sup>2</sup>.h°C. (M. Carrasco, 2005)

La difusividad de los hormigones ordinarios oscila entre 0.002 y 0.006 m<sup>2</sup>/h dependiendo de la naturaleza de los áridos empleados en ellos. El ACI recomienda para hormigones ordinarios el valor de 0.093 m<sup>2</sup>/día. (M. Carrasco, 2005)

Si los hormigones están húmedos los valores anteriores aumentan ligeramente. Los hormigones que poseen cuarcitas como árido dan los valores más altos, los de basaltos son de valores más bajos y los de granitos y calizas dan valores intermedios.

- **Propiedades Acústicas:** Como sabemos existen dos formas de calcular el aislamiento acústico de un material, mediante su capacidad de absorber el sonido y mediante su capacidad de transmitir sonido a través de él. Cuando hablamos de la capacidad de absorber sonido volvemos al tema de la densidad del material, en si los tipos de agregados que se utilizaran a la hora de fabricar el concreto. La textura y la porosidad del concreto nos darán la pauta de que tan bueno será para absorber el sonido, ya que si se tiene un concreto fabricado con materiales livianos y porosos este presentará mayor absorción de sonido.

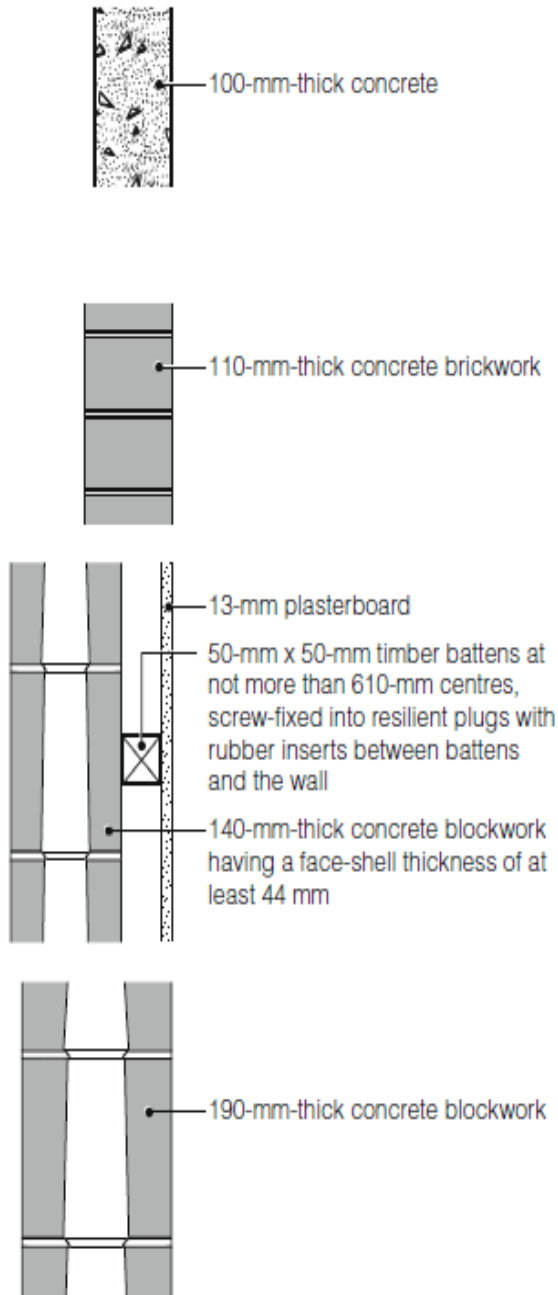
Un concreto de peso normal, conteniendo una textura media presenta un coeficiente de absorción de 0.27, mientras que al utilizar esquisto que es clasificado como un material liviano, se alcanza un coeficiente de absorción de 0.45. Como se puede observar es bastante la diferencia que se presenta a la hora de utilizar un concreto liviano.

Cuando hablamos de transmisión de sonido, la masa contenida por los muros de concreto y pisos de concreto proveen una excelente barrera a la transmisión de sonido aéreo y es efectivo además en reducir la transmisión de sonido de baja frecuencia como lo son los sonidos de televisión, radio, etc. En el caso de sonidos muchos mayores se pueden construir muros compuestos para reducir el sonido al mínimo requerido mediante el uso de tabla yeso u otros materiales aislantes. Además de esto el concreto presenta un buen aislamiento a sonidos generados por el impacto, mediante una losa de 15 cm, lo cual fácilmente cumplirá con las normas requeridas en cuanto a la transmisión de sonido. (Cement Concrete & aggregates Australia, 2009)

A continuación se presenta un gráfico el cual dará a conocer los tipos de muros de concreto posibles que presentaran un aislamiento que cumple con el mínimo requerido de reducción de sonido:

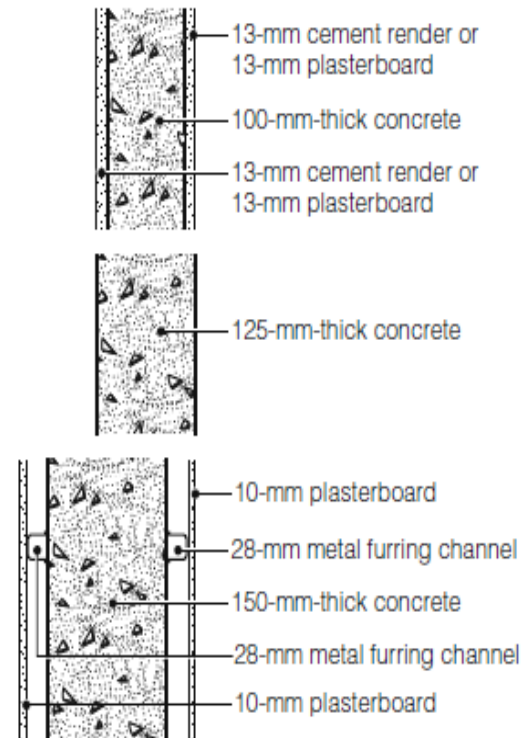
### Imagen 173: Aislamiento acústico del concreto.

#### Walls having $R_w \geq 45$ dB



#### Walls having $R_w \geq 50$ dB

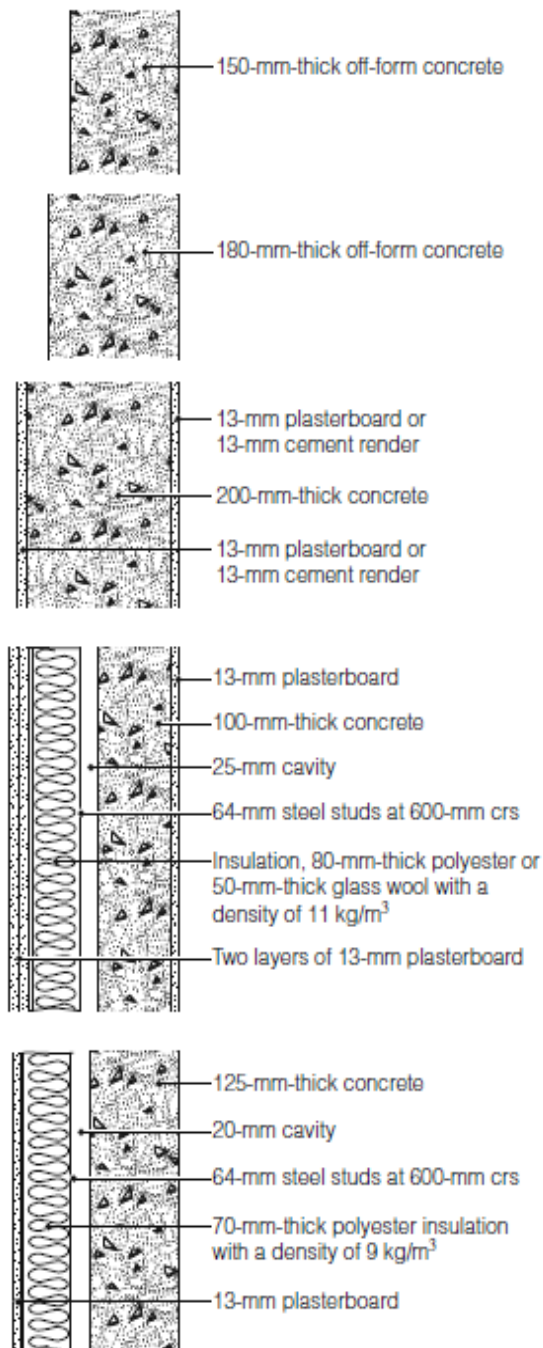
In addition to the walls below providing  $R_w + C_{tr} \geq 50$  dB



Fuente: Cement concrete & aggregates Australia.

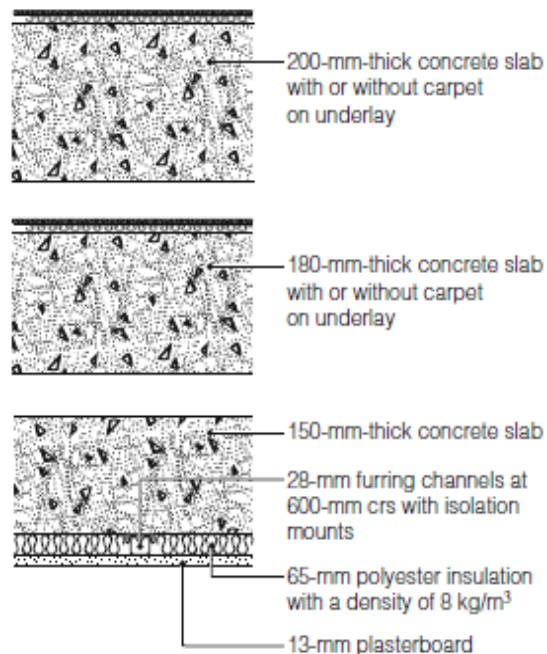
Continuación Imagen 173: Aislamiento acústico del concreto.

**Walls having  $R_w + C_{tr} \geq 50$  dB**



**Floors satisfying airborne and impact sound requirements**

( $R_w \geq 50$  dB,  $R_w + C_{tr} \geq 50$  dB and  $L_{n,w} + C_1 \leq 62$  dB)



**Floors satisfying airborne sound requirements**

( $R_w \geq 45$  dB)



Fuente: Cement concrete & aggregates Australia.



**2.6.3 Block.** Existe una amplia variedad de unidades de mampostería de concreto que varían desde su peso, a su tamaño, forma y superficie, las cuales servirán para cualquier tipo de obra arquitectónica o estructural. Esta información podrá ser proporcionada por los productores locales de acuerdo a la producción con la que cuenten pero normalmente entre los tipos block de concreto tenemos la siguiente clasificación:

- Unidades de mampostería de concreto de peso normal y peso liviano: El término de denso o peso normal y de peso liviano se derivan de la densidad de los agregados usados a la hora del proceso de manufactura. Los agregados de peso normal usados en este caso son la arena y la grava, piedra triturada. Entre los agregados de peso liviano tenemos esquistos, arcilla, escoria volcánica, ceniza volcánica y de carbón y otros materiales como la pómez. Entre los años de 1988 y 1989, en los Estados Unidos, se creó un agregado, con una unión en frío, consistente en ceniza, cemento o limo y agregados. Este nuevo agregado podría ser utilizado para unidades de mampostería de peso liviano. En general la actividad local determinará el uso de cualquiera de estos agregados. En ciertas localidades el término block de concreto, ha sido utilizado para describir a todas aquellas unidades creadas con arena, grava y piedra triturada, generalmente hablando, sin embargo los blocks de concreto están fabricados de cualquiera de los agregados mencionados anteriormente. (Panarese, Kosmatka, & Randall, 1991)

**Cuadro 26: Rangos de pesos unitarios de concretos con variedad de agregados.**

Concreto	peso unitario (kg/m <sup>3</sup> )
arena y grava	2080-2320
arena y piedra triturada	1920-2240
escoria enfriada al aire	1600-2000
ceniza de carbón	1280-1680
escoria expandida	1280-1680
ceniza	1200-2000
escoria	1200-1600
arcilla expandida, esquistos y ceniza sinterizada	1200-1440
pómez	960-1360
concreto celular	400-700

Fuente: Panarese, Kosmatka & Randall, 1991.

La clasificación del peso de una unidad de mampostería de concreto está basada en la densidad o en el peso seco por metro cubico del concreto que contiene. Una unidad es considerada como de peso liviano si esta tiene una densidad o peso unitario de  $1700 \text{ kg/m}^3$  o menor, de peso mediano si tiene una densidad de entre  $1700$  y  $2020 \text{ kg/m}^3$ , y de peso normal si tiene una densidad mayor a  $2020 \text{ kg/m}^3$ .

En adición a la densidad del concreto, el peso de una unidad de mampostería de concreto depende del volumen del concreto en la unidad. El diseño de la unidad afecta el volumen del concreto. El uso de agregados de peso liviano puede reducir el peso entre un 20 y 45%, comparado con el peso de una unidad similar hecha con agregados de peso normal, sin sacrificar las propiedades estructurales del block. Ya sea que el diseñar escoja utilizar blocks de peso liviano o normal, esto dependerá generalmente en los requerimientos de la estructura. Otra consideración es que la eficiencia del trabajador es mucho mayor utilizando block de peso liviano a utilizar blocks de peso normal.

- Unidades huecas y solidas: Los blocks de concreto esta clasificados como huecos o sólidos. Una unidad hueca es definida como aquella que su área neta de la sección transversal de concreto paralela a la cara es menor al 75% del área gruesa de la sección transversal. Unidades que cuentan con un área neta mayor al 75% son clasificadas como unidades solidas. El área neta de la mayoría de las unidades de concreto está en el rango de 50 al 70% dependiendo del ancho de la unidad, su cara, espesor y configuración. Debido a su peso reducido y fácil manejo, las unidades huecas son utilizadas mayormente que las unidades solidas. (Panarese, Kosmatka, & Randall, 1991)

Por razones estructurales algunos estándares que gobiernan a las unidades de mampostería de concreto estipulan un mínimo para la cara del block y el espesor de paredes como se muestra en la tabla a continuación:

**Cuadro 27: Mínimo de espesores de alma y caras.**

Ancho nominal de la unidad (cm)	espesor del alma	
	espesor mínimo de la cara (cm)	mínimo (cm)
8 y 10	2	2
15	2.5	2.5
20	3,125	2.5
25	3.5	2.8
30	3.75	2.8

Fuente: Panarese, Kosmatka & Randall, 1991.

Las unidades solidas son solo para necesidades especiales, como para estructuras las cuales tienen esfuerzos mayores a los usuales, para muros de carga, para aumentar la protección al fuego o para construcciones de colectores o alcantarillado. Los ladrillos de concreto y algunas otras unidades están hechos 100% solidas.

**Imagen 174: Formas y tamaños de los blocks.**



Fuente:<http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/manizales/4080020/Lecciones/Capitulo%203/MAMPOSTERIA%20ESTRUCTURAL.htm>

- Textura de la superficie: La textura de la superficie de una unidad de mampostería de concreto puede ser variada para satisfacer ya sea necesidades estéticas o por una necesidad física. Se pueden alcanzar un sinnúmero de grados de suavidad mediante los agregados utilizados, proporciones de la mezcla del concreto y la cantidad de compactación en el molde.

Una textura abierta está caracterizada por numerosos espacios y huecos grandes entre las partículas de los agregados. Una textura apretada es aquella en que los espacios entre las partículas de los agregados están llenas de pasta de cemento, y cuenta con muy pocos poros o huecos los cuales son fácilmente penetrados por el agua y el sonido. Fino, medio y granular describen la suavidad relativa de la textura. Una textura fina no es solamente suave sino hecha de partículas las cuales se encuentran muy cercanas. Una textura granular, es áspera debido al uso de partículas de gran tamaño en la superficie. Si las unidades de mampostería de concreto servirán como base para estuco o repello, la textura granular será la deseada para obtener una buena unión. Texturas granular y medias proveen una absorción de sonido aun siendo estas pintadas, siempre y cuando la pintura sea aplicada de cierta forma en la cual no tape los poros del block. Las texturas suaves o finas son preferibles para lograr pintar de manera más fácil.

**Imagen 175: Texturas.**



Fuente: <http://www.textureimages.net/concrete.html>

La mampostería de concreto es usualmente utilizada en vivienda para la construcción de muros, los cuales no sólo delimitarán la construcción y darán una imagen atractiva, también deben tener la suficiente fuerza para soportar los pisos y techos, además de soportar las condiciones climáticas de la naturaleza. Debe ser un escudo para el sonido, calor o frío y al daño ocasionado por el fuego.

- Resistencia y estabilidad estructural: Las construcciones modernas de muros de mampostería de concreto son de dos tipos en general: sin refuerzo y reforzadas. Esta clasificación está caracterizada por algunas diferencias en los requerimientos del tipo de mortero, uso de acero de refuerzo y técnicas de levantado. Ambos tipos están sujetos a los códigos de construcción.

La mampostería de concreto sin refuerzo es el tipo ordinario el cual ha sido utilizado por muchos años. Esencialmente sin refuerzo, cualquier tipo de refuerzo de acero usado en este tipo de estructuras es generalmente liviano y colocado en cantidades pequeñas en las uniones horizontales. La mampostería de concreto reforzada, por el otro lado contiene acero de refuerzo de forma que el acero y la mampostería trabajen juntos para resistir las fuerzas. Este comportamiento estructural es obtenido mediante la colocación de barras de acero de forma continua vertical y horizontal entre los núcleos o cavidades de la mampostería, y posteriormente llenando estos espacios con concreto. (Panarese, Kosmatka, & Randall, 1991)

La mampostería de concreto reforzada es utilizada cuando las cargas de compresión, flexión y corte son mayores a las soportadas por la mampostería. Es requerida en áreas donde ocurren huracanes, vientos elevados y actividad sísmica, donde el daño a las edificaciones será de mayor probabilidad.

- Conceptos básicos: En el diseño de mampostería de concreto, la resistencia a la compresión de la mampostería es una cantidad básica. La resistencia a la compresión de la mampostería debe igualar o exceder la resistencia a la compresión especificada de la mampostería ( $f'_m$ ), utilizada en el diseño estructural. Los esfuerzos admisibles en la mampostería son un porcentaje de la resistencia a la compresión especificada. La resistencia a la compresión depende de la resistencia de las unidades de mampostería y del mortero en las uniones y cavidades. De acuerdo con el instituto americano del concreto, hay dos métodos que pueden ser utilizados para determinar la resistencia de la mampostería para un mortero particular y la unidad de mampostería a utilizar en el proyecto. (Panarese, Kosmatka, & Randall, 1991)
  1. Las muestras representativas de un muro de mampostería, si están designadas a tener sus núcleos rellenos de concreto pero sin refuerzo. El procedimiento para la determinar la resistencia es realizar una división de la carga última resistida por el bloque mediante la prueba ASTM E447, dentro del área de la sección transversal del block.
  2. En caso de que no sean realizadas pruebas, la resistencia puede ser asumida en base a las tablas proporcionadas por los códigos o especificaciones.

El valor de  $f'_m$  puede ser asumido como el 75% del promedio de los valores calculados en base a las pruebas realizadas a las muestras del muro. Las pruebas a las muestras de muros de mampostería pueden ser consideradas análogas a las pruebas de cilindros de concreto. En concreto, la variabilidad de los resultados de la pruebas es llevado a consideración mediante el uso de desviaciones estándar. Para la mampostería no podemos considerar el mismo criterio por la falta de información, por lo que la resistencia a la compresión es determinada como el promedio de resultados de al menos tres muestras, este promedio debe de igualar o exceder  $f'_m$ . (Panarese, Kosmatka, & Randall, 1991)

- Los efectos de las cargas: El tipo de carga que actuara en los muros de mampostería de concreto afectara su diseño y proporciones. Los distintos tipos son cargas axiales, cargas laterales y cargas de corte.
  - Cargas axiales: la carga concretica axial permisible en un muro sin refuerzo dependerá en factores como lo son la altura del muro, el espesor del muro y la resistencia a la compresión de la mampostería. Para la facilidad en la selección de las dimensiones adecuadas de un muro, existen tablas de ayuda como lo es la siguiente tabla:

**Cuadro 28: Cargas axiales permitidas en muros de block f'm 9.3 MPa.**

altura de muro (m)	cargas axiales permisibles kg/m			
	t=15 cm	20	25	30
	Ae=857cm <sup>2</sup> /m	952	1290	1481
1.8	15,886.29	17,894.38	24,375.33	28,031.56
2.1	16,265.59	17,790.26	24,302.45	27,983.96
2.4	15,365.67	17,651.93	24,205.76	27,918.51
2.7	14,984.87	17,473.43	24,082.30	27,836.70
3	14,502.93	17,250.31	23,927.60	27,734.06
3.4		16,976.61	23,738.69	27,607.63
3.7		16,650.85	23,511.11	27,457.39
4		16,264.11	23,243.36	27,280.38
4.3			22,930.99	27,072.14
4.6			22,571.02	26,832.65
4.9			22,158.99	26,558.96
5.2				26,249.56

Fuente: Panarese, Kosmatka & Randall, 1991.

Cargas verticales en muros de cargas incluyen el peso del piso, muros, techos así como el peso propio del muro. Cuando las cargas verticales no están centradas en el muro, esfuerzos adicionales son generados debido a pandeo. Para cargas excéntricas tenemos la siguiente tabla que se presenta a continuación:

**Cuadro 29: Cargas axiales excéntricas permitidas en muros de block.**

e	muro de 15 cm.		e	muro de 20 cm.		e	muro de 30 cm.	
	carga permitida kg/cm			carga permitida kg/cm			carga permitida kg/cm	
	mortero M y S	Mortero N		mortero M y S	Mortero N		mortero M y S	Mortero N
5.1	40.7	28.2	5.7	59.0	41.0	7.6	68.4	47.6
5.6	31.4	21.8	6.4	43.8	30.5	8.3	53.4	37.2
6.1	25.6	17.7	7.0	34.9	24.2	8.9	44.4	30.9
6.6	21.6	15.0	7.6	29.0	20.2	9.5	38.0	26.5
7.1	18.6	12.9	8.3	24.8	17.2	10.2	33.1	23.0
7.6	16.3	11.4	8.9	21.7	15.0	10.8	29.4	20.5
8.1	14.6	10.1	9.5	19.2	13.4	11.4	26.5	18.4
8.6	13.2	9.2	10.2	17.2	12.0	12.1	23.9	16.6
9.1	12.0	8.3	10.8	15.8	10.8	12.7	21.8	15.3
9.7	11.0	7.7	11.4	14.4	10.0	13.3	20.2	14.1

Fuente: Panarese, Kosmatka & Randall, 1991.

- Cargas laterales: Las cargas laterales inducen importantes esfuerzos de flexión a los muros de mampostería. Las paredes de los sótanos se encuentran sometidas a presiones laterales ejercidas por los suelos a su alrededor. Además si el suelo no ha sido drenado alrededor de la base de la cimentación, se tendrá también presión hidrostática, aumentando los esfuerzos de flexión en la pared.

Notemos que en la mayoría de los casos los muros de mampostería en los sótanos de las mega estructuras, las paredes no necesitan un gran espesor, como lo sería tener un muro con marcos de madera, esto es debido a que la misma carga de este muro actúa en contra de los esfuerzos de flexión. (Panarese, Kosmatka, & Randall, 1991)

El viento y los sismos también ocasionan fuerzas laterales en los muros de mampostería. Las presiones de viento están descritas en los códigos de construcción y están en el rango de 25 a 250 kilogramo por metro cuadrado. En regiones sísmicas, los códigos de construcción, mencionan que la carga lateral estará en el rango de 5% a 20% de la carga muerta del muro. (Panarese, Kosmatka, & Randall, 1991)

Mientras que las cargas de vientos son aplicadas al exterior de los muros, los sismos actúan en ambos lados interior y exterior del muro. Los muros de mampostería de concreto resisten las cargas laterales en los tramos verticales y horizontales, dependiendo en la altura y longitud entre los muros transversales. Como por ejemplo cuando la distancia entre los soportes laterales excede la altura del muro, la flexión debido al viento es la principal en el tramo vertical. (Panarese, Kosmatka, & Randall, 1991)

- Cargas de corte: el viento y los sismos inducen además de cargas laterales, cargas de corte en los muros de mampostería. En combinación con los diafragmas de las losas, los muros de mampostería de concreto son usados para proveer estabilidad lateral a los edificios bajo cargas de viento y sismo.

**Cuadro 30: Altura máxima de muro para unidades huecas y sin refuerzo sujetas a una carga concéntrica y carga de viento.**

carga concéntrica, Kg/m	Altura Máxima de muro, m (mortero tipo S, f'm=9.3 MPa)											
	t=15 cm			t=20 cm			t= 25 cm			t= 30 cm		
	w=48 kg/m <sup>2</sup>	97	146	48	97	146	48	97	146	48	97	146
0.0	3.0	2.2	1.8	3.9	2.7	2.3	4.9	3.4	2.8	6.0	4.2	3.5
743.7		2.6	2.1	4.1	3.2	2.6	5.1	3.9	3.2	6.1	4.7	3.8
1487.5		2.9	2.4		3.6	3.0		4.3	3.5		5.1	4.2
2231.2		3.0	2.7		4.0	3.2		4.6	3.8		5.5	4.5
2975.0			2.9		4.1	3.5		4.9	4.1		5.9	4.8
3718.7			3.0			3.8		5.1	4.3		6.1	5.1
4462.4						4.0			4.5			5.4
5206.2						4.1			4.8			5.6
5949.9									5.0			5.9
6693.7									5.1			6.1

Fuente: Panarese, Kosmatka & Randall, 1991.



**Cuadro 31: Cargas axiales permitidas en muros de block reforzado sujetos a viento.**

altura de muro, m	Carga vertical axial permitida, kg/m ( $f'm=10.4$ MPa, barras al centro del muro a 80 cm)											
	muro de 15 cm con barras No. 4			muro de 20 cm con barras No. 5			muro de 25 cm con barras No. 6			muro de 30 cm con barras No. 7		
	w=48 kg/m <sup>2</sup>	97	146	48	97	146	48	97	146	48	97	146
2.4	18742	14726	10858	26774	24245	21568	34360	32427	30493	41351	39864	38377
3.0	15469	11156	3867	24692	20676	16511	32873	29749	26774	40310	37930	35550
3.7	11602	4016		22014	16362	10709	30790	26625	22312	38674	35253	31980
4.3	7437			18742	11602	4313	28410	22758	17106	36889	32427	27964
4.6	5354			16362	8776		26774	20527	14131	35699	30493	25435
4.9				15172	6544		25733	18593	11453	34509	28857	23055
5.5				11453			22609	13982	5503	32278	25138	18147
6.1				7586			19039	9371		29005	20676	12346
6.7							15469	4759		26477	16659	6991
7.3							11751			22460	11899	
7.6							9966			20676	9668	
7.9										19634	7883	
9.1										12494		

Fuente: Panarese, Kosmatka & Randall, 1991.

- Aislamiento Térmico: Para la selección y dimensionamiento del equipo de calefacción y enfriamiento de una edificación, el diseñador primero debe determinar las cargas de calor y frío que están involucradas en esta. Estas cargas están formadas por varios intercambios de calor, incluyendo la transferencia de calor a través del exterior de los muros.

Cuando la temperatura del exterior es menor a la temperatura establecida para el interior, el interior pierde calor, por lo que este debe ser reemplazado por un sistema de calentamiento. Mientras que en el otro caso, cuando la temperatura del exterior es mayor a la del interior, se aumenta el calor en el interior, por lo que este calor debe ser combatido por sistemas de enfriamiento.

- Valores de U y R: Los valores de U, son coeficientes esenciales para el cálculo del diseñar ya que de esta manera le proporcionara información del flujo de calo a través de las paredes, además de otros componentes de la edificación. Estos expresan la cantidad total de calor en Watts que un metro cubico de pared (o techo) transmitirá por hora cada grado

Kelvin de temperatura entre el lado cálido y el lado frío. (Panarese, Kosmatka, & Randall, 1991)

Otro de los valores de transferencia de calor es el valor R, el cual es una medida de la resistencia que tiene una sección de un material, y espacio de aire al flujo de calor. el valor R es para un espesor específico de una sección, y las unidades de este valor son  $^{\circ}\text{K} \cdot \text{h} \cdot \text{m}^2 / \text{W}$ . Estos valores R son útiles para estimar efectos de un componente en una sección, en cuanto al flujo de calor ya que estos puede ser sumados. (Panarese, Kosmatka, & Randall, 1991)

**Cuadro 32: Valores R basados en el peso unitario del concreto y espesor del muro.**

espesor nominal del muro, cm	aislamiento en células	valore R basados en el peso unitario del concreto ( $^{\circ}\text{K} \cdot \text{m}^2 / \text{W}$ )				
		960 kg/m <sup>3</sup>	1280	1600	1920	2240
10	llenas	3.36	2.79	2.33	1.92	1.14
	vacías	2.07	1.68	1.4	1.17	0.77
15	llenas	5.59	4.59	3.72	2.95	1.59
	vacías	2.25	1.83	1.53	1.29	0.86
20	llenas	7.46	6.06	4.85	3.79	1.98
	vacías	2.3	2.12	1.75	1.46	0.98
25	llenas	9.35	7.45	5.92	4.59	2.35
	vacías	3	2.4	1.97	1.63	1.08
30	llenas	10.98	8.7	6.8	5.18	2.59
	vacías	3.29	2.62	2.14	1.81	1.16

Fuente: Panarese, Kosmatka & Randall, 1991.

- Selección del valor U: El flujo de calor por hora puede ser calculado a través del exterior del muro de una edificación multiplicando el valor U con el área de la sección neta en metros cuadrados, posteriormente multiplicando este valor por el valor de temperatura de diseño. Para poder escoger el valor U específico se debe tener en consideración el uso de la construcción, en el caso de construcciones residenciales, el confort será el que gobernada el valor U. (Panarese, Kosmatka, & Randall, 1991)

Los muros de mampostería de concreto ofrecen cualidades de aislamiento combinadas con atracción arquitectónica. A continuación presentaremos una tabla con los valores R teniendo distintos casos de muros de mampostería de concreto.

**Cuadro 33: Valores R para muros típicos de mampostería de concreto.**

Componentes	Resistencia al calor R ( $^{\circ}\text{K} \cdot \text{m}^2 / \text{W}$ )							
	A	B	C	D1	D2	E	F1	F2
capa en la superficie exterior	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17
unidades huecas de mampostería de concreto de 20 cm, núcleos abiertos 1600 kg/m <sup>3</sup> de densidad	1.75			1.75	1.75			
núcleos llenos con aislante			4.85				4.85	4.85
ladrillo de concreto a 2240 kg/m <sup>3</sup> de densidad		0.44				0.44		
cavidad de 5 cm de aire		0.97						
unidades huecas de mampostería de concreto de 10 cm, 1600 kg/m <sup>3</sup> de densidad		1.4				1.4		
5 cm de aislamiento en cavidad						4		

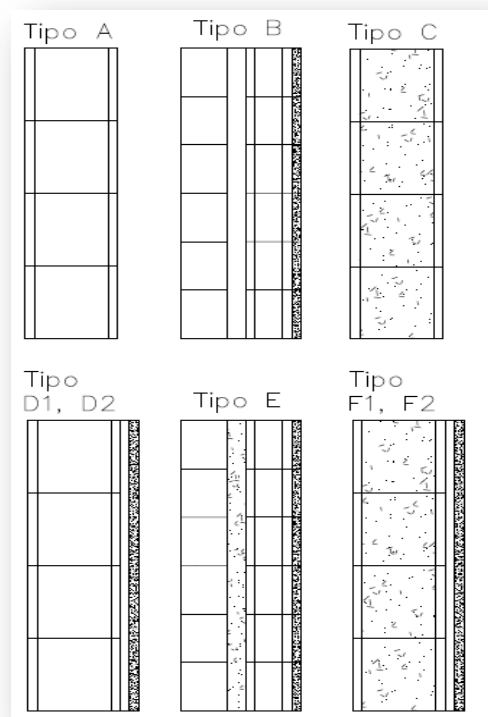
Fuente: Panarese, Kosmatka & Randall, 1991.

**TContinuación Cuadro 33: Valores R para muros típicos de mampostería de concreto.**

Componentes	Resistencia al calor R ( $^{\circ}\text{K} \cdot \text{m}^2 / \text{W}$ )							
	A	B	C	D1	D2	E	F1	F2
aislamiento entre franjas 2.5 cm 5 a 7.5 cm				3.7			3.7	
					7			7
acabado con 1.25 cm de tabla yeso				0.45	0.45		0.45	0.45
1.5 cm de repello		0.39				0.39		
capa en la superficie interior	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68
Resistencia total R	2.6	4.05	5.7	6.75	10.05	7.08	9.85	13.15
Valor U	0.3846	0.2469	0.1754	0.1481	0.0995	0.1412	0.1015	0.076

Fuente: Panarese, Kosmatka & Randall, 1991.

**Imagen 176: Muros típicos en mampostería de concreto.**



**Cuadro 34: Valores U para muros de mampostería de concreto de 15 cm con elementos huecos.**

Detalle de muro	valores U basados en la densidad del concreto utilizado en el block				
	960 kg/m <sup>3</sup>	1280	1600	1920	2240
sin aislamiento	0.32	0.34	0.38	0.43	0.55
sin aislamiento, 1.25 cm de tabla yeso	0.21	0.23	0.25	0.27	0.31
sin aislamiento 1.25 cm de tabla yeso forrado	0.15	0.15	0.16	0.17	0.19
núcleos rellenos	0.12	0.14	0.18	0.21	0.35
núcleos rellenos, 1.25 cm de tabla yeso	0.1	0.12	0.14	0.17	0.24
núcleos rellenos, 1.25 cm de tabla yeso forrado	0.08	0.1	0.11	0.12	0.16
2.5 cm de fibra de vidrio, 1.25 cm de tabla yeso	0.14	0.14	0.15	0.15	0.17
2.5 cm de poliestireno, 1.25 cm de tabla yeso	0.12	0.12	0.12	0.13	0.14
2.5 cm de poliuretano, 1.25 cm in de tabla yeso	0.1	0.1	0.11	0.11	0.12
núcleos rellenos, 2.5 cm de fibra de vidrio, 1.25 cm de tabla yeso	0.08	0.09	0.1	0.11	0.14
núcleos rellenos, 2.5 cm de poliestireno, 1.25 cm de tabla yeso	0.07	0.08	0.09	0.1	0.12
núcleos rellenos, 2.5 cm de poliuretano, 1.25 cm de tabla yeso	0.07	0.07	0.08	0.09	0.11
manta de aislamiento, 2.5 cm, 1.25 cm de tabla yeso	0.09	0.1	0.1	0.1	0.11

Fuente: Panarese, Kosmatka & Randall, 1991.

- Acústica: Los códigos de construcción normalmente regulan la cantidad de sonido el cual debe ser retenido por los muros, pisos y techos. Típicamente estos valores están entre el rango de 40 a 55 dB para sonido aéreo y de impacto.

La absorción de sonido se refiere a la cantidad de energía de sonido aéreo absorbida por la superficie de un muro adyacente al sonido. La pérdida de transmisión de

sonido es la cantidad total de sonido aéreo en decibeles perdidos mientras viaja de un muro o piso hacia otro. El aislamiento al sonido de impacto se refiere al número de decibeles perdidos a través de un piso. (Panarese, Kosmatka, & Randall, 1991)

**Cuadro 35: Clasificación acústica.**

Tipos de calcificación	Calcificación por frecuencia individual	Clasificación por clase
Absorción de sonido	SAC (coeficiente de absorción de sonido)	NRC (coeficiente de reducción de sonido)
Pérdida de transmisión de sonido	STL (perdida de transmisión de sonido)	STC (coeficiente de transmisión de sonido)
Aislación de sonido de impacto	ISPL (perdida de presión de sonido)	INR, IIC (relación normalizada internacional, aislamiento de impacto)

Fuente: Panarese, Kosmatka & Randall, 1991.

- Absorción de sonido: A continuación se presentará una tabla la cual muestra datos obtenidos de pruebas realizadas a un muro de 15 centímetros de mampostería de concreto liviano, en dos laboratorios distintos. Podremos notar cómo la absorción de sonido varía con la frecuencia. El coeficiente de absorción de sonido (SAC) es la cantidad de energía de sonido absorbida comparada con una estructura perfectamente absorbente, traducido en decibeles. El coeficiente de reducción de ruido (NRC) es encontrado promediando el SAC a frecuencias de 250, 500, 1000 and 2000 hertz.

**Cuadro 36: Coeficientes de reducción de ruido.**

Material	textura de superficie	Coficiente de reducción de sonido
Block de agregado liviano, sin pintar	granular	0.4
	mediano	0.45
	fino	0.5
Block de agregado pesado, sin pintar	granular	0.26
	mediano	0.27
	fino	0.28

**Continuación Cuadre 36: Coeficientes de reducción de ruido.**

con pintura			
pintura	aplicación	1 capa	2 capas
todas	espray	10%	20%
aceite	brocha	20%	55%
látex	brocha	30%	55%
cemento	brocha	60%	90%

Fuente: Panarese, Kosmatka & Randall, 1991.

- Pérdida de transmisión de sonido: Si los muros cuentan con los poros de su superficie sellados de al menos un lado, la pérdida de transmisión de sonido (STL) este se encuentra relacionado con el peso del muro. Cuando los poros se encuentran sellados, el muro tiende a transmitir sonido actuando como un diafragma, literalmente deteniendo el sonido de ser pasado a través de él. Debido a esto un muro más pesado tiende a reducir más la transmisión de sonido que un muro liviano. (Panarese, Kosmatka, & Randall, 1991)

Todos los valores de pérdida de transmisión de sonido a través de un muro no tienen sentido si el panel del muro cuenta con una abertura. Grandes como una abertura de ventana o pequeñas como una abertura para una tubería o conducto eléctrico, una abertura puede alterar seriamente la capacidad de reducción de sonido. Si se desea una máxima reducción de sonido, cualquier tipo de abertura debe ser cuidadosamente evitada.

**Cuadro 37: Pérdida de transmisión de sonido (ASTM E90) de muros de mampostería de concreto.**

Descripción de muro	Peso de muro (kg/m <sup>2</sup> )	Coefficiente de transmisión
<b>Muros sin pintar:</b>		
Muro de 20 cm, agregados livianos, totalmente relleno, con varillas verticales No. 5 a 1.2 m.	356	48
Muro de 20 cm, agregados livianos, hueco.	209	49
Muro de 20 cm, compuesto 10 cm ladrillos, 10 cm de unidades de agregado liviano huecos.	283	51
Muro de 20 cm de agregados densos, hueco.	258	52

**Continuación Cuadro 37: Pérdida de transmisión de sonido (ASTM E90) de muros de mampostería de concreto.**

Descripción de muro	Peso de muro (kg/m <sup>2</sup> )	Coefficiente de transmisión
Muro de 25 cm, 10 cm de ladrillos, 10 cm de unidades ligeras huecas, 5 cm de aire.	273	54
<b>muros pintados de ambos lados con 2 capas de pintura látex:</b>		
Muro de 10 cm, hueco, agregados livianos.	107	43
Muro de 10 cm, hueco, con agregados densos.	141	44
Muro de 15 cm, hueco, con agregados livianos.	136	46
Muro de 15 cm, hueco, con agregados densos.	190	48
Muro de 20 cm, agregados livianos, totalmente relleno, con varillas verticales No. 5 a 1 m.	356	55
<b>muros cubiertos con 1.25 cm de tabla yeso en ambos lados:</b>		
Muro de 20 cm, compuesto 10 cm ladrillos, 10 cm de unidades de agregado liviano huecos.	297	53
Muro de 20 cm, agregados livianos, totalmente relleno, con varillas verticales No. 5 a 1 m.	385	56
Muro de 25 cm, 10 cm de ladrillos, 10 cm de unidades ligeras huecas, 5 cm de aire.	288	57
<b>muros cubiertos con 1/2 in de tabla yeso en canales flexibles:</b>		
Muro de 4 pulgadas, hueco, agregados livianos.	126	47
Muro de 4 pulgadas, hueco, con agregados densos.	156	48
Muro de 8 pulgadas, compuesto 4 pulgadas ladrillos, 4 pulgadas de unidades de agregado liviano huecos.	292	56
Muro de 8 pulgadas, agregados livianos, hueco.	195	56
Muro de 10 pulgadas, 4 pulgadas de ladrillos, 4 pulgadas de unidades ligeras huecas, 2 pulgadas de aire.	283	59
Muro de 8 pulgadas, agregados livianos, totalmente relleno, con varillas verticales No. 5 a 40 in oc.	275	60

Fuente: Panarese, Kosmatka & Randall, 1991.



**Cuadro 38: Relación entre pérdida de transmisión de sonido a través de un muro y las condiciones de audición en el lado silencioso.**

Pérdida de transmisión, dB	Condiciones auditivas	Valuación
30 o menos	habla normal se puede entender con bastante facilidad y distintamente a través del muro	pobre
30 a 35	Conversaciones en voz alta se puede entender bastante bien, el habla normal se escucha pero no se entiende fácilmente.	aceptable
35 a 40	Conversaciones en voz alta se puede escuchar, pero no fácilmente se comprende, el habla normal se puede escuchar sólo ligeramente.	Bueno
40 a 45	Conversaciones en voz alta se puede escuchar ligeramente pero no entender, habla normal no es escuchado.	Muy bueno, recomendado para muros divisorios de apartamentos.
45 o mas	Sonidos muy fuertes, tales como cantos, instrumentos de viento musicales o de radio a todo volumen se escucha sólo ligeramente o nada en absoluto.	Excelente, recomendado para cuartos de práctica musical, estudios de radio y sonido.

Fuente: Panarese, Kosmatka & Randall, 1991.

- Aislamiento de sonido de impacto: La clasificación de sonido de impacto fue creada para combatir los sonidos molestos debido a los pasos de una persona u objetos que caen y golpean una superficie. Para tener una barrera al sonido efectiva, un piso debe de tener un aislamiento de impacto de al menos 40 dB.

**Cuadro 39: Clasificación aislamiento de impacto para entrepisos y techos.**

	Decibeles
Losa sólida de 4 pulgadas de espesor	25
Losa de concreto pretensada hueca de 6 pulgadas de espesor	23
Losa hueca de 8 pulgadas de espesor	26
Losa sólida de 10 pulgadas de espesor	29

Fuente: Panarese, Kosmatka & Randall, 1991.

**Cuadro 40: Mejoras acústicas en pisos de concreto debido a tratamientos.**

Tratamiento	mejoras en aislamiento impacto, dB
alfombra, carpeta, techo acústico	58
alfombra y carpeta	48
techo acústico	27
1.25 cm de entarimado de madera	25
corcho y techo forrado	21
techo forrado de tabla yeso	8
vinil	4
5 cm de contrapiso	0

Fuente: Panarese, Kosmatka & Randall, 1991.

- Resistencia al fuego: En términos simples, la resistencia al fuego puede estar definida como la propiedad de un material a sobreponerse o dar protección del fuego. Los muros, como un componente de construcción, tienen una función doble en su desempeño para combatir el fuego. Cuando estos se encuentran contruidos solamente para prevenir la propagación del fuego hacia otro compartimiento o edificación, se dicen que posee una barrera de resistencia en contra del fuego. Este tipo de resistencia al fuego se referirá solamente a muros con este fin, sin ser muros de carga. Cuando se requiere que los muros desempeñen funciones estructurales, para un resistir al fuego durante un periodo de tiempo, se dice que cuentan con resistencia al fuego estructural. Se presentan algunos casos en que el muro debe contener ambas propiedades. Típicamente, la resistencia al fuego estructural de un muro de mampostería de concreto excederá la resistencia que puede alcanzar un muro con función solo de barrera, por lo tanto un muro de mampostería de concreto continuará soportando una carga, aun cuando el periodo de resistencia al fuego establecido se haya excedido.

Ya sea que los muros deban cumplir con una función estructural, solamente como barrera o ambos casos, los muros de mampostería de concreto son una excelente opción como material de construcción. Debido a su flexibilidad en diseño, estos muros pueden ser diseñados o adaptados a una gran variedad de requerimientos de resistencia al fuego en muros. Llenando los núcleos de la unidad, seleccionando distintos tipos de agregados para modificar el peso unitario así como utilizar distintos tamaños de blocks, son una forma de lograr alcanzar estos requisitos.

Los muros de mampostería de concreto también cuentan con una gran durabilidad, ya que basta solamente con un espécimen de prueba al realizar la prueba ASTM E119 de prueba al fuego, además otra gran cualidad es que este material no se quema, por lo tanto no se produce humo o humos tóxicos durante el incendio.

- Factores que influyen en la resistencia al fuego: Para unidades de mampostería de concreto, el espesor equivalente del block y el peso unitario son los principales factores que influyen en la resistencia al fuego. El contenido de humedad afecta la conductividad térmica del material. Como mencionamos, la resistencia al fuego de los muros de mampostería de concreto se encontrara determinada por la transmisión de calor. Debido a que este parámetro está en función de la distribución de la temperatura a través del muro, la resistencia al fuego puede ser predicha analíticamente si el tipo de agregado y el espesor equivalente son conocidos. Referente al peso unitario, mientras este es reducido, la resistencia a la transmisión de calor incrementa, por lo tanto la resistencia al fuego incrementa. (Panarese, Kosmatka, & Randall, 1991)

**Cuadro 41: Duración total de materiales para el acabado aplicados en muros de mampostería de concreto sujetos a fuego.**

Descripción de acabado	Tiempo, min.
tabla yeso:	
1.25 cm.	15
1.5 cm.	30
2 capas de 1 cm.	25
Tabla yeso resistente al fuego:	
1.25 cm.	25
1.5 cm.	40
Recubrimiento de cemento portland-arena:	
2.2 cm.	25
2.5 cm.	30
Recubrimiento yeso-arena:	
1.25 cm,	35
1.5 cm.	40
1.875 cm.	50
Recubrimiento yeso-arena en base de malla metálica:	
1.875 cm.	50
2.2 cm.	60

Fuente: Panarese, Kosmatka & Randall, 1991.






**2.6.4 Ladrillo:** La arcilla y otros materiales derivados de esta tienen un valor importante debido a sus propiedades como material cerámico, ya que al ser sometidas a grandes temperaturas sus partículas se derriten y de este modo se fusionan para formar un elemento sumamente resistente al clima y fuerte, por lo tanto es uno de los materiales de construcción más durables que existen.

Existen distintos tipos, formas y tamaños de ladrillos, pero la American Society for Testing and Materials cuenta con una clasificación para este tipo de materiales la cual es ladrillos para fines estructurales y ladrillos para fines de fachada. Los ladrillos de construcción tienen como fin ser utilizados como elementos estructurales, o en casos donde exista una demanda de resistencia y durabilidad más que de apariencia.

De acuerdo con ASTM C62, existen una clasificación basada en requerimientos físicos los cuales están directamente relacionados con la durabilidad y resistencia al clima. El grado SW es utilizado donde se requiere una alta resistencia al congelamiento y cuando las condiciones de exposición indican la posibilidad de congelamiento cuando la unidad es permeada por agua. El grado MW es utilizado en áreas geográficas sujetas al congelamiento solamente cuando el ladrillo no estará sujeto a la permeabilidad del agua, el grado NW es únicamente permitido para aplicaciones verticales y en las cuales no estará expuesto al clima. (Beall, 1987)

La humedad en un ladrillo entra de forma capilar, cuando el agua está presente por una cantidad suficiente y por un tiempo prolongado, esta penetrará el ladrillo. La permeabilidad puede ocurrir en unidades expuestas en superficies horizontales, muros de contención etc. Pero es muy poco común que exista en muros ordinarios que se encuentran protegidos. Bajo la mayoría de circunstancias la permeabilidad en muros de ladrillos sólo podrá ser debido a una mala calidad de en la elaboración de éste o por problemas de drenaje.

**Imagen 177: Tipos de ladrillo.**

Descripción	Dimensiones (mm)			Aplicación
	Ancho	Alto	Largo	
	10	12	25	- muros no portantes - muros portantes
	12	12	25	- muros no portantes - muros portantes
	15	6	10	- muros no portantes - muros portantes
	18	6	25	- muros no portantes - muros portantes
	20	4	23	- muros no portantes - muros portantes

Fuente: <http://www.ingenierocivilinfo.com/2010/02/mamposteria-de-ladrillo.html>

**Cuadro 42: Tamaño modular de ladrillo (Brick institute of America)**

Unidad	Tamaños						
	Dimensiones (cm)			Espesor de junta (cm)	Dimensiones de manufactura (cm)		
	T	H	L		T	H	L
Estándar	10	6 2/3	20	0.9375	9	5 5/8	19
				1.25	8 3/4	5 5/8	18 3/4
Ingeniero	10	8	20	0.9375	9	7	19
				1.25	8 3/4	6 5/7	18 3/4
Económico B	10	10	20	0.9375	9	9	19
				1.25	8 3/4	8 3/4	18 3/4
Doble	10	13 1/3	20	0.9375	9	12 1/3	19
				1.25	8 3/4	12	18 3/4
Romano	10	5	30	0.9375	9	4	29
				1.25	8 3/4	5 5/8	28 3/4
Norman	10	6 2/3	30	0.9375	9	5 5/8	29
				1.25	8 3/4	5 5/8	28 3/4
Noruego	10	8	30	0.9375	9	7	29
				1.25	8 3/4	6 5/7	28 3/4
Económico 12	10	10	30	0.9375	9	9	29
				1.25	8 3/4	8 3/4	28 3/4
triple	10	13 1/3	30	0.9375	9	12 1/3	29
				1.25	8 3/4	12	28 3/4
ladrillo SCR	15	6 2/3	30	0.9375	14	5 5/8	29
				1.25	13 3/4	5 5/8	28 3/4
noruego de 15 cm	15	8	30	0.9375	14	7	29
				1.25	13 3/4	6 5/7	28 3/4
Jumbo de 15 cm.	15	10	30	0.9375	14	9	29
				1.25	13 3/4	8 3/4	28 3/4
Jumbo de 20 cm	20	10	30	0.9375	19	9	29
				1.25	18 3/4	8 3/4	28 3/4

Fuente: Beall, 1987.

- Ladrillos para usos especiales: En la industria existen ladrillos creados con propósitos especiales, como lo son por ejemplo el ladrillo refractario o conocido como ladrillo de fuego, el cual es utilizado en muchos casos para chimeneas, hornos o cualquier otro tipo de

estructura la cual estará sujeta a temperaturas elevadas. La propiedad que hace especial a este ladrillo es que el tipo de arcilla que se utiliza tiene un punto de fusión mucho más elevado que la arcilla ordinaria, por lo tanto este tipo de ladrillos es sumamente resistente a altas temperaturas evitando así que este se raje, o se deforme.

- Resistencia a la compresión: La resistencia a la compresión de un ladrillo está basada en su área gruesa. Los ladrillos extruidos generalmente tienen una resistencia a la compresión mucho más elevada y una absorción más baja que aquellos ladrillos producidos con un barro blando o un proceso de prensado en seco. Para una arcilla en específico y un método de manufactura, una resistencia a la compresión alta y una absorción baja están conjuntamente relacionadas con una alta temperatura de fusión. Normalmente los valores mínimos de resistencia a la compresión son sobrepasados en su mayoría por los productores.

La resistencia a la compresión de los ladrillos de arcilla son usualmente mayores a los que puede alcanzar una unidad de concreto, ya que para un ladrillo estándar, la capacidad puede estar en el rango de 10 a 155 MPa, con una cantidad mayoritaria de unidades que excederán los 31 MPa. (Beall, 1987)

**Cuadro 43: Requerimientos mínimos**

unidad	clasificación	Resistencia mínima a la compresión con área gruesa (Mpa)		Absorción Máxima de Agua mediante 5 hrs de de hervir (%)		C/B coeficiente de saturación máxima	
		promedio de 5 pruebas	unidad individual	promedio de 5 pruebas	unidad individual	promedio de 5 pruebas	unidad individual
Ladrillo de construcción	SW	20.68	17.24	17	20	0.78	0.8
	MW	17.24	15.17	22	25	0.88	0.9
	NW	10.34	8.62	no hay limite		no hay limite	
Ladrillo de fachada	SW	20.68	17.24	17	20	0.78	0.8
	MW	17.24	15.17	22	25	0.88	0.9
Ladrillo hueco	SW	20.68	17.24	17	20	0.78	0.8
	MW	17.24	15.17	22	25	0.88	0.9

Fuente: Beall, 1987.

**Cuadro 44: Resistencia a la compresión en ladrillos**

Resistencia a la compresión		Módulo de ruptura	
Rango (MPa)	Porcentaje de producción en el rango	Rango (MPa)	Porcentaje de producción en el rango
144-155	0.46	14-23	6.95
134-144	0.69	13-14	3
124-134	0.46	12-13	2.74
113-124	2.04	11-12	7.57
103-113	1.49	10-11	8.34
93-103	3.71	9-10	5.34
82-93	4.76	8-9	7.12
72-82	7.78	7-8	10.55
62-72	8.61	6-7	10.44
51-62	11.92	5-6	13.6
41-51	15.47	4-5	11.74
37-41	16.81	3-4	7.52
20-31	17.97	2-3	4.35
10-20	7.46	1-2	0.37
0-10	0.36	0-1	0.37
porcentaje total	99.99	porcentaje total	100

Fuente: Beall, 1987.

- Absorción: El peso de un producto de arcilla esta en el rango de 1600 a 8000 kg. Por metro cubico. Ciertas variaciones podrán ser atribuidas al proceso de manufactura del producto. Una alta densidad y peso provienen de una molienda fina de la materia prima, una mezcla uniforme, la presión ejercida en la arcilla mientras es extruida o quemada para alcanzar dureza. Hoy en día algunos productores están agregando materia orgánica a la mezcla para lograr reducir el combustible, teniendo como resultado un ladrillo con un peso liviano y con muy poco efecto en la resistencia y absorción. El proceso de extrusión produce un ladrillo muy denso, con características como alta resistencia y un bajo porcentaje de huecos. Ya que las propiedades de absorción son afectadas por el método de manufactura y el grado de temperatura a la que se quema la arcilla estos factores indican una relación estrecha entre la absorción total, peso, densidad y resistencia a la compresión. Con algunas excepciones, al quemarlos a altas temperaturas, las unidades lograran tener mayor resistencia, alta densidad y una menor absorción. (Beall, 1987)

La absorción de un ladrillo es definida como el peso de agua que obtiene la unidad bajo ciertas condiciones de prueba, y es expresado en un porcentaje del peso seco de la

unidad. Ya que una absorción elevada de un ladrillo puede causar problemas de absorción en un muro, American society of testing and materials propone un límite de absorción para el grado SW de 17% y para el grado MW 22%.

Una de las propiedades importantes de los ladrillos la cual es crítica ya que afecta la resistencia del mismo es la tasa inicial de absorción o succión. Los ladrillos que tienen una alta succión absorberán el agua del mortero demasiado rápido, evitando la unión, una hidratación correcta y curado correcto del mortero. De acuerdo con estudios, una máxima resistencia y una baja absorción ocurren en unidades con una tasa inicial de absorción menor a  $0.0012 \text{ m}^3/\text{s}$ . Los ladrillos que tienen una tasa inicial de absorción elevada, deberán de ser mojados previamente a la instalación para evitar dichos problemas.

El coeficiente de saturación, conocido como C/B, es una medida de la relación de dos aspectos de la absorción del agua, la cantidad que es absorbida fácilmente y la cantidad de agua que es absorbida bajo presión. La variable C es determinada por medio de la prueba de dejar por 24 horas los ladrillos bajo agua y determinar la cantidad de agua fría absorbida, y la variable B es determinada por medio de la prueba de 5 horas de absorción por hervor. La relación debe ser de 0.78 o menor para cumplir con los estándares de ASTM. El C/B determinar el volumen de los espacios de los poros abiertos que permanecen luego de que la absorción libre ha ocurrido. Esto es importante bajo ciertas condiciones climáticas como cuando una unidad ya ha absorbido agua y necesita espacio para expandirse para así evitar daños en la arcilla. Esta teoría no aplica para unidades huecas. (Beall, 1987)

- Durabilidad: La durabilidad de una unidad de mampostería de arcilla o barro, se refiere a la habilidad que esta tenga para soportar los cambios climáticos en presencia de humedad, ya que esta es la prueba más severa a la que estará sujeta una unidad. La resistencia a la compresión, absorción y el coeficiente de saturación son evaluados juntamente como un indicador de la resistencia que tendrá al estar a la intemperie ya que no es posible asignarle valores específicos a esta característica. (Beall, 1987)

La resistencia al desgaste y la abrasión son aspectos importantes de la durabilidad para un ladrillo y para el revestimiento de una estructura que llevara en si un drenaje, desechos industriales, etc. La resistencia a la abrasión esta también ligada con el grado a la que se quemara la arcilla a la hora de preparar el ladrillo. Entre más fuerte sea la unidad y tenga menos absorción, su resistencia será mucho más grande.



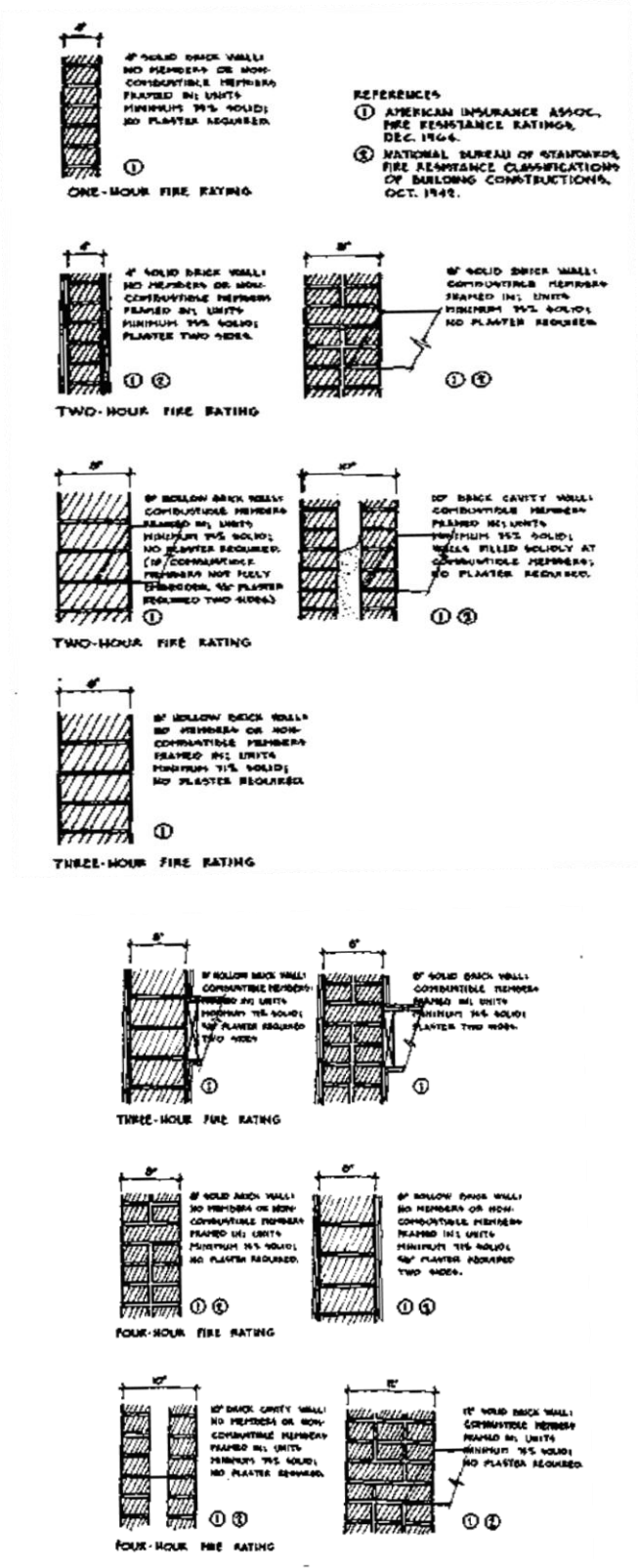
- Coeficientes de expansión: Los productos de arcilla están entre los materiales de construcción más estables en cuanto a sus dimensiones. Estos no se encojen por ninguna circunstancia de exposición, pero si se expanden bajo ciertas condiciones climáticas y de humedad. El coeficiente de expansión térmica va desde 0.00021 centímetros por grado Celsius para unidades de arcilla refractaria, hasta 0.00028 centímetros por grado Celsius para unidades de superficie. (Beall, 1987)

Esta diminutiva expansión o contracción de la unidad normalmente es absorbida por la flexibilidad del mortero del muro. La expansión por humedad sin embargo no es reversible. Según algunos estudios han asignado un valor tentativo de 0,0067 centímetros por grado Celsius para el coeficiente de expansión por humedad. Las juntas para aliviar presión deben de ser asignadas en este tipo de estructura para permitir el movimiento provocado por la expansión térmica, ya que se podrán presentar graves problemas en la estructura cuando los elementos de concreto actúen con restricción a la expansión de las unidades de arcilla.

- Resistencia Térmica y al fuego: La resistencia al fuego de la mampostería de arcilla y sus propiedades térmicas son determinadas por la masa. Las características de una unidad individual no son consideradas, sino que los rangos son establecidos por un muro terminado.
- Resistencia al fuego: Las propiedades contra el fuego de los materiales de construcción están clasificadas en dos categorías básicas: combustibilidad y resistencia al fuego. La mampostería está clasificada como un material no combustible y su resistencia al fuego está basada por la norma del ASTM. A lo largo del tiempo se han llevado a cabo extensas prueba a muros de mampostería para determinar su resistencia en caso de existir algún incendio, por varias entidades, con los cuales se han logrado llegar a determinar espesores mínimos de los distintos materiales o combinación de estos para lograr los rangos de duración de 1,2,3 a 4 horas.

Los rangos del ladrillo y elementos de arcilla dependerán en cierta medida del porcentaje del área de núcleo en unidades individuales. Una unidad de 20 centímetros hueca obviamente contiene menos masa que una unidad solida, por lo tanto ofrecerá menos resistencia al fuego y al calor, a continuación se listan distintos tipos de muro resistentes al fuego.

Imagen 178: Muros de mampostería resistentes al fuego.



Fuente: Beall, 1987.

- **Propiedades térmicas:** La eficiencia térmica de un material de construcción se basa en su resistencia al flujo de calor. Los coeficientes R son una medida de la resistencia que tiene un material bajo una temperatura constante del diferencial de la temperatura de un lado y el otro del muro, siendo esta conocida como la condición estática. La resistencia térmica de un material depende de la densidad del material, debido a esto la mampostería es clasificada como un aislante pobre.

La transferencia de calor a través de materiales sólidos no es instantánea. El tiempo que tarda la absorción de calor en el material se llama retardo térmico. Se sabe que todos los materiales absorben por lo menos un poco de calor, pero la mampostería debido a su densidad y gran masa causan que tengan una absorción de calor lenta y una retención más larga que otros materiales.

Por siglos la gente ha sabido que las construcciones con mampostería son térmicamente mucho más estables que otro tipo de construcciones. Esto se puede comprobar con la teoría de transferencia de calor, ya que como se sabe el calor fluye del calor al frío, mientras que la temperatura aumenta de un lado del muro el calor comienza a migrar al otro lado del muro más frío, pero mientras esta transferencia ocurre el muro debe someterse a un aumento de temperatura. La cantidad de energía necesaria para lograr este aumento de temperatura es proporcional al peso del muro, por lo tanto la mampostería es lo suficientemente pesada para almacenar el calor y retardar su migración. Esta característica es conocida como capacidad de aislamiento. (Beall, 1987)

- **Propiedades acústicas:** Muchos de los materiales utilizados para trabajos de resistencia y durabilidad tienen una baja absorción de sonido. La mampostería, madera, acero y el concreto tienen absorciones bajas en un rango de 2 al 8%. Los ladrillos densos tienen un rango de 1 a 3%. El pintar la superficie del muro, hará que los poros se sellen y disminuirá más la capacidad de absorción de sonido del material. Las unidades convencionales de mampostería absorben un poco el sonido debido a su densidad y sus superficies impermeables. Existen unidades especiales de mampostería las cuales combinan una alta absorción de sonido con una baja transmisión de sonido sin sacrificar la resistencia de la misma. (Beall, 1987)

La resistencia a la transmisión del sonido dependerá de cuatro factores: la frecuencia del sonido, la masa del muro, el espesor del muro y el método por el que los bordes del muro están anclados. Para muros homogéneos, la resistencia a la transmisión de

sonido aumenta con el peso unitario. Cuando las superficies son impermeables, el sonido será transmitido solamente por la acción de diafragma. Entre más grande sea la inercia de un muro o su resistencia a la vibración, mas grande será su habilidad para prevenir la transferencia de sonido.

Sellar los poros de los muros tiene sus ventajas y desventajas, primero que nada el sellar los poros aumenta el coeficiente de transmisión de sonido el cual es un coeficiente que representa en general la que tan aislante es un material al sonido, de esta forma se lograra disminuir la transmisión de sonido, pero se reducirá también la absorción del material al sonido por lo que esto puede ser no deseado. Como regla en general se deben dejar superficies porosas en áreas con mucho sonido, y se deben de sellar los poros en áreas de vivienda.

**Cuadro 45: Clasificación de coeficiente de transmisión para muros de mampostería**

Reducción (dB)	Descripción de muro
	<b>muros sin pintar</b>
39	baldosa de arcilla estructural de 10 cm,
45	baldosa de arcilla estructural de 20 cm.
45	ladrillo para exterior de 10 cm.
50	ladrillo para exterior y baldosa de arcilla estructural 20 cm.
50	ladrillo para exterior de 25 cm. con espacio de aire de 5 cm.
51	muro de ladrillo de 15 cm.
52	muro de 20 cm. de ladrillo solido
59	muro de 30 cm. de ladrillo solido
59	muro reforzado de 25 cm. de ladrillo
	<b>muros repellados</b>
50	10 cm. de ladrillo y 1.25 cm. de repello de un lado
	<b>muros con tabla yeso</b>
53	20 cm. de ladrillo solido y 1.25 cm. de tabla yeso.

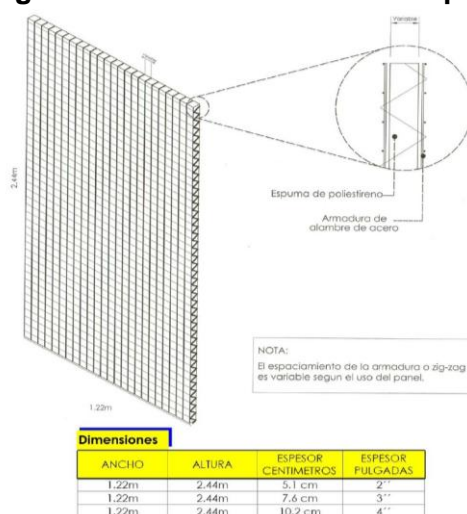
Fuente: Beall, 1987.

**2.6.5 Panel estructural o electro panel:** Con el avance de la tecnología dentro del campo de la ingeniería civil se han ido creando un sinnúmero de materiales con el propósito de optimizar tanto tiempo como material, y brindar una facilidad de montaje del mismo. Uno de estos materiales relativamente nuevos es el electro panel el cual es un panel basado en el ferrocemento, este es un material compuesto de mortero y un emparrillado de acero de diámetro pequeño. Dicho electro panel cuenta con un emparrillado tridimensional, con dos capas de electro malla soldada de calibre 12 ó 14 a lo ancho del panel, y cuenta con una forma de zigzag en acero en su eje transversal, formando así la estructura tridimensional. Luego de esto cuenta con un núcleo de espuma de poliestireno expandido para complementar el panel. Dicho Panel cuenta con un espaciamiento mínimo de 9.5 mm entre el núcleo de poliestireno y la malla de acero para lograr un mejor adición del mortero.

Este material cuenta con una gran variedad de ventajas, debido a su alta resistencia estructural como a su resistencia a la intemperie. Proporciona una alta trabajabilidad ya que puede ser moldeado con facilidad, y permite abarcar luces mayores sin necesidad de aumentar apoyos. Entre sus principales ventajas se tiene: ligereza, rapidez de instalación, economía, resistencia, aislamiento acústico y térmico, ignífugo y sismo resistente entre otros.

Las medidas generales de estos paneles son de un ancho de 1.22 metros por 2.44 metros de largo. El peso propio de dichos paneles con un recubrimiento de 25 mm de mortero en ambas caras, esta alrededor de 124 kg/m<sup>2</sup>.

**Imagen 179: Estructura de electro panel.**



Fuente: HOPSA

- **Propiedades mecánicas:** La idea fundamental de este material es que el concreto puede sufrir deformaciones importantes en la cercanía del refuerzo y la magnitud de las deformaciones depende de la distribución y subdivisión del refuerzo a través de la masa de concreto. Existen diferentes tipos de electropanel y su diferencia radica principalmente en la estructura de malla electrosoldada, tanto en el calibre del alambre como la separación entre las escalerillas de acero en forma de zigzag, también existen diferencias en el espesor del núcleo de poliestireno expandido, aunque estas no producen una variación importante en la resistencia del material. (Alfaro, 2004)

**Cuadro 46: Propiedades mecánicas y físicas del electro panel.**

Propiedades generales	unidad	valor
<b>sin mortero</b>		
Ancho	m	1.22
Largo	m	2.44
Espesor	m	0.076
Diámetro de alambre calibre 14	mm	2
área del alambre calibre 14	cm <sup>2</sup>	0.0323
esfuerzo de fluencia en el alambre del panel $f_y$	kg/cm <sup>2</sup>	3937
esfuerzo de fluencia en el acero de refuerzo $f_y$	kg/cm <sup>2</sup>	4220
Modulo de elasticidad de alambre	kg/cm <sup>2</sup>	$2.03 \cdot 10^6$
peso del panel	kg	4.2
esfuerzo permisible del alambre al cortante $f_a$	kg/cm <sup>2</sup>	1396
densidad de la espuma	kg/cm <sup>3</sup>	12 a 15
esfuerzo a compresión de la espuma	kg/cm <sup>2</sup>	1.1 a 1.4
esfuerzo al cortante de la espuma	kg/cm <sup>2</sup>	7 a 8
resistencia a la flexión de la espuma	kg/cm <sup>2</sup>	2 a 3
absorción de agua (sumergido)		
después de 8 días	% en volumen	0.65
después de 1 año	% en volumen	5
Modulo de elasticidad de la espuma	kg/cm <sup>2</sup>	40
<b>Con Mortero</b>		
Resistencia mínima a compresión con mortero 1:3	kg/cm <sup>2</sup>	70
modulo de elasticidad del mortero con proporción 1:3	kg/cm <sup>2</sup>	137719
Resistencia a compresión del concreto con agregado máximo de 1/2	kg/cm <sup>2</sup>	150

Fuente: Alfaro, 2004.

**Cuadro 47: Capacidades del electro panel sin refuerzo.**

Característica	unidad	valor
resistencia al cortante horizontal del muro/m.l	kg	2586
Momento máx. positivo para losa (d=11.31)	kg-m	247.82
momento máximo negativo para losa (d=9.31)	kg-m	203.17
resistencia al cortante vertical del alambre/m.l	kg	816.13
resistencia al cortante vertical del mortero/m.l	kg	2091.65
Cortante máx. resistente con f.s=1.5	kg	1938.52

Fuente: Alfaro, 2004.

El electro panel es utilizado en la construcción de viviendas en muros interiores y exteriores, tanto en edificaciones de 1 y 2 niveles, teniendo en cuenta que en construcciones de 1 nivel estas pueden ser construidas sin ningún refuerzo alguno, mientras que en las edificaciones de dos niveles es de suma importancia considerar el refuerzo debido a las cargas transmitidas por la losa del techo. Este material tiene un uso importante en edificaciones de varios niveles ya que permite una reducción en la carga muerta de la estructura.

El electro panel puede ser utilizado para la construcción de losas, en techos donde pueden alcanzar hasta 4.5 metros sin refuerzo y en losas de entre pisos alcanzando los 3.5 metros sin refuerzo, soportando cargas vivas como muertas tal y como lo hacen las losas de otros materiales. Además puede ser utilizado como vigas de soporte, techos de entrada, techos para cartport, sillares de ventanas, cornisas, chimeneas, gradas, jardineras, etc.

- Sismo resistencia: Ensayos de laboratorio realizados sobre un prototipo de dos plantas en escala real, han demostrado que la estructura resiste a solicitaciones superiores a las del efecto de un sismo de Primera Categoría, sin sufrir daño de ninguna clase. Los resultados obtenidos con estos ensayos representan la confirmación científica, numerosos edificios realizados con el sistema han soportado con éxito los más severos sismos en muchos países del mundo sin sufrir daños. (Baupanel)

**Imagen 180: Uso de electro panel.**



Fuente: [www.covintec.com](http://www.covintec.com)

- Aislamiento térmico: El electro panel cuenta con un aislamiento térmico tanto de la espuma de poliestireno expandido, el cual es un excelente aislante, como del mortero el cual se le es colocado, logrando así aumentar en una cantidad considerable su coeficiente de aislamiento total.

La gran ventaja que se destaca de este sistema es su excelente propiedad para el aislamiento térmico teniendo un valor de resistencia total  $K$  de un panel compuesto de 4cm de poliestireno expandido de densidad de  $15 \text{ kg/cm}^3$  y dos caras de mortero con un espesor total de 10cm, es de  $0.78 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ \text{K}$ . si contamos con el mismo caso solo que con un espesor de 8cm de poliestireno expandido la transmisión se reduce a un factor de  $0.49 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ \text{K}$ .

Evidentemente estos factores de aislamiento térmico son bajos comparados con el resto de materiales de los sistemas tradicionales de construcción en muros. Según estudios estos resultados se pueden traducir a que con estos niveles de aislamiento hay una reducción de consumo de energía hasta de un 40% dependiendo los casos, por lo que representa una gran ventaja a la hora de tomar una decisión en cuanto a que material utilizar en la construcción. (Baupanel)



Para lograr tener una mejor idea de la magnitud del aislamiento térmico que contiene este material compuesto a continuación se presenta una tabla con los distintos coeficientes de aislamiento de otros materiales comparados con el del electro panel:

**Cuadro 48: Coeficientes U de electro panel y otros materiales de construcción.**

Material	espesor (cm)	U (W/m <sup>2</sup> °K)
Muro de electro panel con mortero de 25mm sobre ambas caras.	10.7	0.545
Muro de tabique	14	4.428
Muro de mampostería de concreto	20	4.465
Muro de concreto	10	14.87

Fuente: Alfaro, 2004.

- Propiedades acústicas: Otra de las propiedades que contiene este material es su gran capacidad para aislar el sonido. Con este material se logra alcanzar un nivel de sonido en vivienda está alrededor de 50 decibeles, mientras que el nivel de sonido en el exterior es de 70 decibeles.

Según estudios realizados a dicho material, con los paneles simples añadiendo 3.5 cm de espesor de mortero de cada lado, se puede alcanzar una reducción media o aislamiento acústico de 43.5 decibeles, en el caso de paredes compartidas con las cuales según normas es de suma importancia alcanzar un mayor aislamiento se puede añadir dos centímetros más de mortero para lograr un aislamiento de 50.6 decibeles. (Baupanel)

**Cuadro 49: Reducción de sonido electro panel y otros materiales de construcción.**

Material	espesor (cm)	Reducción sonido
Muro de electro panel con mortero de 25mm sobre ambas caras.	11	44
Muro de tabique	14	33
Muro de mampostería de concreto	20	46
Muro doble de tabla roca	8	27.2

Fuente: Alfaro, 2004.

- Resistencia al fuego: Entre otras propiedades el electro panel tiene la capacidad de resistir al fuego, aunque esta capacidad es absorbida en si cuando trabaja como material compuesto, ya que el concreto es el que permite la resistencia hasta por más de una hora con una capa de mortero lo suficientemente gruesa. El poliestireno expandido es un material el cual no puede ser sometido al fuego ya que es un material que se consumirá inmediatamente con el fuego, a pesar de esto este material es auto extingible y no propaga llamas como otros.
- Otras propiedades: El electro panel es un material muy resistente a la intemperie, hablando específicamente del núcleo de poliestireno, que además de esto cuenta con una baja permeabilidad lo que permite mantener un ambiente seco dentro de la vivienda. Cabe mencionar que el mortero conjunto al acero brindan la resistencia estructural de dicho sistema, pero en muchos casos el mortero tiende a rajarse debido a los esfuerzos a los que se encuentra sometido de esta manera, la humedad puede ingresar de forma más rápida al refuerzo de acero y a la malla de acero creando oxidación en esta lo que puede repercutir en una reducción de la resistencia estructural hasta lograr daños elevados en la estructura por lo que se debe lograr una buena mezcla de mortero como de un mejor sistema de ferrocemento para evitar rajaduras en este y lograr que el sistema sea resistente a la intemperie.

**Imagen 181: Material compuesto (ferrocemento).**



Fuente: [www.panelw.com](http://www.panelw.com)

Para obtener los valores de las propiedades del material de construcción se deben de someter a distintas pruebas las cuales se encuentran normadas, estas normas nos proveen de parámetros los cuales deben de ser satisfechos por estos materiales para ser considerados adecuados, certificados y seguros para su utilización, entre las normas que debe satisfacer, el electro panel tenemos las siguientes:

**Cuadro 50: Normas a considerar en electro panel.**

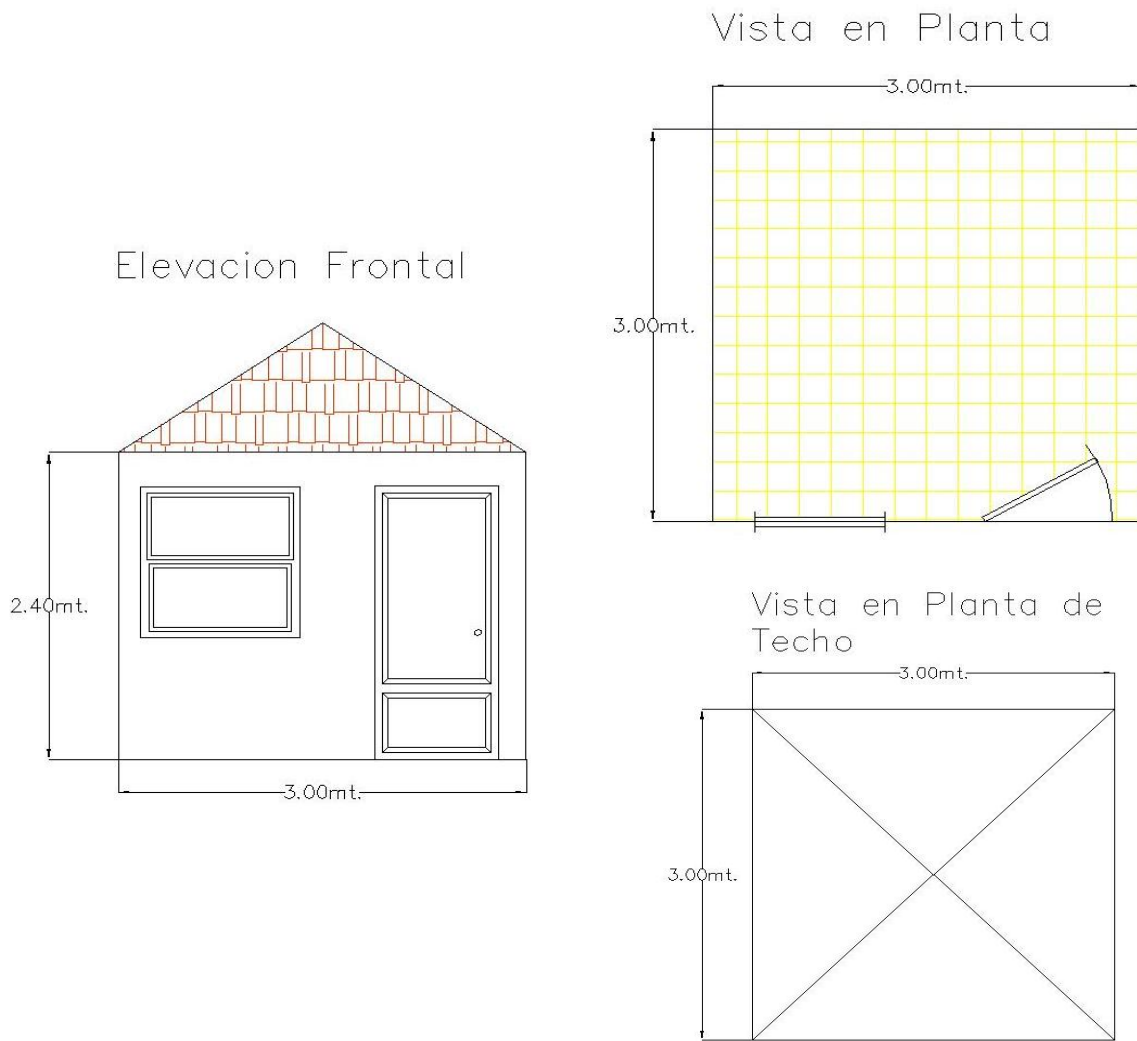
Propiedad	Norma
Expansión de llama	ASTM E-84
Desarrollo de humo	ASTM E-84
revenimiento	ASTM C-143
Resistencia al fuego	ASTM E-119
Coeficiente de reducción de ruido	ASTM C423
contenido de humedad	ASTM D-1037
cemento para el mortero	ASTM C-150
cemento para el mortero	ASTM C-175
cemento para el mortero	ASTM C-205
Arena Natural	ASTM C-35
Poliestireno	ASTM D-1623
Malla electro soldada	ASTM A-85
Alambre	ASTM A-82 y A-85
aditivos para trabajabilidad	ASTM C-260

Fuente: Alfaro, 2004.

# 3. Resultados

Para el siguiente análisis comparativo se utiliza una habitación la cual cuenta con el mínimo de metros cuadrados permitidos por el reglamento de construcción de Guatemala. Según este reglamento, el área mínima está comprendida por 9 metros cuadrados, dicha habitación contará con una ventana y una puerta. La altura de la vivienda será de 2.4 metros. El área de iluminación estará comprendida por el 15% del área de la superficie del piso de la habitación y la puerta tendrá medidas estándar de 2.1 metros de altura y 0.9 metros de ancho. La habitación se representará de la siguiente manera:

**Imagen 183: Planta y elevación de habitación.**



**Cuadro 51: Dimensiones de modelo de habitación.**

Descripción	Dimensión
Lado	3.00 m
Altura habitación	2.40 m
Altura puerta	2.10 m
Ancho puerta	0.90 m
<b>Áreas</b>	
Área planta	9.00 m <sup>2</sup>
Área superficial de paredes	25.56 m <sup>2</sup>
Área de ventana	1.35 m <sup>2</sup>
Área de puerta	1.89 m <sup>2</sup>
Área techo	10.82 m <sup>2</sup>

Este modelo permitirá poder tener una mejor aproximación de los valores de aislamiento acústico y térmico para realizar el análisis, ya que se podrá tomar en cuenta las distintas pérdidas debido a ventanas y puertas, además nos permitirá considerar el aporte que tendrá el techo en la habitación.

Para poder llevar a cabo la comparación de costos de los métodos constructivos, es muy importante poder estandarizar los parámetros de comparación y comparar todo de la misma manera.

El análisis comparativo de las propiedades de los materiales será realizado mediante la capacidad de los materiales que presentaran bajo las distintas circunstancias, tales como lo son el sonido, el clima, resistencia, etc. Con base a lo anterior se asigna clasificara según su desempeño, para luego determinar ventajas y desventajas de los materiales.

### 3.1. Análisis comparativo: costos de construcción

Se tomarán los siguientes criterios para la comparación y presupuestación de la vivienda:

- Se construirá una losa de cimentación (ya que en todos los métodos se construye dicho tipo de cimentación cuando existe un mal suelo, y al no tener la especificación del terreno se construirá de esta manera).
- Se construirá un techo liviano de estructura metálica con lámina Galvanizada Cal. 26.
- Se dejarán los acabados de la casa sin pintura, barniz o sellador ya que estos no se pueden comparar, pero se dejará la superficie lista para esto(lisa).

- No se incluye ningún porcentaje de utilidad, imprevistos o impuestos.
- No se tomará en cuenta presupuestar lo siguiente (al no influir en el análisis de costos):
  - Limpieza, conformación y compactación de plataforma
  - Fundición de losa de cimentación
  - Ventanería y puertas
  - Estructura de techo (igual en todas)
- Todas serán presupuestadas con los requerimientos mínimos de diseño presentadas en este documento (ninguna llevara un diseño estructural óptimo)
- Los precios incluirán mano de obra y materiales (sin supervisión). Los precios que se utilizarán son los precios tomados de la empresa Grupo Guatemalteco de Desarrollo S.A. proporcionados por el Ing. José Rafael Cruz Quezada, residente de proyectos en la empresa, colegiado No. 10,541.
- **Presupuesto de vivienda de mampostería (block):** Para esta vivienda, se diseño con las técnicas presentadas anteriormente, y se llego al siguiente Diseño:
  - ✓ Columnas de 0.15 m x0.20 m en cada esquina de la casa y al centro de los muros.
  - ✓ Marco de puerta de 0.10 m x0.15 m
  - ✓ Block de concreto de 35Kg/cm<sup>2</sup> de 0.14 mx0.19 mx0.39 m

**Cuadro 52: Costo de vivienda de mampostería**

No.	Renglón	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Precio total
1	M2 de block de 35 kg/cm <sup>2</sup> de 0.14x0.19x0.39 ( sin incluir soleras, sillares o columnas)	m <sup>2</sup>	13.95	Q157.94	Q2,203.26
2	Fundición de columnas de 0.15x20x2.4 m con concreto 3000 Psi (sin incluir el costo del refuerzo)	Unidad	8	Q166.40	Q1,331.20
3	Fundición de soleras (humedad, intermedia y de corona) de 0.15x0.20x12m (no incluye costo de refuerzo)	Unidad	3	Q702.41	Q2,107.23
4	Fundición de marco para puerta (0.10x0.15x5.1) con concreto 3000 Psi (no incluye costo de refuerzo)	Unidad	1	Q149.26	Q149.26
5	Quintal de acero colocado	qq	8.3	Q523.89	Q4,348.29
6	Repello (tipo monocapa) exterior e interior	m <sup>2</sup>	49.02	Q51.45	Q2,522.08
				<b>Total</b>	<b>Q12,661.32</b>

- **Presupuesto vivienda de panel estructural:** Para el diseño de esta vivienda se tomó en cuenta lo siguiente:

- ✓ Panel estructural de 0.15m de ancho (con todo y lanzado).
- ✓ Lanzado de Mortero tipo I.
- ✓ Anclajes a la cimentación de ½" de diametro, grado 60.

**Cuadro 53: Costo de vivienda de panel estructural**

No.	Renglón	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Precio total
1	Costo de panel estructural (incluye transporte)	m <sup>2</sup>	24.51	Q270.15	Q6,621.38
2	Costo por instalación (incluye costo de pines de 1/2" grado 60)	m <sup>2</sup>	24.51	Q98.90	Q2,424.04
3	Lanzado de mortero estructural con acabado cernido	m <sup>2</sup>	49.02	Q99.90	Q4,897.10
				<b>Total</b>	<b>Q13,942.51</b>

- **Presupuesto de vivienda con muros fundidos con formaleta metálica:** Para el diseño de esta vivienda se tomó lo siguiente:
  - ✓ Muros de 11 centímetros de espesor (El mínimo permitido según AGIES)
  - ✓ La cuantía de acero global fue de 1.5%
  - ✓ Concreto 3000 PSI

**Cuadro 54: Costo de vivienda de muros fundidos**

No.	Renglón	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Precio total
1	Concreto 3000 Psi para muro de 2.4 m de alto y un espesor de 0.11 m	m <sup>3</sup>	2.8017	Q1,201.00	Q3,364.84
2	Colocación de formaleta metálica (mano de obra y de renta de formaleta)	m <sup>2</sup>	49.02	Q17.65	Q865.20
3	Quintal de acero colocado	qq	12	Q523.89	Q6,286.68
4	Repello (tipo monocapa) exterior e interior	m <sup>2</sup>	49.02	Q51.45	Q2,522.08
				<b>Total</b>	<b>Q13,038.80</b>

- **Presupuesto de Vivienda de Madera:** Para el diseño de esta vivienda se tomo lo siguiente:

- ✓ Entramados estructurales de 3"x 4" madera Tratada
- ✓ Recubrimiento de planchas de madera tratada de 1"

**Cuadro 55: Costo de vivienda de madera**

No.	Renglón	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Precio total
1	Costo de reglas de 3x4" de entramados estructurales (madera lignum tratada)	m <sup>2</sup>	24.51	Q110.30	Q2,703.45
2	Costo de recubrimiento de planchas de madera ( tratado contra corrosión)	Unidad	49.02	Q189.15	Q9,272.13
3	Mano de obra para montaje	Unidad	49.02	Q50.00	Q2,451.00
				<b>Total</b>	<b>Q14,426.59</b>

### 3.1.1 Ponderación de métodos

**Cuadro 56: Comparación y ponderación de costos**

Sistema constructivo	Costo calculado	Puntuación	Clasificación
Madera	Q 14,426.59	8.4	Regular
Block	Q 12,661.32	10	Excelente
Concreto	Q 13,038.80	9.5	Excelente
Electro Panel	Q 13,942.51	8.9	Bueno

El Método constructivo de menor costo fue la mampostería, obteniendo la mayor puntuación. Para concreto fundido se obtiene una clasificación de excelente debido a que la mayor economía para la construcción en concreto es cuando ésta se realiza en serie, disminuyendo una gran cantidad de costos administrativos. La mano de obra en los sistemas de madera y electro panel fue menor, sin embargo debido a que la obtención de este material, se encarece de gran manera los costos de la vivienda, haciéndolas más caras que en los otros sistemas.



## 3.2 Análisis comparativo: Propiedades de los materiales.

**3.2.1 Análisis comparativo: Aislamiento acústico:** De acuerdo con el modelo anterior, se procede a realizar el cálculo del valor de aislamiento acústico que tendrán los distintos materiales evaluados. Para este cálculo se toma en cuenta los materiales de mayor uso en Guatemala como lo son: paneles de madera de 10 cm., blocks de 15 cm., ladrillos de 11 cm., muros de concreto de 10 cm. Y electro panel de 10 cm. Y para luego evaluar modificaciones o alternativas a estos materiales.

En el caso de el material para ventanas, se utiliza un acristalamiento sencillo con un espesor de 4 mm, para la puerta se utilizara se utiliza madera ligera con un espesor de 35 mm.

**Cuadro 57: Aislamiento acústico de ventana.**

Tipo de acristalamiento	Espesor en mm	Masa unitaria (kg/m <sup>2</sup> )	Clase de carpintería	Aislamiento acústico en dB
Sencillo	4	10	A-2	23
			A-3	28
	5	13	A-2	24
			A-3	29
	6	15	A-2	25
			A-3	30
	8	20	A-2	27
			A-3	32
10	25	A-2	28	
		A-3	33	
Doble (con cámara espesor > 15mm)	4+4	20	A-2	27
			A-3	32
	6+6	30	A-2	29
			A-3	34
	10+5	37	A-2	30
			A-3	35
Laminar	3+3	15	A-2	28
			A-3	33
	5+4	22	A-2	30
			A-3	35
	6+4	25	A-2	31
			A-3	36
	3+6+3	30	A-2	32
			A-3	37

Fuente: Prior.

**Cuadro 58: Aislamiento acústico de puerta.**

Tipo de puerta	Espesor en mm	Masa unitaria (kg/m <sup>2</sup> )	Aislamiento acústico en dB
Madera Ligera	35	21	14
	40	24	15
Madera Densa	35	28	16
	40	32	17
Tablero Contrachapado	35	19	13
	40	21	14
Tablero Aglomerado	35	22	14
	40	25	15
Chapa de acero	1.2	9.5	8

Fuente: Prior.

Para el cálculo numérico se utilizó una hoja de Excel programada para obtener los coeficientes de aislamiento, a continuación se presentan los resultados:

**3.2.1.1 Madera:** En el caso de las edificaciones de Madera, las paredes consistirán en un panel sándwich, con tableros de madera y un espaciamento de aire en el medio del panel, de la misma manera estará compuesto el techo. El panel consiste en un tablero de madera de 5/8", una cámara de aire de 7 cm y otro tablero de 5/8",

**Imagen 184: Modelo de vivienda de madera.**

Para el cálculo de la pared frontal el índice de aislamiento global de dicha pared será distinto al del material lo cual se especifica en la Imagen No. 33. En el caso de las paredes

restantes por no tener otro material más que el del panel su índice de aislamiento será igual al índice del material.

**Imagen 185: Cálculo índice global de pared frontal madera.**

Aislamiento acústico		
Calculo de valor R global de un recinto		
Descripción	Elemento (seleccione un elemento de la lista)	Valor R (dB)
Selección de material de paredes	Panel madera	36
Selección de ventana	Sencillo 4mm	23
Selección de puerta	Madera ligera	14
Selección de material de techo	Panel madera	36

Ingreso área de superficie de material	Área (m <sup>2</sup> )
Paredes	4
Ventanas	1.35
Puertas	1.85
Techo	0
<b>Total</b>	<b>7.2</b>

**Cálculo de R<sub>g</sub> (Global)**

$$R_g = 10 \log \left( \frac{\sum S_i}{\sum \frac{S_i}{10^{0.1 R_i}}} \right)$$

<b>R<sub>g</sub></b>	<b>19</b>	<b>dB</b>
----------------------	-----------	-----------

**Cuadro 59: Aislamiento acústico de unidad de madera.**

Descripción	m <sup>2</sup> de ventana	m <sup>2</sup> de puerta	m <sup>2</sup> de panel de madera	R ventana (dB)	R puerta (dB)	R panel madera (dB)	R <sub>qi</sub> (dB)
Pared izquierda	0	0	7.2	23	14	36	19
Pared derecha	0	0	7.2	23	14	36	36
pared trasera	0	0	7.2	23	14	36	36
Pared delantera	1.35	1.89	3.96	23	14	36	36
Techo	0	0	10.82	23	14	36	36
<b>Promedio</b>							<b>32.6</b>

Según la nueva normativa proporcionada por la municipalidad de Guatemala, los niveles sonoros establecidos como máximos son los siguientes: para horario diurno de 65 dB, para horario nocturno de 40 dB y para vehículos promocionales es de 80 dB. Por lo que estos ochenta decibeles serán el parámetro crítico a reducir en cuanto al ruido aéreo que se podrá tener en sectores residenciales debido a tránsito.

Según los resultados basados con un ruido aéreo de 80 decibeles dentro de la habitación de madera se podrá reducir este ruido hasta 47.7 decibeles. Con base en las normas se estipula que el rango de aislamiento que debe tener un hogar es de 44 a 55 decibeles, la habitación de madera logra sólo una reducción promedio de 32.6 decibeles no cumpliendo así con los requisitos mínimos, por lo que una vivienda con un panel sencillo de madera tendrá un nivel regular en cuanto al aislamiento acústico.

Como se puede observar uno de los factores críticos en esta reducción son los elementos de ventana y puerta que dan una reducción significativa a la pared delantera. Además de esto el panel en si no proporciona un aislamiento entre el rango por lo que si se desea aumentar su capacidad se debe recurrir a un mejor aislante intermedio del panel, aunque esto influirá directamente en el costo de la vivienda. A continuación se presentan algunas modificaciones para mejorar el aislamiento del panel de madera:

**Cuadro 60: Alternativas en madera.**

Paneles de madera		dB		dB
10 cm	tableros de 5/8" densidad media	36	usando tableros de 1 "	38
10 cm	tableros de 5/8" con lana mineral	48	usando tableros de 1 "	50
10 cm	tableros de 5/8" densidad media y tabla yeso 5/8"	39	usando tableros de 1 "	39
15 cm	tableros de 5/8" densidad media	46	usando tableros de 1 "	44
15 cm	tableros de 5/8" con lana mineral	52	usando tableros de 1 "	54
15 cm	tableros de 5/8" densidad media y tabla yeso 5/8"	49	usando tableros de 1 "	50

Según la tabla anterior podemos clasificar los distintos paneles dependiendo de su capacidad para aislar de la siguiente manera:

**Cuadro 61: Clasificación paneles de madera.**

Elementos	< 30 dB	30 a 34 dB	35 a 39 dB	40 a 44 dB	>45 dB
Paneles de madera	Baja	Media	Buena	recomendable	Excelente
10 cm tableros de 5/8" densidad media			X		
10 cm tableros de 5/8" con lana mineral					X
10 cm tableros de 5/8" densidad media y tablayeso 5/8"			X		
15 cm tableros de 5/8" densidad media					X
15 cm tableros de 5/8" con lana mineral					X
15 cm tableros de 5/8" densidad media y tablayeso 5/8"					X

### Continuación Cuadro 61: Clasificación paneles de madera

Elementos	< 30 dB	30 a 34 dB	35 a 39 dB	40 a 44 dB	>45 dB
Paneles de madera	Baja	Media	Buena	Recomendable	Excelente
10 cm tableros 1" densidad media			X		
10 cm tableros 1" con lana mineral					X
10 cm tableros 1" densidad media y tablayeso 5/8"			X		
15 cm tableros 1" densidad media				X	
15 cm tableros 1" con lana mineral					X
15 cm tableros 1" densidad media y tablayeso 5/8"					X

**3.2.1.2 Block:** Para el caso del bloque de concreto, se utilizara un muro de mampostería de concreto reforzado de 15 centímetros de espesor, en el caso del techo los sistemas de mampostería comúnmente utilizan una losa fundida de concreto y en ventana y puerta se recurrirá a las mismas utilizadas en el caso de la madera.

**Imagen 186: Modelo de vivienda de block.**



Al igual que en el caso de la habitación de madera, el valor del aislamiento global de la pared frontal de la habitación de mampostería de concreto será calculado con el programa de Excel, para poder determinar en conjunto los efectos de la ventana y puerta. A continuación se presentan los resultados:

**Imagen 187: Cálculo índice global de pared frontal mampostería de concreto.**

Aislamiento acústico		
Calculo de valor R global de un recinto		
Descripción	Elemento (seleccione un elemento de la lista)	Valor R (dB)
Selección de material de paredes	Bloque de concreto	38
Selección de ventana	Sencillo 4mm	23
Selección de puerta	Madera ligera	14
Selección de material de techo	Concreto fundido	49

Ingrese área de superficie de material	Área (m <sup>2</sup> )
Paredes	4
Ventanas	1.35
Puertas	1.85
Techo	0
<b>Total</b>	<b>7.2</b>

**Cálculo de Rg (Global)**

$$R_g = 10 \log \left( \frac{\sum S_i}{\sum 10^{0.16 R_i}} \right)$$
  

<b>Rg</b>	<b>19</b>	<b>dB</b>
-----------	-----------	-----------

**Cuadro 62: Aislamiento acústico de unidad de block.**

Descripción	m <sup>2</sup> de ventana	m <sup>2</sup> de puerta	m <sup>2</sup> de block	R ventana (dB)	R puerta (dB)	R block (dB)	R <sub>qi</sub> (dB)
Pared izquierda	0	0	7.2	23	14	38	19
Pared derecha	0	0	7.2	23	14	38	38
Pared trasera	0	0	7.2	23	14	38	38
Pared delantera	1.35	1.89	3.96	23	14	38	38
Techo	0	0	10.82	23	14	38	49
<b>Promedio</b>							<b>36.4</b>

Con base al aislamiento promedio obtenido con el block, se podrá reducir el ruido aéreo hasta 43.6 dB clasificado como un ruido provocado por dos personas platicando, por lo que no es dañino para la audición. A pesar de no alcanzar el mínimo requerido por las normas, este material obtuvo un valor muy bueno para aislante considerando que el ruido aéreo se reduce hasta un ruido no dañino.

Para lograr mejoras en este material, a continuación se presentan alternativas en cuanto a espesor y recubrimientos:

**Cuadro 63: Alternativas en block.**

Block (875 kg/m <sup>3</sup> )	dB		
	Espe- sor	Simple- s	Pintados 1 capa
10 cm	35	39	42
15 cm	38	42	46
20 cm	42	46	50
Con revestimiento de 1cm de ambos lados			
10 cm	37	41	44
15 cm	40	44	48
20 cm	44	48	53

Con base en estos resultados, podemos clasificar las distintas alternativas de la siguiente manera:

**Cuadro 64: Clasificación block.**

Elementos	< 30 dB	30 a 34 dB	35 a 39 dB	40 a 44 dB	>45 dB
Block	Baja	Media	Buena	Recomen- dable	Excel- ente
10 cm simples			X		
15 cm simples			X		
20 cm simples				X	
10 cm con revestimiento de 1cm de ambos lados simples			X		
15 cm con revestimiento de 1cm de ambos lados simples				X	
20 cm con revestimiento de 1cm de ambos lados simples				X	
10 cm pintados 2 capas				X	
15 cm pintados 2 capas					X
20 cm pintados 2 capas					X
10 cm con revestimiento de 1cm de ambos lados pintados 2 capas				X	
15 cm con revestimiento de 1cm de ambos lados pintados 2 capas					X
20 cm con revestimiento de 1cm de ambos lados pintados 2 capas					X

**3.2.1.3 Ladrillo:** En el caso del ladrillo se consideran muros de mampostería de cerámica de 11 cm de espesor, para el techo losa fundida de concreto, una ventana sencilla de 4mm de espesor y una puerta de madera ligera.

**Imagen 188: Modelo de vivienda de ladrillo.**



El cálculo de la pared frontal se presenta a continuación:

**Imagen 189: Cálculo índice global de pared frontal mampostería de cerámica.**

Aislamiento acústico		
Cálculo de valor R global de un recinto		
Descripción	Elemento (seleccione un elemento de la lista)	Valor R (dB)
Selección de material de paredes	Bloque de cerámica	35
Selección de ventana	Sencillo 4mm	23
Selección de puerta	Madera ligera	14
Selección de material de techo	Concreto fundido	49

Ingrese área de superficie de material	Área (m <sup>2</sup> )
Paredes	4
Ventanas	1.35
Puertas	1.85
Techo	0
<b>Total</b>	<b>7.2</b>

**Cálculo de R<sub>g</sub> (Global)**

$$R_g = 10 \log \left( \frac{\sum S_i}{\sum \frac{S_i}{10^{0.16R_i}}} \right)$$

**R<sub>g</sub> 19 dB**



**Cuadro 65: Aislamiento acústico de unidad de ladrillo**

Descripción	m <sup>2</sup> de ventana	m <sup>2</sup> de puerta	m <sup>2</sup> de ladrillo	R ventana (dB)	R puerta (dB)	R ladrillo (dB)	R <sub>qi</sub> (dB)
Pared izquierda	0	0	7.2	23	14	35	19
Pared derecha	0	0	7.2	23	14	35	35
Pared trasera	0	0	7.2	23	14	35	35
Pared delantera	1.35	1.89	3.96	23	14	35	35
Techo	0	0	10.82	23	14	35	49
Promedio							<b>34.6</b>

El ladrillo obtuvo un aislamiento promedio de 34.6 decibeles el cual se encuentra fuera del rango proporcionado por las normas de aislamiento acústico. Este material permite reducir el sonido a 45.4 decibeles, sonido relativamente bajo para efectos de daño auditivo. La unidad de 11 cm. De espesor se clasifica como un aislante medio, sin embargo es necesario mejorar la reducción de sonido para cumplir con el mínimo, por lo tanto se requieren de alternativas, las cuales se presentan a continuación:

**Cuadro 66: Alternativas ladrillo**

Ladrillo	dB		
	Simple	Pintados 1 capa	Pintados 2 capas
Espeor			
11 cm	35	39	42
15 cm	37	41	44
20 cm	40	44	48
Con revestimiento de 1cm de un lado			
11 cm	36	40	43
15 cm	38	42	46
20 cm	42	46	50
con revestimiento de 1cm de ambos lados			
11 cm	37	41	44
15 cm	39	43	47
20 cm	43	47	52

Cuadro 67: Clasificación ladrillo

Elementos	< 30 dB	30 a 34 dB	35 a 39 dB	40 a 44 dB	>45 dB
Ladrillo	Baja	Media	Buena	Recomendable	Excelente
11 cm simple			X		
15 cm simple			X		
20 cm simple				X	
11 cm simple con revestimiento de 1cm de un lado			X		
15 cm simple con revestimiento de 1cm de un lado			X		
20 cm simple con revestimiento de 1cm de un lado				X	
11 cm simple con revestimiento de 1cm de ambos lados			X		
15 cm simple con revestimiento de 1cm de ambos lados			X		
20 cm simple con revestimiento de 1cm de ambos lados				X	
11 cm pintados 2 capas				X	
15 cm pintados 2 capas				X	
20 cm pintados 2 capas					X
11 cm Con revestimiento de 1cm de un lado pintados 2 capas				X	
15 cm Con revestimiento de 1cm de un lado pintados 2 capas					X
20 cm Con revestimiento de 1cm de un lado pintados 2 capas					X
11 cm con revestimiento de 1cm de ambos lados pintados 2 capas				X	
15 cm con revestimiento de 1cm de ambos lados pintados 2 capas					X
20 cm con revestimiento de 1cm de ambos lados pintados 2 capas					X

**3.2.1.4 Concreto:** Dicho sistema consiste en muros fundidos de concreto reforzado y el techo es de concreto fundido. La ventana una ventana sencilla de 4mm de espesor, y la puerta de madera ligera.

**Imagen 190: Modelo de vivienda de concreto.**



Los resultados obtenidos son los siguientes:

**Imagen 191: Calculo  $R_g$  de pared frontal concreto fundido.**

Aislamiento acústico		
Calculo de valor R global de un recinto		
Descripción	Elemento (seleccione un elemento de la lista)	Valor R (dB)
Selección de material de paredes	Concreto fundido	49
Selección de ventana	Sencillo 4mm	23
Selección de puerta	Madera ligera	14
Selección de material de techo	Concreto fundido	49
Ingrese área de superficie de material	Área (m <sup>2</sup> )	
Paredes	4	
Ventanas	1.35	
Puertas	1.85	
Techo	0	
<b>Total</b>	<b>7.2</b>	
Cálculo de $R_g$ (Global)		
$R_g = 10 \log \left( \frac{\sum S_i}{\sum \frac{S_i}{10^{0.16R_i}}} \right)$		
<b><math>R_g</math>      20      dB</b>		

**Cuadro 68: Aislamiento acústico de unidad de concreto fundido.**

Descripción	m <sup>2</sup> de ventana	m <sup>2</sup> de puerta	m <sup>2</sup> de concreto	R ventana (dB)	R puerta (dB)	R concreto (dB)	R <sub>gi</sub> (dB)
Pared izquierda	0	0	7.2	23	14	49	20
Pared derecha	0	0	7.2	23	14	49	49
pared trasera	0	0	7.2	23	14	49	49
Pared delantera	1.35	1.89	3.96	23	14	49	49
Techo	0	0	10.82	23	14	49	49
						Promedio	<b>43.2</b>

Como podemos observar el sistema de casas de concreto fundido es uno de los sistemas más aislantes, aunque no se llega al mínimo tiene un valor sumamente cercano a este. Este sistema logra reducir a 36.8 decibeles el sonido aéreo siendo así catalogado como un sistema muy bueno en cuanto a sus propiedades acústicas. Se puede observar que pese a ser un excelente aislante se ve influenciado por los materiales de ventanería y puertas, pues estos permiten el pase excesivo del sonido. Algunas modificaciones para lograr un mayor aislamiento se presentan a continuación:

**Cuadro 69: Alternativas concreto fundido.**

Concreto	dB		
	Recubrimiento 1 cm	Pintado 1 capa	Pintado 2 capas
Esesor			
10 cm	49	54	59
15 cm	55	61	66
20 cm	59	65	71

Por lo tanto estas modificaciones se clasifican de la siguiente manera:

**Cuadro 70: Clasificación concreto fundido.**

Elementos	< 30 dB	30 a 34 dB	35 a 39 dB	40 a 44 dB	>45 dB
Concreto	Baja	Media	Buena	Recomendable	Excelente
10 cm recubrimiento 1 cm					X
15 cm recubrimiento 1 cm					X
20 cm recubrimiento 1 cm					X
10 cm recubrimiento 1 cm pintado 2 capas					X
15 cm recubrimiento 1 cm pintado 2 capas					X
20 cm recubrimiento 1 cm pintado 2 capas					X

**3.2.1.5 Electro panel o panel estructural:** Este sistema consiste en un panel conformado por un centro de poliestireno expandido, a la vez este centro está reforzado por una electro malla de acero. El elemento está repellado en ambas caras, este sistema funciona tanto para paredes como para la losas de techo. La ventanería y puerta es igual a los otros sistemas que se han venido desarrollando.

**Imagen 192: Modelo de vivienda de electropanel.**

Los resultados son los siguientes:

**Imagen 193: Cálculo  $R_g$  de pared frontal electro panel.**

Aislamiento acústico		
Cálculo de valor R global de un recinto		
Descripción	Elemento (seleccione un elemento de la lista)	Valor R (dB)
Selección de material de paredes	Electro panel	44
Selección de ventana	Sencillo 4mm	23
Selección de puerta	Madera ligera	14
Selección de material de techo	Electro panel	44

Ingrese área de superficie de material	Área (m <sup>2</sup> )
Paredes	4
Ventanas	1.35
Puertas	1.85
Techo	0
<b>Total</b>	<b>7.2</b>

**Cálculo de  $R_g$  (Global)**

$$R_g = 10 \log \left( \frac{\sum S_i}{\sum \frac{S_i}{10^{0.1 R_i}}} \right)$$

<b>R<sub>g</sub></b>	<b>20</b>	<b>dB</b>
----------------------	-----------	-----------

**Cuadro 71: Aislamiento acústico de unidad de electro panel.**

Descripción	m <sup>2</sup> de ventana	m <sup>2</sup> de puerta	m <sup>2</sup> de panel	R ventana (dB)	R puerta (dB)	R panel (dB)	R <sub>gi</sub> (dB)
Pared izquierda	0	0	7.2	23	14	44	20
Pared derecha	0	0	7.2	23	14	44	44
pared trasera	0	0	7.2	23	14	44	44
Pared delantera	1.35	1.89	3.96	23	14	44	44
Techo	0	0	10.82	23	14	44	44
<b>Promedio</b>							<b>39.2</b>

Con base en los resultados podemos observar que el panel estructural produce una reducción promedio de 39.2 decibeles, reduciendo el ruido a 40.8 decibeles. De acuerdo con el rango de la norma, este panel se encuentra fuera por casi 5 decibeles. Aun así éste se clasifica como un buen aislante ya que se encuentra en el rango de reducción de 35 a 40 decibeles según Cuadro No. 23. Además de esto existen posibles modificaciones en cuanto al espesor del panel para mejorar el aislamiento así como un mayor recubrimiento, algunas alternativas se presentan a continuación:

**Cuadro 72: Alternativas electro panel.**

<b>Panel estructural</b>		
<b>Espesor + 2.5 cm recubrimiento</b>	<b>dB</b>	<b>Con 1 capa de pintura</b>
8.1 cm	44	48
9.1 cm	44	48
10.6 cm	46	51
11.6 cm	46	51
13.8 cm	46	51
14.8 cm	49	54

Estas alternativas se pueden clasificar según el cuadro No. 23 de la siguiente manera:

**Cuadro 73: Clasificación electro panel.**

<b>Elementos</b>	<b>&lt; 30 dB</b>	<b>30 a 34 dB</b>	<b>35 a 39 dB</b>	<b>40 a 44 dB</b>	<b>&gt;45 dB</b>
<b>Panel estructural</b>	<b>Baja</b>	<b>Media</b>	<b>Buena</b>	<b>Recomendable</b>	<b>Excecente</b>
8.1 cm 2.5 cm de recubrimiento ambos lados				X	
9.1 cm 2.5 cm de recubrimiento ambos lados				X	
10.6 cm 2.5 cm de recubrimiento ambos lados					X
11.6 cm 2.5 cm de recubrimiento ambos lados					X
13.8 cm 2.5 cm de recubrimiento ambos lados					X
14.8 cm 2.5 cm de recubrimiento ambos lados					X

**3.2.2 Análisis comparativo: Resistencia al fuego:** Cuando se presenta un incendio dentro de la vivienda es inevitable que este ocasione daños a la estructura, dependiendo del tipo de material que se utilice así será el daño que se presentará. Los tres factores principales a tomar en cuenta en un incendio son: la fuente de calor, el oxígeno y el combustible. Para fines de este trabajo el combustible está representado por los materiales, los cuales presentarán cierta resistencia al fuego o presentarán alta inflamabilidad.

Principalmente uno de los factores a considerar es que la gente no puede sobrevivir dentro de un cuarto con fuego por más de unos minutos a pesar de que se cuente con un gran espacio, la muerte se da debido a la combinación de calor y humo aun sin que el material se haya quemado. Muchos diseñadores consideran que es imposible que la estructura no sufra daños, pero sí es posible atrasar el colapso de cualquier tipo de estructura para que los ocupantes puedan evacuar. Es por esto que en esta sección se evaluarán los tiempos de resistencia que tienen cada uno de estos materiales antes de iniciarse a quemar y causar daños. Estos tiempos serán comparados contra tiempos estándares proporcionados por las normas extranjeras.

Se puede clasificar el tipo de material según la norma RD312/2005 de la siguiente manera:

- A1 - A2: no combustibles, sin contribución en grado máximo y mínimo al fuego respectivamente.
- B, C, D y E: combustibles con contribución muy limitada, limitada, medio y alta al fuego respectivamente.

Los requisitos mínimos en el caso de una vivienda están dados por la norma NBE-CPI/96, nos basaremos en la siguiente tabla:

Tiempo (minutos)	15	30	45	60	90	120	180	240
Temperatura (°C)	718	821	882	925	986	1.029	1.090	1.138



### Estabilidad al fuego exigible a los elementos estructurales

Uso del recinto inferior al forjado considerado	Plantas de sótano	Plantas sobre rasante Máxima alt. de evacuac. del edificio		
		< 15 m	< 28 m	≥ 28 m
Vivienda unifamiliar	EF-30	EF-30	—	—
Vivienda, residencial, docente, administrativo	EF-120	EF-6-	EF-90	EF-120
Comercial, pública concurrencia, hospitalario	EF-120 (1)	EF-90 (2)	EF-120	EF-180

Estabilidad al fuego exigible

(1) EF-180 si la altura de evacuación del edificio es ≥ 28 m.

(2) EF-120 en edificios de uso hospitalario con más de tres plantas sobre rasante.

Fuente: (Comision Permanente de las Condiciones de Proteccion contra Incendios de los Edificios, 2005)

**3.2.2.1 Madera:** Como se menciona con anterioridad, el principal enemigo de la madera es el fuego. Una de las características de la madera es que ésta es sumamente combustible, por lo que cualquier contacto que ésta tenga con fuego, no tardara en consumirse y quemarse en su totalidad. Existe un proceso llamado ignifugación el cual reduce la acción del fuego en la madera, hasta en un punto puede llegar a impedir esta acción, pero dicho tratamiento recae directamente en el costo final de la madera. Este tratamiento disminuye el nivel de combustibilidad e inflamabilidad de este material.

Expertos sugieren proteger la madera con otros materiales incombustibles para alargar la vida de esta, si se llega a presentar un incendio, de tal manera el calor no llegará hasta ella. Según la norma RD312/2005, la madera en su mayoría está catalogada como D, aun así existen otros tipos de madera como lo son maderas de fibras blandas o semiduras las cuales si están catalogadas como E, los cuales son sumamente combustibles. El tiempo estimado de duración de la madera sujeta a un incendio dependiendo de su textura va de un rango de 17 a 20 minutos o más dependiendo el tipo de tratamiento o recubrimiento que se le pueda dar. En el caso de contar con paneles que combinen tableros de madera y de tabla yeso el rango de resistencia puede variar de 10 a 30 minutos.

**Imagen 194: Vivienda de madera bajo un incendio.**



**3.2.2.2 Block:** Al igual que la mampostería de cerámica, la mampostería de concreto es muy utilizada para elementos resistentes al fuego. Debido a la composición de este material, la mampostería de concreto es un material no combustible lo cual es una gran ventaja para todo sistema resistente al fuego, ya que no permitirá una propagación de llamas. Debido a la alta porosidad con la que cuenta la mayoría de las unidades de mampostería de concreto, uno de los enemigos de este material sería la transmisión de calor provocada por la llama, por lo que es de suma importancia el recubrimiento con un mortero. Según la clasificación proporcionada por la norma RD312/2005, el block está catalogado como A debido a ser un material no combustible. La estabilidad del block será igual o mayor a 60 minutos dependiendo el tipo de material de recubrimiento y sus espesores, como lo presenta el Cuadro No. 26. Comúnmente se maneja un recubrimiento de 1 cm de ambos lados de mortero para el block por lo que la estabilidad al fuego será mayor a 60 minutos, claramente sobre el mínimo para vivienda unifamiliar.

**Imagen 195: Edificación de block bajo un incendio.**



**3.2.2.3 Ladrillo:** Según los estudios realizados a la mampostería cerámica y de concreto, estos materiales son catalogados como no combustibles y su resistencia está basada en base a su resistencia a la transmisión térmica. Modificando los espesores de los muros así como la combinación de los materiales se puede llevar a la mampostería de cerámica a alcanzar rangos de 1 a 4 horas. Según la Imagen No. 28 podemos establecer que un muro de mampostería de cerámica tiene una estabilidad al fuego de 60 minutos, por lo que claramente se encuentra sobre el límite establecido para una vivienda unifamiliar. Si se desea aumentar dicha resistencia basta con añadir un recubrimiento o un repello al muro de ambos lados para poder alcanzar el doble de tiempo. La clasificación de dicho material al no ser combustible es de A1/A2.

**3.2.2.4 Concreto:** Según la norma RD312/2005, en un listado presentado en ella, uno de los materiales clasificados como A1 es el hormigón armado, o mejor conocido como concreto reforzado, el cual es el caso de las viviendas construidas en base al sistema de concreto fundido. El concreto es un material no combustible el cual cuenta con una alta resistividad al fuego. Este material al igual que la mampostería alcanzará un rango de 1 1/2 a 4 horas dependiendo la combinación de materiales en los muros así como de el espesor que el muro de concreto tenga, ya que está directamente relacionado con la transmisión térmica de dicho material. Uno de los factores importantes a tomar en cuenta en este caso es el punto en que el acero de refuerzo falle debido al calor ya que esto ocasionará que la estructura tenga fallas debido a sobre esfuerzos en sus elementos. Según estudios realizados la alta temperatura peligrosa para el acero de refuerzo tarda más de una hora en penetrar 1cm de concreto, por lo que un recubrimiento de 2 centímetros es más que suficiente para proteger la estructura.

**Imagen 196: Edificación de concreto bajo un incendio.**



**3.2.2.5 Panel estructural o Electro Panel:** El panel estructural o mejor conocido como electro panel tiene su estabilidad al fuego basada en su trabajando como material compuesto siendo el principal responsable de su resistencia el mortero que se le es añadido, ya que el mortero de acuerdo con el espesor podrá dar mayor tiempo de resistencia antes de llegar al poliestireno. En dado caso que el fuego llegue al poliestireno, la estructura

sufrirá un daño irreversible, es más provocará el colapso de la estructura debido a que el poliestireno es un material que al ser sometido al fuego se consume inmediatamente, aunque este no propague llamas. De acuerdo con el Cuadro no. 26 podemos observar la resistencia que tiene el mortero según su espesor, comúnmente los acabados en las paredes alcanzan la pulgada de espesor por lo que el material compuesto tendrá una estabilidad al fuego de entre 20 a 30 minutos.

Este valor es lo suficiente como para una vivienda unifamiliar, pero en el caso de una vivienda, o residencial éste quedará corto en tiempo para la evacuación. La clasificación de dicho material estará en E, como alta contribución al fuego si no fuera por el mortero. Aun siendo recubierto está muy propenso a que se consuma el poliestireno por lo que estará catalogado como C/D según sea el espesor del mortero.

A continuación se presentará los resultados de acuerdo con los distintos usos que se le podrían dar a los recintos, Principalmente el tipo de recinto de interés para este trabajo son las viviendas unifamiliares. En su mayoría cada uno de los sistemas constructivos cumple con los requerimientos mínimos de tiempo para una vivienda unifamiliar, sin embargo la clasificación de dicho material según la norma RD312/2005, nos dará la pauta si dicho material tendrá daños estructurales tan elevados que la estructura quedará irreparable..

**Cuadro 74: Resultados finales resistencia al fuego**

Elementos	Rango de tiempos (min)		Clasificación	Descripción	Uso de recinto vivienda unifamiliar
panel madera	17	20	D/E	0,7 a 0,9 mm/minuto según textura	No cumple
panel madera con tablayeso 5/8"	10	30	E/C	planchas de tabla yeso de 3/8" a 5/8"	Cumple
Block	60	240	A1	unidades de 10 cm simples a unidades de 20 cm con recubrimiento	Cumple
Ladrillo	60	240	A1	unidades de 11 cm simples a unidades de 20 cm con recubrimiento	Cumple
Concreto	90	240	A1	recubrimiento al refuerzo de 20mm o mas	Cumple
Panel	20	30	D/C	de 3/4 pulgada a 1 pulgada	Cumple

**3.2.3 Análisis comparativo: Aislamiento térmico:** El aislamiento térmico es el proceso por el cual se desea aislar técnicamente una superficie para reducir la transferencia de calor desde un ambiente hacia otro utilizando materiales que se caracterizan por su baja conductividad térmica. La aislación térmica, está regida por el espesor que se tenga de dicho material aislante. La transmisión de calor está dada por tres principales razones: por conducción, convección y por radiación.

La transmisión por conducción está dada bajo la siguiente fórmula:

$$q = (T_i - T_e) * \frac{k}{d}$$

En donde  $T_i$  es la temperatura interna,  $T_e$  es la temperatura externa,  $k$  es el coeficiente de conductividad térmica del material, y  $d$  es el espesor de dicho material.

Aislar térmicamente tiene un carácter económico, ya que como sabemos las pérdidas de energía disminuyen con un aumento del espesor de aislamiento, y este aumento de espesor supone un incremento en la inversión para la instalación y compra del material.

Regresando al modelo de la habitación se procederá a calcular el coeficiente de aislación térmica global ( $U_g$ ) para el frente, para así luego determinar el coeficiente promedio de la habitación. Esto se realizará de acuerdo a un programa realizado en Excel, para así luego comparar los resultados, y realizar una ponderación de estos para los resultados finales.

Para la clasificación de cada sistema se procederá a utilizar la norma IRAM 11605, la cual establece tres distintos niveles de confort igrotermico la cual se divide de la siguiente manera:

Nivel A: Recomendado

Nivel B: Medio

Nivel C: Mínimo

Esta norma además de clasificar los materiales establece los criterios para la evaluación de acuerdo con las condiciones climáticas. Se subdivide en invierno y verano, para cada uno de estos casos, asigna un valor de transmitancia térmica mínimo, para cumplir con el confort igrotermico. Para la división de invierno se basa en la temperatura exterior, mientras que para

la condición de verano se considera la zona bioambiental que se clasifica de la siguiente manera:

Zona I: muy cálido

Zona II: Cálido

Zona III: Templado Cálido

Zona IV: Templado Frio

Zona V: Muy frío

Zona VI: frío polar

en W/m<sup>2</sup>K

Temperatura exterior de diseño ( $t_{ed}$ ) [°C]	Nivel A		Nivel B		Nivel C	
	Muros	Techos	Muros	Techos	Muros	Techos
- 15	0,23	0,20	0,60	0,52	1,01	1,00
- 14	0,23	0,20	0,61	0,53	1,04	1,00
- 13	0,24	0,21	0,63	0,55	1,08	1,00
- 12	0,25	0,21	0,65	0,56	1,11	1,00
- 11	0,25	0,22	0,67	0,58	1,15	1,00
- 10	0,26	0,23	0,69	0,60	1,19	1,00
- 9	0,27	0,23	0,72	0,61	1,23	1,00
- 8	0,28	0,24	0,74	0,63	1,28	1,00
- 7	0,29	0,25	0,77	0,65	1,33	1,00
- 6	0,30	0,26	0,80	0,67	1,39	1,00
- 5	0,31	0,27	0,83	0,69	1,45	1,00
- 4	0,32	0,28	0,87	0,72	1,52	1,00
- 3	0,33	0,29	0,91	0,74	1,59	1,00
- 2	0,35	0,30	0,95	0,77	1,67	1,00
- 1	0,36	0,31	0,99	0,80	1,75	1,00
≥ 0	0,38	0,32	1,00	0,83	1,85	1,00

Valores máximos de transmitancia térmica para condiciones de verano para muros

en W/m<sup>2</sup>.K

Zona Bioambiental	Nivel A	Nivel B	Nivel C
I y II	0,45	1,10	1,80
III y IV	0,50	1,25	2,00

Valores máximos de transmitancia térmica para condiciones de verano en techos

en W/m<sup>2</sup>.K

Zona Bioambiental	Nivel A	Nivel B	Nivel C
I y II	0,18	0,45	0,72
III y IV	0,19	0,48	0,76

Fuente: Instituto Argentino de Normalización, 1996

**3.2.3.1 Madera:** De acuerdo con la madera, la aislación térmica dependerá del tipo de tablero que se esté utilizando así como del material aislante dentro del panel. Los tableros que típicamente se utilizando son los contrachapados, de madera solida y los laminares los cuales presentan excelentes propiedades para soportar las condiciones climáticas entre otras. Los valores de sus coeficientes térmicos se presentan a continuación:

Paneles de madera				
Producto	HE			
	$\rho$ kg / m <sup>3</sup>	$\lambda$ W / m·K	$C_p$ J / kg·K	$\mu$
Tablero contrachapado, paneles de madera sólida (SWP) y maderas chapadas laminares (LVL) <sup>(1)</sup>	750 < $\rho$ ≤ 900	0,24	1600	110
	600 < $\rho$ ≤ 750	0,21	1600	110
	500 < $\rho$ ≤ 600	0,17	1600	90
	450 < $\rho$ ≤ 500	0,15	1600	70
	350 < $\rho$ ≤ 450	0,13	1600	70
	250 < $\rho$ ≤ 350	0,11	1600	50
	$\rho$ ≤ 250	0,09	1600	50
Tablero de partículas	640 < $\rho$ ≤ 820	0,18	1700	20
	450 < $\rho$ ≤ 640	0,15	1700	20
	270 < $\rho$ ≤ 450	0,13	1700	20
	180 < $\rho$ ≤ 270	0,10	1700	20
Tablero de partículas con cemento	≤ 1200	0,23	1500	30
Tableros de fibras, incluyendo MDF <sup>(2)</sup>	750 < $\rho$ ≤ 1000	0,20	1700	20
	550 < $\rho$ ≤ 750	0,18	1700	20
	350 < $\rho$ ≤ 550	0,14	1700	12
	200 < $\rho$ ≤ 350	0,10	1700	6
	$\rho$ ≤ 200	0,07	1700	2
Paneles de fibras con conglomerante hidráulico	450 < $\rho$ ≤ 550	0,15	1700	12
	350 < $\rho$ ≤ 450	0,12	1700	5
	250 < $\rho$ ≤ 350	0,10	1700	5
Tablero de virutas orientadas (OSB)	$\rho$ ≤ 650	0,13	1700	30

Fuente: CTE, 2010

Para determinar un valor más aproximado a la realidad, se retomará el modelo de la habitación diseñado, con el fin de ver los efectos ocasionados por las ventanas y las puertas en una vivienda, ya que estos son los que más afectan los factores globales. Para este modelo, la habitación contará con muros conocidos como paneles sándwich de madera como comúnmente se construyen los paneles para la construcción en serie de casas de madera. La habitación contará con una ventana de 4 mm de espesor y su puerta de madera ligera. Los resultados en base a un programa de Excel para el cálculo del coeficiente del muro frontal son los siguientes:



**Imagen 197: Cálculo  $U_g$  de pared frontal madera.**

Aislamiento térmico		
Cálculo de valor U global de un recinto		
Descripción	Elemento (seleccione un elemento de la lista)	Valor U (W/m <sup>2</sup> K)
Selección de material de paredes	Panel madera	0.32
Selección de ventana	Sencillo 4mm	6.9
Selección de puerta	Madera ligera	4.29
Selección de material de techo	Panel madera	0.32

Ingreso área de superficie de material	Área (m <sup>2</sup> )
Paredes	4
Ventanas	1.35
Puertas	1.85
Techo	0
<b>Total</b>	<b>7.2</b>

**Cálculo de  $U_g$  (Global)**

$$U_g = \frac{U_1 * A_1 + U_2 * A_2 + \dots + U_n * A_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n}$$

**U            3            W/m<sup>2</sup>K**

**Cuadro 75: Aislamiento térmico de unidad de madera.**

Descripción	m <sup>2</sup> de ventana	m <sup>2</sup> de puerta	m <sup>2</sup> de madera	U ventana (W/m <sup>2</sup> ° K)	U puerta (W/m <sup>2</sup> ° K)	U madera (W/m <sup>2</sup> ° K)	U <sub>qi</sub> (W/m <sup>2</sup> ° K)
Pared izquierda	0	0	7.2	6.9	4.29	0.32	0.32
Pared derecha	0	0	7.2	6.9	4.29	0.32	0.32
Pared trasera	0	0	7.2	6.9	4.29	0.32	0.32
Pared delantera	1.35	1.89	3.96	6.9	4.29	0.32	3
<b>General</b>							<b>0.88</b>

En muros que no contienen ventanas ni puertas, los paneles de madera están dentro del Nivel B, como aislantes medios, al igual que para muros que si contienen estos elementos, se sitúa en el nivel B. El hecho de que pueda entrar en el rango propuesto por la IRAM 11605, el cual es sumamente estricto, hace que este panel sea considerado un buen elemento para aislar térmicamente, lo que nos permitirá cumplir con los dos objetivos esenciales de la aislación térmica, mayor confort dentro de las instalaciones, así como la reducción en el consumo energético.

A continuación se presentan una serie de posibles alternativas para un mejor aislamiento térmico:

**Cuadro 76: Alternativas térmicas para paneles de madera.**

Paneles de madera		W/m <sup>2</sup> *K		W/m <sup>2</sup> *K
10 cm	tableros de 5/8" densidad media	0.3	usando tableros de 1 "	0.4
10 cm	tableros de 5/8" con lana mineral	0.5	usando tableros de 1 "	0.6
10 cm	tableros de 5/8" densidad media y tablayeso 5/8"	0.3	usando tableros de 1 "	0.4
15 cm	tableros de 5/8" densidad media	0.2	usando tableros de 1 "	0.2
15 cm	tableros de 5/8" con lana mineral	0.3	usando tableros de 1 "	0.4
15 cm	tableros de 5/8" densidad media y tablayeso 5/8"	0.2	usando tableros de 1 "	0.2

Estas posibles modificaciones se clasifican según la norma IRAM de la siguiente manera:

**Cuadro 77: Clasificación térmica de paneles de madera.**

**Invierno**

Elementos	> 1.85 W/m <sup>2</sup> K	1.01 a 1.85 W/m <sup>2</sup> K	0.39 a 1 W/m <sup>2</sup> K	< 0.38 W/m <sup>2</sup> K
Paneles de madera	N/A	Mínimo	Medio	Recomendable
10 cm tableros de 5/8" densidad media				X
10 cm tableros de 5/8" con lana mineral			X	
10 cm tableros de 5/8" densidad media y tablayeso 5/8"				X
15 cm tableros de 5/8" densidad media				X
15 cm tableros de 5/8" con lana mineral				X
15 cm tableros de 5/8" densidad media y tablayeso 5/8"				X
10 cm tableros 1" densidad media			X	
10 cm tableros 1" con lana mineral			X	
10 cm tableros 1" densidad media y tablayeso 5/8"			X	
15 cm tableros 1" densidad media				X
15 cm tableros 1" con lana mineral			X	
15 cm tableros 1" densidad media y tablayeso 5/8"				X

**Continuación Cuadro No. 77: Clasificación térmica de paneles de madera.**

**Verano**

Elementos	> 2 W/m <sup>2</sup> K	1.26 a 2 W/m <sup>2</sup> K	0.51 a 1.25 W/m <sup>2</sup> K	< 0.5 W/m <sup>2</sup> K
<b>Paneles de madera</b>	<b>N/A</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Medio</b>	<b>Recomendable</b>
10 cm tableros de 5/8" densidad media				X
10 cm tableros de 5/8" con lana mineral			X	
10 cm tableros de 5/8" densidad media y tablayeso 5/8"				X
15 cm tableros de 5/8" densidad media				X
15 cm tableros de 5/8" con lana mineral				X
15 cm tableros de 5/8" densidad media y tablayeso 5/8"				X
10 cm tableros 1" densidad media				X
10 cm tableros 1" con lana mineral				X
10 cm tableros 1" densidad media y tablayeso 5/8"				X
15 cm tableros 1" densidad media				X
15 cm tableros 1" con lana mineral				X
15 cm tableros 1" densidad media y tablayeso 5/8"				X

**3.2.3.2 Block:** Según la CTE los valores de los coeficientes térmicos de la mampostería son los siguientes:

Producto	Productos de hormigón			
	HE			
	$\rho$ kg / m <sup>3</sup>	$\lambda$ W / m·K	$c_p$ J / kg·K	$\mu$
Bovedilla o casetón de hormigón convencional	590-760	1,58	1000	10
Bovedilla o casetón de hormigón de áridos ligeros	320-580	1,26	1000	6
Bloque de hormigón convencional	520-1230	1,18	1000	10
Bloque de hormigón aligerado (macizo) <sup>(1)</sup>	870-900	0,28	1000	6
Bloque de hormigón aligerado (hueco)	790-1110	0,45	1000	6
Bloque de picón	1300 - 2000	0,7	800	10
Teja de hormigón	2 100	1,50	1000	60

Fuente: CTE, 2010

Según la tabla anterior, los valores para el block según su densidad van de 0.28 a 1.18 W/m\*K. el valor a utilizar será el de 1.18 W/m\*K ya que dicho tipo de block es el que se utiliza con frecuencia en la construcción guatemalteca. De acuerdo con las dimensiones de los blocks, el valor U para dicho material es de 7.8 W/m<sup>2</sup> ° K.

Para el cálculo de la transmitancia térmica (U) se tendrán muros de mampostería de concreto reforzado de 15 cm de espesor y en ventanería y puertas se utilizara vidrios de 4mm y madera ligera respectivamente. Los resultados obtenidos se presentan a continuación.

**Imagen 198: Calculo U<sub>g</sub> de pared frontal block.**

Aislamiento térmico		
Cálculo de valor U global de un recinto		
Descripción	Elemento (seleccione un elemento de la lista)	Valor U (W/m <sup>2</sup> K)
Selección de material de paredes	Bloque de concreto	7.80
Selección de ventana	Sencillo 4mm	6.9
Selección de puerta	Madera ligera	4.29
Selección de material de techo	Concreto fundido	15.10
Ingrese área de superficie de material	Área (m <sup>2</sup> )	
Paredes	4	
Ventanas	1.35	
Puertas	1.85	
Techo	0	
<b>Total</b>	<b>7.2</b>	

**Cálculo de U<sub>g</sub> (Global)**

$$U_g = \frac{U_1 * A_1 + U_2 * A_2 + \dots + U_n * A_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n}$$

**U            7            W/m<sup>2</sup>K**

**Cuadro 78: Aislamiento térmico de unidad de block.**

Descripción	m <sup>2</sup> de ventana	m <sup>2</sup> de puerta	m <sup>2</sup> de block	U ventana (W/m <sup>2</sup> ° K)	U puerta (W/m <sup>2</sup> ° K)	U block (W/m <sup>2</sup> ° K)	U <sub>gi</sub> (W/m <sup>2</sup> ° K)
Pared izquierda	0	0	7.2	6.9	4.29	7.8	7.8
Pared derecha	0	0	7.2	6.9	4.29	7.8	7.8
Pared trasera	0	0	7.2	6.9	4.29	7.8	7.8
Pared delantera	1.35	1.89	3.96	6.9	4.29	7.8	7
						<b>General</b>	<b>7.53</b>

El concreto se caracteriza por tener propiedades térmicas muy pobres, lo podemos comprobar con los bloques de mampostería de concreto, con una mezcla convencional logramos alcanzar un valor de  $7.8 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ \text{K}$ , que comparados con el mínimo requerido por la norma IRAM 11605, no es un aislamiento recomendado para la categoría de muros. Si se modifica la mezcla de dicho concreto, se podrán alcanzar valores muy similares a los obtenidos por materiales aislantes como lo son el poliestireno, lana mineral, corcho expandido etc. Algunas posibles modificaciones para la mampostería de concreto son las siguientes:

**Cuadro 79: Alternativas térmicas para mampostería de concreto.**

Block	W/m <sup>2</sup> *K
Espesor	Simple
20 cm	5.9
Con revestimiento de 1cm de ambos lados	
10 cm	10.4
15 cm	7.2
20 cm	5.5
Modificando mezcla (ligera)	
10 cm	4.5
15 cm	3
20 cm	2.25

**Cuadro 80: Clasificación térmica de mampostería de concreto.**

**Invierno**

Elementos	> 1.85 W/m <sup>2</sup> K	1.01 a 1.85 W/m <sup>2</sup> K	0.39 a 1 W/m <sup>2</sup> K	< 0.38 W/m <sup>2</sup> K
Block	N/A	Mínimo	Medio	Recomendable
10 cm mezcla ligera	X			
15 cm mezcla ligera	X			
20 cm mezcla ligera	X			
10 cm con revestimiento de 1cm de ambos lados simples	X			
15 cm con revestimiento de 1cm de ambos lados simples	X			
20 cm con revestimiento de 1cm de ambos lados simples	X			

### Continuación Cuadro No. 80: Clasificación térmica de mampostería de concreto.

#### Verano

Elementos	> 2 W/m <sup>2</sup> K	1.26 a 2 W/m <sup>2</sup> K	0.51 a 1.25 W/m <sup>2</sup> K	< 0.5 W/m <sup>2</sup> K
<b>Block</b>	<b>N/A</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Medio</b>	<b>Recomendable</b>
10 cm mezcla ligera	X			
15 cm mezcla ligera	X			
20 cm mezcla ligera	X			
10 cm con revestimiento de 1cm de ambos lados simples	X			
15 cm con revestimiento de 1cm de ambos lados simples	X			
20 cm con revestimiento de 1cm de ambos lados simples	X			

**3.2.3.3 Ladrillo:** De acuerdo con el código español, para materiales cerámicos entre los cuales tenemos el ladrillo, se tienen los siguientes valores de coeficientes térmicos:

Productos cerámicos				
Producto	HE			
	$\rho$ kg / m <sup>3</sup>	$\lambda$ W/m·K	$c_p$ J / kg·K	$\mu$
Azulejo cerámico	2300	1,30	840	$\infty$
Bloque cerámico de arcilla aligerada	910	0,28	1000	10
Bovedilla o casetón cerámico	500	0,67	1000	10
Ladrillo hueco LH	770	0,32	1000	10
Ladrillo hueco gran formato GF	650	0,29	1000	10
Ladrillo perforado LP	780	0,35	1000	10
Ladrillo macizo LM	2300	0,85	1000	10
Plaqueta o baldosa cerámica	2000	1,00	800	30
Plaqueta o baldosa de gres	2500	2,30	1000	30
Tablero cerámico	650	0,29	1000	10
Teja de arcilla cocida	2000	1,00	800	30
Teja cerámica-porcelana	2300	1,30	840	30
<b>Gres</b>				
Gres cuarzoso	$2600 \leq \rho \leq 2800$	2,60	1000	30
Gres(silice)	$2200 \leq \rho \leq 2590$	2,30	1000	30
Gres calcáreo	$2000 \leq \rho \leq 2700$	1,90	1000	20

Fuente: CTE, 2010

De acuerdo con esta información, los ladrillos huecos o tubulares como se les conoce, tienen un coeficiente de 0.32 W/m<sup>2</sup>\*K, aunque esto dependerá del tipo de ladrillo y su densidad ya que otras fuentes proporcionan valores desde 0.44 a 0.89 W/m<sup>2</sup>\*K. para fines de este trabajo se utilizará el ladrillo tubular con un valor de 0.32 W/m<sup>2</sup>\*K. Este valor es equivalente a un U de 2.9 W/m<sup>2</sup> ° K, de acuerdo con un espesor de 11 cm.

Para el cálculo de la transmitancia global, se procederá a utilizar el modelo de habitación creado con anterioridad. En este caso la habitación contará con muros de mampostería de cerámica y para ventanas y puerta, una ventana sencilla de 4mm de espesor y una puerta de madera ligera. Los resultados son los siguientes:

**Imagen 199: Cálculo  $U_g$  de pared frontal ladrillo.**

Aislamiento térmico		
Cálculo de valor U global de un recinto		
Descripción	Elemento (seleccione un elemento de la lista)	Valor U (W/m <sup>2</sup> K)
Selección de material de paredes	Bloque de cerámica	2.90
Selección de ventana	Sencillo 4mm	6.9
Selección de puerta	Madera ligera	4.29
Selección de material de techo	Concreto fundido	15.10
Ingrese área de superficie de material	Área (m <sup>2</sup> )	
Paredes	4	
Ventanas	1.35	
Puertas	1.85	
Techo	0	
<b>Total</b>	<b>7.2</b>	

**Cálculo de  $U_g$  (Global)**

$$U_g = \frac{U_1 * A_1 + U_2 * A_2 + \dots + U_n * A_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n}$$

**U            4            W/m<sup>2</sup>K**

**Cuadro 81: Aislamiento térmico de unidad de ladrillo.**

Descripción	m <sup>2</sup> de ventana	m <sup>2</sup> de puerta	m <sup>2</sup> de ladrillo	U ventana (W/m <sup>2</sup> ° K)	U puerta (W/m <sup>2</sup> ° K)	U ladrillo (W/m <sup>2</sup> ° K)	U <sub>gi</sub> (W/m <sup>2</sup> ° K)
Pared izquierda	0	0	7.2	6.9	4.29	2.9	2.9
Pared derecha	0	0	7.2	6.9	4.29	2.9	2.9
Pared trasera	0	0	7.2	6.9	4.29	2.9	2.9
Pared delantera	1.35	1.89	3.96	6.9	4.29	2.9	4
<b>General</b>							<b>3.1</b>

El ladrillo en condiciones de invierno se sitúa a 2 W/m<sup>2</sup> ° K de diferencia, para condiciones de verano la diferencia es nada mas de 1 W/m<sup>2</sup> ° K por debajo de la norma. Aun así para estas condiciones el ladrillo se encuentra aun con un coeficiente de conductancia térmica elevado comparado con el requerido por las normas. Con esta diferencia mínima aun se puede alcanzar un buen aislamiento térmico, y así reducir las emisiones posibles de CO<sub>2</sub> que se producirán. A continuación se presentan las alternativas para un mejor aislamiento térmico utilizando ladrillos con distintos espesores:

**Cuadro 82: Alternativas térmicas para mampostería de arcilla.**

Ladrillo	W/m <sup>2</sup> *K
Espesor	Simple
15 cm	2.1
20 cm	1.6
Con revestimiento de 1cm de un lado	
11 cm	2.9
15 cm	2.1
20 cm	1.6
Con revestimiento de 1cm de ambos lados	
11 cm	2.8
15 cm	2.1
20 cm	1.6

**Cuadro 83: Clasificación térmica de mampostería de arcilla.****Invierno**

Elementos	> 1.85 W/m <sup>2</sup> K	1.01 a 1.85 W/m <sup>2</sup> K	0.39 a 1 W/m <sup>2</sup> K	< 0.38 W/m <sup>2</sup> K
<b>Ladrillo</b>	<b>N/A</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Medio</b>	<b>Recomendable</b>
11 cm simple	X			
15 cm simple	X			
20 cm simple		X		
11 cm simple con revestimiento de 1cm de ambos lados	X			
15 cm simple con revestimiento de 1cm de ambos lados	X			
20 cm simple con revestimiento de 1cm de ambos lados		X		

**Verano**

Elementos	> 2 W/m <sup>2</sup> K	1.26 a 2 W/m <sup>2</sup> K	0.51 a 1.25 W/m <sup>2</sup> K	< 0.5 W/m <sup>2</sup> K
<b>Ladrillo</b>	<b>N/A</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Medio</b>	<b>Recomendable</b>
11 cm simple	X			
15 cm simple	X			
20 cm simple		X		
11 cm simple con revestimiento de 1cm de ambos lados	X			
15 cm simple con revestimiento de 1cm de ambos lados	X			
20 cm simple con revestimiento de 1cm de ambos lados		X		



**3.2.3.4 Concreto:** En el caso del concreto de acuerdo con el Código técnico de edificación de España, basados en una serie de pruebas, se tienen los siguientes valores de los coeficientes térmicos, según este cuadro el concreto estará en un rango de 2.3 a 2.5 W/m K, un coeficiente bastante elevado comparado con el resto de materiales. Con base en estos valores, para obtener el valor de transmitancia térmica, el cual es el valor de interés y el más utilizado por las normas, se supondrá que los muros y losa tendrán un espesor de 10 cm, para obtener un valor U de 15.1 W/m<sup>2</sup> ° K.

Hormigones				
Material	HE			
	$\rho$ kg / m <sup>3</sup>	$\lambda$ W / m·K	$c_p$ J / kg·K	$\mu$
Hormigón armado	$\rho > 2500$	2,50	1000	80
	$2300 < \rho \leq 2500$	2,30	1000	80
Hormigón en masa	$2300 \leq \rho \leq 2600$	2,00	1000	80
	$2000 \leq \rho \leq 2300$	1,65	1000	70
Hormigón con áridos ligeros	$1800 \leq \rho \leq 2000$	1,35	1000	60
	$1600 \leq \rho \leq 1800$	1,15	1000	60

Fuente: CTE, 2010

Para el cálculo del valor U global en base al modelo de la habitación creado, se tendrá en este caso muros fundidos de concreto reforzado, en ambas partes tendrá sus acabados finales. El material de la ventana será siempre la ventana sencilla de 4mm de espesor y la puerta de madera ligera. Los resultados obtenidos son los siguientes:

#### Imagen 200: Cálculo $U_g$ de pared frontal concreto.

Aislamiento térmico		
Cálculo de valor U global de un recinto		
Descripción	Elemento (seleccione un elemento de la lista)	Valor U (W/m <sup>2</sup> K)
Selección de material de paredes	Concreto fundido	15.10
Selección de ventana	Sencillo 4mm	6.9
Selección de puerta	Madera ligera	4.29
Selección de material de techo	Concreto fundido	15.10
Ingrese área de superficie de material	Área (m <sup>2</sup> )	
Paredes	4	
Ventanas	1.35	
Puertas	1.85	
Techo	0	
<b>Total</b>	<b>7.2</b>	
Cálculo de $U_g$ (Global)		
$U_g = \frac{U_1 * A_1 + U_2 * A_2 + \dots + U_n * A_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n}$		
<b>U</b>	<b>11</b>	<b>W/m<sup>2</sup>K</b>

**Cuadro 84: Aislamiento térmico de unidad de concreto.**

Descripción	m <sup>2</sup> de ventana	m <sup>2</sup> de puerta	m <sup>2</sup> de concreto	U ventana (W/m <sup>2</sup> ° K)	U puerta (W/m <sup>2</sup> ° K)	U concreto (W/m <sup>2</sup> ° K)	U <sub>qi</sub> (W/m <sup>2</sup> ° K)
Pared izquierda	0	0	7.2	6.9	4.29	15.1	15.1
Pared derecha	0	0	7.2	6.9	4.29	15.1	15.1
Pared trasera	0	0	7.2	6.9	4.29	15.1	15.1
Pared delantera	1.35	1.89	3.96	6.9	4.29	15.1	11
						General	<b>14.02</b>

Con los resultados obtenidos para el concreto, se puede observar que el material permite una transmisión elevada. De acuerdo con el acondicionamiento térmico, supone que dicho material es ineficiente para lograr un aislamiento térmico. Alcanzar un mejor desempeño de este material requeriría aumentar el espesor de los muros a dimensiones que económicamente no serían factibles. Una de las opciones recomendadas para la resolución de dicho problema es añadir al muro elementos con mejores propiedades térmicas. Algunas alternativas en cuanto a espesores y modificaciones de mezcla son las siguientes:

**Cuadro 85: Alternativas térmicas para concreto.**

Concreto	W/m <sup>2</sup> *K
Espeor	Recubrimiento 1 cm
10 cm	15.1
15 cm	10.8
20 cm	8.4
Aligerado	
10 cm	11.5
15 cm	7.67
20 cm	5.75

**Cuadro 86: Clasificación térmica de concreto.****Invierno**

Elementos	> 1.85 W/m <sup>2</sup> K	1.01 a 1.85 W/m <sup>2</sup> K	0.39 a 1 W/m <sup>2</sup> K	< 0.38 W/m <sup>2</sup> K
<b>Concreto</b>	<b>N/A</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Medio</b>	<b>Recomendable</b>
10 cm recubrimiento 1 cm	X			
15 cm recubrimiento 1 cm	X			
20 cm recubrimiento 1 cm	X			
10 cm aligerado	X			
15 cm aligerado	X			
20 cm aligerado	X			

**Verano**

Elementos	> 2 W/m <sup>2</sup> K	1.26 a 2 W/m <sup>2</sup> K	0.51 a 1.25 W/m <sup>2</sup> K	< 0.5 W/m <sup>2</sup> K
<b>Concreto</b>	<b>N/A</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Medio</b>	<b>Recomendable</b>
10 cm recubrimiento 1 cm	X			
15 cm recubrimiento 1 cm	X			
20 cm recubrimiento 1 cm	X			
10 cm aligerado	X			
15 cm aligerado	X			
20 cm aligerado	X			

**3.2.3.5 Panel estructural o electro panel:** De acuerdo con el código técnico de edificación del instituto Eduardo Torroja, ciencias de la construcción, España. Los valores para elementos aislantes son los siguientes:

<b>Aislantes térmicos</b>				
<b>Material o producto</b>	<b>HE</b>			
	$\rho$ kg / m <sup>3</sup>	$\lambda$ W / m·K	$c_p$ J / kg·K	$\mu$
<b>Poliestireno Expandido (EPS)</b>	-	0,039 <sup>(1)</sup> – 0,029	-	20 -100
<b>Poliestireno Expandido Elasticado (EEPS)</b>	-	0,046 – 0,029	-	
<b>Poliestireno Extruido (XPS)</b>	-	0,039 - 0,033	-	100 - 220
Expandido con dióxido de carbono CO <sub>2</sub>	-	0,039 - 0,029	-	100 - 220
Expandido con hidrofluorcarbonos HFC	-		-	

Fuente: CTE, 2010

Entre este listado se puede apreciar el valor del coeficiente térmico que corresponde al poliestireno expandido el cual es el material utilizado en el electro panel. Al combinar este material con el mortero que protegerá las superficies, modificara el valor del coeficiente térmico. Como resultado final el valor proporcionado por los proveedores de dicho material es de 0.4 W/m<sup>2</sup> ° K, conocido como la transmitancia térmica. Entre más bajo sea dicho valor mayor aislamiento se obtendrá, por lo que se puede concluir que este material es uno de los mejores en cuanto a la aislación térmica.

Para lograr la evaluación de dicho material se utilizará el modelo de habitación previamente diseñado. La habitación al igual que en el caso del aislamiento acústico contará con un panel constituido por un centro de poliestireno expandido, a la vez este centro esta reforzado por una electro malla de acero. El elemento está repellido en ambas caras. La ventana es de 4 mm de espesor y la puerta es de madera ligera. Los resultados son los siguientes:

**Imagen 201: Calculo U<sub>g</sub> de pared frontal electro panel.**

Aislamiento térmico		
Cálculo de valor U global de un recinto		
Descripción	Elemento (seleccione un elemento de la lista)	Valor U (W/m <sup>2</sup> K)
Selección de material de paredes	Electro panel	0.40
Selección de ventana	Sencillo 4mm	6.9
Selección de puerta	Madera ligera	4.29
Selección de material de techo	Electro panel	0.40
Ingrese área de superficie de material	Área (m <sup>2</sup> )	
Paredes	4	
Ventanas	1.35	
Puertas	1.85	
Techo	0	
<b>Total</b>	<b>7.2</b>	
Cálculo de Ug (Global)		
$U_g = \frac{U_1 * A_1 + U_2 * A_2 + \dots + U_n * A_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n}$		
<b>U                    3                    W/m<sup>2</sup>K</b>		

**Cuadro 87: Aislamiento Térmico de unidad de electro panel.**

Descripción	m <sup>2</sup> de ventana	m <sup>2</sup> de puerta	m <sup>2</sup> de panel	U ventana (W/m <sup>2</sup> °K)	U puerta (W/m <sup>2</sup> °K)	U panel (W/m <sup>2</sup> °K)	U <sub>qi</sub> (W/m <sup>2</sup> °K)
Pared izquierda	0	0	7.2	6.9	4.29	0.4	0.4
Pared derecha	0	0	7.2	6.9	4.29	0.4	0.4
Pared trasera	0	0	7.2	6.9	4.29	0.4	0.4
Pared delantera	1.35	1.89	3.96	6.9	4.29	0.4	3
General							<b>0.95</b>

En condiciones de invierno el electro panel es un elemento que está situado en la clasificación B, con una aislación media. Combinado con elementos como ventanas y puertas se sitúa en el nivel B.

En condiciones de verano, Guatemala está situado en una región III por lo tanto, para muros este material se considera en un nivel B, por lo que es el material más apto para una aislación térmica. Sin embargo no cumple con los requerimientos mínimos para ser considerado como un aislante recomendable según la norma IRAM 11605. Para alcanzar este nivel A recomendable se debe de aumentar ya sea el espesor del poliestireno así como el espesor del mortero, algunas modificaciones se presentan a continuación:

**Cuadro 88: Alternativas térmicas para electro panel.**

Panel estructural	
Esesor + 2.5 cm recubrimiento	W/m <sup>2</sup> *K
8.1 cm	0.4
10.6 cm	0.3
11.6 cm	0.3
13.8 cm	0.2
14.8 cm	0.2

**Cuadro 89: Clasificación térmica de electro panel.****Invierno**

Elementos	> 1.85 W/m <sup>2</sup> K	1.01 a 1.85 W/m <sup>2</sup> K	0.39 a 1 W/m <sup>2</sup> K	< 0.38 W/m <sup>2</sup> K
<b>Panel estructural</b>	<b>N/A</b>	<b>Mínimo</b>	<b>medio</b>	<b>Recomendable</b>
8.1 cm 2.5 cm de recubrimiento ambos lados			X	
9.1 cm 2.5 cm de recubrimiento ambos lados			X	
10.6 cm 2.5 cm de recubrimiento ambos lados				X
11.6 cm 2.5 cm de recubrimiento ambos lados				X
13.8 cm 2.5 cm de recubrimiento ambos lados				X
14.8 cm 2.5 cm de recubrimiento ambos lados				X

**Verano**

Elementos	> 2 W/m <sup>2</sup> K	1.26 a 2 W/m <sup>2</sup> K	0.51 a 1.25 W/m <sup>2</sup> K	< 0.5 W/m <sup>2</sup> K
<b>Panel estructural</b>	<b>N/A</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Medio</b>	<b>Recomendable</b>
8.1 cm 2.5 cm de recubrimiento ambos lados				X
9.1 cm 2.5 cm de recubrimiento ambos lados				X
10.6 cm 2.5 cm de recubrimiento ambos lados				X
11.6 cm 2.5 cm de recubrimiento ambos lados				X
13.8 cm 2.5 cm de recubrimiento ambos lados				X
14.8 cm 2.5 cm de recubrimiento ambos lados				X

**3.2.4 Análisis comparativo: Propiedades mecánicas:** En esta sección se procederá a analizar las propiedades mecánicas de los distintos materiales de construcción que se han venido tratando. Cuando se analiza los distintos sistemas estructurales, es muy difícil comparar uno con el otro debido a que no todos los elementos fueron diseñados para cumplir las mismas funciones, debido a que la mampostería es específica para muros se realizará la comparación a partir de este dato, considerando la capacidad de carga de un muro.

**3.2.4.1 Madera:** La madera como elemento estructural en Guatemala no es tan amplia como para otros usos, existen solamente ciertos distribuidores de este tipo de material. on base estos distribuidores, los tipos de madera utilizados en Guatemala con este fin son: Ciprés, Cenicero, Manchiche, Pucte, Santa María, Chichipate, Pino. Sin embargo esta lista se reduce debido a su accesibilidad y bajo costo a Pino, Ciprés y Santa María.

**Cuadro 90: Propiedades mecánicas de madera Santa María**

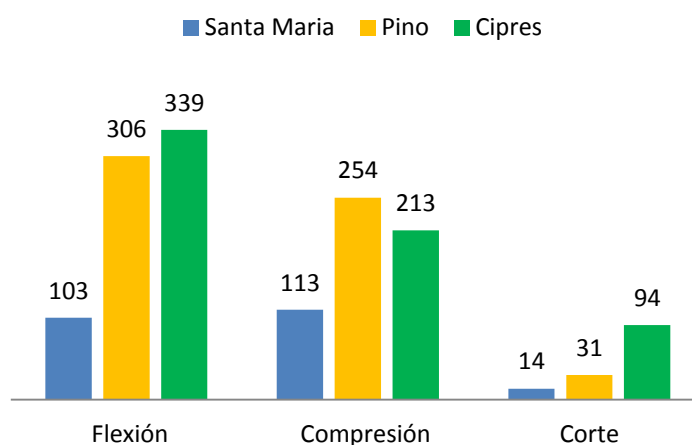
Propiedades mecánicas		Valor (kg/cm <sup>2</sup> )
Flexión estática	Módulo de rotura	103-204
	Módulo de elasticidad	58000-91000
Compresión	Paralela	113-158
Cizalladura	Resistencia máxima	14-22

**Cuadro 91: Propiedades mecánicas de madera Pino.**

Propiedades mecánicas		Valor (kg/cm <sup>2</sup> )
Flexión estática	Módulo de rotura	306-720
	Módulo de elasticidad	40000-126000
Compresión	Paralela	254-440
Cizalladura	Resistencia máxima	31

**Cuadro 92: Propiedades mecánicas de madera Ciprés**

Propiedades mecánicas		Valor (kg/cm <sup>2</sup> )
Flexión estática	Módulo de rotura	339-733
	Módulo de elasticidad	40930-120000
Compresión	Paralela	213-349
Cizalladura	Resistencia máxima	94

**Imagen 202: Comparación propiedades mecánicas de la madera.**

A continuación se presenta un cuadro que despliega información de la capacidad de carga de un muro de paneles de madera estructural de pino, la cual parte de cuatro factores: Altura de muro, espesor de muro, grado de la madera y espaciamiento entre ejes.

El parámetro a evaluar será a partir de de la altura de la habitación diseñada, la cual es 2.4 metros.

**Cuadro 93: Capacidad de carga de muros de madera.**

Altura (m)	Costanera (mm)	Capacidad de carga (kg/m)								
		Grado G2			Grado C16			Grado C24		
		Distancia entre ejes (m)			Distancia entre ejes (m)			Distancia entre ejes (m)		
		0.41	0.51	0.61	0.41	0.51	0.61	0.41	0.51	0.61
2.44	41x65	926.61	745.16	622.83	1,047.91	842.00	704.38	1,385.32	1,113.15	930.68
	41x 90	2,276.25	1,829.77	1,530.07	2,494.39	2,005.10	1,676.86	3,252.80	2,614.68	2,186.54
	41x 115	4,297.66	3,454.64	2,888.89	4,539.25	3,649.34	3,050.97	5,813.46	4,673.80	3,907.24
2.92	41x 65	670.74	539.25	450.56	760.45	611.62	510.70	1,009.17	811.42	677.88
	41x 90	1,697.25	1,364.93	1,140.67	1,864.42	1,498.47	1,252.80	2,451.58	1,970.44	3,076.45
	41x 115	3,350.66	2,693.17	2,251.78	3,523.96	2,832.82	2,369.01	4,576.96	3,678.90	4,704.38
3.6	41x 65	454.64	365.95	305.81	516.82	415.90	347.60	892.97	553.52	462.79
	41x 90	1,179.41	948.01	793.07	1,296.64	1,042.81	871.56	1,716.62	1,380.22	1,153.92
	41x 115	2,412.84	1,939.86	1,621.81	2,528.03	2,032.62	1,709.48	3,320.08	2,669.72	2,231.40
4.22	41x 65	337.41	271.15	226.30	383.28	307.85	257.90	511.72	411.82	344.55
	41x 90	884.81	711.52	595.31	973.50	782.87	654.43	1,293.58	1,039.76	869.52
	41x 115	1,844.04	1,482.16	1,239.55	1,928.64	1,550.46	1,296.64	2,547.40	2,047.91	1,712.54

Fuente: Arauco,2003



**3.2.4.2 Block:** A nivel nacional se manejan comercialmente tres distintos tipos de block, de 25, 35 y 55 kg/cm<sup>2</sup>. Estas resistencias a compresión están dadas por el diseño de mezcla del concreto utilizado, comúnmente para edificaciones como las viviendas el block más utilizado es el de 35 kg/cm<sup>2</sup> y dependiendo de los requerimientos estructurales del diseño, se utilizan de mayor resistencia. Cabe mencionar que dentro del país de Guatemala existen muchas fábricas de block las cuales no tienen normalizados sus diseños de mezcla por lo que obtienen blocks de baja resistencia a la compresión, en este trabajo se consideran únicamente las unidades de mampostería que cumplen con los estándares de calidad. Las dimensiones típicas de la unidad de mampostería de block son de 14 x 19 x 39 cm. Estos elementos de acuerdo con su diseño, solo permiten cargas de compresión ya que son diseñados principalmente para muros.

**Cuadro 94: Resistencia a compresión del block.**

Unidad	Área bruta (cm <sup>2</sup> )	Área neta (cm <sup>2</sup> )	Resistencia real (kg/cm <sup>2</sup> )
25	546	306	44.61
35	546	306	62.45
55	546	306	98.14

A continuación se presenta la capacidad de carga de un muro de mampostería de concreto, basándonos en la altura y espesor de muro. La resistencia a la compresión del muro es de  $f'm = 9.3$  MPa.

**Cuadro 95: Capacidad de carga del block.**

Altura de muro (m)	Cargas axiales permisibles kg/m			
	t=15 cm	20	25	30
1.83	15,886.29	17,894.38	24,375.33	28,031.56
2.13	16,265.59	17,790.26	24,302.45	27,983.96
2.44	15,365.67	17,651.93	24,205.76	27,918.51
2.74	14,984.87	17,473.43	24,082.30	27,836.70
3.05	14,502.93	17,250.31	23,927.60	27,734.06
3.35		16,976.61	23,738.69	27,607.63
3.66		16,650.85	23,511.11	27,457.39
3.96		16,264.11	23,243.36	27,280.38

Fuente: Panarese, Kosmatka & Randall, 1991.

**3.2.4.3 Ladrillo:** De acuerdo con estudios realizados en el país de Guatemala, el 12% de las viviendas se encuentran construidas con ladrillos, el segundo material más utilizado en Guatemala solamente por debajo del block que abarca un 65%. Dentro de dichas construcciones, los ladrillos utilizados son distintos teniendo desde los ladrillos macizos, tubulares, etc. En su mayoría las viviendas se encuentran construidas por los ladrillos tubulares de dimensiones 6.5x11x23 cm debido a que tienen un precio más accesible y permiten colocar refuerzo. Hoy en día se han ido creando bloques de arcilla con dimensiones mucho mayores para poder competir con su rival directo, esto permite mejorar tiempos de construcción como otras características que presenta el block. Dentro de las resistencias a la compresión que puede alcanzar los ladrillos están en el rango de 60 a 120 kg/cm<sup>2</sup> dependiendo del tipo de ladrillo y sus dimensiones, típicamente los más resistentes son los ladrillos tubulares.

**Cuadro 96: Resistencia a compresión del ladrillo.**

Unidad	Dimensiones (cm)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )
Tubular	9x14x39	100
Tubular	6.5x14x29	110
Tubular	9x14x29	100
Tubular	6.5x11x23	116
Bloque	19x14x39	95
Bloque liviano	19x14x39	60

Para muros de ladrillo, al igual que los otros casos se presentara el cuadro desplegando su capacidad de carga según la altura y espesor de muro. La resistencia a la compresión del muro según la fuente a nivel de unidad es de 15 MPa y a nivel de espécimen o muro es de 6.2 MPa, el mortero utilizado es de tipo M3.

**Cuadro 97: Capacidad de carga del ladrillo.**

altura de muro (m)	cargas axiales permisibles kg/m				
	t=9 cm	11	14	19	29
2.40	7,747.20	10,907.24	12,538.23	14,882.77	18,858.31
2.70	6,422.02	9,684.00	11,722.73	14,780.84	18,858.31
3.00		8,562.69	10,805.30	14,067.28	18,858.31
3.30		7,441.39	9,887.87	13,353.72	18,858.31
3.60			8,970.44	12,640.16	18,858.31
4.20			7,237.51	11,213.05	18,552.50

Fuente: Austral bricks

**3.2.4.4 Concreto:** Con la industrialización y crecimiento poblacional, el sector de la construcción se ha visto en la necesidad de satisfacer la demanda de vivienda, es por esto que se diseñó el sistema de la construcción de vivienda industrializada, la cual su principal característica es que se reducen los tiempos de construcción drásticamente, además de esto se reduce el número de trabajadores. Este sistema es relativamente nuevo en el Guatemala, teniendo un gran auge y aceptación por la gente debido a que el material utilizado es mundialmente conocido y muy resistente. Dependiendo de los requisitos estructurales se pueden utilizar concretos de 20.6 MPa hasta concreto de 34.5 MPa, además de esto el espesor de muros podrá estar en un rango de 10 a 20 cm, aunque comúnmente en Guatemala se están utilizando muros de 10 cm con concreto de 20.6 MPa. La construcción con este sistema no tiene límites por lo que se puede construir cualquier tipo de estructura deseada.

**Cuadro 98: Resistencia del concreto.**

Tipo de Concreto	Capacidad a compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	Capacidad en tensión (kg/cm <sup>2</sup> )	Capacidad en corte (kg/cm <sup>2</sup> )
20.6 MPa	210	22	14
27.6 MPa	280	25	17
34.5 MPa	350	28	19

De acuerdo con lo mencionado anteriormente, se presentará una tabla conteniendo la capacidad de carga de muros de concreto a compresión, utilizando un concreto de 20.6 MPa, a distintos espesores y alturas. Estos datos sólo aplican en el caso de que existan excentricidades no mayores al espesor partido 6 y asumiendo que las cargas son concéntricas en el muro.

**Cuadro 99: Capacidad de carga del concreto.**

Altura (m)	Capacidad de carga (kg/m)		
	Espesor (cm)		
	10	15	20
2.00	56,306.25	100,100.00	140,765.63
2.44	47,139.59	93,988.90	136,182.30
2.75	39,590.33	88,956.05	132,407.67
3.00	32,845.31	84,459.38	129,035.16
3.50	17,595.70	74,292.97	121,410.35
4.00		62,562.50	112,612.50
4.50		49,267.97	102,641.60

**3.2.4.5 Panel estructural o electro panel:** El panel estructural es un material muy reciente en la construcción guatemalteca, el sistema constructivo es muy versátil e innovador, y sus materiales son tecnológicos. Según sus descripciones dicho material es sumamente resistente a las cargas y a la vez liviano para la reducción del peso de la estructura, una gran ventaja en zonas sísmicas. Según estudios y pruebas este material es capaz de soportar cargas similares a las cargas que puede soportar la mampostería. Además de elementos para muros, también se cuenta con paneles para la construcción de losas, capaces de soportar grandes momentos dependiendo del refuerzo, trabajando de forma unidireccional. Cabe mencionar que los elementos están creados específicamente para cada función por lo que no se puede usar un elemento de losas para muros y viceversa. Entre sus propiedades mecánicas tenemos las siguientes:

**Cuadro 100: Propiedades mecánicas del electro panel.**

Característica	Unidad	Valor
Resistencia al cortante horizontal del muro/m.l	kg	2586
Momento máx. positivo para losa (d=11.31)	kg-m	247.82
Momento máximo negativo para losa (d=9.31)	kg-m	203.17
Resistencia al cortante vertical del alambre/m.l	kg	816.13
Resistencia al cortante vertical del mortero/m.l	kg	2091.65
Cortante máx. resistente con f.s=1.5	kg	1938.52
Esfuerzo de fluencia en el alambre del panel $f_y$	kg/cm <sup>2</sup>	5000
Esfuerzo a compresión de la espuma	kg/cm <sup>2</sup>	1.1 a 1.4
Esfuerzo al cortante de la espuma	kg/cm <sup>2</sup>	7 a 8
Resistencia a la flexión de la espuma	kg/cm <sup>2</sup>	2 a 3
Resistencia mínima a compresión con mortero 1:3	kg/cm <sup>2</sup>	70
Modulo de elasticidad del mortero con proporción 1:3	kg/cm <sup>2</sup>	137719
Resistencia a compresión del concreto con agregado máximo de 1/2	kg/cm <sup>2</sup>	150

Fuente: Alfaro, 2004.

Como lo sé menciono anteriormente, los materiales se evaluarán por medio de su resistencia como muro, en este caso el muro de electro panel cuenta con un alambre calibre 14 de  $f_y = 50000 \text{ kg/cm}^2$ , un área de acero vertical para la malla de 5 cm x 5 cm de  $0.62 \text{ cm}^2/\text{cm}$  y

para la malla de 5 cm x10 cm de 0.31 cm<sup>2</sup>/cm, el acero horizontal en ambos casos es de 0.62 cm<sup>2</sup>/cm y por último el mortero considerado en los cálculos de  $f'c = 100 \text{ kg/cm}^2$ , todo esto en base a la información de la fuente. A continuación se presentan los resultados de la capacidad de carga de los distintos muros con electro panel, dependiendo de la altura del muro y el espesor del mismo:

**Cuadro 101: Capacidad de carga del muro de electro panel.**

Altura (m)	Capacidad de Carga axial (kg/m)							
	espesor Panel tipo 1A (cm)		espesor Panel tipo 1B (cm)		espesor Panel tipo 2A (cm)		espesor Panel tipo 2B (cm)	
	8.1	9.1	8.1	9.1	10.6	11.6	10.6	11.6
2.00	9,883	13,642	13,162	17,544	12,706	16,439	17,500	21,458
2.44	6,888	10,900	9,173	13,815	10,939	14,614	15,066	19,077
2.75		8,477		10,744	9,483	13,112	13,061	17,116
3.00					8,183	11,770	11,270	15,363
3.50						8,735		11,402
4.00								
4.50								

Fuente: [www.panelw.com](http://www.panelw.com)

De acuerdo con los resultados obtenidos en la sección del análisis de las propiedades mecánicas, podemos ver claramente que los muros de concreto son los que poseen la mayor capacidad de carga debido a que su  $f'c$  es mucho mayor al del resto, seguido por las unidades de mampostería y el panel estructural, y por último los paneles de madera. Cabe mencionar que en los muros de concreto mampostería no se considero el refuerzo ya que éste tiene un aporte mínimo a la compresión por lo que se puede despreciar.

**3.2.5 Análisis comparativo: Absorción de humedad:** La humedad en las construcciones es un efecto de diversas patologías en la edificación las cuales disminuyen el confort del usuario, así como la salud, comprometiendo el estado del edificio. La humedad se convierte en patológica al momento en que esta aparece de forma no deseada, incontrolada y desmedida en cantidades superiores a las esperadas en los materiales de construcción.

Existen 3 principales tipos de humedad que se pueden presentar en los muros de una vivienda:

- Humedad capilar: es aquella humedad que se presenta en las zonas bajas del muro, debido a que se encuentran en contacto con el terreno. Esta se debe a que el agua que posee el terreno sube por las redes capilares de los materiales.
- Humedad por condensación: es aquella producida cuando la temperatura superficial del muro es inferior al punto de rocío del ambiente. Este fenómeno puede llegar a causar colonias de hongos que se extienden a lo largo de la superficie del muro.
- Humedad por filtración: es aquella producida por el acceso del agua entre grietas o huecos entre los muros o elementos estructurales, provocando así manchas en estos.

La influencia de estos factores en las edificaciones dependerán del tipo de material utilizado y su forma de empleo, esto radicará en la capacidad de absorción de los elementos, como de su porosidad. El agua posee una gran conductividad térmica, 25 veces mayor a la del aire, por lo que la humedad provocará un aumento de la conductividad térmica en los materiales, reduciendo así la aislación térmica en la vivienda.

**Cuadro 102: Resultados finales absorción de humedad.**

Porcentaje de absorción de agua					
Descripción	Ladrillos	Block	Madera	Concreto	Panel
Mínimo	2%	30%	6.20%		0.65%
Promedio	8%	20%	10.80%	2%	4%
Máximo	20%	15%	18%		6%

De acuerdo con los resultados, se puede observar que el concreto posee una alta impermeabilidad, esto dependerá de la densidad de este material, reduciendo así la relación de vacíos en su estructura. El electro panel debido a tener un recubrimiento de mortero, posee también una alta impermeabilidad comparada con el resto de los materiales, esto dependerá, al igual que el concreto, de la densidad del mortero, entre mayor resistencia tenga el mortero menos absorción de agua se tendrá.

Los elementos de mampostería poseen una absorción muy similar entre ellos. Los bloques de concreto debido a los agregados utilizados, poseen una alta porosidad y por ende una alta absorción, pero gracias al recubrimiento que se le es colocado, mejora sus propiedades higroscópicas.

La madera, dependiendo de su tipo, tendrá un rango de un 6% a un 18% de absorción de agua. Típicamente la madera de mayor uso en la construcción tiene un 10.8% de absorción de humedad. Aunque comúnmente la madera es conocida por presentar problemas con la humedad, como lo es la hinchazón o pudrición, se pueden realizar tratamientos para mejorar sus características.

**3.2.6 Resultados finales de propiedades:** Con base en los materiales utilizados para realizar el análisis de costos, se realizara una ponderación en base a las propiedades para asignar una puntuación a cada sistema:

**Cuadro 103: Resultados finales propiedades.**

Sistema constructivo	Propiedades acústicas	propiedades térmicas	Resistencia al fuego	Propiedades mecánicas	Absorción de humedad	Promedio
Madera	10	10	7	1	2	6
Block	10	3	10	3	1	5
Ladrillo	10	9	10	3	3	7
Concreto	10	1	10	10	10	8
Electro panel	10	10	10	4	5	8

### 3.3 Análisis comparativo: Impacto ambiental

La etapa final de este apartado consiste en comparar cada material de construcción de acuerdo al impacto ambiental con el objetivo de analizar el orden de influencia negativa que posee dichos materiales sobre la tierra.

Para dicho análisis se compararán los tres aspectos más importantes mencionados durante el análisis que son: materia prima, proceso de fabricación y desperdicios ante varios aspectos influyentes sobre la tierra.

Con esto entonces se logra una clasificación de 1 a 5 en orden cronológico para determinar qué material es más contaminante.

La escala de calificación es de 0 a 10, siendo cero el valor menos contaminante o cero contaminación y 10 el valor que más contamina en todo el proceso de vida del material. Esta evaluación puede ser subjetiva pero toma en cuenta todo el proceso de elaboración del material de construcción asemejándose a la realidad nacional.

**Cuadro 104: Análisis de impacto ambiental block.**

Actividad	Impactos Ambientales													
	Destrucción total de un ecosistema	Pérdida de flora y fauna	Ruidos y vibraciones	Generación de partículas de polvo	Pérdida de morfología del suelo	Pérdida de calidad de agua superficial	Pérdida de calidad de agua subterránea	Contaminación de suelos	Incremento de riesgo de erosión de suelo	Daños al paisaje	Contaminación atmosférica	Generación de enfermedades	Vertido de basura	Total (Por fila)
<b>Proceso de extracción</b>	9	9	8	8	8	9	3	9	10	10	6	9	10	8.30
<b>Proceso de elaboración</b>	1	1	8	7	0	0	0	8	1	9	6	9	3	4.8
<b>Residuos</b>	7	6	0	9	2	5	1	6	7	10	2	2	9	5.07
<b>Nivel de contaminación de 1 a 10</b>	5.8													

De dicho análisis se puede determinar que el proceso de extracción es el que más afecta al medio ambiente seguido de los residuos y proceso de elaboración respectivamente.



**Cuadro 105: Análisis de impacto ambiental ladrillo.**

Actividad	Impacto Ambiental													
	Destrucción total de un ecosistema	Pérdidas de flora y fauna	Ruidos y vibraciones	Generación de partículas de polvo	Perdida de morfología del suelo	Pérdida de calidad de agua superficial	Pérdida de calidad de agua subterránea	Contaminación de suelos	Incremento de riesgo de erosión de suelo	Daños al paisaje	Contaminación atmosférica	Generación de enfermedades	Vertido de basura	Total (Por fila)
Proceso de extracción	9	9	6	8	8	9	10	7	10	10	6	9	10	8.53
Proceso de elaboración	0	0	6	10	0	0	0	8	1	9	10	10	10	4.92
Residuos	3	3	3	9	2	6	1	2	7	8	8	9	9	5.38
Nivel de contaminación de 1 a 10	6.2													

De dicho análisis se puede determinar que el proceso de extracción es el que más afecta al medio ambiente seguido de los residuos y proceso de elaboración respectivamente.

**Cuadro 106: Análisis de impacto ambiental concreto.**

Actividad	Impacto Ambiental													
	Destrucción total de un ecosistema	Pérdida de flora y fauna	Ruidos y vibraciones	Generación de partículas de polvo	Perdida de morfología del suelo	Pérdida de calidad de agua superficial	Pérdida de calidad de agua subterránea	Contaminación de suelos	Incremento de riesgo de erosión de suelo	Daños al paisaje	Contaminación atmosférica	Generación de enfermedades	Vertido de basura	Total (Por fila)
Proceso de extracción	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	10	9.07
Proceso de elaboración	10	10	9	10	10	10	10	8	1	10	10	9	3	8.46
Residuos	2	3	5	9	2	5	1	8	7	7	10	2	9	5.38
Nivel de contaminación de 1 a 10	7.6													

De dicho análisis se puede determinar que en primer lugar se ve afectado el proceso de extracción del material, y con un número muy parecido se encuentra el proceso de elaboración para finalizar con los residuos que se encuentran mucho más abajo.

**Cuadro 107: Análisis de impacto ambiental madera.**

Actividad	Destrucción total de un ecosistema	Pérdida de flora y fauna	Ruidos y vibraciones	Generación de partículas de polvo	Perdida de morfología del suelo	Pérdida de calidad de agua superficial	Pérdida de calidad de agua subterránea	Contaminación de suelos	Incremento de riesgo de erosión de suelo	Daños al paisaje	Contaminación atmosférica	Generación de enfermedades	Vertido de basura	Total (Por fila)
Proceso de extracción	9	9	2	5	9	9	9	1	8	10	2	1	4	6
Proceso de elaboración	1	1	1	1	1	1	1	3	1	6	7	2	1	2.07
Residuos	1	1	1	9	1	1	1	1	1	1	3	1	2	1.84
Nivel de contaminación de 1 a 10	3.3													

Del proceso de la producción de madera se determina que el proceso de extracción tiende a ser muchísimo más bajo que los materiales anteriores, pero que encabeza el impacto ambiental seguido del proceso de elaboración y residuos respectivamente.

**Cuadro 108: Análisis de impacto ambiental electro panel.**

Actividad	Destrucción total de un ecosistema	Pérdida de flora y fauna	Ruidos y vibraciones	Generación de partículas de polvo	Perdida de morfología del suelo	Pérdida de calidad de agua superficial	Pérdida de calidad de agua subterránea	Contaminación de suelos	Incremento de riesgo de erosión de suelo	Daños al paisaje	Contaminación atmosférica	Generación de enfermedades	Vertido de basura	Total (Por fila)
Proceso de extracción	9	9	7	7	7	9	7	8	7	8	9	6	7	7.69
Proceso de elaboración	3	3	5	2	2	5	6	2	1	9	5	7	2	4.00
Residuos	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	2	2	3	1.38
Nivel de contaminación de 1 a 10	4.36													

En la producción del electropanel se observa que el proceso de extracción se encuentra en primer lugar con un alto nivel contaminante, luego le sigue el proceso de elaboración para finalizar con los residuos que básicamente se vuelven nulos.

Para finalizar se determina entonces que la madera se encuentra en el primer lugar respecto al impacto ambiental en su proceso de producción, caracterizado por el bajo uso de energía. Seguido de este viene el electropanel o panel estructural con la modalidad de poder reutilizar en un cien por ciento sus desperdicios.

En tercer lugar se encuentra el block con la característica distintiva de la automatización de procesos eléctricos. En cuarto lugar el ladrillo dando la ventaja de la producción del material de bajo impacto ambiental y para finalizar el cemento característico de la reducción de impacto ambiental sobre la atmosfera apoyando lo que es la huella de carbono.

De esta manera es entonces como se determina que los sistemas constructivos verdes tienen una gran ventaja ante los sistemas constructivos tradicionales respecto a la elaboración. Esto es de gran ventaja ya que día a día nos vemos envueltos en procesos industrializados donde el interés principal es sólo la producción en masa, y donde tristemente se vuelve secundario la protección de los materiales que brinda la naturaleza así como la reducción de contaminación a la atmosfera.

### 3.4 Resultados finales del análisis

**Cuadro 109: Resultados finales del análisis.**

Sistema constructivo	Análisis de costos	Análisis de propiedades	Análisis de impacto ambiental	Promedio
Madera	8	6	7	7.0
Block	10	5	4	6.3
Ladrillo	10	7	4	7.0
Concreto	10	8	2	6.7
Panel estructural	9	8	6	7.7

Actualmente la construcción de viviendas en el país, está muy afectada por el empirismo, además de esto, se tiene a la mampostería como el único método de construcción capaz de otorgar calidad y seguridad de vivienda. Esta concepción se ha acrecentado debido a

que es muy complicado encontrar materiales alternativos para la construcción, o bien se pueden encontrar a costos muy elevados.

Los costos elevados de los materiales no tradicionales, al igual que el poco conocimiento de los mismos, da como resultado que en la actualidad de Guatemala, el método constructivo de vivienda más económico sea la mampostería. A pesar que los tiempos de construcción son menores en métodos no tradicionales como lo son el panel estructural y la madera (lo cual hace que el costo de mano de obra sea menor), estos métodos tienen costos elevados por el precio de sus materiales. Es muy importante señalar que el menor tiempo de construcción es el de viviendas fundidas *in situ*, sin embargo estas son económicas únicamente cuando son construidas en serie, ya que el costo de las formaletas utilizadas es elevado, y solo usándolas en repetidas ocasiones logran dar como resultado un método económico y eficiente.

La madera respecto a su proceso de extracción es el único material que puede obtener su materia prima de fuentes renovables. Un aspecto negativo es la destrucción de flora y fauna así como el cambio de uso de suelo para uso agrícola que elimina de manera total las propiedades del suelo y luego es abandonado. Respecto a su proceso de elaboración esta utiliza alrededor de 6 veces menos energía que otros materiales evaluados.

El proceso de elaboración del panel estructural es un proceso considerado 'verde' ya que utiliza energía eléctrica como fuente principal en todas sus etapas. Este es un proceso relativamente rápido, su uso de energía puede ser de 1420 kilowatts por metro cúbico que es la mitad respecto lo que produce los blocks.

En el caso del ladrillo, el block y el cemento, de una manera generalizada la extracción de estos tres materiales es muy similar. Su materia prima debido a que esta es extraída de la corteza terrestre, los principales problemas que surgen son la eliminación de la cubierta vegetal, destrucción de flora y fauna, desmoronamiento de taludes, pérdida de drenajes naturales y contaminación del agua por la carga excesiva de sedimentos. La producción de estos materiales genera altas cantidades de CO<sub>2</sub>, mediante la utilización de combustibles, quemando materiales y utilización excesiva de energía eléctrica.

Respecto a las propiedades de los materiales, la principal ventaja de los sistemas de construcción no tradicionales, es su capacidad de aislamiento, ya sea acústico o térmico,

permiten reducir estos niveles a puntos no dañinos para el ser humano, entregándonos así una vivienda cómoda y digna, además de representar grandes disminuciones en el consumo energético.

La ventaja de los sistemas tradicionales, es su alta capacidad de carga, ya que presentan buenas propiedades mecánicas, dando así confianza a los usuarios, aunque los sistemas no tradicionales podrán alcanzar estas resistencias mediante cálculos estructurales. Otra de las ventajas de los sistemas tradicionales es que son materiales no combustibles, por lo tanto estos sistemas representan mayor seguridad.

### 3.5. Ventajas y desventajas de los materiales

- Ventajas de la madera:
  - ✓ Cuenta con propiedades mecánicas muy nobles capaces de soportar cualquier tipo de situación a la que sea sometida. Con base en la madera estructural existente en Guatemala se puede catalogar dicho material como resistente y durable el cual está a la altura del resto de materiales de construcción. Además de esto se puede lograr una reducción en peso de la estructura, lo que nos permitirá mayor resistencia sísmica, algo de interés debido a la zona en la que nos situamos.
  - ✓ La madera es un recurso renovable, si proviene de una tala administrada responsablemente. Además de esto, debido a su procedencia, es un material 100% reciclable y por lo tanto reutilizable.
  - ✓ Los paneles de madera nos proveen construcciones sostenibles, ya que cuenta con un elevado aislamiento térmico permitiéndonos la reducción del uso de calentadores o aires acondicionados, sin embargo se debe considerar que la mayoría de trabajo lo realizan los materiales aislantes dentro del panel.
  - ✓ Mediante un buen tratamiento a la madera, este material podrá alargar su vida, permitiéndonos tener una vivienda digna y duradera.
  - ✓ La madera es uno de los materiales que por su versatilidad nos permitirán trabajar cualquier tipo de obra, además de esto debido a los acabados que se pueden lograr con ella, es uno de los materiales más finos y de gran belleza arquitectónica.
  - ✓ Debido a sus propiedades acústicas, la madera tiene un uso importante en la acústica de salas ya que nos permite lograr en la mayoría de casos la reverberación deseada.

- Desventajas de la madera:
  - ✗ Debido a ser un material sumamente combustible, uno de los principales enemigos de la madera es el fuego. Aun existiendo tratamientos para mejorar su resistencia al fuego, no podremos alcanzar los tiempos de duración con los que cuentan el resto de materiales de construcción.
  - ✗ Debido a ser un material orgánico, uno de los principales problemas de la madera son los insectos. Uno de los insectos que más afecta a la madera es la termita. Con cualquiera de estos insectos la madera puede llegar a pudrirse hasta en casos extremos destruirse completamente.
  - ✗ Otro factor que puede afectar la madera es la humedad, como en todos los materiales la humedad puede causar deterioro en la estructura como la formación de hongos y moho, provocando enfermedades, por lo que este tipo de estructuras debe de contar con un buen diseño en el aislamiento para controlar los niveles de humedad dentro de la vivienda.
  - ✗ Dentro de la región guatemalteca, la obtención de elementos estructurales de madera puede ser muy difícil, ya que por no ser uno de los sistemas más comunes de construcción en Guatemala, existen muy pocas empresas dedicadas a la producción de este material, lo que puede llevar a que alcance altos precios convirtiéndose más en un lujo que en un material que satisfaga las necesidades.
  - ✗ Uno de los factores principales en la preservación de la madera es su cuidado y mantenimiento. Dentro de la cultura guatemalteca, el mantenimiento es una palabra desconocida para muchos por lo que resulta siendo una gran desventaja.
  - ✗ El desconocimiento de las propiedades de la madera, por parte de la población debido a no ser un sistema común dentro de la construcción guatemalteca, crea una gran incertidumbre y prejuicios para adaptar un nuevo sistema como este.
  
- Ventajas del concreto:
  - ✓ El concreto es uno de los materiales de construcción de mayor resistencia que existen, el cual se conoce principalmente por su resistencia a la compresión, también tiene una gran dureza, resistencia al desgaste, alta durabilidad y es un material de muy baja permeabilidad según sea su densidad.
  - ✓ Debido a los materiales que lo componen, es de muy fácil obtención y de aceptación mundial por sus propiedades.

- ✓ Es un material no combustible por lo que su durabilidad ante el fuego es muy elevada logrando alcanzar de 1 ½ hasta 4 horas de duración dependiendo sus dimensiones.
  - ✓ Es un material que posee una alta trabajabilidad permitiéndonos lograr un sinfín de obras y adaptaciones a formas deseadas.
  - ✓ Debido a su composición, dependiendo de los agregados utilizados y sus dimensiones, el concreto cuenta con un aislamiento acústico elevado, siendo uno de los materiales más aptos para reducir el ruido aéreo y de vibración e impactos.
  - ✓ Se puede alcanzar la ductilidad con dicho material por lo que sísmicamente hablando nos permitirá alcanzar resistencias deseadas.
- Desventajas del concreto:
    - ✗ Debido a su densidad, hará que todo elemento en concreto posea un elevado peso además de abarcar grandes volúmenes.
    - ✗ El coeficiente de transmisión térmica del concreto es sumamente alto, esto no nos permitirá lograr un aislamiento acústico decente, provocando así grandes consumos energéticos. Esto implicará la combinación de otros materiales para la reducción de la transmisión de la energía, lo cual repercute directamente en el costo.
    - ✗ Aunque es un material que puede ser reciclado, su reutilización se encuentra muy limitada por lo que resulta siendo tirado en su mayoría a la basura, causando mayor contaminación.
    - ✗ Aunque posee muy poco mantenimiento, se debe tener sumo cuidado con el acero de refuerzo ya que en dado caso la humedad llegue hasta éste, se oxidará causando daños en la estructura, hasta posible daños permanentes y fallos en la estructura.
    - ✗ Posee un difícil control de calidad ya que para alcanzar un buen concreto se debe tomar en cuenta la dosificación, calidad de los agregados, tipo de cemento, el mezclado, cantidad de agua y el curado.
    - ✗ El proceso de construcción con dicho material puede resultar lento, debido a su proceso de fraguado. Además requiere un cuidado extra en cuanto al curado ya que implica cuidar que no exista pérdida de humedad para alcanzar la resistencia planeada. Existen ya productos para facilitar estas tareas, mas sin embargo son factores que se deben tomar en cuenta ya que la aplicación de estos debe ser realizada por expertos.

- Ventajas del block:
  - ✓ El block cuenta con una alta resistencia a la compresión, material especial para la edificación de muros, por ser un derivado del cemento posee una alta durabilidad, requiere de un mantenimiento mínimo y tiene una apariencia agradable.
  - ✓ Este material presenta una aislación acústica bastante aceptable para block normales, reduciendo un alto porcentaje del ruido aéreo por sí solo, además de esto con sus caras repelladas presenta una mayor pérdida de transmisión de sonido. Con un mejor diseño de mezcla se podrá llegar a valores como los que permiten los materiales aislantes.
  - ✓ Debido a la textura que presentan los block, la alta porosidad debido a la piedra pómez permite una alta adherencia para los acabados.
  - ✓ Debido a las dimensiones de dicho material el levantando de muro es mucho más rápido que otros sistemas de bloques de mampostería, lo cual hace que sea un producto innovador, a la vez permitiéndonos seguridad y solidez en nuestras construcciones.
  - ✓ Debido a que este material está formado por concreto, posee una elevada Resistencia al fuego, es un producto incombustible, permitiéndonos de una rango de 1 a 4 horas para la evacuación.
  - ✓ Por su estructura hueca en el centro, las celdas permiten la colocación de tubería de agua potable, sanitaria, conductos eléctricos, etc. Eliminando así la perforación de agujeros para la instalación de estas estructuras. Además el sistema elimina el uso de la formaleta agilizando el proceso de construcción.
  
- Desventajas del block:
  - ✗ La estructura interna del block debido a los agregados utilizados, hace que exista una alta porosidad y relación de vacíos en los elementos haciéndolo muy permeable, esto permite que la humedad tenga una mayor penetración en el elemento, obligándonos a aislar los muros con repellos, soleras de humedad para que el agua del suelo no suba por capilaridad, etc. Esto dependerá mucho de la densidad del concreto del block y su calidad.
  - ✗ Debido a ser fabricado por concreto, el coeficiente de transmisión térmica es bastante elevado a comparación del resto de los materiales evaluados, consecuentemente la Aislación térmica alcanzada con este material será relativamente baja, aun así se puede reducir la densidad del block para alcanzar un mejor aislamiento, utilizando distintos agregados, pero tendrá un aumento directo en los costos.



- ✗ El uso del block durante la construcción normalmente produce una alta cantidad de desperdicios si no se hace un análisis de ajustes para estos elementos. Aunque se puede reciclar este material, el triturar los desperdicios no resulta rentable por lo que se produce una cantidad considerable de desechos.
  - ✗ Para lograr una buena construcción, se necesitan materiales de muy buena calidad, en el caso del block dependerá de su dosificación, aunque como constructores difícilmente se tiene control de la calidad de estos productos, ya que va desde la calidad del agregado, hasta su diseño y fabricación.
  - ✗ Las construcciones de mampostería de concreto, cuentan con un elevado peso debido a la densidad del concreto utilizado, debido a esto los diseños son de mayor dimensión para soportar no solo las cargas actuantes sino el peso propio.
  - ✗ Es un material muy difícil de manipular, si es necesario hacer algún tipo de perforación en la estructura resulta difícil romperlo.
- Ventajas del ladrillo:
    - ✓ Los ladrillos cuentan con una alta resistencia a la compresión, permitiendo valores elevados en su capacidad de carga en muros. Bajo esfuerzos combinados puede funcionar perfectamente media vez se realiza un refuerzo correcto. Cuentan con una alta durabilidad y resistencia a la intemperie, tiene una apariencia muy agradable y arquitectónica. No es necesario colocar repellos, pero si se desea cuenta con una buena adherencia.
    - ✓ Es muy resistente a la humedad debido a su estructura interna y densidad, permitiendo así un buen aislamiento de esta dentro de la vivienda.
    - ✓ Cuenta con un alto nivel de aislamiento térmico lo suficiente como para permitir un ambiente agradable dentro de la vivienda y permitirnos una reducción de consumo energético.
    - ✓ El ladrillo debido a su densidad cuenta con una baja transmisión de sonido, permitiéndonos reducir los ruidos exteriores a un nivel soportable para el oído humano, además de esto permite la reducción de un ruido interno de la casa hacia las afueras para reducir la contaminación de ruido.
    - ✓ Este material es capaz de soportar al fuego durante largos periodos de tiempo, teniendo un rango de 1 hora o más dependiendo el espesor. Es un material no combustible y no inflamable por lo que el daño en la estructura se dará a una exposición mayor a una hora o mas dependiendo del diseño de muro.

- ✓ Es un material el cual no contribuye a la contaminación del aire interior de la vivienda ya que sus materias primas son materiales los cuales son químicamente inertes.
- Desventajas del ladrillo:
  - ✗ Debido a que su materia prima es 100% arcilla, los ladrillos necesitan mantenimiento frecuentemente debido a que en su mayoría con el contacto con el agua tienden a mancharse. Para la limpieza de estas piezas se necesitan químicos los cuales pueden ser costosos y a la vez contaminantes al medio ambiente.
  - ✗ Durante las construcciones generan demasiados desperdicios al igual que otros sistemas de bloques. Aunque es un material reciclable y reutilizable para la fabricación de otras unidades de mampostería, el proceso resulta más complicado que utilizar la arcilla natural por lo tanto de desecha.
  - ✗ Debido a sus dimensiones, resultan mayores tiempos de trabajo para el levantado de muro. Existen bloques de cerámica con mayor tamaño para mejorar estos tiempos, pero tiene un impacto directo en el costo.
  - ✗ El proceso de fabricación de estas unidades es sumamente importante, en Guatemala existen muchas fábricas artesanales las cuales al ser realizadas a mano, se pierde resistencia, no existe un cocido homogéneo, además existe mayor porosidad en las unidades y aristas irregulares implicando malos acabados, por lo que existe una necesidad mayor del control de calidad.
  - ✗ Debido a ser un material sumamente duro y resistente, resulta muy difícil realizar instalaciones luego de levantado el muro.
  - ✗ Las estructuras de ladrillo tienden a ser pesadas, por lo que los requerimientos estructurales aumentan, en especial en zonas como la de Guatemala que se encuentra en una zona sísmica.
- Ventajas del panel estructural:
  - ✓ El electro panel es un elemento liviano, por lo tanto, las estructuras fabricadas con este material serán de un peso liviano, sumamente importante para la resistencia a los sismos. Posee además resistencia al viento.
  - ✓ Posee una resistencia elevada como muro, permitiendo soportar cargas similares a los otros sistemas de construcción. Además se pueden obtener distintas superficies decorativas variando la textura en la capa del acabado.

- ✓ Posee un excelente aislamiento térmico debido al poliestireno expandido catalogado como un material aislante, permite tener un ambiente agradable dentro de la vivienda en climas extremos.
  - ✓ El panel tiene una resistencia a la transmisión acústica muy buena aunque dependerá mucho del tipo de recubrimiento que se utilice.
  - ✓ Es un sistema que debido a sus dimensiones, peso y sistema de construcción, agilizan los tiempos de construcción de la obra. Se reduce la utilización de formaleta.
  - ✓ Debido a sus dimensiones y facilidad para trabajar con el material, resulta mucho más fácil modular con este sistema evitando desperdicios y siendo adaptable a cualquier tipo de estructura.
- Desventajas del electro panel:
    - ✗ El poliestireno es un material combustible por lo tanto tiene una resistencia al fuego nula, por lo que dependerá de la calidad del mortero que recubre el panel para resistir el fuego.
    - ✗ Se necesita de un control de calidad elevado para el mortero, ya que este se tiende a agrietarse demasiado dando una apariencia desagradable y no confiable.
    - ✗ Es un sistema constructivo muy reciente, por lo que hay falta de información para el diseño, además se necesita capacitar al personal de trabajo. Además el material no es de fácil obtención por lo que resulta difícil poder trabajar con la facilidad con la que se trabajan los otros.
    - ✗ Debido a sus dimensiones y diseño, no se pueden alcanzar más de 4.5 metros de luz para el diseño de las losas, además no es recomendable trabajar más de dos niveles con este sistema debido a la concentración de esfuerzos los cuales pueden resultar cruciales para la estructura.
    - ✗ Se debe tener sumo cuidado con las grietas en el mortero ya que esto podría causar filtraciones de agua en la estructura, oxidando el acero de refuerzo del panel, haciendo que este falle y colapse la estructura.
    - ✗ De no tenerse mano de obra capacitada y una buena supervisión, en la mayoría de casos resulta más elevado el costo por metro cuadrado terminado, dependiendo del tipo de acabado y desperdicio que se tenga.

## 4. Conclusiones

1. El costo de los métodos no tradicionales se ve afectado por la falta de disponibilidad de los materiales y el costo elevado del mismo.
2. La mampostería es el método de construcción más usado en el país debido a la disponibilidad de los materiales, sus precios competitivos y la facilidad de encontrar mano de obra para su construcción.
3. La selección de los métodos de construcción de una vivienda no debe estar basada únicamente en el costo de la construcción, sino se debe tomar en cuenta las propiedades físicas, mecánicas y ambientales del material.
4. La extracción de los cinco materiales produce un alto nivel de impacto ambiental ya que ocasiona la destrucción total de ecosistemas, sobreaprovechando el uso de las mismas por el bajo control de las autoridades.
5. Respecto a los procesos de elaboración de materiales verdes, utilizan hasta 70% menos de energía para su producción y el uso total de sus desperdicios.
6. De los materiales verdes la madera es el único material de construcción, de los analizados, que extrae la materia prima de fuentes renovables, por lo tanto se reduce el impacto ambiental respecto a su extracción.
7. La elaboración y residuos de materiales típicos actualmente en Guatemala generan altas emisiones de CO<sub>2</sub> y el poco aprovechamiento de sus desperdicios.
8. Una buena solución de aislamiento térmico en la vivienda se traduce en confort, salud, productividad, eficiencia energética y mejora del medio ambiente.
9. El aislamiento térmico es una técnica económica de eficacia comprobada y sustentable. Es una de las medidas que más contribuyen al ahorro en el consumo de energía eléctrica y por tanto a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera.
10. En la medida que se exijan valores mínimos de resistencia térmica para los elementos de la envolvente de la vivienda, los desarrolladores deberán adecuar sus sistemas constructivos para cumplir con la normatividad.
11. Los elementos derivados del cemento como lo son los muros de block y de concreto, cuentan con propiedades para una aislación térmica muy pobres, ya que este material permite una elevada transmisión de calor por medio de su estructura.
12. Con base en los resultados obtenidos, los ladrillos pueden retener en un mayor porcentaje el paso de la temperatura exterior al interior en un recinto comparados con

los sistemas de concreto y block. A pesar de no ser catalogado como un material aislante posee excelentes propiedades aislantes. Este porcentaje de aislación se puede mejorar mediante la utilización de otros tipos de ladrillos con mayores espesores.

13. Los muros conformados por paneles de madera como los muros de electro panel, presentan las mejores propiedades térmicas de los sistemas evaluados, aislando en un alto porcentaje la transmisión de calor o frío debido a que el sistema de panel sándwich contiene en su interior materiales sumamente aislantes como lo son el poliestireno expandido, la lana mineral o cámaras de aire.
14. Debido a que la aislación acústica se encuentra regida por la ley de masas, los muros compuestos por materiales densos como lo son el concreto, block y ladrillo, permiten reducir el ruido aéreo llevándolo a niveles no dañinos para el ser humano. En el caso del electro panel y la madera, aunque se caracterizan por ser sistemas livianos, los sistemas de paredes dobles presentan un mejor desempeño para reducir el ruido aéreo debido a la separación de sus componentes, logrando en algunos casos duplicar la aislación que puede presentar un muro simple.
15. Aunque los distintos sistemas tienen un sinnúmero de posibles modificaciones para mejorar sus propiedades, el costo regirá la elección del sistema a utilizar.

## 5. Recomendaciones

1. Todas las construcciones de vivienda, sin importar el método, deben estar regida por requerimientos mínimos diseño y buenas prácticas de construcción.
2. Se deben conocer las certificaciones y resistencias de los materiales para garantizar la calidad de las construcciones.
3. Se debe tomar en cuenta las propiedades mecánicas así como las propiedades de los materiales para ofrecer comodidad y calidad al habitante.
4. Para conocer mejor el proceso de fabricación de un material se recomienda realizar ciclos de vida de cada material con el objetivo de comparar cual es más amigable y beneficioso al ambiente que lo rodea.
5. Realizar una correlación entre los materiales de construcción descritos para ver sus respectivas dependencias ante los residuos de los mismos y los beneficios que pueden traer sus usos.
6. Se recomienda realizar un cuadro comparativo donde se puede determinar el uso de energía que requiere realizar cada material de construcción.
7. Se recomienda hacer un análisis detallado de la emisión de gases que emite cada uno de los materiales constructivos para determinar el impacto que tiene sobre la atmosfera.
8. El objetivo de la edificación durante el invierno es crear una temperatura que garantice un nivel alto de confort para las personas. Para lo cual existen tres opciones recomendadas:
  - a. Reducción de pérdida por transmisión.
  - b. Agregarle energía térmica desde el exterior por medio de energía solar mediante las ventanas.
  - c. Agregarle energía térmica interna mediante energía de calefacción y por medio del consumo de energía en el interior de la edificación.
9. Para el aislamiento de calor en verano se recomienda tomar en cuenta tres aspectos muy importantes:
  - a. Cargas térmicas.
  - b. Ventilación.
  - c. Tipo de construcción.

10. Se recomienda construir con materiales densos, debido a que causan lo que se conoce como un cambio de fase largo o prolongado y esto es debido al tiempo de incidencia entre la temperatura más alta en la superficie exterior de un componente de construcción hasta el tiempo que la más alta temperatura es alcanzada en la superficie interior. Esto es muy importante para el aislamiento de calor en verano, toda vez que un cambio de fase largo significa que las edificaciones permanecen frescas en el interior inclusive con altas temperaturas en el exterior. Durante temperaturas bajas en el exterior (invierno), este principio tiene efectos inversos.
11. Se recomienda que los diseñadores y constructores estén al tanto que el calor guardado en el interior durante el día se emitirá y liberará durante la noche. Dependiendo de la tasa de intercambio de aire, el aire y la temperatura se separan (desde el interior hacia el exterior), por lo tanto la ventilación en la noche solo logra “descargar” una cantidad de calor limitada.
12. Antes de iniciar una construcción se recomienda analizar la zona en la que se llevará a cabo, ya que ésta posee características específicas que amplían o limitan la elección del material de construcción.
13. En el diseño de la vivienda no basta sólo con considerar el material de construcción de los muros para la aislación térmica y acústica. Se aconseja indagar en las propiedades los elementos de ventanería y puertas al momento de su elección, ya que estos proporcionan cambios significativos en los resultados de aislamiento.
14. Debido a que la física de las construcciones es un tema poco explorado en la construcción guatemalteca, es importante realizar investigaciones más exhaustivas de cada material de construcción para mejorar la calidad de los mismos o acoplarlos a los requerimientos de la vivienda guatemalteca, y así poder cumplir con las normas mundiales.
15. Se recomienda realizar un modelo a escala para comprobar la veracidad de los resultados obtenidos matemáticamente, además de esto realizar pruebas a los distintos materiales evaluados para obtener los coeficientes reales del producto fabricado en el país, y disminuir el porcentaje de error.
16. Se recomienda realizar una propuesta de normas y requerimientos mínimos que deben cumplir los materiales de construcción en el contexto de Guatemala para que posteriormente se pueda utilizar para comparar y mejorar las propiedades que brindan actualmente.

## 6. Bibliografía

- AITIM. (1998). *Madera Generalidades*. Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de la Madera, Madrid, España. Recuperado el 29 de Noviembre de 2012, de: [http://www.infomadera.net/uploads/productos/informacion\\_general\\_2\\_Maderageneral.pdf](http://www.infomadera.net/uploads/productos/informacion_general_2_Maderageneral.pdf)
- AGIES. (2000). *Normas de Seguridad estructural de edificaciones y obras de infraestructura para la republica de Guatemala NSE 4-10*. Guatemala.
- AGIES. (2000). *Normas de seguridad estructural de edificaciones y obras de infraestructura para la republica de Guatemala NSE 7.4*. Guatemala.
- Agustín Martín Domingo. (2011). *Apuntes de Transmisión de Calor*. Editorial Creative Commons, San Francisco, California, EEUU. Consultado el 19 de Septiembre de 2012.
- Alan J. Chapman. (1990). *Transmisión del calor*. Editorial Bellisco, Madrid, España. Consultado el 5 de Enero de 2012.
- Alfaro, P. Y. (Mayo de 2004). Metodo para la construccion de vivienda, utilizando materiales tecnologicos actuales: Electropanel,Tabla yeso, Fibrocemento y Fibroyeso. *Facultad de Ingenieria Universidad de San Carlos de Guatemala, Trabajo de Graduacion* . Guatemala, Guatemala, Guatemala.
- American concrete institute. (2008). *Building code requirements for structural concrete*. Michigan.
- ANAPE. (1 de Enero de 2012). *Asociación Nacional que agrupa a la industria española del Poliestireno Expandido*. Recuperado el 12 de Septiembre de 2012 , de <http://red.fau.ucv.ve:8080/static/mytce/files/paneles%20estructurales%20isotermicos.pdf>
- Anton, D. (1 de Enero de 2012 ). *Ambientico* . Recuperado el 30 de Agosto de 2012 , de <http://www.una.ac.cr/ambi/Ambien-Tico/96/anton.htm>
- Arauco. (2003). *Ingenieria y construccion en Madera*. Santiago.



- Áreas globales. (12 de Marzo de 2012). *Areas globales* . Recuperado el 2012 de Marzo de 2012, de <http://www.areas-digital.com.ar/nota.php?id=21025>
- Arena Silicea. (15 de Enero de 2012). *Arena Silicea y Arquitectos*. Recuperado el 26 de Febrero de 2012, de <http://www.arenasilicea.com/procesos.html>
- Asociacion guatemalteca de ingenieria estructural y sismica. (2010). *Agies NSE 7.4, Mamposteria reforzada*. Guatemala.
- Asociacion nacional de fabricantes de mortero. *Morteros en el CTE marcados CE*. Madrid.
- Austral Bricks. *Compressive Load Capacity of Masonry Walls*. Victoria: Austral Bricks.
- Bámaca, E. (1 de Enero de 2004). *Orton Catie*. Recuperado el 13 de Septiembre de 2012, de <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A2185E/A2185E.PDF>
- Basterrecheda, M. (1 de Febrero de 2007). *Agaportal* . Recuperado el 10 de Agosto de 2012 , de Asesoria Manuel Basterrecheda y Asociados : [http://www.agaportal.de/pdf/nachhaltigkeit/eia/eia\\_guatemala.pdf](http://www.agaportal.de/pdf/nachhaltigkeit/eia/eia_guatemala.pdf)
- Baupanel. (s.f.). *Baupanel System*. Recuperado el 19 de Junio de 2012, de <http://baupanel.com>
- Beall, C. (1987). *Masonry Design and detailing for Architects, Engineers and Builders*. McGraw-Hill Book Company.
- Bentz, D., Peltz, P., Duran-Herrera, A., Valdez, P., & Juarez, C. (4 de Enero de 2010). *Journal Of Building Physics*. Recuperado el 22 de Junio de 2012, de Thermal Properties of high volume fly ash mortar and concrete: <http://concrete.nist.gov/~bentz/FAThermalprop.pdf>
- Bravo, E. (1 de Mayo de 2007 ). *Inredh*. Recuperado el 14 de Septiembre de 2012 , de [http://www.inredh.org/archivos/documentos\\_ambiental/impactos\\_explotacion\\_petrolera\\_esp.pdf](http://www.inredh.org/archivos/documentos_ambiental/impactos_explotacion_petrolera_esp.pdf)
- CECyTECH. (28 de Febrero de 2012 ). *Colegio de Estudios cientificos y tecnologicos de Chiapas Mexico* . Recuperado el 28 de Febrero de 2012 , de <http://www.cecotech.edu.mx/Pdf/manualblocks.pdf>

Cement Concrete & aggregates Australia. (Marzo de 2009). *Concrete Australia*. Recuperado el 22 de Junio de 2012, de Sound Insulation Properties of concrete walls and Floors: <http://www.concrete.net.au/publications/pdf/SoundInsulation.pdf>

Cementosargos. (11 de Noviembre de 2011). *Cementos Argos Estrada* . Recuperado el 10 de Agosto de 2012, de <http://pifcementosargosestrada.blogspot.com/2011/09/marco-conceptual.html>

CementosProgreso. (1 de Enero de 2012). *Cementos Progreso* . Recuperado el 26 de Mayo de 2012, de <http://www.mail.cempro.com/cemento/cemento.html>

CementosProgreso. (1 de Enero de 2012). *Cementos Progreso* . Recuperado el 10 de Agosto de 2012, de <http://www.cempro.com/desarrollo-sostenible/gestion-ambiental/cambio-climatico>

Centro de investigaciones viales. (2009). *absorcion por succion capilar del hormigon*. Argentina.

Centro de transferencia tecnologica (CTT), Corporacion chilena de la madera (CORMA). *La construccion de viviendas en madera*. Chile.

CMI. (12 de Junio de 2004). *CMI Cemolins*. Recuperado el 11 de Agosto de 2012, de [http://www.cmi.cemolins.es/cm/cmi\\_nd/swf/anim/esp/portland\\_02\\_trituracion.htm](http://www.cmi.cemolins.es/cm/cmi_nd/swf/anim/esp/portland_02_trituracion.htm)

Codigo Tecnico de la investigacion. (s.f.). *Codigo Tecnico de la investigacion*. Recuperado el 12 de Septiembre de 2012, de Salubridad: <http://www.codigotecnico.org/web/recursos/documentos/dbhs/hs1/110.html>

Comision Permanente de las Condiciones de Proteccion contra Incendios de los Edificios. (2005). *Universidad de Huelva*. Recuperado el 6 de Agosto de 2012, de Norma Basica de la Edificacion. Condiciones de proteccion contra incendios en los edificios.: [http://www.uhu.es/master2007/teoria/RD%202177\\_1996.pdf](http://www.uhu.es/master2007/teoria/RD%202177_1996.pdf)

Cooperativa Boliviana de Cemento. (1 de Enero de 2012). *Coboce*. Recuperado el 26 de Mayo de 2012, de <http://www.coboce.com/web/index.php?idsector=3&idlink=72&idsublink=198&nivel=2>

COPAE. (11 de Septiembre de 2011). *No a la mina* . Recuperado el 14 de Septiembre de 2012, de <http://www.noalamina.org/mineria-latinoamerica/mineria-guatemala/extraccion-de-hierro-destruccion-ambiental-y-social-de-la-costa-sur>

CTE. (2010). *Catálogo de Elementos Constructivos del CTE*. España: CTE.

Depuroil. (1 de Enero de 1999). *Control de Reciclaje y mantenimientos industriales*. Recuperado el 13 de Septiembre de 2012, de <http://www.euskalnet.net/depuroil/sa/Riesgosmedioambiente.html>

Diario, L. (1 de Enero de 2012). *Merengala*. Recuperado el 26 de Mayo de 2012, de <http://merengala.blogspot.com/2012/07/la-explotacion-ecoturistica-que-apenas.html>

DiarioInformación. (1 de Enero de 2012). *Información España*. Recuperado el 31 de Agosto de 2012, de <http://www.diarioinformacion.com/elda/2010/09/01/marmol-estudia-utilizar-antiguas-canteras-arcilla-vertedero/1040200.html>

EMMEDUE. (1 de Enero de 2012). *Mdue Italia*. Recuperado el 22 de Agosto de 2012, de <http://es.mdue.it/instalaciones/>

Espinal, A. (1 de 1 de 2012). *El Herald*. Recuperado el 31 de Mayo de 2012, de <http://www.elheraldo.hn/Secciones-Principales/Regionales/Familias-del-sur-subsisten-de-la-extraccion-de-arena#panel1-1>

Estrucplan. (14 de 2003 de Febrero ). *Estrucplan*. Recuperado el 14 de Septiembre de 2012, de 2003: <http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/entrega.asp?IdEntrega=157>

Facultad de Arquitectura, Universidad de Uruguay, departamento de enseñanzas de la tecnología de la construcción. (2002). *FARQ Uruguay*. Recuperado el 10 de Noviembre de 2011, de [http://www.farq.edu.uy/joomla/index.php?option=com\\_content&task=view&id=313&Itemid=373](http://www.farq.edu.uy/joomla/index.php?option=com_content&task=view&id=313&Itemid=373)

Gere, J., & Goodno, B. (2009). *Mecánica de Materiales*. Mexico: Cengage Learning.

Gres de Nava. (s.f.). *Ladrillos y pavimentos rústicos*. Recuperado el 12 de Septiembre de 2012, de Gres de Nava: [http://gresdenava.es/ficha.php?menu\\_id=2&jera\\_id=37&page\\_id=7](http://gresdenava.es/ficha.php?menu_id=2&jera_id=37&page_id=7)

Griem, D. W. (1 de Enero de 2006). *Geovirtual2cl, Universidad de Atacama*. Recuperado el 12 de Mayo de 2012, de <http://www.geovirtual2.cl/geologiageneral/museo1.htm>

Guatemala, M. d. (2012). No Mas Ruido Contaminante. *TransMetro Ciudad de Guatemala*, 7.

- GuatemalaWiki. (12 de Abril de 2012). *GuatemalaWiki*. Recuperado el 14 de Abril de 2012 , de [http://es.guatemala.wikia.com/wiki/Fabricaci%C3%B3n\\_de\\_Materiales\\_de\\_Barro\\_en\\_el\\_Tejar,\\_Chimaltenango](http://es.guatemala.wikia.com/wiki/Fabricaci%C3%B3n_de_Materiales_de_Barro_en_el_Tejar,_Chimaltenango)
- Herubin, C. A., & Marotta, T. (1977). *Basic Construction Materials*. Reston, Virginia: Reston Publishing Company, INC.
- HondurasPlywood. (1 de Enero | de 2012). *Honduras Plywood S.A.* . Recuperado el 7 de Junio de 2012, de <http://honduply.com/madera.php?lng=0>
- HOPSA. (s.f.). *Paneles Covintec*. Recuperado el 19 de Junio de 2012, de Manual Tecnico: <http://www.scribd.com/kensguate/d/48265908-MANUAL-TECNICO-convintec>
- Horcalsa. (1 de Enero de 2012 ). *Horcalsa* . Recuperado el 24 de Mayo de 2012, de [http://www.horcalsa.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=10&Itemid=8&lang=es](http://www.horcalsa.com/index.php?option=com_content&view=article&id=10&Itemid=8&lang=es)
- Humberto Álvarez Noves. (2007). *La Madera como aislante térmico*. AITIM, Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de la Madera, Madrid, España. Recuperado el 11 de Febrero de 2012, de: [http://www.infomadera.net/uploads/articulos/archivo\\_1177\\_17059.pdf?PHPSESSID=0f50f258e6c3c87edc72b2df71906483](http://www.infomadera.net/uploads/articulos/archivo_1177_17059.pdf?PHPSESSID=0f50f258e6c3c87edc72b2df71906483)
- INAB. (1 de Enero de 2012). *Istituto Nacional de Bosques* . Recuperado el 11 de Agosto de 2012, de <http://www.inab.gob.gt/>
- Infoacero. (1 de Enero de 2000). *Infoacero* . Recuperado el 24 de Junio de 2012 , de <http://www.infoacero.cl/procesos/mina.htm>
- INMACO. (10 de Agosto de 2012). *Ladrillera Inmaco* . Recuperado el 15 de Agosto de 2012, de <http://www.inmaco.com.gt/index.php/en/inmaco/proceso-de-produccion>
- Instituto Americano del concreto. (2008). *ACI 318 requisitos de reglamento para concreto estructural*. Chicago.
- Instituto Argentino de Normalizacion. (1996). *Acondicionamiento Termico de Edificios, Condiciones de Habitabilidad en Edificios*. Argentina: IRAM.

Instituto de Investigación Tecnológica Industrial y de Normas Técnicas. (1978). *Normas Técnicas ITINTEC 331.017*. Recuperado el 15 de Junio de 2012: [http://www.ladrillositalperu.com/331\\_017.pdf](http://www.ladrillositalperu.com/331_017.pdf)

Intercom. (1 de Enero de 2004). *Brasi a cambio de* . Recuperado el 13 de Septiembre de 2012 , de [http://brasil.acambiode.com/produto\\_84541545351576567665108006058547.html](http://brasil.acambiode.com/produto_84541545351576567665108006058547.html)

Javier Arrieta Freyre. (Enero de 2001). *Fabricación de bloques de concreto con una mesa vibradora*. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú. Recuperado el 13 de Febrero de 2012, de: <http://es.scribd.com/doc/24876405/Fabricacion-bloques-de-cemento>

Kurtz. (1 de Enero de 2012 ). *Direct Industry* . Recuperado el 16 de Julio de 2012, de <http://www.directindustry.es/prod/kurtz-gmbh/maquinas-de-moldeo-de-espuma-plastica-51738-357691.html>

Liming. (1 de Enero de 2001). *Trituradoras de Piedra* . Recuperado el 26 de Mayo de 2012 , de <http://www.trituradoras-de-piedra.org/soluciones/trituradoras-de-piedra-ciclo-de-produccion.html>

Machinery, F. C. (14 de Enero de 2004). *Trituradores de Rocas*. Recuperado el 16 de Mayo de 2012, de <http://trituradoras-de-roca.com/Trituradora-de-Roca/Trituradoras-de-Basalto.html>

*Manual de Construcción de Mampostería de Concreto*. Instituto Colombiano de Productores de Cemento, ICPC

Manuel Domínguez Alonso. (Abril de 2000). *El Ladrillo y la Arquitectura Bioclimática*. Instituto del Frío CSIC, Madrid, España. Recuperado el 29 de Julio de 2012, de: <http://www.conarquitectura.com/pdf%20NA/reducidos/na%2012.pdf>

María Ángeles Navacerrada. (Abril de 2009). *Psicrometría*. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España. Recuperado el 2 de Marzo de 2012, de Apuntes de material de clase del tema #2: <http://ocw.upm.es/construcciones-arquitectonicas/fisica-y-mecanica-de-las-construcciones/contenidos/material-de-clase/psicrometría/tema2.pdf>

Marin, A. C. (Septiembre de 2001). *Universidad de Cordoba, Escuela Politecnica Superior*. Recuperado el 20 de Julio de 2012, de Aplicacion Informatica Orientada a la formacion y evaluacion orientada de riesgos derivados de la exposicion a ruido en ambientes industriales:

<http://rabfis15.uco.es/lvct/tutorial/1/paginas%20proyecto%20def/presentación.htm>

Miguel Silva Conde. (2010). *Uso de Aislamiento Térmico en la Vivienda*. Comisión Nacional de Vivienda. México Distrito Federal, México. Recuperado el 18 de Marzo de 2012, de: [http://www.cmic.org/comisiones/sectoriales/vivienda/2010/conavi/lo\\_nuevo/Taller\\_termico/CuartoModulo.pdf](http://www.cmic.org/comisiones/sectoriales/vivienda/2010/conavi/lo_nuevo/Taller_termico/CuartoModulo.pdf)

Monterroso, O. (1 de Enero de 2010). *Instituto de agricultura recursos naturales y ambiente, Universidad Rafael Landivar*. Recuperado el 24 de Agosto de 2012, de [http://www.infoiarna.org.gt/media/file/publicaciones/propias/documentos\\_trabajo/DT02\\_Valoracion\\_da%C3%B1os\\_ambientales\\_mineria.pdf](http://www.infoiarna.org.gt/media/file/publicaciones/propias/documentos_trabajo/DT02_Valoracion_da%C3%B1os_ambientales_mineria.pdf)

Monzón, I. (1 de Enero de 2005). *Industrias Monzón* . Recuperado el 12 de Junio de 2012, de <http://www.emonzon.com/fabricacion-madera-chopo.php>

Moreno, R. C. (29 de Junio de 2007). *Materiales y tecnologia de la construcción* . Recuperado el 14 de Septiembre de 2012 , de <http://red.fau.ucv.ve:8080/mytc/stories/3319/>

Moser, M., & Barros, J. L. (2009). *Ingeniería Acustica*. Valdivia: Springer.

Navarra, G. d. (1 de Enero de 2012). *Navarra España* . Recuperado el 30 de Agosto de 2012, de [http://www.navarra.es/home\\_es/Temas/Medio+Ambiente/Calidad+del+aire/Informacion/Contaminantes/CO2.htm](http://www.navarra.es/home_es/Temas/Medio+Ambiente/Calidad+del+aire/Informacion/Contaminantes/CO2.htm)

*Norma Técnica Para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería*. MOP, 1994.

Oficemen. (1 de Enero de 2012 ). *Oficemen, Agrupación de fabricantes de Cemento de España* . Recuperado el 10 de Agosto de 2012, de <http://www.oficemen.com/Uploads/docs/Producci%F3n%20sostenible%20de%20Cemento.pdf>

PaleoArgentina. (1 de Enero de 2000). *GrupoPaleoArgentina* . Recuperado el 29 de Junio de 2012 , de <http://www.grupopaleo.com.ar/paleoargentina/combustibles.htm>

- Panarese, W., Kosmatka, S., & Randall, F. J. (1991). *Concrete Masonry Handbook, for architects, Engineers, Builders*. Estados Unidos: Portland Cement Association.
- Panel W. (s.f.). *Panel W*. Recuperado el 18 de Agosto de 2012, de Informacion Tecnica: <http://www.panelw.com/espanol/index.html>
- Pineda, M. (1 de Enero de 2012 ). *Anape* . Recuperado el 18 de Julio de 2012, de <http://www.anape.es/pdf/ficha71.pdf>
- Portillo, J. (1 de Marzo de 2004). *Biblioteca Universidad de San Carlos de Guatemala* . Recuperado el 10 de Agosto de 2012, de [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_5630.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_5630.pdf)
- Prior, J. (s.f.). *Escuela de Arquitectura e Ingenieria de Edificacion, Universidad POLitecnica de Cartagena*. Recuperado el 3 de Agosto de 2012, de Normas Basica de la Edificacion, Condiciones Acusticas en los Edificios: [http://www.arquide.upct.es/fichas\\_profesores/web\\_profesores/javier\\_prior/Tema%205:%20Acustica/NormaBasicaDeLaEdificacionCondicionesAcusticasEnLosEdificios.pdf](http://www.arquide.upct.es/fichas_profesores/web_profesores/javier_prior/Tema%205:%20Acustica/NormaBasicaDeLaEdificacionCondicionesAcusticasEnLosEdificios.pdf)
- Quezada, I. C. (2012 de marzo de 2012). Costos de vivienda. (J. P. Ortiz, Entrevistador)
- Quiminet. (1 de Enero de 2000). *Quiminet* . Recuperado el 22 de Mayo de 2012 , de <http://www.quiminet.com/productos/extraccion-de-piedra-caliza-7525711880.htm>
- Quiminet. (27 de Septiembre de 2011). *Quiminet*. Recuperado el 16 de Febrero de 2012, de <http://www.quiminet.com/articulos/como-se-extrae-la-piedra-pomez-2576727.htm>
- Richard A. Flinn, P. K. (1994). *Materiales de Ingenieria y sus Aplicaciones*. Mexico: McGraw-Hill.
- Romero, E. G. (14 de Marzo de 2012). *Universidad Complutense*. Recuperado el 14 de Marzo de 2012, de <http://www.uclm.es/users/higueras/yymm/arcillas.htm>
- Rosana, G. *Componenetes constructivos elaborados con una mezcla cementicia y agregados de plastico reciclado*. Cordoba: CONICET.
- Sandoval, J. (14 de Diciembre de 2008). *Servicios Prensa Libre* . Recuperado el 30 de Marzo de 2012 , de <http://servicios.prensalibre.com/pl/domingo/archivo/revistad/2008/diciembre/14/fondo.shtml>

SanidadAmbiental. (20 de Enero de 1999). *Envtox Centro de Sanidad Ambietal* . Recuperado el 13 de Septiembre de 2012, de <http://www.envtox.ucdavis.edu/cehs/toxins/spanish2/formaldehyde.htm>

Skyscrapercity. (25 de Mayo de 2012). *Skyscrapercity*. Recuperado el 6 de Septiembre de 2012, de <http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=516798&page=4>

Tecnoeraser. (1 de Enero de 2012). *Tecnoeraser*. Recuperado el 8 de Septiembre de 2012, de <http://tecnoeraser.es/blog/gestion-de-residuos-de-la-construccion-la-crisis-de-todo-un-sector/gestion-de-residuos-de-la-construccion-ladrillos/>

URSA Insulation, Grupo Uralita. (s.f.). *URSA Uralita*. Recuperado el 8 de Septiembre de 2012, de Programas y valores de aislamiento acustico: [http://www.ursa.es/descargas\\_calculo-aislamiento-acustico.htm](http://www.ursa.es/descargas_calculo-aislamiento-acustico.htm)