

# **EDIFICACIÓN MODULAR, AUTO CONSTRUIBLE EN ZONAS SUCCEPTIBLES DE ANEGACIÓN**

**JULIÁN GONZALEZ OLMO  
ELÍAS MOLINA CÁRDENAS**

**Trabajo de grado para optar al título de ingeniero civil**

**María del Pilar Duque  
Docente de tiempo completo universidad EIA**



**UNIVERSIDAD EIA  
INGENIERÍA CIVIL  
ENVIGADO  
2019**

	CONTENIDO	pág.
1.	PRELIMINARES.....	21
1.1	Planteamiento del problema .....	21
1.2	Objetivos del proyecto .....	22
1.2.1	Objetivo General.....	22
1.2.2	Objetivos Específicos .....	22
1.3	Marco de referencia.....	23
1.3.1	Requerimientos .....	25
1.3.2	Vida útil .....	29
1.3.3	Materiales.....	31
1.1.1.	Transporte .....	33
1.3.4	Uniones .....	34
1.3.5	Diseño arquitectónico .....	36
1.3.6	Sistemas estructurales superestructura.....	40
1.3.7	Sistemas estructurales para la cimentación.....	48
1.3.8	Análisis de alternativas .....	52
1.3.9	Determinación de cargas sísmicas .....	55
1.3.10	Diseño de elementos de madera .....	58
1.3.11	Herramientas de modelación .....	65
1.3.12	Prueba de funcionalidad .....	66
1.3.13	Estimación de presupuesto .....	66
2.	METODOLOGÍA.....	68
3.	PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	70

3.1	Diseño arquitectónico .....	71
3.2	Vida útil de las alternativas .....	73
3.3	Pre- dimensionamiento de alternativas .....	76
3.3.1	Pre- dimensionamiento alternativas cubierta .....	76
3.3.2	Pre- dimensionamiento sistema estructural .....	86
3.3.3	Pre- dimensionamiento Pisos .....	104
3.3.4	Pre- dimensionamiento cimentación .....	113
3.4	Análisis costo beneficio .....	123
3.5	Diseño de alternativa seleccionada .....	125
3.5.1	Cubierta con tejas de fibrocemento .....	125
3.5.2	Muros entramados ligeros en madera .....	128
3.5.3	Piso entramado horizontal en madera .....	147
3.5.4	Palafitos en concreto reforzado .....	150
3.5.5	Conexiones mecánicas.....	171
3.6	Diseño de redes .....	179
3.6.1	Diseño eléctrico .....	179
3.6.2	Diseño hidrosanitario .....	183
3.7	Cantidades .....	191
3.8	Presupuesto .....	192
3.8.1	Modelo en Revit.....	194
3.9	Proceso constructivo .....	197
3.10	modelo a escala .....	200
4.	CONCLUSIONES Y CONSIDERACIONES FINALES .....	204
	REFERENCIAS .....	206

## LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1 espacios, dimensiones y áreas mínimas de diseño según el manual de asistencia técnica para viviendas de interés social (Ministerio de Ambiente & Desarrollo Territorial, 2011) .....	36
Tabla 2, Dimensiones mínimas (Ministerio de Ambiente & Desarrollo Territorial, 2011)...	36
Tabla 3, dimensiones Chevrolet NNR REWARD (Autolarte, 2018) .....	53
Tabla 4, Esfuerzos Admisibles, $F_i$ , (MPa) C.H = 12% (NSR-10) .....	59
Tabla 5, Módulos de Elasticidad Longitudinal, $E_i$ , (MPa) CH = 12% (NSR-10).....	59
Tabla 6, Deflexiones admisibles (mm), (NSR-10) .....	61
Tabla 7, Cargas $W'$ para cálculo de la sección por deflexiones (NSR-10).....	62
Tabla 8, Alternativas por sistema.....	70
Tabla 9, Espacios arquitectónicos .....	71
Tabla 10, Vida útil por tipo de estructura según la normativa Española del Concreto estructural (Muñoz & Mendoza Escobedo, 2011).....	75
Tabla 11, Propiedades teja de zinc.....	76
Tabla 12, Valores de diseño correa con teja de zinc.....	78
Tabla 13, Carga distribuida de diseño a lo largo de la correa con teja de zinc.....	79
Tabla 14, Deflexión admisible e inercia requerida de la correa con teja de zinc.....	79
Tabla 15, Dimensiones correa con teja de zinc.....	79
Tabla 16, Valores de diseño larguero con teja de zinc.....	80
Tabla 17, Carga distribuida de diseño a lo largo del larguero con teja de zinc.....	80
Tabla 18, Deflexión admisible e inercia requerida del larguero con teja de zinc.....	80
Tabla 19, Dimensiones larguero con teja de zinc.....	81

Tabla 20, Propiedades teja de fibrocemento.....	81
Tabla 21, Valores de diseño correa con teja de fibrocemento.....	83
Tabla 22, Carga distribuida de diseño a lo largo de la correa con teja de fibrocemento... ..	84
Tabla 23, Deflexión admisible e inercia requerida de la correa con teja de fibrocemento. .	84
Tabla 24, Dimensiones correa con teja de fibrocemento.....	84
Tabla 25, Valores de diseño larguero con teja de fibrocemento.....	85
Tabla 26, Carga distribuida de diseño a lo largo del larguero con teja de fibrocemento... ..	85
Tabla 27, Deflexión admisible e inercia requerida del larguero con teja de fibrocemento. .	85
Tabla 28, Dimensiones larguero con teja de fibrocemento.....	86
Tabla 29, diseño de cimentaciones Título E NSR- 10 .....	86
Tabla 30, coeficientes de amenaza sísmica (NSR-10).....	87
Tabla 31, cálculos para determinar longitud mínima de muros (NSR-10) .....	88
Tabla 32, Longitud mínima de muros (NSR-10).....	88
Tabla 33, Resultado calculo longitud efectiva poste.....	91
Tabla 34, Resultado calculo relación de esbeltez poste.....	91
Tabla 35, Coeficientes de modificación poste.....	91
Tabla 36, Resultado esfuerzo admisible de compresión paralelo al grano del poste.....	92
Tabla 37, determinación del coeficiente valorizado, C, el esfuerzo critico FCE y el coeficiente de estabilidad del poste, Cp.....	92
Tabla 38, Resultado carga admisible Pa del poste. ....	92
Tabla 39, Carga solicitada por poste vs admisible. ....	92
Tabla 40, Valores de diseño viga.....	93
Tabla 41, Carga distribuida de diseño a lo largo de la viga.....	93
Tabla 42, Deflexión admisible, inercia requerida y dimensiones de la viga. ....	94
Tabla 43, Deriva en dirección X de sistema poste y viga. ....	96

Tabla 44, Deriva en dirección Y de sistema poste y viga. ....	96
Tabla 45, Resultado calculo longitud efectiva riostra. ....	97
Tabla 46, Resultado calculo relación de esbeltez riostra.....	97
Tabla 47, Coeficientes de modificación riostra. ....	97
Tabla 48, Resultado esfuerzo admisible de compresión paralelo al grano de la riostra....	98
Tabla 49, determinación del coeficiente valorizado, C, el esfuerzo critico FCE y el coeficiente de estabilidad de la riostra, Cp.....	98
Tabla 50, Resultado carga admisible Pa de la riostra. ....	98
Tabla 51, Carga solicitada por riostra vs admisible de la riostra.....	98
Tabla 52, Resultado fuerza horizontal de diseño para muros en entramados ligeros en madera. ....	99
Tabla 55, Resistencia al corte por muro.....	101
Tabla 56, Resistencia al corte y longitud de muros por dirección de la edificación.....	101
Tabla 57, Cortante admisible y solicitado en la dirección X.....	103
Tabla 58, Cortante admisible y solicitado en la dirección Y.....	104
Tabla 59, combinaciones de carga para diseño.....	105
Tabla 60, Cargas permisibles en vigas (Panel Rey S.A., 2012) .....	107
Tabla 61, Consumo teórico de concreto (Colmena, 2019) .....	108
Tabla 62, Malla electrosoldada según espesor (Colmena, 2019).....	109
Tabla 63, cargas de diseño para steel deck.....	109
Tabla 64, Capacidades de carga Deck Steel (Colmena, 2019) .....	109
Tabla 65, Cargas máximas en entablados de madera Grupo ES6 G-G-3 NSR-10 .....	111
Tabla 66, Valores de diseño viga.....	111
Tabla 67, Carga distribuida de diseño a lo largo de la viga. ....	112
Tabla 68, Deflexión admisible, inercia requerida y dimensiones de la vigueta. ....	112

Tabla 69, Fuerza de empuje y volumen de agua desalojado .....	114
Tabla 70, Centro de gravedad de la vivienda.....	116
Tabla 71, Determinación de estabilidad .....	117
Tabla 72, centro de masas- Casa y cimentación .....	119
Tabla 73, Cargas de diseño zapata. ....	122
Tabla 74, Peso propio columna. ....	122
Tabla 75, Resultado dimensiones zapatas.....	123
Tabla 76, Tabla resumen análisis costo beneficio.....	123
Tabla 77, Alternativa seleccionada .....	125
Tabla 78, Resultado calculo longitud efectiva. ....	144
Tabla 79, Resultado calculo relación de esbeltez pie-derecho.....	144
Tabla 80, Coeficientes de modificación pie-derecho. ....	145
Tabla 81, Resultado esfuerzo admisible de compresión paralelo al grano del pie-derecho. ....	145
Tabla 82, determinación del coeficiente valorizado, C, el esfuerzo critico FCE y el coeficiente de estabilidad del pie-derecho, Cp.....	145
Tabla 83, Resultado carga admisible Pa del pie-derecho. ....	145
Tabla 84, Carga solicitada por poste vs admisible. ....	146
Tabla 85, Resultado calculo longitud efectiva. ....	146
Tabla 86, Resultado calculo relación de esbeltez muro. ....	146
Tabla 87, Valores de diseño viga.....	148
Tabla 88, Carga distribuida de diseño a lo largo de la viga. ....	149
Tabla 89, Deflexión admisible, inercia requerida y dimensiones de la viga. ....	149
Tabla 90, Resultado fuerza horizontal de diseño para palafitos. ....	153
Tabla 91, Vs por tipo de palafito. ....	153

Tabla 92, Fuerza cortante y momento solicitado por tipo de palafito.....	153
Tabla 93, Fuerza axial solicitada por tipo de palafito.....	153
Tabla 94, Fuerza axial y momento solicitado.....	155
Tabla 95, Datos de diseño.....	156
Tabla 96, Espaciamiento entre ganchos.....	157
Tabla 97, Longitud confinamiento.....	157
Tabla 98, Momento último de diseño Zapata.....	159
Tabla 99, Datos de diseño de zapata.....	160
Tabla 100, Resultado diseño de zapata.....	160
Tabla 101, Refuerzo de cada zapata.....	160
Tabla 102, Datos de diseño de zapata.....	162
Tabla 103, Resultado cortante zapata.....	162
Tabla 104, Verificación punzonamiento zapatas.....	163
Tabla 105, retícula de VF.....	163
Tabla 106, Dimensiones y valores mínimos para cimentaciones E.2.2-1 NSR-10. ....	164
Tabla 107, Sección de VF.....	164
Tabla 108, Refuerzo longitudinal y transversal.....	164
Tabla 109, Fuerzas solicitadas viga de amarre.....	166
Tabla 110, Deriva palafitos en X.....	169
Tabla 111, Deriva palafitos en Y.....	170
Tabla 112, Índice de estabilidad Q - Dirección Y.....	171
Tabla 113, Índice de estabilidad Q - Dirección Y.....	171
Tabla 114, Potencia requerida en la vivienda .....	180
Tabla 115, Corriente requerida - Mono fase.....	180

Tabla 116, NTC 2050 .....	181
Tabla 117, Descripción de circuitos .....	182
Tabla 118, Valores de carga por aparato- Red de abastos B.1.3.3(2) NTC 1500.....	186
Tabla 119, Estimación de demanda para red de abastos B.1.3.3(3) NTC 1500.....	187
Tabla 120, Caudales de diseño - Red de abastos.....	187
Tabla 121, Perdidas por accesorios.....	188
Tabla 122, Diámetros para tuberías de desagüe .....	189
Tabla 123, Cantidades.....	191
Tabla 124, Presupuesto.....	192

## LISTA DE FIGURAS

	pág.
Ilustración 1 pensamiento basado en procesos (draw io, 2018).....	24
Ilustración 2 interacciones, realizado en (draw io, 2018).....	26
Ilustración 3 módulos únicos, (viviendas sociales, 2012) .....	27
Ilustración 4 módulos endosables (sucuinan, 2015).....	28
Ilustración 5 panelado, (portalinmuebles, 2014).....	29
Ilustración 6, Comparación inversión vs tiempo entre estructura durable y no durable (Hernández Castañeda & Mendoza Escobedo, 2006) .....	30
Ilustración 7, Costo de mantenimiento vs tiempo (Arencibia Fernández, 2007) .....	31
Ilustración 8 Requerimientos de altura y volumen para clima cálido húmedo (Ministerio de Ambiente & Desarrollo Territorial, 2011) .....	37
Ilustración 9, Soluciones frente a radiación solar según el tipo de clima (Ministerio de Ambiente & Desarrollo Territorial, 2011) .....	38
Ilustración 10, tipos de cubiertas (Ministerio de Ambiente & Desarrollo Territorial, 2011) ..	38
Ilustración 11, esquema de orientación de la edificación (Ministerio de Ambiente & Desarrollo Territorial, 2011) .....	39
Ilustración 12 Ventilación de la edificación (Ministerio de Ambiente & Desarrollo Territorial, 2011) .....	40
Ilustración 13, Entramado ligero en madera (CYPE Ingenieros, 2019). .....	41
Ilustración 14 Formas: rectangular, hexagonal y combinada (Forés Montesinos, 2017) ..	50
Ilustración 15 modelo de base flotante modular (rectangular-hexagonal-triangular).....	51
Ilustración 16, dimensiones Chevrolet NNR REWARD (Autolarte, 2018).....	54
Ilustración 17, Espectro elástico de aceleraciones de diseño como fracción de g (Figura A.2.6-1) NSR-10. ....	56
Ilustración 18, Coeficiente de amplificación Fa del suelo (figura A.2.4-1) NSR-10. ....	57
Ilustración 19, Coeficiente de amplificación Fa del suelo (figura A.2.4-2) NSR-10. ....	57

Ilustración 20, Sistemas que conforman la edificación.....	70
Ilustración 21, distribución de espacios arquitectónicos.....	72
Ilustración 22, Modularidad.....	73
Ilustración 23, Vista lateral cubierta zinc.....	77
Ilustración 24, Vista planta cubierta zinc.....	78
Ilustración 25, Teja de fibrocemento perfil 7 (Eternit, 2018) .....	81
Ilustración 26, Teja fibrocemento #6.....	81
Ilustración 27, Vista lateral cubierta fibrocemento.....	82
Ilustración 28, Vista planta cubierta fibrocemento.....	83
Ilustración 29, Sistema de poste y viga con arrostramiento.....	89
Ilustración 30, Configuración estructural.....	90
Ilustración 31, Modelo SAP2000 - Poste y viga .....	95
Ilustración 32, Deriva X.....	95
Ilustración 33, Deriva Y.....	96
Ilustración 34, Muero equivalente.....	100
Ilustración 35, Configuración muros estructurales.....	101
Ilustración 36, áreas aferentes de los muros en X.....	102
Ilustración 37, Áreas aferentes de los muros en Y.....	104
Ilustración 38, Estructura de piso con placas de fibrocemento (Eternit, 2019) .....	105
Ilustración 39, Composición del Steel Deck (Colmena, 2019).....	108
Ilustración 40, Vista lateral entramado horizontal en madera.....	110
Ilustración 41, Vista planta entramado horizontal en madera.....	110
Ilustración 42, Vista en planta y vistas laterales - Base flotante .....	113
Ilustración 43, Corte transversal del plano de flotación 9 m x 6 m.....	115

Ilustración 44, Distribución en planta de los muros .....	116
Ilustración 45, sobredimensionamiento enrocado .....	118
Ilustración 46, Vista lateral palafitos.....	120
Ilustración 47, Vista planta palafitos.....	120
Ilustración 48, Vista lateral cubierta fibrocemento.....	126
Ilustración 49, Vista planta cubierta fibrocemento.....	126
Ilustración 50, Vista lateral muro con viga de coronación de amarre.....	127
Ilustración 51, Vista en planta viga de coronación de amarre. ....	128
Ilustración 52, Detallado de entramado ligero en madera. ....	129
Ilustración 53, Disposición de muros en planta .....	130
Ilustración 54, Muros con revestimiento en una sola cara - vista lateral.....	131
Ilustración 55, Muro estructural M1 1.5 x 2.8 – vista frontal. ....	132
Ilustración 56, Muro estructural M2 1.6 x 2.8 .....	133
Ilustración 57, Muro estructural M3 2 x 2.8 .....	134
Ilustración 58, Muro estructural M4 2.4 x 2.8 .....	135
Ilustración 59, Detalle unión pie derecho - larguero .....	136
Ilustración 60, Muro no estructural M5 1.32 x 2.8.....	137
Ilustración 61, Muro no estructural M6 0.92 x 2.8.....	138
Ilustración 62, Muro no estructural M7 1.8 x 2.8 .....	139
Ilustración 63, Muro no estructural M8 1.52 x 2.8.....	140
Ilustración 64, Muro no estructural M9 2.08 x 2.8.....	141
Ilustración 65, Muro no estructural M10 2 x 2.8 .....	142
Ilustración 65, Muro cubierta T1 .....	143
Ilustración 65, Muro cubierta T2.....	143

Ilustración 65, Muro cubierta R1 .....	143
Ilustración 66, Vista lateral viga sistema de piso.....	147
Ilustración 67, Vista planta viga sistema de piso.....	148
Ilustración 68, Vista en planta piso en madera.....	150
Ilustración 69, Sección transversal sistema de piso .....	150
Ilustración 70, Retícula cimentación.....	151
Ilustración 71, Zapata, Palafito, Viga de amarre y sistema de piso. ....	152
Ilustración 72, Distribución barras longitudinales número 5. ....	154
Ilustración 73, Diagrama de iteración.....	155
Ilustración 74, Despiece palafitos (Esquinero, Lateral y Central). ....	158
Ilustración 75, Esfuerzo a flexión en zapata (Garza, 2012). ....	159
Ilustración 76, Despiece Zapatas.....	161
Ilustración 77, Esfuerzo a flexión en zapata (Garza, 2012). ....	161
Ilustración 78, Fuerza cortante y momento de viga de amarre SAP2000.....	165
Ilustración 79, Fuerza cortante y momento de viga de amarre SAP2000.....	165
Ilustración 80, despiece de vigas de amarre. ....	166
Ilustración 81, despiece de vigas de amarre. ....	167
Ilustración 82, Fuerza horizontal equivalente aplicada en la parte superior del palafito en dirección X.....	168
Ilustración 83, Fuerza horizontal equivalente aplicada en la parte superior del palafito en dirección Y.....	168
Ilustración 84, Valor de desplazamiento en la parte superior de palafito en dirección X. 169	169
Ilustración 85, Valor de desplazamiento en el nodo palafito-viga de amarre en dirección X. ....	169
Ilustración 86, Valor de desplazamiento en la parte superior de palafito en dirección Y. 170	170

Ilustración 87, Valor de desplazamiento en el nodo palafito-viga de amarre en dirección Y.....	170
Ilustración 88, Conexión viga-palafito - PF201300 - (ROTHOBLAAS, 2016).....	172
Ilustración 89, Conexión vigueta-viga - PF201319 - (ROTHOBLAAS, 2016).....	173
Ilustración 90, Placa de corte - TCP200 – (ROTHOBLAAS, 2016). .....	173
Ilustración 91, Placa de tracción - PF703100 - PF703020 – (ROTHOBLAAS, 2016)....	174
Ilustración 92, Conexión muros transversales tipo codo - TCF200 - (ROTHOBLAAS, 2016). ....	174
Ilustración 93, Placa de corte - TCP200 – (ROTHOBLAAS, 2016). ....	175
Ilustración 94, Placa de tracción - PF703100 - PF703020 – (ROTHOBLAAS, 2016). ....	176
Ilustración 95, Placa de tracción - PF703100 - PF703020 – (ROTHOBLAAS, 2016). ....	176
Ilustración 96, Vista laterales y en planta de conexión tipo codo - TCF200 - (ROTHOBLAAS, 2016).....	177
Ilustración 97, Conexión viga-palafito - PF201300 - (ROTHOBLAAS, 2016).....	177
Ilustración 98, Conexión viga-palafito - PF201300 - (ROTHOBLAAS, 2016).....	178
Ilustración 99, Conexión vigueta-viga - PF201319 - (ROTHOBLAAS, 2016).....	178
Ilustración 100, Conexión vigueta-viga - PF201319 - (ROTHOBLAAS, 2016).....	179
Ilustración 101, Plano de tomas y circuitos eléctricos .....	182
Ilustración 102, Plano de iluminación.....	183
Ilustración 103, Red de abastos.....	185
Ilustración 104, Desagües .....	190
Ilustración 105, Modelación en Revit .....	195
Ilustración 106, Modelación en Revit - Corte longitudinal.....	196
Ilustración 107, Modelación en Revit - Corte transversal .....	197
Ilustración 108, Distribución muros de cubierta.....	199
Ilustración 109, Modelo a escala 1:10.....	200

Ilustración 110, Modelo a escala 1:10.....	201
Ilustración 111, Modelo a escala 1:10.....	201
Ilustración 112, Modelo a escala 1:10.....	202
Ilustración 113, Modelo a escala 1:10.....	202
Ilustración 114, Modelo a escala 1:10.....	203
Ilustración 115, Modelo a escala 1:10.....	203

## **ANEXOS**

- Anexo 1: Entramado ligero en madera\_Muros\_Piso.xls
- Anexo 2: Palafitos.xlsx
- Anexo 3: Poste y viga\_Cubierta
- Anexo 4: Presupuesto.xlsx
- Anexo 5: RedElectrica.xlsx
- Anexo 6: Desagues.xlsx
- Anexo 7: Abastos.xlsx
- Anexo 8: MurosBahareque+BaseFlotante+Pisos.xlsx
- Anexo 9: Tomas+ Iluminacion.dwg
- Anexo 10: Desagues+ Abastos.dwg
- Anexo 11: Base flotante.dwg
- Anexo 12: Detalles constructivos.dwg
- Anexo 13: Distribucion muros.dwg
- Anexo 14: Muros.dwg
- Anexo 15: Piso.dwg
- Anexo 16: Palafitos.dwg
- Anexo 17: Plano arquitectónico.dwg
- Anexo 18: Uniones mecanicas.dwg
- Anexo 19: Vistas edificacion.dwg

## RESUMEN

En Colombia existen zonas inundables periódicamente en las cuales se encuentran poblaciones que sufren sus consecuencias de manera repetitiva, tanto a nivel de infraestructura como sociales, económicas y ambientales; generalmente estas poblaciones son de bajos recursos lo que hace que los impactos sean mayores por falta de infraestructura para mitigar este tipo de desastre natural.

En este trabajo se diseñó una edificación modular para zonas susceptibles de anegación, auto construible, con un costo por metro cuadrado de 581.975 COP enfocada a poblaciones con riesgo de inundaciones periódicas, cuyo presupuesto fue realizado empleando metodología BIM (Building Information Modeling) y APU (Análisis de Precios Unitarios). Se realizó un diseño estructural siguiendo la normatividad de diseño y construcción vigente, Reglamento Colombiano de Construcción Sismorresistente, (NSR-10) y un diseño de espacios siguiendo el manual de Asistencia Técnica para Vivienda de Interés Social, con el fin de ser versátil en cuanto al número de habitantes, necesidades y usos.

Esta alternativa fue la resultante de un análisis costo- beneficio de alternativas para encontrar una solución viable de bajo costo en el territorio colombiano, que cumpla con los estándares de sismo resistencia de la NSR-10.

La metodología seguida consta de 3 fases principales; diseño de alternativas, donde se plantean 2 tipos de cubierta, 3 sistemas estructurales, 3 alternativas de pisos y 3 de cimentación; análisis de alternativas mediante el análisis de costo- beneficio de las alternativas pre- diseñadas; y diseño de alternativa seleccionada, en el cual se realiza un diseño más profundo y detallado de la alternativa escogida.

Palabras clave: Auto construible, entramado ligero en madera, inundación, palafitos, base flotante.

## ABSTRACT

In Colombia there are periodically flooded areas in which there are populations that suffer their consequences in a repetitive manner, both at the level of infrastructure as well as social, economic and environmental; Generally, these populations are low-income, which makes the impacts greater due to lack of infrastructure to mitigate this type of natural disaster.

In this work, a modular building was designed, self-building, with a cost per square meter of 581,975 COP focused on populations at risk of periodic flooding, whose budget was made using BIM (building information modeling) and UPA (Unit Price Analysis). A structural design was carried out following the current design and construction regulations (NSR-10) and a space design following *Manual de Asistencia Técnica para Viviendas de Interés Social*, in order to be versatile in terms of the number of inhabitants, needs and applications.

This alternative was the result of a cost-benefit analysis of alternatives to find a viable low-cost solution in the Colombian territory, which meets the resistance earthquake standards of the NSR-10.

The methodology followed consists of 3 main phases; design of alternatives, where 2 types of roof, 3 structural systems, 3 floor alternatives and 3 foundations are proposed; analysis of alternatives through the cost-benefit analysis of pre-designed alternatives; and selected alternative design, in which a deeper and more detailed design of the chosen alternative is carried out.

Keywords: Self- Building, stilt, flood, light timber frame, floating base.

## INTRODUCCIÓN

Los desastres ocurren en todo el mundo, pero sus repercusiones económicas, sociales y ambientales han ido en aumento, siendo generalmente mucho mayores en los países en desarrollo. Estos pueden eclipsar años de inversión para el desarrollo de los países (The World Bank Washington, 2006). Un tipo de desastre son las inundaciones; estudios realizados en Japón indican que las pérdidas económicas relacionadas estas aumentarán significativamente en el futuro como resultado del cambio climático. Por esto concluyen que es necesaria la inversión de recursos para implementar medidas de mitigación y control de inundaciones (Tezuka et al., 2014). En Colombia, el sector de la vivienda es el más afectado a causa de las inundaciones, representando el 39% de las pérdidas económicas según el IDIGER.

Existen medidas de mitigación para esta problemática, como los palafitos y las viviendas flotantes, a pesar de esto hay comunidades que no cuentan con ninguna implementada. Aspectos como el costo, la estructura y su funcionalidad pueden ser optimizados.

La capacidad de permanecer sobre el nivel del agua de la edificación permite proteger tanto la infraestructura de vivienda como los bienes de los que habitan en esta. Las comunidades más afectadas son las de bajos recursos (The World Bank Washington, 2006) y por esto se requiere una solución de muy bajo costo, permitiendo así la inversión de los municipios más pobres. Cada uno de estos presenta requerimientos diferentes, por lo que no todas las soluciones son aceptadas por sus habitantes, ya sea por sus necesidades o su estilo de vida.

La vivienda modular está dentro del contexto de viviendas de bajo costo, versátiles; que pueden ser adaptadas al número de habitantes, necesidades y pueden ser construidas con materiales de bajo costo (Bardhan & Debnath, 2018). Diseñarlas de manera que puedan ser auto construibles y ensamblables, permite que sus habitantes las modifiquen según sus necesidades sin requerir mano de obra calificada, dándoles así autonomía (Sararit, Tamiyo, & Maly, 2018).

En este trabajo se diseñará una edificación modular para zonas susceptibles de anegación, auto construible (ensamblable), con un costo por metro cuadrado menor a 700.000 pesos colombianos, para poblaciones con riesgo de inundaciones periódicas como el corregimiento de Boca Cerrada; empleando metodología BIM, siguiendo la normatividad de diseño y construcción vigente (NSR-10) y el manual de Asistencia Técnica para Vivienda de Interés Social, con el fin de ser versátil en cuanto

al número de habitantes, necesidades y usos. Se hará énfasis en la estructura y el sistema constructivo, para que sea ensamblable, no requerir el uso de mano de obra calificada in-situ, y el fácil transporte de los materiales y prefabricados requeridos. Cabe aclarar que la palabra flotar se entiende como la capacidad que tiene la edificación de permanecer sobre el nivel del agua, ya sea por una plataforma boyante, palafitos, enrocado poroso, entre otros.

## 1. PRELIMINARES

### 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las inundaciones son fenómenos hidrológicos que pueden llegar a ser altamente destructivos, se dan cuando el agua alcanza niveles no habituales en zonas que generalmente no se encuentran anegadas, puede causar impactos negativos en el sector agropecuario y la infraestructura de una población (IDEAM & MINAMBIENTE, 2014). En Colombia, según el IDEAM, el 28% de la población se encuentra expuesta a un alto potencial de inundación, y según la NGRD (Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres) el 12% del territorio nacional se encuentra localizado en áreas con una alta susceptibilidad a inundarse (Campos et al., 2012).

Las inundaciones se traducen en daños a la infraestructura y repercusiones sociales, económicas y ambientales para el país (The World Bank Washington, 2006). En el 2010 estos daños fueron aproximadamente el 2% del PIB. Los sectores con mayores daños fueron: el sector vivienda: 39%, transporte: 38% e infraestructura social: 11% (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. & IDIGER 2018). Más de 1 millón de viviendas han sido afectadas por la ocurrencia de diferentes fenómenos en los últimos 40 años, donde el 73% corresponde a inundaciones (Campos et al., 2012).

Durante los últimos años las casas flotantes han sido una propuesta que se ha venido desarrollando para el sector de vivienda con esta problemática. Localmente el grupo de investigación de Arquitectura, Medio Ambiente y Sostenibilidad de la Universidad Nacional en el año 2018 diseñó un prototipo de vivienda flotante que cuenta con tres módulos los cuales suman un área de 27 metros cuadrados, tienen una capacidad para 4 personas, 90% del modelo está diseñado en madera y el 10% restante en acero y fibra de vidrio, pesa 4 toneladas y tiene un costo de 20 millones de pesos colombianos. También cuenta con elementos prefabricados grandes como las columnas y la base flotante con medidas de 3 m x 3 m, la cual, necesita un trabajo de impermeabilización con fibra de vidrio (Universidad Nacional, 2018).

Utópica, spin off, apoyada por la universidad EAFIT en el año 2011 diseñó y construyó una plataforma flotante, la cual soporta una casa prefabricada de madera comprada a un proveedor externo de 36 metros cuadrados, para un máximo de 6 personas y un costo aproximado de 37 millones de pesos, esta se encuentra ubicada en el embalse Peñol-Guatapé (Universidad EAFIT, 2015).

A pesar de que son soluciones viables, ninguna ha sido implementada en alguna comunidad, no cuentan con un diseño de redes públicas una vez que la edificación empieza a flotar (cuando sube el nivel con respecto al suelo). Según los informes de estos proyectos tienen elementos prefabricados de hasta 3 X 3 m que dificultan su transporte a zonas de difícil acceso, necesitan mano de obra calificada y herramientas para su construcción in-situ. La propuesta de la Universidad Nacional es un diseño meramente arquitectónico y la propuesta del spin off Utópica fue desarrollada por ingenieros industriales que solo diseñaron y construyeron la base flotante, por lo cual, se necesita dar un enfoque desde la ingeniería civil, diseñando la parte estructural, redes y mejorando las debilidades anteriormente planteadas.

Este proyecto se enfocará en comunidades que son afectadas por inundaciones periódicas, como la del corregimiento de Boca Cerrada del Municipio de San Onofre, al norte de Sucre; esta no cuenta con agua potable, energía eléctrica, carece de infraestructura educativa, hospitalaria, vial y recreativa (Congote, 2013).

## 1.2 OBJETIVOS DEL PROYECTO

### 1.2.1 Objetivo General

Diseñar una edificación modular con la capacidad de mantener su funcionalidad en caso de inundación, auto construible (ensamblable) y con un costo por metro cuadrado menor a 700.000 pesos colombianos, la cual cuente con un diseño de redes técnicas funcional, para poblaciones en riesgo de inundaciones periódicas como el corregimiento de Boca Cerrada; empleando metodología BIM, siguiendo la NSR-10 y el manual de Asistencia Técnica para Vivienda de Interés Social.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- Llevar a cabo un análisis de costo beneficio para las alternativas diseñadas de la base flotante y superestructura, basado en recomendaciones nacionales e internacionales.
- Diseñar la alternativa seleccionada (estructura, redes y conectividad de módulos) basándose en la NSR-10.
- Modelar los módulos en el software Revit y su estructura en el software SAP2000.
- Probar funcionalidad mediante la construcción de un modelo a escala de cada módulo.

- Estimar el presupuesto por  $m^2$  de la edificación utilizando metodología BIM (Building Information Modeling) y el método PERT, apoyándose en el software Revit.

### **1.3 MARCO DE REFERENCIA**

Actualmente existen poblaciones ubicadas en zonas inundables periódicamente, de las cuales sus habitantes se niegan a salir, debido a la pobreza, el sentido de pertenencia o simple miedo a lo desconocido; estas se ven afectadas económica, social e infraestructuralmente. Para mantener las poblaciones en su lugar, el proyecto busca garantizar que la edificación permanezca sobre el nivel del agua en todo momento, con el fin de disminuir las repercusiones de las inundaciones y desarrollar una solución para esta problemática.

Además de aportar en la disminución de la deficiente infraestructura en el sector de vivienda, en este trabajo se diseñará una edificación modular para zonas susceptibles de anegación. Haciendo énfasis en su método constructivo (auto construible-ensamblable), la superestructura y sus redes, manteniendo un precio bajo (menor a 700.000 pesos colombianos) dentro de los límites de una VIS; enfocada a poblaciones con riesgo de inundaciones periódicas como el corregimiento de Boca Cerrada.

Partiendo de la lectura y el estudio de la NSR-10, el manual de Asistencia Técnica para Vivienda de Interés Social y trabajos internacionales como el de “Self-sufficient floating house for students in Groningen” (Holanda) de la universidad de Hanzehogeschool, se han determinado las siguientes partes y sus respectivos ítems necesarios hasta la etapa de diseño:

1. Base flotante de la edificación:

- 1.1. Requerimientos/ requisitos
- 1.2. Materiales
- 1.3. Formas
- 1.4. Uniones
- 1.5. Análisis de resultados
- 1.6. Diseño
- 1.7. Cálculos

## 2. Superestructura

- 2.1. Requerimientos – requisitos - Criterios de selección del material
- 2.2. Materiales
- 2.3. Análisis
- 2.4. Cálculos
- 2.5. Diseño final

## 3. Redes y conexiones

- 3.1. Requerimientos - requisitos
- 3.2. Análisis de alternativas
- 3.3. Conectividad
- 3.4. Diseño

El desarrollo del proyecto se realiza siguiendo *Process based thinking* (pensamiento basado en procesos), teniendo en cuenta algunas fases realizadas en “Self-sufficient floating house for students in Groningen” (Holanda) de la universidad de Hanzehogeschool (Forés, Gironés, & Morant, 2017).

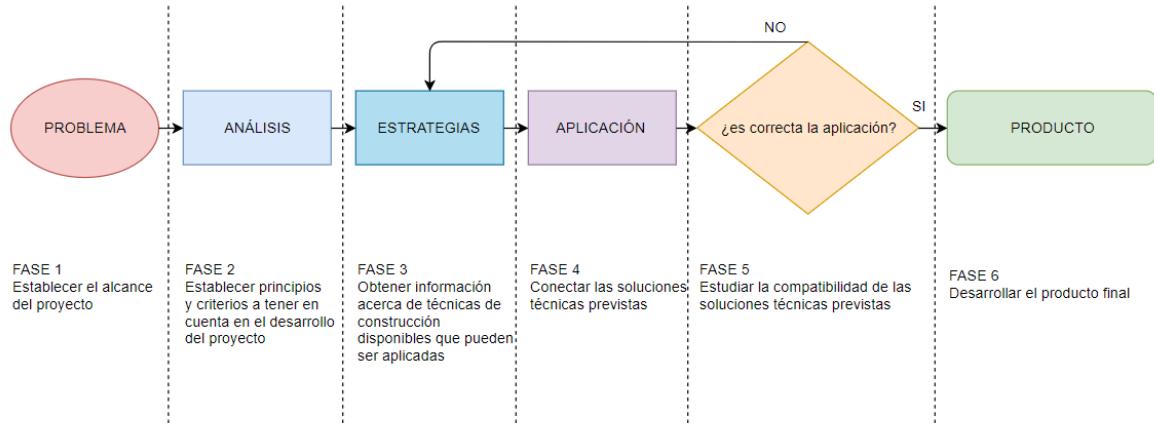


Ilustración 1 pensamiento basado en procesos (draw io, 2018)

En el cual se tienen 6 fases mediante las cuales se llega a el producto final, que en este proyecto es un modelo del diseño en 3D y un modelo a escala. Revisando la aplicación y la compatibilidad del diseño con las necesidades y requerimientos.

### 1.3.1 Requerimientos

A continuación, se presentan las necesidades que debe cumplir la edificación:

- Modular: el interés de la modularidad y posibilidad de ensamble se encuentra en eliminar una restricción inicial para el número de habitantes.
- El modelo básico será planteado para un mínimo de 2 Personas, y debe ser expansible para suplir las necesidades de familias de hasta 6 personas.
- Los habitantes pueden ser personas con y sin discapacidades, por lo que debe ser tenido en cuenta para la accesibilidad.
- Cumplir con la Guía de Asistencia Técnica para la Vivienda de Interés Social.
- Cumplir con la NSR-10.
- Edificación auto construible y ensamblable.
- Construcción in-situ con mano de obra no calificada (elementos prefabricados).
- Construcción in-situ sin maquinaria pesada (elementos livianos).
- Cumplir con un diseño arquitectónico para climas cálido- húmedos según el manual de asistencia técnica para viviendas de interés social.
- Conectividad Redes Técnicas (Luz, Agua, Alcantarillado, y Gas; si el lugar donde será construida tiene disponibles estas)
- Ciclo de lluvias e inundaciones lentas o progresivas con un nivel máximo de inundación de 1 m, no responde a crecientes repentinas con grandes corrientes.
- La casa debe permanecer seca en todo momento, siendo esta 100% funcional en épocas de inundación, permitiendo así que los habitantes puedan permanecer en la casa en todo momento.
- Deben contar con un medio de transporte como una canoa o plataformas flotantes para las épocas de inundación.

La solución será planteada para edificaciones destinadas a uso de vivienda, tanto en zonas rurales como urbanas, que sean inundables periódicamente, de forma lenta o progresiva y así evitar la pérdida de habitabilidad de las viviendas o el desplazamiento de las personas.

Deben tenerse en cuenta las *partes interesadas* (Stakeholders) en los diferentes aspectos del proyecto: económica, constructiva y socialmente (Forés Montesinos, 2017). En este caso deben tenerse en cuenta las necesidades básicas de los usuarios, modularidad, facilidad del método constructivo y transporte. Para la base de soporte se debe tener en cuenta modularidad, nivel de inundación y adaptabilidad. En el siguiente diagrama pueden verse las interacciones entre las partes principales:

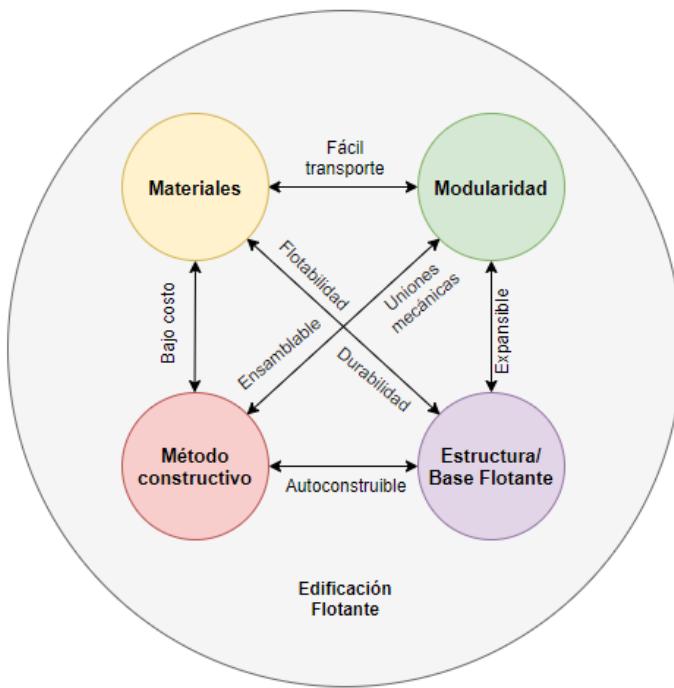


Ilustración 2 interacciones, realizado en (draw io, 2018)

**Autoconstrucción:** es el arte de construir lo propio, mediante la realización de trabajos por parte de los mismos usuarios de ellas, esta es realizada por mano de obra no remunerada, que usualmente consta de redes de personas que llevan a cabo todas las actividades (Camacho Cardona, 1998). Al ser una edificación autoconstruirle, con elementos prefabricados, la mano de obra está pensada para ser realizada por cualquier hombre sano, que según (SURA, 2019), “el peso máximo que se recomienda no sobrepasar (en condiciones ideales de manipulación) es de 25 kg.”. Los elementos

de la edificación no deben sobrepasar los 100 kg, para poder ser construida entre 4 hombres, sin experiencia en la construcción.

**Modularidad:** Hace referencia a que la casa es construida mediante el uso de módulos tridimensionales construidos en un sitio de fabricación, para luego conformar componentes más grandes unidos generalmente en el sitio al cual se destinan (Forés et al., 2017) .Según (Ovando, 2016) existen varios tipos de módulos:

- **Módulo único:** Basados en un único módulo tridimensional que se transporta armado desde el lugar de fabricación.



Ilustración 3 módulos únicos, (viviendas sociales, 2012)

- **Módulos aditivos:** Basados en la asociación horizontal (adosables) y/o vertical (apilables) de varios módulos tridimensionales cuya identidad espacial es reconocible en el edificio final.

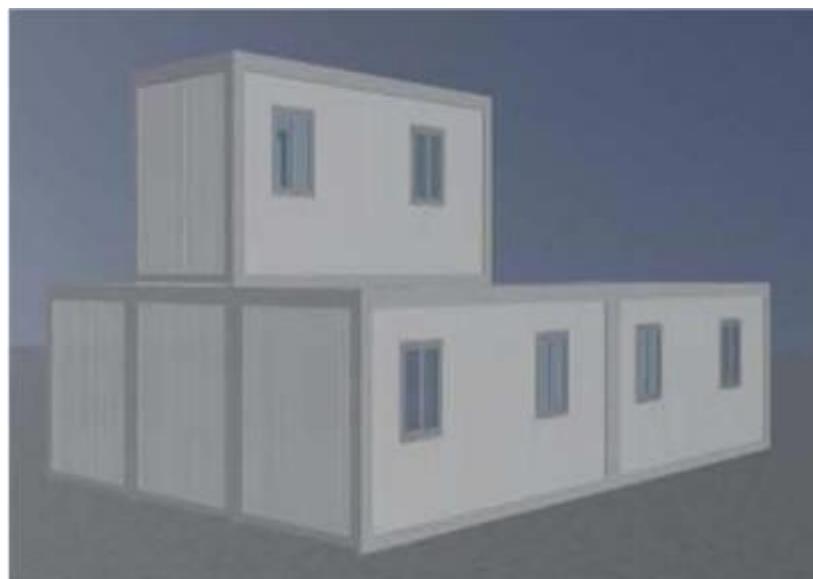


Ilustración 4 módulos endosables (sucuinan, 2015)

- **Módulos secciones múltiples:** Basados en la asociación de varios módulos cuya identidad espacial individual desaparece en el todo.
  - **Kit:** Es un conjunto coordinado de partes pequeñas muy industrializadas que permiten un transporte muy fácil por su tamaño y un montaje muy rápido y sencillo por personal con poca cualificación
  - **Panelizado:** es un sistema de construcción que consiste esencialmente en elementos bidimensionales o paneles, que simplifica mucho el transporte con respecto a los módulos tridimensionales y proporciona elementos más terminados y por lo tanto mayor rapidez de montaje que el kit.



Ilustración 5 panelado, (portalinmuebles, 2014)

**Flotabilidad:** se entiende como la capacidad que tiene la edificación de permanecer sobre el nivel del agua. En este caso se entiende que la base flotante tiene la capacidad de resistir las cargas de la superestructura mientras se mantiene sobre el nivel del agua en épocas de inundación y en épocas de secas esta sirve como cimentación. Ejemplos de bases flotantes: enrocados porosos, palafitos, plataforma flotante (equilibra el peso con el empuje del agua), entre otros. Por lo anterior, se deben escoger materiales que resistan al contacto directo con el agua y cambio de humedad continuo; ya sea por sus propiedades naturales o por tratamientos especiales que se les aplique.

### 1.3.2 Vida útil

Según (Arencibia Fernández, 2007) mantenimiento de edificaciones se entiende como el conjunto de procesos y cuidados necesarios para que estas puedan seguir funcionando adecuadamente. La vida útil de las edificaciones está directamente relacionada con el mantenimiento que debe ser realizado en estas; el mantenimiento que se realiza puede ser de 2 tipos, preventivo o correctivo. Como su nombre lo indica el preventivo es realizado para prevenir cualquier inconveniente que pueda darse durante la vida útil de la edificación. Este puede ser programado en el tiempo y por lo tanto evaluado económicoamente. El correctivo trata de corregir aquellos errores que surgen durante la vida útil de la edificación y así lograr extender su vida útil hasta el máximo, conservando sus prestaciones.

Dentro del concepto de mantenimiento es posible enmarcar: pintura, fisuras superficiales en revoques, sustitución de tejas, impermeabilización de áreas de cubiertas, fijaciones de losas de piso o zócalo, limpieza de tanques y cisternas, limpieza de tanques sépticos, ajustes de válvulas, ajustes de puertas y ventanas, reposición de vidrios y herrajes (Arencibia y Borroto, 2005).

En (Tejera, 2003) se abordan estos factores y se plantea que el **costo global** debe considerarse como la suma de los gastos de construcción y mantenimiento de un edificio a lo largo de su vida, incluyendo la inversión inicial, los gastos diferidos de mantenimiento y funcionamiento y los costos indirectos de equipamientos colectivos. El costo global puede determinarse de la siguiente manera:

$$\text{Costo Global} = \text{Costo Inicial} + \text{Costo de Mantenimiento} + \text{Costo Indirecto}$$

Puede verse a continuación la comparación inversión vs tiempo entre estructura durable y no durable según (Hernández Castañeda & Mendoza Escobedo, 2006), quienes concluyen que el desarrollo de los nuevos proyectos de ingeniería debe ser integral y tener en cuenta tanto la inversión inicial como los costos de mantenimiento en el tiempo.

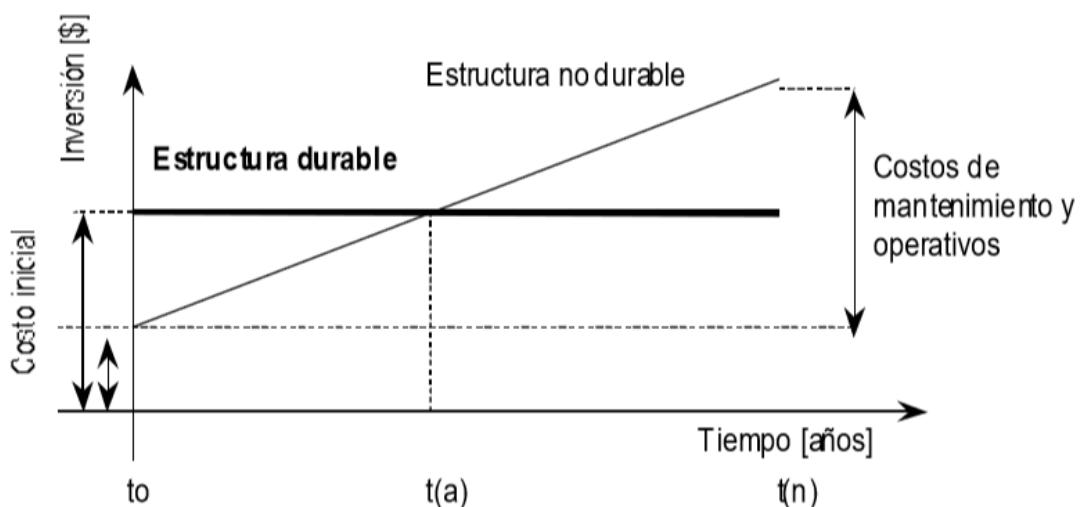


Ilustración 6, Comparación inversión vs tiempo entre estructura durable y no durable (Hernández Castañeda & Mendoza Escobedo, 2006)

Para determinar el costo global de una edificación debe tenerse en cuenta la durabilidad de la estructura y el mantenimiento que esta requiere, de forma que el costo de mantenimiento sea el menor posible, partiendo de un diseño durable en el tiempo que requiera el menor mantenimiento

posible, partiendo del análisis de costos de mantenimiento en el tiempo de (Arencibia Fernández, 2007)

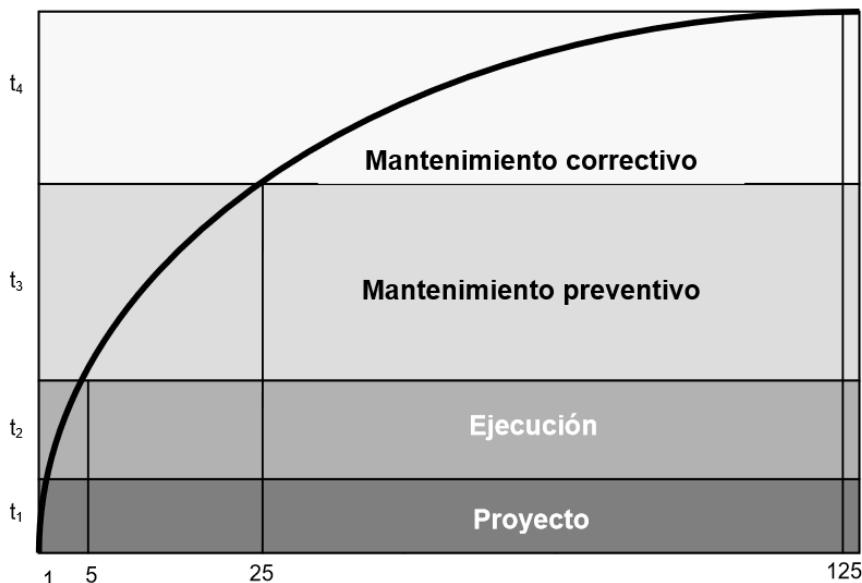


Ilustración 7, Costo de mantenimiento vs tiempo (Arencibia Fernández, 2007)

En general se encuentra que los códigos y normativas constructivas buscan alcanzar una vida útil de las edificaciones por encima de los 50 años, sin embargo, hay casos especiales donde las estructuras deben ser diseñadas para períodos de hasta 100 años o en algunos casos pueden tener una vida útil más corta de 25 años (Valdés Krieg, 2017).

La durabilidad puede entenderse como la capacidad que tienen las edificaciones o las estructuras para conservar las condiciones de apariencia y servicio inalteradas, a lo largo de la vida útil y la degradación de los materiales, por efectos de cargas o las condiciones ambientales.

En este caso se busca tener una relación óptima entre durabilidad y mantenimiento requerido, que se encuentran directamente relacionados con el diseño, la elección de materiales y el costo de la vivienda.

### 1.3.3 Materiales

- Concreto: Es el material de construcción más utilizado debido a sus propiedades, puede ser versátil según los agregados y aditivos, puede ser aligerado, impermeabilizado o reforzado para darle las propiedades requeridas.
- EPS (Poliestireno Expandido): Es un material ligero que se puede encontrar en todo el mundo con una gran vida útil y posibilidad de reciclar.
- Aluminio: Alta durabilidad frente a las condiciones ambientales presenta facilidad en la modulación, lo que evita desperdicios en obra, fácil manejo e instalación. No requiere mantenimiento frecuente y es usado en obra como acabado.
- Acero: es un material con alta resistencia mecánica, alta elasticidad, trabajabilidad (se puede cortar y doblar, sin que pierda resistencia), permite ser soldado, necesita de tratamientos anticorrosivos cuando va a estar en la intemperie, mantenimiento frecuente, y es usado en obra para cimentaciones, estructura y refuerzo.
- Madera: Es un material 100% renovable, siempre y cuando provenga de bosques reforestados o de cultivos sostenibles. Posee buena resistencia a la compresión, dureza, flexibilidad, aspecto estético, pero es susceptible a plagas y deterioro por cambio de humedad. Necesita mantenimiento frecuentemente. Es usado en obra para cimentación, estructura, cerramientos y acabados.
- Bioplásticos: están hechos de residuos y pueden ser reciclados, tales como aceites vegetales en vez de petróleo. Con los aditivos se pueden modificar propiedades. se puede procesar con moldeo por inyección, extrusión, calandrado, moldeo por soplado, embutición profunda o prensado en piezas moldeadas, producto semiacabado, láminas, películas o perfiles lo cual lo hace una alternativa llamativa para las conexiones y los elementos prefabricados.

- Fibrocemento: Se encuentra constituido por cemento y fibras inorgánicas sintéticas. Es utilizado principalmente en cubiertas o para el revestimiento, aislamiento e impermeabilización de estructuras, pueden encontrarse placas estructurales o tejas en este material.

Para la base flotante, el hormigón es una alternativa, como afirman (Jiang et al., 2018). Quienes realizaron un estudio sobre el comportamiento de los materiales, sistemas estructurales y enfoques de análisis para estructuras desplegadas en aguas poco profundas. Concluyen que, para estructuras flotantes de hormigón, recomiendan un rango de recubrimiento que va de 50 mm a 70 mm para aguas poco profundas y una mezcla de concreto que contenga arcillas expandidas, pizarra y agregados gruesos debido a su alta resistencia agregada. Una baja proporción de agua a material de cemento (W/C) junto con la adición de humo de sílice puede reducir efectivamente la difusión de cloruro y mejorar la resistencia a la penetración de cloruro.

Existen también materiales autóctonos cuyos componentes principales son la arena (componente interno) y la arcilla (cementante), los cuales son de bajo costo y fácil adquisición, pero según un estudio que realizó (Miranda, 2014) tienen desventajas como lo son la erosión, cantidad de mano de obra requerida, tiempo de fabricación y fragilidad.

### **1.1.1. Transporte**

Las condiciones de transporte y montaje son cuestiones técnicas poco conocidas y documentadas. Resulta determinante tener un conocimiento previo de cuestiones tales como los medios de transporte disponibles, la accesibilidad del solar y las posibilidades de movimiento de las grúas. Esto condiciona en el proyecto el tamaño y peso de los módulos, según cada estrategia de montaje. Se identificó en el análisis sobre las condiciones de transporte, montaje y desmontaje, que los condicionantes más exigentes a la hora de proyectar uno de estos prototipos de casas es el del transporte, debido al reducido plazo disponible para su montaje y funcionamiento definitivo, dado que el ancho estándar de un transporte ordinario por carretera es de 2,50m (Forés Montesinos, 2017).

El departamento de Sucre basa su movilidad en el transporte terrestre, fluvial, y aéreo. El modo de transporte de mayor importancia es el terrestre. Sucre cuenta con una red de carreteras y carreteables que conectan con las diferentes localidades entre sí, pero su mal estado no permite la integración física entre los municipios. El desarrollo del departamento se ha producido alrededor de la troncal de Occidente lo que ha permitido que los municipios aledaños presenten mayor desarrollo y mejor calidad de vida, permaneciendo el resto del territorio sucreño aislado y con carencia de carreteras.

El departamento de Sucre cuenta con una red de carreteras de aproximadamente 2.314 km de longitud, de los cuales el 20.6 % (477.2 km) de la red total corresponden a la red nacional que atraviesa el Departamento, el 15.5 % (357.7 km) a la red Secundaria, el 63.9 % (1.479 km) a la red Terciaria (INVÍAS con 526.9 km, Departamento con 151.2 km y los Municipios con 800.9 km).

Las vías fluviales localizadas hacia el sur del departamento juegan un papel importante ya que durante siete u ocho meses del año el transporte de pasajeros y carga de las subregiones de San Jorge y La Mojana se realiza principalmente por vías fluviales a través de los ríos Cauca y San Jorge y de los numerosos caños y ciénagas, ya que en temporada de invierno las vías carreteables son de difícil acceso.

#### **1.3.4 Uniones**

Las Juntas o uniones entre módulos son las responsables de la continuidad de los aislamientos, cerramientos, estructura, acabados y redes técnicas de la edificación. Sin embargo, se deben dar soluciones técnicas para hacerlas desaparecer a simple vista y dar versatilidad al proyecto, en caso de expansión. A continuación, se presentan antecedentes de estudios de uniones y parámetros a tener en cuenta:

- La conclusión más objetiva del trabajo de (Ajuria Fernández, 2015) es que la construcción industrializada presenta ventajas tales como: mayor exactitud, que conlleva a mayor calidad de detalle, hay un menor consumo de material, menor tiempo de construcción, reducción de costos y menor impacto en el lugar de construcción, comparada con la construcción

convencional. Esta conclusión fue obtenida de un proyecto cuyo fin fue minimizar las uniones y que todas fueran secas (mecánicas), garantizar un rápido montaje en obra y desarrollo de múltiples configuraciones. Para el desarrollo de este sistema constructivo se optó por la madera como elemento estructural por sus características óptimas para cumplir los objetivos propuestos.

- (Shi, Xu, Zhang, Zhao, & Wu, 2018) realizaron un estudio de conexiones en una plataforma flotante modular, con diferentes combinaciones de rigidez en los ejes XYZ, además diseñaron un prototipo de un conector flexible (FBHC), el cual incluye los aspectos de disposición de rigidez, diseño estructural, análisis de resistencia, análisis de fatiga y restricciones de fabricación. Los autores hacen énfasis en el diseño de la rigidez del conector en diferentes direcciones, concluyen que las cargas del conector y los desplazamientos relativos dependen de la rigidez en las direcciones correspondientes. El resultado indica que la rigidez en la dirección X debe diseñarse relativamente suave y la rigidez en las direcciones Y Z debe ser relativamente dura para soportar cargas de corte.
- Según (Shahtaheri, Rausch, West, Haas, & Nahangi, 2017) los efectos acumulativos de la variabilidad dimensional y geométrica en la construcción modular se han manejado tradicionalmente utilizando estrategias de prueba y error. Este enfoque a menudo conduce a un retrabajo de ajuste en el sitio, aumento en el riesgo del proyecto y sobrecosto, ya que, la variabilidad dimensional y geométrica es una problemática en la construcción modular. Para abordar este desafío persistente dentro de la construcción modular, este artículo presenta un marco para un diseño óptimo de variabilidad. Las prácticas actuales y los métodos más modernos gestionan la variabilidad mediante el uso de dispositivos de fijación tridimensionales, corte por láser y ensamblaje robótico. Dichos marcos no combinan modelos de análisis estructural que podrían predecir modos y mecanismos de falla (es decir, verificación de adecuación) de las configuraciones alternativas con costos amalgamados considerando las fases de fabricación, transporte y montaje de las unidades pre montadas. Este estudio de caso valida que una estrategia de tolerancia dimensional y geométrica que considere los costos iniciales y los riesgos asociados de las configuraciones de ensamblajes

estructurales podría llevar a elegir configuraciones con menores costos amalgamados. Por lo cual, son aspectos importantes que se deben tener en cuenta a la hora de diseñar los módulos de la edificación de este proyecto.

### 1.3.5 Diseño arquitectónico

#### Áreas y dimensiones

El manual de Asistencia Técnica para Vivienda de Interés Social define que una vivienda debe ser diseñada mínimo para cuatro habitantes, debe contar con los siguientes espacios; los cuales tienen áreas y longitudes mínimas de diseño. Además, a cada área se le debe sumar un porcentaje de circulación que según el manual es el doce por ciento del área total:

Tabla 1 espacios, dimensiones y áreas mínimas de diseño según el manual de asistencia técnica para viviendas de interés social (Ministerio de Ambiente & Desarrollo Territorial, 2011)

Tabla 2, Dimensiones mínimas (Ministerio de Ambiente & Desarrollo Territorial, 2011)

Espacio	Área mínima (m <sup>2</sup> )	Longitud mínima (m)
<b>Habitación</b>	7,3	2,7
<b>Baño</b>	2,8	1,2
<b>Cocina</b>	3,6	1,5
<b>Cuarto de ropa</b>	1,1	0,8
<b>Comedor</b>	15,6	2,8
<b>Salón</b>	14,6	2,7
<b>Circulación</b>	12%	
<b>Total</b>	<b>50,4</b>	

La configuración de los módulos de las alternativas de superestructura debe garantizar que se cumplan las áreas y longitudes mínimas según el espacio, expuestas en la tabla anterior, además dicha configuración de módulos debe ser expandible para que cumpla con el requisito de viviendas con capacidad mínima de 4 personas y con posibilidad de expansión para 8 personas.

Por otro lado, dicho manual da parámetros y restricciones de diseño de la edificación según las condiciones climáticas del lugar donde estará ubicada; en este caso de estudio, es una región cálida y húmeda, con temperaturas anuales promedio de 27°C y lluvias mínimas de 1000 a 1500 mm anuales según (IDEAM, 2015), por lo cual, existen requerimientos de espacio (altura y volumen) como se muestra en la siguiente imagen:

CLIMA CÁLIDO HUMEDO		
ESQUEMA DE VENTILACIÓN	Vivienda con orientación simple, dispuesta para que permita circulación de aire permanente. Altura mínima: 2,7 m Volumen aire x persona: 12 m <sup>3</sup>	

Ilustración 8 Requerimientos de altura y volumen para clima cálido húmedo (Ministerio de Ambiente & Desarrollo Territorial, 2011)

El diseño de cada alternativa consta de 4 partes, base flotante, estructura, cerramientos y cubierta.

#### Comfort térmico

Es importante tener en cuenta a la hora de diseñar la cubierta, conocer las características climáticas donde esta cumplirá su función, de manera que pueda hacerlo de la forma más completa posible y afectando positivamente en aspectos como el comfort térmico, donde se incluye la temperatura interna, la ventilación y la humedad. A continuación, se presentan recomendaciones del manual de asistencia técnica para viviendas de interés social (Ministerio de Ambiente & Desarrollo Territorial, 2011).

El control solar sirve para aprovechar o contrarrestar los efectos térmicos esta, de acuerdo con las condiciones específicas del clima:

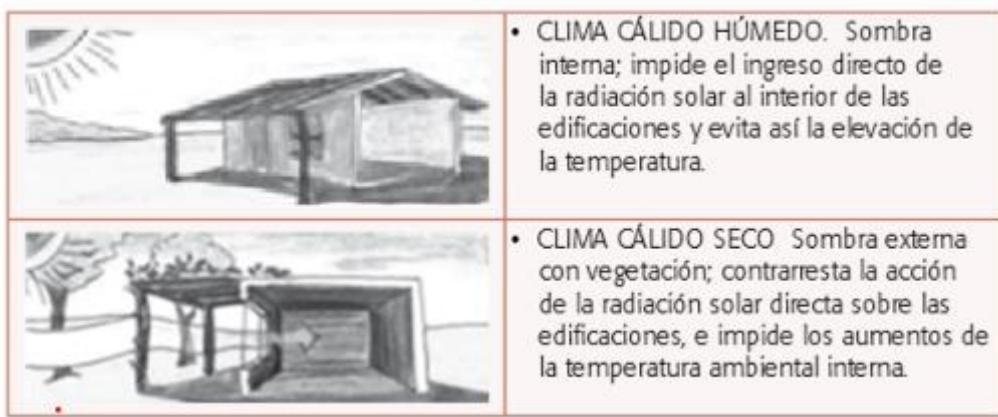


Ilustración 9, Soluciones frente a radiación solar según el tipo de clima (Ministerio de Ambiente & Desarrollo Territorial, 2011)

La forma de inclinación de las cubiertas protege los efectos mecánicos y la humedad causada por las lluvias



Ilustración 10, tipos de cubiertas (Ministerio de Ambiente & Desarrollo Territorial, 2011)

### Diseño de espacios

Se realiza análisis para el diseño de espacios para viviendas en climas cálido-húmedos, correspondientes a gran parte de las zonas inundables en el territorio colombiano y se realiza una distribución en planta como se puede ver en la ilustración 17.

Según (Ministerio de Ambiente & Desarrollo Territorial, 2011) “La edificación debe tener en cuenta proteger la radiación solar directa mediante las estrategias de diseño, para evitar altas temperaturas al interior de la vivienda. Orientando así la menor de las superficies en sentido E-O con el fin de captar menor radiación solar evitando el calentamiento de esta”.

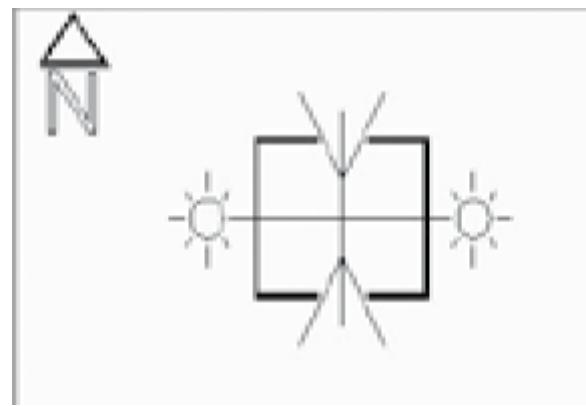
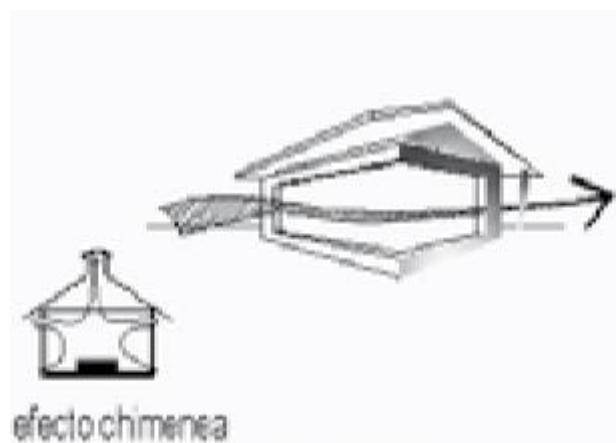


Ilustración 11, esquema de orientación de la edificación (Ministerio de Ambiente & Desarrollo Territorial, 2011)

Para garantizar la ventilación mediante el flujo de aire, se requiere tener fachadas abiertas al viento de manera que la ventilación pueda ser cruzada evacuando así el calor del interior. En caso de velocidad de viento reducida es posible generar un efecto chimenea mediante la diferencia de presiones a nivel de la cubierta (Ministerio de Ambiente & Desarrollo Territorial, 2011).



## Ilustración 12 Ventilación de la edificación (Ministerio de Ambiente & Desarrollo Territorial, 2011)

La cubierta, aleros, celosias y vegetación, disminuyen calor y la entrada de lluvia al interior de la vivienda. Los vanos de las ventanas deben representar entre 40% y 60% del área de la superficie en la fachada norte-sur, estas permiten una buena ventilación.

Se recomienda una construcción con materiales que retarden la transmisión de calor y que sean ligeras, con poca inercia térmica.

Para garantizar la circulación de aire permanente se debe cumplir con una altura mínima de 2.7 m y un volumen de aire por persona de 12 m<sup>3</sup>.

### **1.3.6 Sistemas estructurales superestructura**

Corresponden a los elementos estructurales de la edificación que conforman uno de los sistemas constructivos descritos por la NSR-10. Para la edificación se requiere un sistema constructivo prefabricado que garantice la facilidad constructiva, modularidad de la edificación y cumpla con la norma mencionada. A continuación, se presentan los sistemas constructivos establecidos por dicha norma.

#### **Sistema entramado ligero en madera**

En este sistema, la estructura está constituida por elementos de sección transversal pequeña y a su vez muy esbeltos, pero a corta distancia entre ellos como se muestra en la ilustración 13. Generalmente, tienen el mismo espesor, pero varían en el ancho y en la longitud. Con ellos se construyen los distintos componentes tales como muros, pisos, entrepisos, techos, todos ellos arriostrados o revestidos por entablado o por tableros conformando volúmenes arriostrados entre sí. Existen dos variantes principales en este sistema: la plataforma de acceso y el entramado global o integral (PADT-REFORT, 1982).



Ilustración 13, Entramado ligero en madera (CYPE Ingenieros, 2019).

Los muros están compuestos por pie-derechos paralelos en cuyos extremos tienen soleras clavadas a ellos. Los muros, con o sin revestimiento, se colocan sobre la plataforma del piso y se fijan desde sus soleras inferiores a las viguetas. Los pie-derechos de los muros colindantes se clavan entre sí. Encima de las soleras superiores de los muros se coloca otra solera traslapada que va enlazándolos que se conoce como solera de amarre.

Los techos entramados pueden tener diferente inclinación, descansan sobre los muros portantes y están formados en algunos casos por viga cumbre, viguetas o pares y cuerdas o tirantes de cielo raso. Por el exterior pueden estar revestidos por entablado, tableros o llevar correas espaciadas de acuerdo con el tipo de cubierta que se utilice. En el interior la estructura puede quedar vista u oculta por un cielo raso.

El sistema entramado plataforma, por su simplicidad, es el más usado y puede ser aplicado con diferentes técnicas de construcción. Permite fabricar los componentes en forma artesanal o industrial, para luego ser montados en obra. Los componentes resultantes son livianos, fáciles de transportar en camiones normales y no necesitan de grúa para su manipulación (PADT-REFORT, 1982).

A continuación, se presentan ventajas y desventajas del Sistema Entramado. Las cuales, fueron extraídas de (PADT-REFORT, 1982):

Ventajas:

- Menores costos de construcción (mínimo entre 5 a 15 por ciento) en relación con la construcción tradicional de ladrillo.
- Mejores propiedades de aislamiento que incrementan el confort y que por lo general permiten prescindir de métodos de acondicionamiento mecánico.
- Gran flexibilidad en el diseño, adaptándose a cualquier tipología arquitectónica aplicando criterios de coordinación dimensional.
- Alta productividad en la mano de obra, tanto en la etapa de fabricación como de erección.
- Bajo nivel de mecanización, tanto para la fabricación como para el montaje de componentes.
- Métodos de unión sencillos y baratos, especialmente cuando se generaliza el uso de clavos.
- La mayoría del trabajo es en "seco", tanto en planta como en la obra, lo cual independiza la construcción de la estación climática.
- Es un sistema que ofrece grandes posibilidades de prefabricación con posibilidades de aplicar diferentes niveles de complejidad.
- Buena durabilidad si se tiene en cuenta aspectos de protección por diseño, buenos detalles constructivos y especificaciones técnicas.
- El tiempo de construcción es mucho más rápido. La estructura puede ser fabricada y erigida en un lapso máximo de una semana, lo cual hace posible que la vivienda esté lista para ser ocupada en no más de 8 semanas, a diferencia de los 6 o 9 meses necesarios para construcción tradicional.
- La posibilidad de ocupación más temprana hace posible reducir los gastos de administración y financiación, recuperar la inversión inicial más rápidamente y pagar tasas de interés más bajas.

- Salvo algunas operaciones específicas, la práctica ha demostrado que se requiere mano de obra sin mayor calificación durante la secuencia de fabricación y montaje lo que lo convierte en un sistema apropiado para regiones con exceso de mano de obra no calificada.
- Este tipo de sistema utiliza por lo general elementos con secciones y longitudes cortas lo cual lo convierte en un sistema ideal para lugares donde la madera tropical no se encuentra disponible en grandes dimensiones.
- La versatilidad de la construcción hace posible que los tabiques internos puedan ser removidos y cambiados de lugar debido a las necesidades funcionales y arquitectónicas de los usuarios.

Existen sin embargo algunas desventajas en el uso de este sistema estructural.

- Dadas las características del sistema se requiere gran cantidad de buenos detalles constructivos para asegurar un adecuado comportamiento en la construcción.
- Considerando que el sistema entramado consiste en la interconexión de muchas piezas relativamente pequeñas, se puede esperar que existan más problemas por variación dimensional de los componentes.
- Sin una fabricación estandarizada y sin la aplicación de coordinación modular, es más probable un mayor desperdicio que con otros sistemas, debido a la mayor cantidad de piezas pequeñas que hay por organizar.

### **Muros en bahareque encementado**

El bahareque encementado es un sistema estructural de muros que se basa en la fabricación de paredes construidas con un esqueleto de guadua, o guadua y madera, cubierto con un revoque de mortero de cemento, que puede apoyarse en esterilla de guadua, malla de alambre, o una combinación de ambos materiales. Las ventajas de esta técnica son que el costo será muy bajo debido a la amplia disponibilidad de materiales agregados en las diferentes regiones del país. Sin embargo, la desventaja de esta técnica es su capacidad para resistir los efectos del clima, en particular la lluvia, además de su elevado peso, en comparación a los entramados ligeros. Debido a que la ubicación objetivo experimenta inundaciones durante la temporada de lluvias, las casas que

se diseñan deben ser resistentes al agua. Como tal, las paredes de la tapia no son favorables debido a su vulnerabilidad a la erosión por el agua y el mantenimiento requerido para estas condiciones (McArthur et al., 2012).

### **Sistema Poste y Viga**

(PADT-REFORT, 1982) como su nombre lo indica este sistema está constituido por vigas y columnas, que se colocan a modo de pórticos. Típicamente éstos van espaciados a alrededor de 1.5 m si están unidos por entablado, o a alrededor de 3.50 si van unidos por viguetas más entablado o tablero. Transmiten la carga al nivel inmediato inferior en forma concentrada. Este sistema se emplea tanto para construcciones livianas, de uno o dos pisos, como para pesadas o de tres pisos o más.

Economiza mano de obra porque son pocos elementos de fácil ensamblaje. El diseño de la edificación es muy flexible en el cerramiento de los distintos ambientes. Generalmente no requiere dinteles en aberturas para puertas o ventanas, éstas se colocan entre las columnas o postes y pueden tener toda la dimensión del vano.

Con este sistema pueden erigirse edificaciones en cualquier tipo de terreno, especialmente en aquellos con pendientes muy fuertes o anegadizos. Las limitaciones de este sistema pueden ser resueltas mediante un cuidadoso diseño. Es necesario proporcionar estabilidad lateral especialmente en muros, mediante elementos diagonales de arriostre.

Las instalaciones eléctricas y sanitarias son difíciles de esconder, debido a la falta de espacios vacíos en muros y techos, para lo cual es necesario el empleo de duetos.

Este sistema estructural es tenido en cuenta para los diseños de alternativas, ya que, es considerada como una edificación liviana, lo que facilita su montaje y transporte, además para el caso de la base flotante como cimentación es necesario que la edificación sea lo más liviana posible. Sin embargo, se evaluará si la resistencia lateral es un factor que pueda restringir el uso de este sistema.

A continuación, se presentan ventajas y desventajas del uso de un sistema de poste y viga, según (PADT-REFORT, 1982):

Ventajas:

- El efecto arquitectónico del acabado es tal vez lo más destacable debido a que las columnas, vigas y entablados o entablonados pueden ser barnizados de modo tal que conserven su color natural, su textura y dirección del grano, lo que permite un efecto estético muy agradable.
- Libertad de diseño. Como la tabiquería en un sistema de poste y viga normalmente no resiste cargas verticales, su ubicación no está controlada por consideraciones estructurales. Esto permite al diseñador máxima libertad en la distribución interior de la planta arquitectónica.
- Velocidad de erección debido a que es posible obtener un ahorro sustancial de mano de obra, siempre y cuando se apliquen ciertos detalles arquitectónicos apropiados. Esta afirmación se basa en lo siguiente: las piezas, por lo general son más largas y se utilizan en menor cantidad que en un sistema de entramado convencional. Debido a la presencia del entablonado, se elimina la necesidad de arriostramiento de las viguetas. Los elementos de unión utilizados son tal vez más grandes, pero se requiere menor cantidad. La cobertura del techo puede ser montada muy rápidamente, lo que permite que los trabajos pendientes sean hechos con la debida protección climática.
- Reducción en la altura de la edificación, debido a que, en un sistema de poste y viga, la altura de las habitaciones es medida desde el piso hasta la cara inferior del entablonado, mientras que en construcción tradicional es medida desde el piso hasta el canto inferior de la vigueta. Esto hace posible un ahorro en los revestimientos interiores y exteriores, en la longitud de los pie-derechos, así como en la fabricación de escaleras, instalaciones sanitarias y otro tipo de servicios.

Existen sin embargo algunas limitaciones en el uso de este sistema pero que son relativamente fáciles de resolver, si se presta especial atención durante las etapas de diseño:

- El entablonado de piso está diseñado para resistir cargas uniformes y moderadamente bajas y no se espera que resista cargas concentradas y relativamente altas. Cuando este tipo de cargas ocurre, como en el caso de muros portantes, tinas para baño, refrigeradoras, etc. se

hace necesario reforzar el entablonado por debajo para trasmitir las cargas a las vigas, lo cual puede "ensuciar" el aspecto estético concebido inicialmente.

- En climas moderados es suficiente el aislamiento que provee el entablonado de 50 mm de espesor, pero en climas más severos puede requerirse cierto tipo de aislamiento. lo cual puede incrementar los costos de construcción.
- La localización del sistema de distribución eléctrica y sanitaria puede presentar un problema, debido a la falta de espacios en el cielo raso que permitan esconder el tendido de ductos, alambres y tuberías, por lo que ciertos de tales apropiados deben ser considerados en la etapa de diseño.
- Considerando que todo el trabajo de carpintería en una construcción de poste y viga debe ser de un buen nivel de acabado, debe preverse un cuidado especial para proteger las piezas durante el transporte, manipuleo y montaje. Debe evitarse asimismo cualquier posibilidad de decoloración debido a la inclemencia climática o a una exposición dispareja ante la luz solar.

#### **Entramado liviano en acero (Lightweight steel framed-LSF)**

El acero es usado ampliamente en la construcción de edificios de varios pisos. Tradicionalmente es considerado costoso para el campo de la construcción y por esto es raramente utilizado en edificaciones con bajo presupuesto. En muchas partes del mundo se prefiere trabajar con entramados en madera, ladrillos estructurales o concreto reforzado (Mohamad, n.d.).

A lo largo de los años se han desarrollado y mejorado sistemas para utilizar en construcciones. Los entramados livianos en acero son una manera económica que ha venido incrementando su uso en Europa, Nueva Zelanda y Australia. Estos marcos de acero liviano son desarrollados a través de un proceso conformado en frío sin el uso de calor, lo que permite la producción de hojas de acero liviano de alta resistencia. La superficie es recubierta con una aleación de Zinc que sella toda la superficie y la protege de la acción corrosiva del medio ambiente. El resultado son edificaciones más sólidas, rígidas, fuertes, durables y fáciles de construir (Mohamad, n.d.).

Este es un sistema estructural que provee una forma de construir de manera sostenible, los elementos utilizados tienen varias ventajas como el gran potencial de reciclaje, que permite la conservación del medio ambiente, el tiempo de construcción y su bajo peso (Alliance, 2007)

- Los perfiles de acero no absorben humedad y no se pudren ni producen moho tóxico, tienen un impacto neutro sobre la calidad del aire en interiores y exteriores
- Es un material que debido a sus propiedades incluyendo fuerza y ligereza, es un material excelente para resistir terremotos
- Es resistente al fuego, bajo altas temperaturas puede deformarse, pero no quemarse, evitando así incrementar el fuego y su dispersión
- El acero no puede ser atacado por termitas u otros insectos, por lo que requiere menos mantenimiento a largo plazo comparado con edificaciones en madera
- Los marcos de acero ligero se traducen en menos esfuerzo en la mano de obra y por lo tanto un sitio de trabajo más seguro

El entramado liviano en acero puede reducir costos de construcción:

- El entramado en acero es más fácil de manejar porque pesa 1/3 comparado con postes de madera

El proceso de diseño es realizado siguiendo el IBC (International Building Code) y el IRC (International Residential Code), los cuales son reconocidos en Estados Unidos.

La ruta de carga de la estructura de la edificación se utiliza para determinar los requisitos de diseño. Las cargas del techo, de viento, de la pared y del piso se transfieren a la planta baja. Una casa con marco de acero normalmente se construiría sobre una losa de planta baja de hormigón armado, los paneles de pared se sujetan a la losa de la planta baja, Los portadores del segundo piso se sentaban en la parte superior de los muros de carga. Estos portadores se conectarían y transportarían las vigas del piso. Las viguetas del piso llevarían a su vez las tablas del piso y los paneles de pared de arriba. Las armaduras del techo se colocarían en los paneles de la pared para transportar el sistema del techo y las cargas del techo(Mohamad, n.d.).

Los tamaños y la separación de los miembros estructurales dependerán de las cargas de diseño y la configuración del piso. Las conexiones para marcos de acero pueden consistir en tornillos

autoperforantes, pernos y anclajes. Por lo general, no se requiere soldadura y los sujetadores mecánicos serían suficientes en la mayoría de los casos.

Este sistema tiene ventajas que serán consideradas para el diseño y evaluación de costos de la edificación, tanto por sus propiedades de peso y resistencia, como de eficiencia de costos y desperdicios.

### **1.3.7 Sistemas estructurales para la cimentación**

#### **1.3.5.1. Palafitos**

Vivienda de palafitos: Las viviendas palafíticas son el tipo de vivienda tradicional de las personas vietnamitas que viven en áreas afectadas por las inundaciones. Esto se debe a su simplicidad en el diseño y la construcción, así como la posibilidad de su uso de materiales locales. La casa en sí es elevada por pilones de zanco colocados en el suelo. Los pilotes se encuentran sometidos a cargas todo el tiempo y por esto se consideran una parte crucial del diseño. Las maderas disponibles en el sitio de construcción son los materiales más comunes utilizados en la construcción de una casa típica sobre pilotes, aunque también es posible utilizar perfiles metálicos, según la disponibilidad del recurso. Estas maderas se utilizan como pilotes que sostienen y elevan la casa, lo que hace posible que las casas eviten inundaciones de bajo nivel, además de proporcionar ventilación y cierta seguridad de las plagas. Las viviendas sobre pilotes evitan efectivamente las inundaciones de bajo nivel, sin embargo, en el distrito de An Minh, la construcción de estas casas se realiza de manera muy deficiente y, como tal, las casas necesitan mucho mantenimiento y, a menudo, están inundadas (Ingenieros sin Fronteras, 2011).

#### **1.3.5.2. Enrocado**

El concepto de flotabilidad se entiende como la capacidad de flotar sobre un nivel determinado, es posible construir una base permeable que sirve tanto para aumentar el nivel sobre el suelo de la vivienda como para disipar la energía del agua en caso de inundación, es posible el uso de materiales locales siempre y cuando se cuente con la disponibilidad requerida. El enrocado consiste en una estructura similar a un muro de gaviones, que sirva como cimentación de la vivienda y brinde las propiedades enumeradas anteriormente manteniendo la vivienda por encima del nivel del agua.

### **1.3.5.3. Base boyante**

Edificación con base boyante: La capacidad de construir una casa sobre el agua tiene beneficios obvios cuando se trata de la gestión del espacio. Las casas flotantes se han utilizado en el pasado en comunidades con gran efecto. Las casas flotantes se componen típicamente de una base con una flotabilidad considerable y una casa construida en la parte superior. Esta base está parcialmente sumergida y se mantiene en su lugar mediante soportes anclados en el suelo. El diseño de casa flotante orientado a entornos afectados por la pobreza es posible utilizando recursos locales o materiales muy económicos (como los productos de desecho). Según la región y la disponibilidad de recursos, estos materiales podrían incluir bambú, madera de eucalipto o maderas de baja densidad, con un financiamiento adecuado también pueden ser utilizados, los tambores de residuos metálicos (Ingenieros sin Fronteras, 2011).

El estudio realizado por (Wang & Tay, 2011) cuyo objetivo era determinar qué tipos de amarres , anclajes y uniones son las adecuadas según la profundidad del agua, para así, minimizar el movimiento hidro elástico para mejorar la habitabilidad y garantizar la integridad estructural. Concluyen que se debe utilizar el tipo de líneas de amarre para plataformas flotantes desplegadas en aguas profundas, mientras que el tipo “cajón” en aguas poco profundas. Los conectores utilizados para unir los módulos de plataformas flotantes son de tipo fijo, semirrígido y tipo de bisagra; recomiendan usar el semirrígido para disminuir esfuerzos y garantizar bajas deformaciones; además los conectores de tipo semirrígido y con bisagras también se consideran efectivos para reducir la capacidad hidro elástica.

### **Geometría de la plataforma boyante**

Según el requerimiento de modularidad y adaptabilidad (expansibilidad), se busca conformar bloques que puedan ser fácilmente combinados para conformar superficies más grandes. Inicialmente la principal restricción es el tamaño máximo para ser transportado en una vía, el cual no puede superar los 2,5 m de ancho (Forés Montesinos, 2017).

- **Bloques rectangulares:** Según (Forés Montesinos, 2017) estos cuentan con ventajas de logística ya que son fáciles de construir, transportar y colocar. Un bloque de 4 lados cuenta

con menos uniones que otros diseños poligonales, lo que reduce costos y tiempo de construcción. El tamaño de los lados sería restringido por las dimensiones mencionadas anteriormente y su altura debe ser calculada después de determinar las cargas esperadas. Es necesario un estudio más profundo para el ensamblaje de las partes y los métodos constructivos.

- **Bloques poligonales (3-6 lados):** Es una idea similar a la de los bloques rectangulares, pero en este caso la forma es un triángulo o un hexágono como puede observarse en la ilustración 14. Más lados le brindan mayor estabilidad frente a olas o mareas, y sus ángulos mayores brindan mejor resistencia a tensiones; en este caso la forma hexagonal presenta ventajas sobre las demás. Por otro lado, el número de lados incrementa los costos y el tiempo de construcción, lo que hace que la forma triangular sea llamativa por su menor requerimiento de conexiones, pero sabiendo que, según estas formas la superficie conformada tendría formas indefinidas con espacio faltante o desperdiciado (Forés Montesinos, 2017).



Ilustración 14 Formas: rectangular, hexagonal y combinada (Forés Montesinos, 2017)

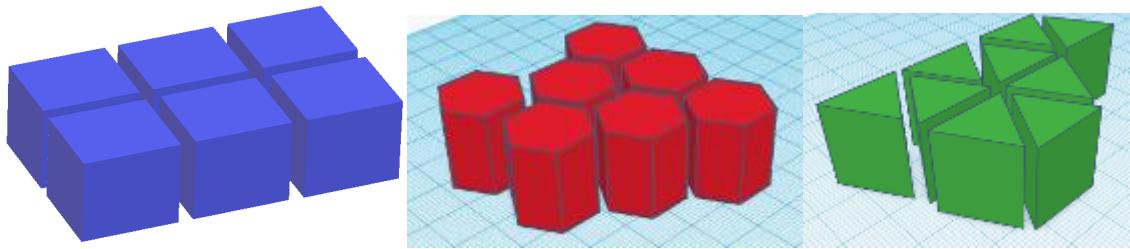


Ilustración 15 modelo de base flotante modular (rectangular-hexagonal-triangular)

Las dimensiones de la base deben ser calculadas según las cargas de la superestructura, se entiende por flotabilidad la fuerza de empuje o de carena que será capaz de equilibrar el peso del cuerpo con el empuje del agua. En este caso se entiende que la base boyante tiene la capacidad de resistir cargas (de la superestructura) mientras se mantiene sobre el nivel del agua. Por esto se priorizan materiales livianos, fuertes y que resisten la acción del agua. Se requiere analizar la densidad, centro de gravedad de la edificación y cargas de la superestructura.

El diseño de la base boyante debe garantizar que con perturbaciones que generen ángulos de hasta 30 grados, se genere efecto restaurador y retorne a la condición inicial. A continuación, se explica cómo se calcula la estabilidad de cuerpos flotantes.

**Estabilidad de cuerpos flotantes:** para este tipo de cuerpos cuando son perturbados, se pueden generar dos efectos:

- **Efecto Restaurador:** el par de fuerzas del empuje del agua y el peso propio del cuerpo generan un momento restaurador, el cual, retorna a la posición inicial al cuerpo. Este efecto ocurre cuando el metacentro está por encima del centro de masa del cuerpo.
- **Efecto Volcador:** el par de fuerzas del empuje del agua y el peso propio del cuerpo generan un momento volcador, el cual, le da la vuelta al cuerpo hasta encontrar el equilibrio. El cuerpo no vuelve a la posición inicial. Este efecto ocurre cuando el metacentro está por debajo del centro de masa del cuerpo.

**Centro de masa del cuerpo:** El centro de masas del sistema de partículas se define como un punto geométrico cuya posición es donde situamos la resultante del sistema de fuerzas paralelas (el peso total). Para determinar la posición del centro de masas, igualamos el momento de la resultante al momento total del sistema de fuerzas paralelas.

**Centro de flotación:** está ubicado en el centro geométrico (centroide) del volumen sumergido del cuerpo. Por este punto la fuerza vertical que ejerce el agua sobre el cuerpo.

**Metacentro:** es el punto donde se corta el eje de simetría de la sección transversal del cuerpo flotante con la proyección vertical del centro de flotación.

### 1.3.8 Análisis de alternativas

El método de toma de decisión que se escoge para seleccionar la alternativa a diseñar a un nivel de detalle alto, modelar y construir a escala; es un análisis de costo – beneficio, en el cual se calcula el costo de los materiales, transporte, construcción in-situ, mantenimientos a lo largo de su vida útil y otros costos relacionados a cada alternativa. Los beneficios de cada alternativa se identifican según el confort térmico que cada una de las alternativas brinda, nivel máximo de inundación en el cual se garantiza que la edificación permanece totalmente seca, versatilidad de unión de módulos (expandir la edificación una o dos direcciones), medio de transporte, vida útil, entre otros.

Según (IIMM) el análisis de costos y beneficios (BCA) es una extensión del método análisis del valor actual neto (VAN), el cual implica determinar los costos que se esperan a lo largo del ciclo de vida de cada activo (“Análisis del costo del ciclo de vida”). Además, identificar y evaluar los impactos positivos y negativos de cada alternativa; con el fin de evaluar qué opción tiene el mayor valor de los beneficios en comparación con los costos. El método de análisis de costos y beneficios se utiliza normalmente cuando los impactos no monetarios son relativamente consistentes entre las alternativas como en este caso de estudio.

Se realizan cuatro análisis de costo beneficio; uno a tres alternativas de cimentación, tres alternativas de piso, tres alternativas de sistemas estructural y a dos alternativas de cubierta. Las cuatro alternativas seleccionadas por dicho método conforman la edificación que se diseña a mayor detalle.

Las alternativas diseñadas están compuestas por cuatro partes, cimentación o base flotante, piso, sistema estructural y cubierta. Se aclara que base flotante hace referencia a la estructura que garantiza que la edificación permanezca sobre el nivel del agua, habitable y seca durante épocas de inundación y además sirva de fundación en épocas secas. Posibles alternativas para esta parte de la edificación son: plataforma boyante, palafitos, y enrocado permeable.

Los beneficios a tener en cuenta para cada alternativa son los siguientes:

- **Flotabilidad:** nivel máximo de inundación en el cual se garantiza que la edificación permanezca habitable y seca en su interior. Este beneficio lo brinda la base flotante; el nivel de inundación máxima que garantice cada alternativa será relacionado con su costo.
- **Transporte:** se espera poder usar vehículos de transporte de carga con una designación tipo 2 según (Ministerio de Transporte, 2004), el cual lo describe como “Camión de dos ejes – Camión sencillo”; el cual debe cumplir con las siguientes medidas:
  - Ancho máximo: 2.6 m
  - Altura máxima: 4.4 m
  - Longitud máxima: 10.8

Un ejemplo de este tipo de vehículo es el Chevrolet NNR REWARD, el cual cuenta con las siguientes dimensiones.

Tabla 3, dimensiones Chevrolet NNR REWARD (Autolarte, 2018)

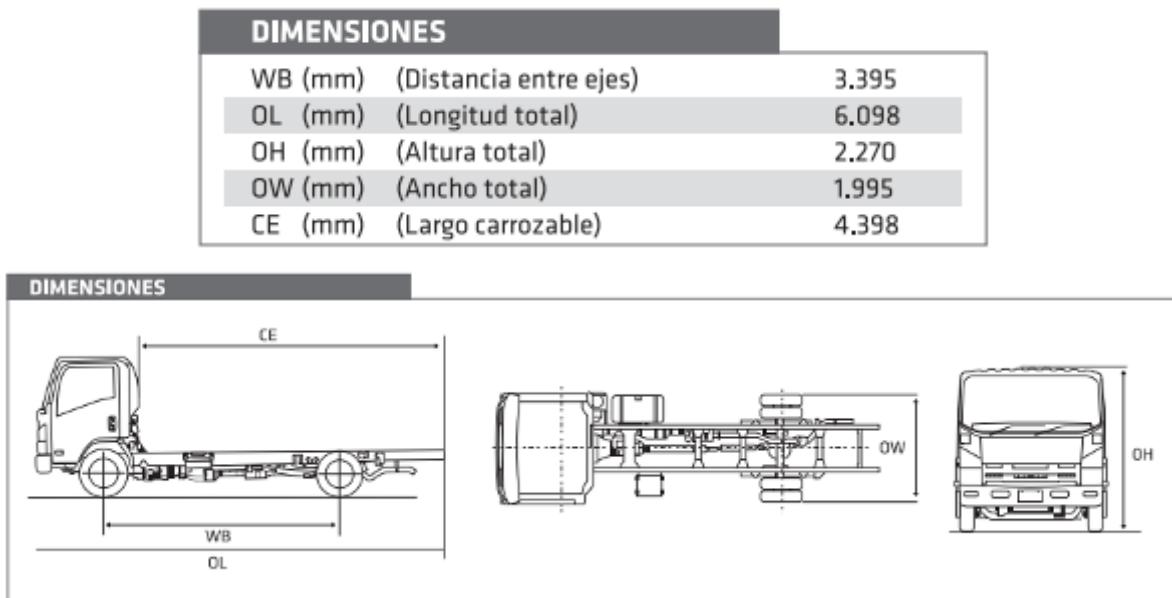


Ilustración 16, dimensiones Chevrolet NNR REWARD (Autolarte, 2018)

Por lo cual, las dimensiones máximas para cada elemento de las alternativas tanto de base flotante como superestructura serían las siguientes:

- Ancho máximo: 2 m.
- Altura máxima: 3 m.
- Longitud máxima: 4.2 m.

Sin embargo, es posible que el transporte varíe entre alternativas por lo cual se determina como mayor beneficio el transporte que tenga las menores dimensiones, ya que, tal y como se expuso en el marco teórico la mayoría de las vías para la zona de estudio son vías de poca sección y en afirmado, lo cual, dificulta el ingreso de vehículos de grandes dimensiones.

- **Elemento de mayor peso:** para cumplir con el requerimiento de no necesitar maquinaria pesada in-situ, se espera que el elemento de mayor peso, tanto para las alternativas de base flotante y superestructura no supere los 100kg por los motivos que se justificaron en el

marco teórico. Por lo cual, la alternativa que cumpla este requisito con mayor holgura se considerara como un mayor beneficio.

- **Vida útil:** el tiempo de vida útil se considera como el tiempo en el cual la edificación es funcional y cumple con los requisitos de diseño expuestos en el marco de teórico. Un tiempo mayor de vida útil se considera como mayor beneficio, sin embargo, la relación entre este beneficio y el costo de materiales y mantenimientos a lo largo de su vida útil pueden determinar que la relación costo beneficio no sea la mejor.

### 1.3.9 Determinación de cargas sísmicas

Para determinar el cortante sísmico en la base ( $V_s$ ); el cual, es equivalente a la totalidad de los efectos iniciales horizontales producidos por los movimientos sísmicos de diseño, en la dirección en estudio, se utilizó la siguiente ecuación:

$$V_s = Sa * g * M$$

Donde,

- $S_a$  = fracción de la aceleración.
- $g$  = aceleración de la gravedad (m/s).
- $M$  = masa muerta total de la edificación (kg).

El valor de  $S_a$  es obtenido del espectro elástico de aceleraciones de diseño estipulado en la NSR-10. En el cual, se utilizó el tramo horizontal de la gráfica debido a que la edificación está constituida por un solo nivel, por lo cual, el periodo de esta son valores pequeños y que se encuentran en dicha parte de la gráfica.

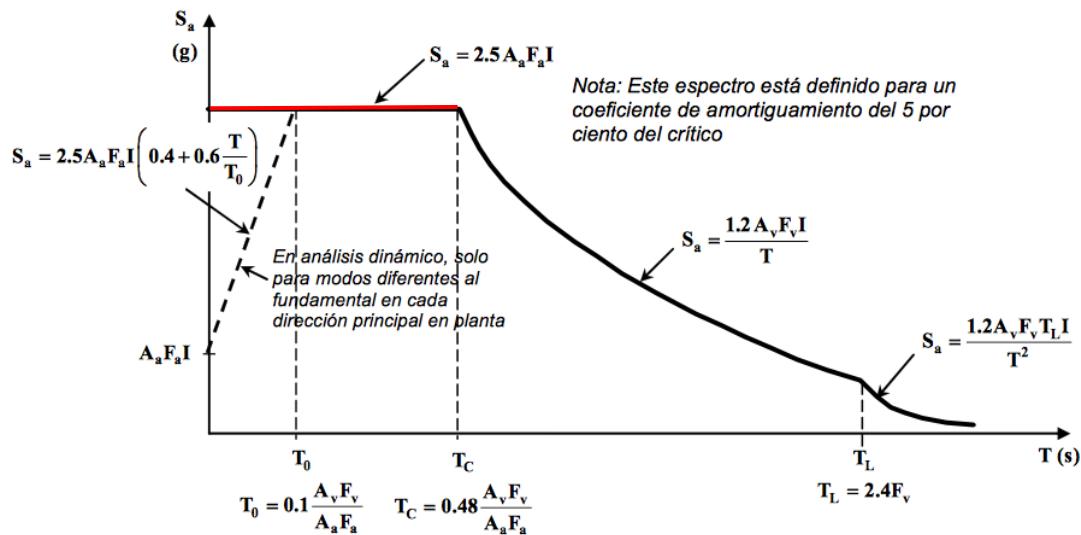


Figura A.2.6-1 — Espectro Elástico de Aceleraciones de Diseño como fracción de g

Ilustración 17, Espectro elástico de aceleraciones de diseño como fracción de g (Figura A.2.6-1) NSR-10.

Los parámetros de aceleración pico efectiva ( $A_a$ ) y velocidad pico efectiva ( $A_v$ ) de diseño utilizado es 0.15 para ambas variables que según el caso de estudio (departamento de Sucre) catalogado por la NSR-10 como una zona de amenaza sísmica intermedia y los municipios que lo conforman. Este es el valor más alto estipulado para dichos municipios. Para los parámetros de amplificación según el tipo de suelo ( $F_a$  y  $F_v$ ) de diseño se asumió un tipo de suelo E, el cual, es un tipo de suelo blando que posee alta amplificación de los sismos. Los valores de dichos parámetros son  $F_a = 2.1$  y  $F_v = 3.3$ ; los cuales fueron extraídos de las siguientes gráficas.

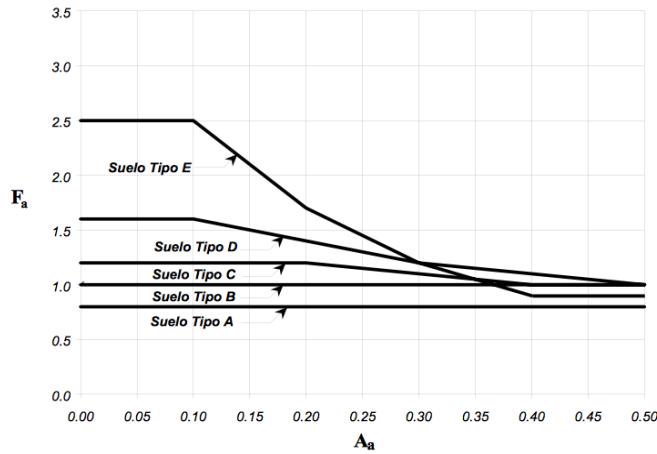


Ilustración 18, Coeficiente de amplificación  $F_a$  del suelo (figura A.2.4-1) NSR-10.

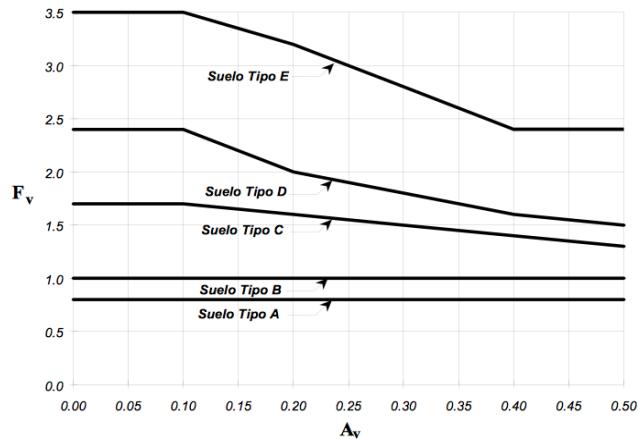


Ilustración 19, Coeficiente de amplificación  $F_a$  del suelo (figura A.2.4-2) NSR-10.

El coeficiente de importancia para este tipo de edificación (grupo de uso I) es igual a uno. Teniendo en cuenta los parámetros anteriormente mencionados, el valor  $S_a$  de diseño es igual 0.788 (constante para todas las alternativas diseñadas), el valor de la gravedad es  $9.8 \text{ m/s}^2$  y el valor de la masa de la edificación, la cual varía según la alternativa diseñada. Estos tres últimos valores mencionados multiplicados dan un valor que hace referencia al cortante sísmico en la base ( $V_s$ ). Luego se determina la fuerza sísmica reducida de diseño con la siguiente ecuación.

$$E = \frac{Fs}{R}$$

Para el caso estudiado el valor de R es igual a  $R_0$ , debido a que no se tiene ningún tipo de irregularidad. Por lo cual el valor de  $R = 1.5$ ; ya que, las alternativas diseñadas para la superestructura son en su totalidad prefabricadas, por lo cual según el reglamento colombiano de construcción sismo resistente (NSR-10) deben cumplir con el capítulo A.1.4.2 de sistemas prefabricados el cual establece según el Artículo 12 de la Ley 400 de 1997, que permite el uso de sistemas de resistencia sísmica que estén compuestos parcial o totalmente por elementos prefabricados que no estén cubiertos por este reglamento, siempre y cuando se utilicen los criterios de diseño sísmicos presentes en el capítulo A.3.1.7, el cual establece que los sistemas estructurales de resistencia sísmica prefabricados deben diseñarse para las fuerzas sísmicas obtenidas de acuerdo a este reglamento usando un coeficiente de capacidad de disipación de energía básico igual a uno y medio ( $R_0 = 1.5$ ).

### **1.3.10 Diseño de elementos de madera**

#### **Principios de diseño:**

El diseño consiste en pensar y describir, una estructura con características y funciones deseadas. Proceso en el cual se transforma información de las condiciones, necesidades y requisitos, provenientes del objeto de estudio, a la estructura que las satisface. Cada diseñador debe tener su propio criterio en la elección de la metodología a seguir, de manera que sea adecuada para su problema de diseño; según la complejidad, los objetivos a cumplir y la disponibilidad de recursos. El objetivo fundamental es llegar a un solo diseño como mejor alternativa entre todas las posibles, mediante una progresiva reducción y superación de incertidumbres. Es el arribo a la solución final según (Universidad Nacional de San Juan, 2016). Este proceso requiere la interacción de un conjunto de características tales como la creatividad, solución de problemas, toma de decisiones, búsqueda heurística, aprendizaje y satisfacción de necesidades.

Se siguen los requisitos de diseño y los requisitos mencionados anteriormente, respetando las necesidades básicas de los habitantes y los requerimientos del manual de Asistencia Técnica para

Vivienda de Interés Social, la NSR-10, modularidad y simetría de las partes para garantizar posibles expansiones o reducciones del espacio, durabilidad, uso de tecnología local (disponible), resistencia a la acción del agua y finalmente facilidad de construcción.

Las alternativas conformadas por elementos de madera y los sistemas constructivos mencionados anteriormente se diseñaron utilizando el método de esfuerzos admisibles, el cual es el establecido por la NSR-10 para este material y tipo de estructuras en el título G. A continuación, se presentan las tablas que contienen los esfuerzos admisibles y módulos de elasticidad de diseño de los grupos de madera estructurales que cumplan las normas de clasificación visual para madera aserrada dentro de los parámetros de Estructural Selecta (E.S.).

Tabla 4, Esfuerzos Admisibles,  $F_i$ , (MPa) C.H = 12% (NSR-10)

GRUPO	$F_b$ Flexión	$F_t$ Tensión	$F_c$ Compresión II	$F_p$ Compresión $\perp$	$F_v$ Cortante
ES1	29.5	21.0	23.0	6.0	2.0
ES2	28.5	20.0	22.0	4.3	2.0
ES3	23.0	17.0	19.0	3.8	1.6
ES4	17.0	12.0	15.0	2.8	1.5
ES5	15.0	11.0	13.0	2.0	1.1
ES6	12.5	9.0	10.0	1.5	1.3

Tabla 5, Módulos de Elasticidad Longitudinal,  $E_i$ , (MPa) CH = 12% (NSR-10)

GRUPO	Módulo Promedio $E_{0.5}$	Módulo 5º Percentil $E_{0.05}$	Módulo Mínimo $E_{min}$
ES1	18 000	13 250	7 130
ES2	18 000	13 250	7 130
ES3	14 000	11 000	5 500
ES4	12 500	10 000	5 000
ES5	11 200	8 250	4 435
ES6	9 000	6 500	3 564

La NSR- 10 establece que para el análisis y diseño de elementos estructurales se debe utilizar el módulo promedio ( $E_{0.5}$ ) como módulo de elasticidad del material. El módulo mínimo ( $E_{min}$ ), se utilizará para calcular los coeficientes de estabilidad de vigas ( $C_L$ ), y de columnas ( $C_P$ ), y el módulo 5º percentil ( $E_{0.05}$ ) se debe utilizar para deflexiones cuando las condiciones de servicio sean de alto riesgo o críticas.

Para el cálculo de cada elemento estructural de las alternativas se deben tener en cuenta unos coeficientes de modificación que la NSR-10 determina en el capítulo G.2.2.3 los cuales se deben aplicar si cumplen unos requisitos de duración de la carga, contenido de humedad, temperatura, estabilidad, altura, uso a lo ancho, incisión, acción de conjunto, estabilidad de columnas, rigidez al pandeo, área de soporte y cualquier otra condición modificatoria que dicha norma establezca. En cada uno de los diseños estructurales se especifica que coeficientes de modificación fueron utilizados y su respectiva justificación; basándose en las prescripciones desde el capítulo G.2.2.3.1 hasta el G.2.2.3.7. A continuación se presenta la formula general:

$$F'i = (F_i)(C_D)(C_m)(C_t)(C_L)(C_F)(C_{fu})$$

En donde

- $F_i$  = esfuerzo básico para la solicitud i.
- $C_D$  = coeficiente de modificación por duración de la carga.
- $C_m$  = coeficiente de modificación por contenido de humedad.
- $C_t$  = coeficiente de modificación por temperatura.
- $C_L$  = coeficiente de modificación por estabilidad lateral de vigas.
- $C_F$  = coeficiente de modificación por forma.
- $C_{fu}$  = coeficiente de modificación por uso en cara ancha.
- $C_{in}$  = coeficiente de modificación por incisiones.
- $C_r$  = coeficiente de modificación por acción de conjunto.
- $C_p$  = coeficiente de modificación por estabilidad de columnas.
- $C_T$  = coeficiente de modificación por rigidez al pandeo.
- $C_b$  = coeficiente de modificación por área de soporte.

### **Elementos solicitados a flexión**

Según la NSR-10 el diseño de elementos o miembros solicitados por flexión se tienen en cuenta los siguientes parámetros: deflexión, flexión (incluyendo estabilidad lateral), cortante y

aplastamiento. Para el pre-dimensionamiento de dichos elementos se considerará únicamente por deflexión. A continuación, se presentan las deflexiones admisibles por NSR-10 y se explica cómo se calculan las dimensiones de dichos elementos.

Tabla 6, Deflexiones admisibles (mm), (NSR-10)

Tipo de Construcción	Cargas Vivas $\ell/k^*$	Viento o Granizo $\ell/k^*$	Cargas Totales $\ell/k^*$
Elementos de techo/Cubierta			
Cubiertas inclinadas	Nota 1 $\ell/360$	Nota 1 $\ell/360$	Nota 1 $\ell/300$
Cielorosas de pañete o yeso	$\ell/300$	$\ell/240$	$\ell/240$
Otros cielos rasos	$\ell/300$	$\ell/240$	$\ell/240$
Sin cielo raso	$\ell/300$	$\ell/240$	$\ell/240$
Techos planos	Nota 1	Nota 1	$\ell/300$
Elementos de entrepiso	$\ell/360$	–	$\ell/300$
Pisos rigidizados			$\ell/360$
Muros exteriores y particiones interiores			
Con acabados frágiles	–	$\ell/240$	–
Con acabados flexibles	–	$\ell/240$	–
Edificaciones industriales	–		$\ell/200$
Edificaciones provisionales			(3) $\ell/160$
Formaletas para concreto			(3) $\ell/360$ ó 3 mm
Forros para columnas - vigas			(3) $\ell/360$ ó 1.6 mm

Según la NSR-10 las deflexiones admisibles son el parámetro principal en el establecimiento de las secciones requeridas para maderas. Las deflexiones se deberán calcular con las fórmulas de la teoría elástica considerando la deflexión por flexión para vigas, viguetas, entablados y otros elementos se calculan con el módulo promedio de elasticidad,  $E_{0.5}$ , y si es el caso usando el módulo de elasticidad corregido por cortante. Para el caso de vigas de una luz simplemente apoyadas y con carga uniforme, la fórmula es:

$$\Delta = \frac{5 w l^4}{384 EI}$$

Para calcular la sección requerida y únicamente para este caso, se deberá igualar la deflexión, calculada con cargas  $W'$ , estipuladas en la tabla G.3.2-3, con la deflexión permitida, de la tabla G.3.2-1, para así obtener el momento de inercia ( $I$ ), del cual se deducen las dimensiones de la sección.

Tabla 7, Cargas W' para cálculo de la sección por deflexiones (NSR-10)

<b>Condición de construcción</b>	<b>CH &lt; 19% Seca</b>	<b>CH &gt; 19% Húmeda</b>
<b>Condición de servicio</b>	<b>CH &lt; 19%</b>	<b>CH &gt; 19% , CH &lt; 19%</b>
Madera aserrada	<b>1.5D + L</b>	<b>1.8D + L</b>
Madera laminada	<b>1.5D + L</b>	<b>1.8D + L</b>

### Elementos sometidos a compresión

El término columna, se refiere a los elementos sometidos a cargas de compresión paralela a la fibra, cualquiera que sea su localización estructural (NSR-10). Los elementos que conforman las posibles alternativas en madera en su totalidad son columnas simples sólidas (conformadas por piezas únicas de madera). A continuación, se presenta el procedimiento de diseño, tablas y fórmulas que se tuvieron en cuenta basándose en la NSR-10.

1. Se calcula la longitud efectiva del elemento con la siguiente formula.

$$le = (ke)(lu)$$

Donde:

- le = longitud efectiva.
- Ke = coeficiente de longitud efectiva.
- Lu = longitud real del elemento.

El coeficiente de longitud efectiva se extrae de la siguiente tabla.

**Tabla G.4.3-1**  
**Coeficientes de longitud efectiva de columna  $k_e$**

Condición de los apoyos	Gráficos	$k_{e1}$	$k_{e2}$
Empotados en ambos extremos ①		0.50	0.65
Impedido de desplazarse en ambos extremos y uno de ellos impedido de rotar ②		0.70	0.85
Articulado en ambos extremos ③		1.00	1.00
Empotrado en un extremo y el otro impedido de rotar pero libre de desplazamiento ④		1.00	1.20

Para esta alternativa se tienen dos tipos de columnas; central y lateral. Se considera como condición de apoyo para ambas columnas como “articulada en ambos extremos”. En la siguiente tabla se presentan los resultados de los cálculos de la longitud efectiva.

Columna	$l_u$ (m)	$k_e$	$l_e$ (m)
Lateral	2,8	1	2,8
Central	3,28	1	3,28

2. Determinar la relación de esbeltez. El cálculo se debe hacer para ambas direcciones y se trabaja con el valor mayor. En la siguiente tabla se presentan las fórmulas utilizadas.

**Tabla G.4.3-2**  
Relación de esbeltez  $\lambda$

Sección transversal				Cualquier sección
$\lambda$	$\frac{\ell_e}{0.866D}$	$\frac{\ell_{e1,2}}{d}$	$\frac{\ell_{e1}}{d_1} \frac{\ell_{e2}}{d_2}$	$\frac{\ell_e}{r\sqrt{12}}$

Donde:

- $\lambda$  = medida de esbeltez. Debe ser  $\lambda \leq 50$ .
- $\ell_{e1,2}$  = longitud efectiva de la columna en la dirección considerada.
- $r$  = radio de giro de la sección.

3. Calcular el coeficiente de estabilidad de la columna  $C_p$ .

$$C_p = \frac{1 + (FCE/F^*C)}{2C} - \sqrt{\left(\frac{1 + (FCE/F^*C)}{2C}\right)^2 - \frac{(FCE/F^*C)}{C}}$$

**Tabla G.4.3-3**  
Valores de  $C$  y de  $F_{CE}$  Esfuerzo crítico

	Madera aserrada			Madera rolliza	Madera laminada
Sección			Cualquier sección		Laminada
$C$	0.80	0.80	0.80	0.85	0.90
$F_{CE}$	$\frac{0.822E'_{min}}{\lambda^2}$	$\frac{0.822E'_{min}}{\lambda_{1,2}^2}$	$\frac{\pi^2 E'_{min}}{(\ell_e/r)^2}$	$\frac{0.822E'_{min}}{\lambda^2}$	$\frac{0.822E'_{y min}}{\lambda^2}$

Donde:

- $F^*C$  = esfuerzo admisible de compresión paralelo al grano, multiplicado por todos los factores de modificación, excepto ( $C_p$ ).

- $F_{CE}$  = esfuerzo crítico.
- $C$  = coeficiente valorizado.
- $E'_{min}$  = módulo de elasticidad mínimo modificado en MPa.
- $r$  = radio de giro de la sección.

4. Calcular carga admisible  $P_a$ .

$$P_a = F'c * An$$

Donde:

- $P_a$  = fuerza o carga admisible de la columna en N.
- $F'c$  = esfuerzo admisible modificado a compresión paralela al grano en MPa,  $F' = C_p F^*C$ .
- $An$  = área neta transversal de la columna en mm<sup>2</sup>.

5. Revisar para cada columna que la carga admisible  $P_a$  sea mayor a la carga solicitada.

### 1.3.11 Herramientas de modelación

**SAP2000:** es un programa de cálculo de estructuras basado en el Método de los Elementos Finitos (MEF), con interfaz gráfico 3D orientado a objetos, preparado para realizar, de forma totalmente integrada, la modelación, análisis y dimensionamiento del más amplio conjunto de problemas de ingeniería de estructuras.

**REVIT:** Permite coordinar en detalle todos los elementos y áreas cubiertas en el trabajo, minimizando el riesgo de errores en la ejecución, mejorando la eficiencia y seguir la metodología BIM, la cual integra todas las etapas de un proyecto, desde la idea hasta el mantenimiento de la edificación.

Las funciones de este software cubren las necesidades de modelado de la arquitectura, ingeniería y construcción. Algunas de las más importantes son:

- Componentes de diseño y construcción (El programa cuenta con herramientas para diseñar el edificio desde su conceptualización hasta la planimetría de la construcción).
- Sombras Vectoriales.
- Perspectivas seccionales.
- Modelo de proyecto integrado (Produce referencias automáticas de dibujo, estima costos, permite modificar la geometría, optimizar tiempos y mejorar la calidad de las entregas).
- Modelado de terreno y exteriores.
- Ambiente de trabajo multidisciplinario.
- Presentación y visualización.

### **1.3.12 Prueba de funcionalidad**

Para evaluar la funcionalidad del diseño se construye un modelo a escala de la alternativa elegida. Con el cual, se logra realizar un análisis de funcionalidad, donde se revisan las conexiones, materiales y método constructivo de forma experimental. Se logra identificar incompatibilidades de las partes diseñadas, para luego retroalimentar el diseño de la alternativa seleccionada y corregir los primeros diseños.

### **1.3.13 Estimación de presupuesto**

El método PERT (Project Evaluation and Review Techniques), es un método probabilístico el cual trabaja con la estadística de probabilidades, se apoya en conceptos como la desviación estándar y la varianza, para conocer el tiempo de duración de las actividades. Sirve para la evaluación y revisión técnica de los proyectos. Después de tener la secuencia lógica de las actividades programadas es de gran importancia hacer un seguimiento y una debida administración al proyecto que ya se tiene en marcha, y es en este punto donde la herramienta que será implementada es de gran ayuda, pues permite hacer modificaciones sobre la marcha y dejar prever que puede suceder en cuanto a costo, calidad y tiempo en todos los recursos utilizados, es decir, mano de obra, materiales, equipo, para el logro del objetivo final del proyecto (Estela et al., 2009).

**Estimación con tres valores:** Se basa en la Técnica de Revisión y Evaluación de Proyectos, conocida como método PERT, consiste en identificar tres posibles valores, el optimista, el pesimista y el más probable, para llegar a un único valor aproximado. Utilizada en escenarios inciertos y con diferentes antecedentes o muchos variables que puedan afectar el valor final. Existen 2 fórmulas principales, la primera basada en una distribución triangular que en forma de promedio toma la sumatoria del valor optimista, el pesimista y el más probable y lo divide entre 3. La segunda fórmula está basada en una Distribución Beta y es como se muestra a continuación:

$$\text{Coste estimado} = \frac{\text{optimista} + 4(\text{más probable}) + \text{pesimista}}{6}$$

**Estimación ascendente:** Es otro método conocido como Bottom-Up, en el cual se va desde el detalle de cada elemento identificado en el trabajo hacia lo general del objetivo del proyecto. Hay que dedicar tiempo para ejecutarla porque está basada en los detalles del alcance del proyecto, esto origina como ventaja que los resultados sean en principio más exactos.

## 2. METODOLOGÍA

La metodología a seguir será para el diseño de una infraestructura. Consta de 3 fases principales algunas mencionadas anteriormente: Análisis de alternativas, diseño (de la alternativa seleccionada) y plan de implementación; las cuales se ven reflejadas en los objetivos.

Para el diseño de alternativas según Chris Jones, se inicia con la etapa de divergencia donde se busca expandir las fronteras de la situación de diseño, para tener un espacio de búsqueda suficiente para encontrar una solución al problema. Se busca encontrar nuevos datos, descubrir límites y se determina que es valioso, que es factible y que dependencia existe entre los elementos (Jones, 1998).

Mediante los objetivos planteados se cumple cada una de estas fases para garantizar la compatibilidad de la solución con el problema inicial, las cuales se ven reflejadas en cada uno de los objetivos con sus respectivas actividades enumeradas a continuación:

Fase 2, 3, 4 de “Process based thinking” (análisis, estrategia y aplicación):

**Objetivo 1:** Fase 1: Análisis de alternativas.

- Actividad 1.1: Elección de criterios.
- Actividad 1.2: Diseño de alternativas.
- Actividad 1.3: Selección de alternativa.

Luego para la siguiente fase “diseño” (de la alternativa seleccionada) deben haberse llevado a cabo las etapas de transformación y convergencia. En las cuales se toma la información recolectada y se va seleccionando de manera que se reducen las incertidumbres secundarias y se elige uno de los diseños posibles, se procede a realizar modelos más concretos y detallados (Jones, 1998).

Fase 4, 5 de “Process based thinking” (aplicación, correcta aplicación):

**Objetivo 2:** Diseñar la alternativa seleccionada (estructura, redes y conectividad de módulos) basándose en la NSR-10.

- Actividad 2.1: Determinación de cargas.

- Actividad 2.2: Diseño estructural y conectividad de módulos.
- Actividad 2.3: Diseño de Redes.
- Actividad 2.4: Diseño de espacios.

Fase 5, 6 de “Process based thinking” (correcta aplicación, producto-modelo):

**Objetivo 3:** Modelar los módulos en el software Revit y su estructura en el software SAP2000.

- Actividad 3.1: Modelación en el software SAP2000.
- Actividad 3.2: Modelación en el software Revit.
- Actividad 3.3: Ajustes.

**Objetivo 4:** Probar funcionalidad mediante la construcción de un modelo a escala de cada módulo.

- Actividad 4.1: Construcción de modelo a escala.
- Actividad 4.2: Incompatibilidades.
- Actividad 4.3: Retroalimentación.

**Objetivo 5:** Estimar el presupuesto por  $m^2$  de la edificación utilizando metodología BIM (Building Information Modeling) y el método PERT, apoyándose en el software Revit.

- Actividad 5.1: Estimación de cantidades de obra.
- Actividad 5.2: Determinación de precio unitario de cada material.
- Actividad 5.3: Análisis de precio unitario.
- Actividad 5.4: Determinar Presupuesto por  $m^2$ .

### 3. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La edificación diseñada está conformada por cuatro sistemas principales, cubierta, superestructura, piso y cimentación. Estos cuatro sistemas están soportados entre sí de la siguiente manera; la cubierta esta soportada por la superestructura, la superestructura y el piso están soportados por la cimentación. Para cada uno de los sistemas mencionados se tienen varias alternativas de las cuales se seleccionará una alternativa por sistema. A continuación, se ilustra la edificación y se muestra una tabla con las alternativas que se tuvieron en cuenta para cada sistema.

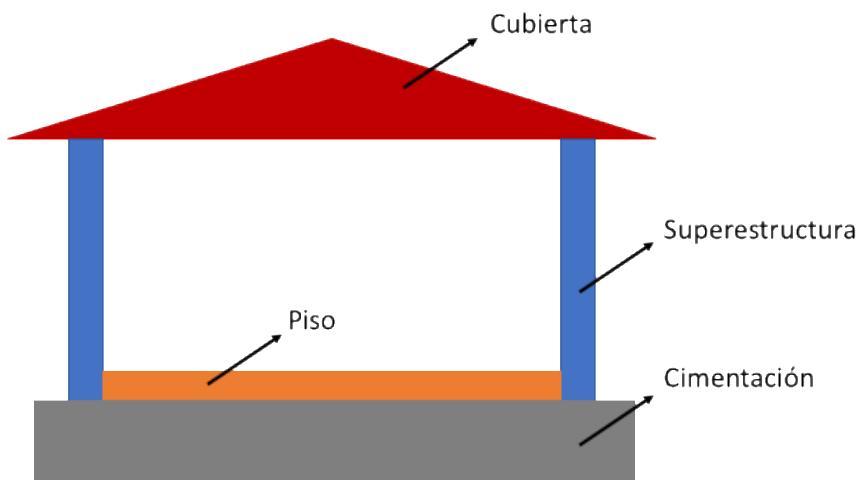


Ilustración 20, Sistemas que conforman la edificación.

Tabla 8, Alternativas por sistema.

<b>1</b>	<b>Sistema de cubierta</b>
1.1	Teja en zinc soportada por entramado en madera
1.2	Teja en fibrocemento soportada por entramado en madera
<b>2</b>	
2.1	Muros estructurales en entramados ligeros en madera
2.2	Muros estructurales en bahareque encemento
2.3	Pórticos no resistentes a momento arriostrados en madera (poste y viga)
<b>3</b>	
3.1	Steel Deck

3.2	Placas de Eterboard sobre entramado metálico
3.3	Entramado horizontal en madera
<b>4</b>	<b>Sistema de cimentación</b>
4.1	Base flotante
4.2	Palafitos
4.3	Enrocado

El diseño de la edificación comenzó por determinar las dimensiones de los módulos y el diseño arquitectónico, únicos para la totalidad de las alternativas. A partir de dicho diseño se pre-dimensionó cada alternativa, se estimó el valor de los materiales y se identificaron las ventajas de cada alternativa. Para luego realizar un análisis de costo/beneficio para seleccionar la mejor alternativa para cada uno de los sistemas que conforman la edificación.

Una vez seleccionada la alternativa de cada sistema se procedió a diseñar a más detalle dichas alternativas, diseñar las redes eléctricas y de acueducto, se estimó el presupuesto de la edificación, y se verificó la edificación por medio de la modelación en el software REVIT y la construcción de un modelo a escala.

### 3.1 DISEÑO ARQUITECTÓNICO

Se parte de un diseño estándar para las alternativas, éstas tendrán la misma distribución arquitectónica en planta, fachadas y cubierta. A continuación, se muestran los espacios arquitectónicos con sus respectivas áreas y su distribución en planta.

Tabla 9, Espacios arquitectónicos

Espacios arquitectónicos	Cantidad	Área [m <sup>2</sup> ]
Habitación	3	26.25
Baño	1	2.56
Cocina	1	3.60
Salón- Comedor	1	16.37
Zona de ropas	1	1.88
Circulación	1	3.34
<b>TOTAL</b>		<b>54</b>

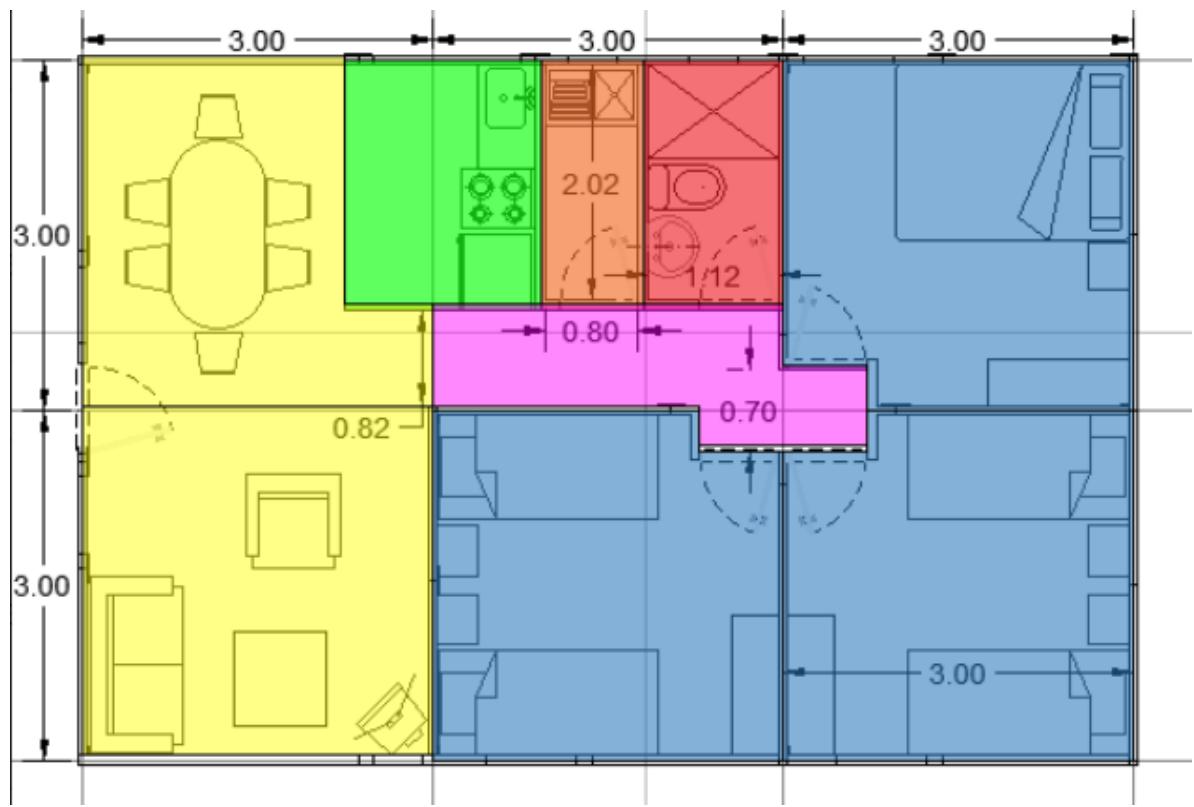


Ilustración 21, distribución de espacios arquitectónicos

Una propuesta inicial para 2 personas puede verse en azul, la cual puede ser complementada gracias a la modularidad de la vivienda y los muros por los que se encuentra conformada, visto en color rojo a continuación:

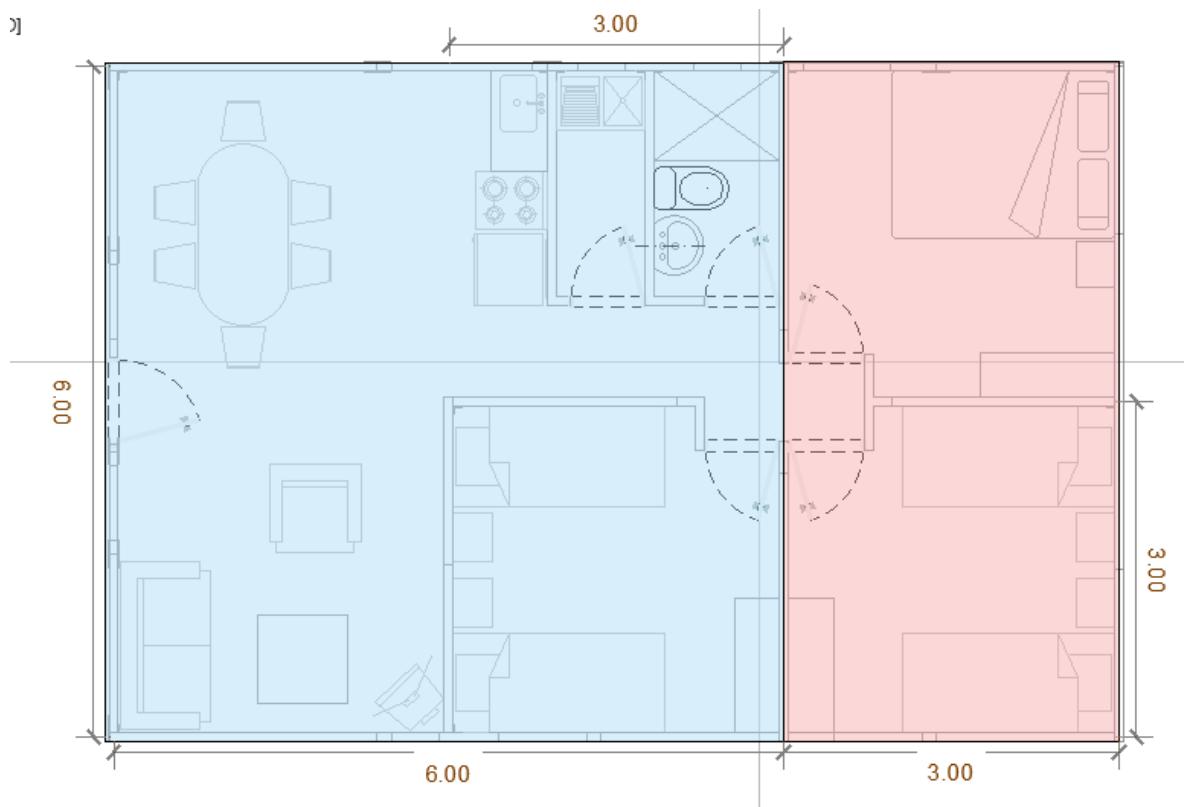


Ilustración 22, Modularidad

### 3.2 VIDA ÚTIL DE LAS ALTERNATIVAS

**Madera:** La vida útil de la madera depende principalmente de su origen natural y sus propiedades, por otro lado, depende de la exposición a factores bióticos como hongos e insectos y abióticos como radiación solar, cambios de humedad y efectos mecánicos.

Para preservar las propiedades mecánicas y físicas de la madera se recomienda mantener los elementos aislados de fuentes de humedad, usar maderas naturalmente duraderas o tratadas, cuya durabilidad natural puede alcanzar los 30 años en algunas especies como el guayacán según estudios para la norma (Martínez et al., 2017). El uso de aleros en las cubiertas permite reducir la cantidad

de radiación solar recibida por muros en madera y de la vivienda, además de aislarlos de lluvia directa

Para prevenir factores bióticos como insectos y termitas, es necesario además de mantener un nivel de humedad adecuado (por debajo del 16%) realizar tratamientos inmunizantes o aplicar productos como barnices que protejan de la radiación solar y el agua(Martínez et al., 2017).

De esta forma es posible mediante un mantenimiento periódico conservar las propiedades físicas y mecánicas de la madera a lo largo de la vida útil de la edificación.

### **Concreto**

En el concreto puede verse afectada su durabilidad por variaciones constructivas más que por modificaciones de las propiedades internas del material (Cipriano, 2012), por ejemplo:

- Recubrimiento menor al especificado
- Hormigueos en la estructura
- Menor cantidad de cemento por metro cúbico
- Mayor relación a/c
- Menor contenido de acero al establecido por el diseñador
- Errores en los tipos de cemento especificado

Utilizando estructuras en concreto es posible alcanzar vidas útiles para las estructuras superiores a los 100 años, teniendo en cuenta las especificaciones de diseño adecuadas y evitando la exposición de la estructura ante agentes externos como agua de mar, heladas, sulfatos (Cipriano, 2012).

Tabla 10, Vida útil por tipo de estructura según la normativa Española del Concreto estructural (Muñoz & Mendoza Escobedo, 2011).

<b>Tipo de estructura</b>	<b>Vida útil</b>
<b>Estructuras de carácter temporal.</b>	Entre 3 y 10 años
<b>Elementos reemplazables que no forman parte de la estructura principal (por ejemplo, barandales, apoyos de tuberías).</b>	Entre 10 y 25 años.
<b>Edificios (o instalaciones) agrícolas o industriales y obras marítimas.</b>	Entre 15 y 50 años.
<b>Edificios de viviendas u oficinas, puentes u obras de paso de longitud total inferior a 10 metros y estructuras de ingeniería civil; excepto obras marítimas, de repercusión económica baja o media.</b>	50 años.
<b>Edificios de carácter monumental o de importancia especial.</b>	
<b>Puentes de longitud total igual o superior a 10 metros y otras estructuras de ingeniería civil de repercusión económica alta.</b>	100 años

### Acero

El principal problema del acero es la corrosión, ya sea en el refuerzo del concreto o en la estructura metálica como tal. Sin embargo, mediante el recubrimiento de las superficies con pinturas o agentes anticorrosivos, es posible retardar o eliminar este proceso. Es posible también tener en cuenta la corrosión para el diseño estructural según el tipo de exposición de esta, teniendo en cuenta un sobre espesor en las caras de los perfiles de acero por cada 30 años de vida útil:

- Exposición C4 (corrosividad alta), C5-I y C5-M (corrosividad muy alta): 1,5 mm.
- Clase de exposición C3 (corrosividad media): 1mm.
- Clase de exposición C2 (corrosividad baja): 0,5 mm.
- C1 (corrosividad muy baja): No se precisa sobre espesor en el caso de la clase de exposición (Institución EAE, 2011).

### **3.3 PRE- DIMENSIONAMIENTO DE ALTERNATIVAS**

#### **3.3.1 Pre- dimensionamiento alternativas cubierta**

Para ambas alternativas se dispone un entramado en madera, el cual, soporta su propio peso, el peso de la teja y la carga viva de la cubierta.

##### **3.3.1.1. Teja de zinc**

En esta alternativa la teja utilizada es de zinc ondulada con un espesor de lámina de 0.17 mm. A continuación, se presenta la información de dicha teja, las unidades necesarias para cubrir toda la edificación y el peso de esta.

Tabla 11, Propiedades teja de zinc.

Teja de zinc ondulada				
Tamaño	Peso x Teja (kg)	Cantidad	W total kg	w (kN/m <sup>2</sup> )
3' x 12'	4,27	27	115,29	0,016

El entramado de madera de cada módulo de 3 x 3 m está conformado por tres correas de 3 m separadas 1.83 m entre ejes y dos largueros inclinados de 3.65 m que soportan las correas, separados 3 m entre ejes. Para el diseño de estos dos elementos se supone que ambos elementos están simplemente apoyados y se usa el método de diseño de deflexiones máximas admisibles, el cual fue explicado en el numeral 1.3.10. La madera de diseño para dichos elementos es la Teca, que según la NSR-10 está dentro del grupo tipo ES6. Y las cargas de diseño son el peso propio de los elementos y la carga viva de la cubierta (0.35kN/m<sup>2</sup>). A continuación, se presenta la ilustración de la cubierta, los valores de diseño y los resultados para ambos elementos.

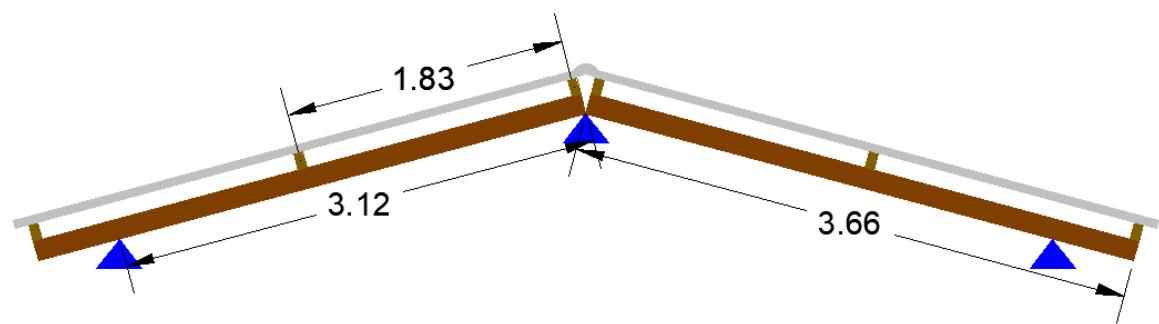


Ilustración 23, Vista lateral cubierta zinc.

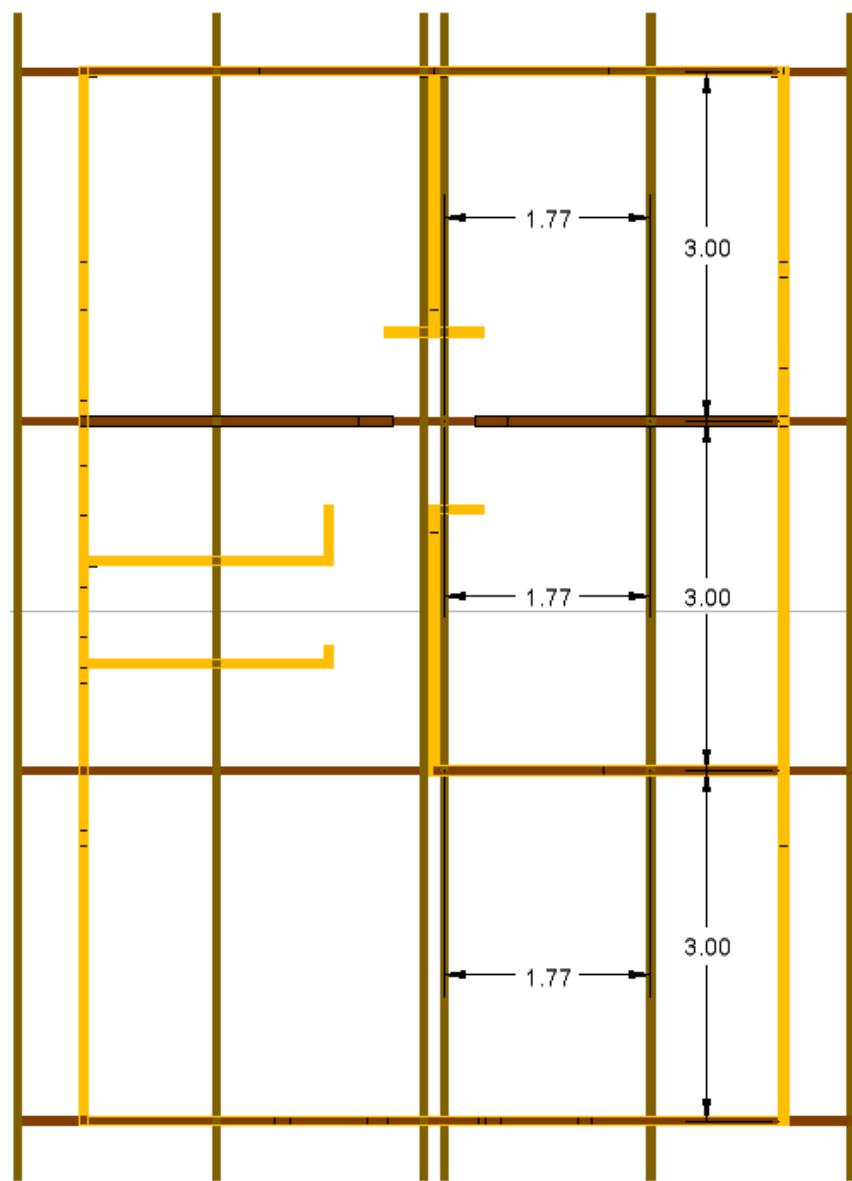


Ilustración 24, Vista planta cubierta zinc.

- **Correa**

Tabla 12, Valores de diseño correa con teja de zinc.

<b><math>E_{0,5}</math> teca (MPa)</b>	<b><math>\gamma</math> teca (kN/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Luz (m)</b>	<b>Ancho aferente (m)</b>
10800	6,9	3	1,77

Tabla 13, Carga distribuida de diseño a lo largo de la correa con teja de zinc.

<b>Cargas Muertas</b>		
Wvigueta	0,05	kN/m
Wteja	0,03	kN/m
WD	0,07	kN/m
<b>Cargas Vivas</b>		
WL	0,62	kN/m
<b>Combinacion (1,5D+L)</b>		
WT	0,73	kN/m

La combinación usada hace referencia a el control de deflexiones a largo plazo.

Tabla 14, Deflexión admisible e inercia requerida de la correa con teja de zinc.

<b>Deflexión admisible (m) (L/240)</b>	<b>Inercia (m<sup>4</sup>)</b>
0,01250	5,70865E-06

Tabla 15, Dimensiones correa con teja de zinc.

<b>Altura (m)</b>	<b>Base (m)</b>	<b>Longitud (m)</b>
0,10	0,06	3

- **Languero**

Tabla 16, Valores de diseño larguero con teja de zinc.

<b>E<sub>0,5</sub> teca (MPa)</b>	<b>γ teca (kN/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Luz (m)</b>	<b>Ancho aferente (m)</b>
10800	6,9	3,12	3

El languero está inclinado a 15º con respecto a la horizontal y sus apoyos son en la intersección de ejes de los módulos que en planta están separados 3m.

Tabla 17, Carga distribuida de diseño a lo largo del languero con teja de zinc.

<b>Cargas Muertas</b>		
W languero	0,06	kN/m
W teja	0,05	kN/m
<b>WD</b>	<b>0,10</b>	<b>kN/m</b>
<b>Cargas Vivas</b>		
<b>WL</b>	<b>1,01</b>	<b>kN/m</b>
<b>Combinación (1,5D+L)</b>		
<b>WT</b>	<b>1,17</b>	<b>kN/m</b>

La combinación usada hace referencia a el control de deflexiones a largo plazo.

Tabla 18, Deflexión admisible e inercia requerida del languero con teja de zinc.

<b>Deflexión admisible (m) (L/240)</b>	<b>Inercia (m<sup>4</sup>)</b>
0,01300	1,0257E-05

Tabla 19, Dimensiones larguero con teja de zinc.

Altura (m)	Base Vigueta (m)	Longitud (m)
0,13	0,06	3,66

### 3.3.1.2. Teja de fibrocemento

En esta alternativa la teja utilizada es de fibrocemento ondulada número 6. A continuación, se presenta la información de dicha teja, las unidades necesarias para cubrir toda la edificación y el peso de esta.

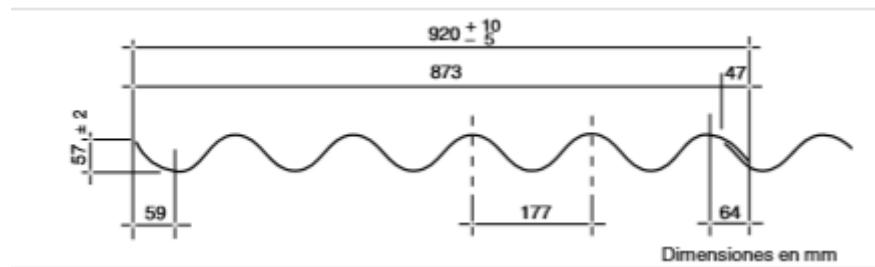


Ilustración 25, Teja de fibrocemento perfil 7 (Eternit, 2018)

Tabla 20, Propiedades teja de fibrocemento.

Teja de fibrocemento					
Tamaño	Teja	Peso x Teja (kg)	Cantidad	W total kg-f	w (kN/m <sup>2</sup> )
perfil 7#6	Fibrocemento	19,11	45	860,0	0,121

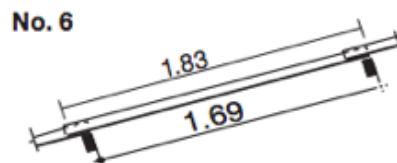


Ilustración 26, Teja fibrocemento #6.

El entramado de madera de cada módulo de 3 x 3 m está conformado por tres correas de 3 m separadas 1.69 m entre ejes y dos largueros inclinados de 3.65 m que soportan las correas, separados 3 m entre ejes. Para el diseño de estos dos elementos se supone que ambos elementos están simplemente apoyados y se usa el método de diseño de deflexiones máximas admisibles, el cual fue explicado en el numeral 1.3.10. La madera de diseño para dichos elementos es la Teca, que según la NSR-10 está dentro del grupo tipo ES6. Y las cargas de diseño son el peso propio de los elementos y la carga viva de la cubierta ( $0.35\text{kN/m}^2$ ). A continuación, se presenta la ilustración de la cubierta, los valores de diseño y los resultados para ambos elementos.

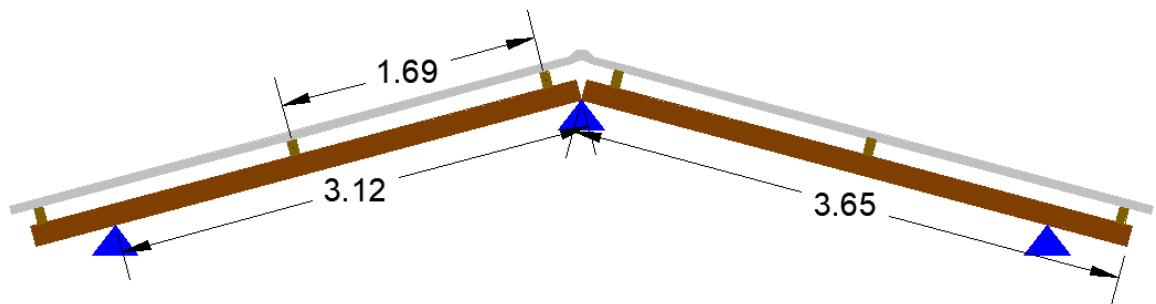


Ilustración 27, Vista lateral cubierta fibrocemento.

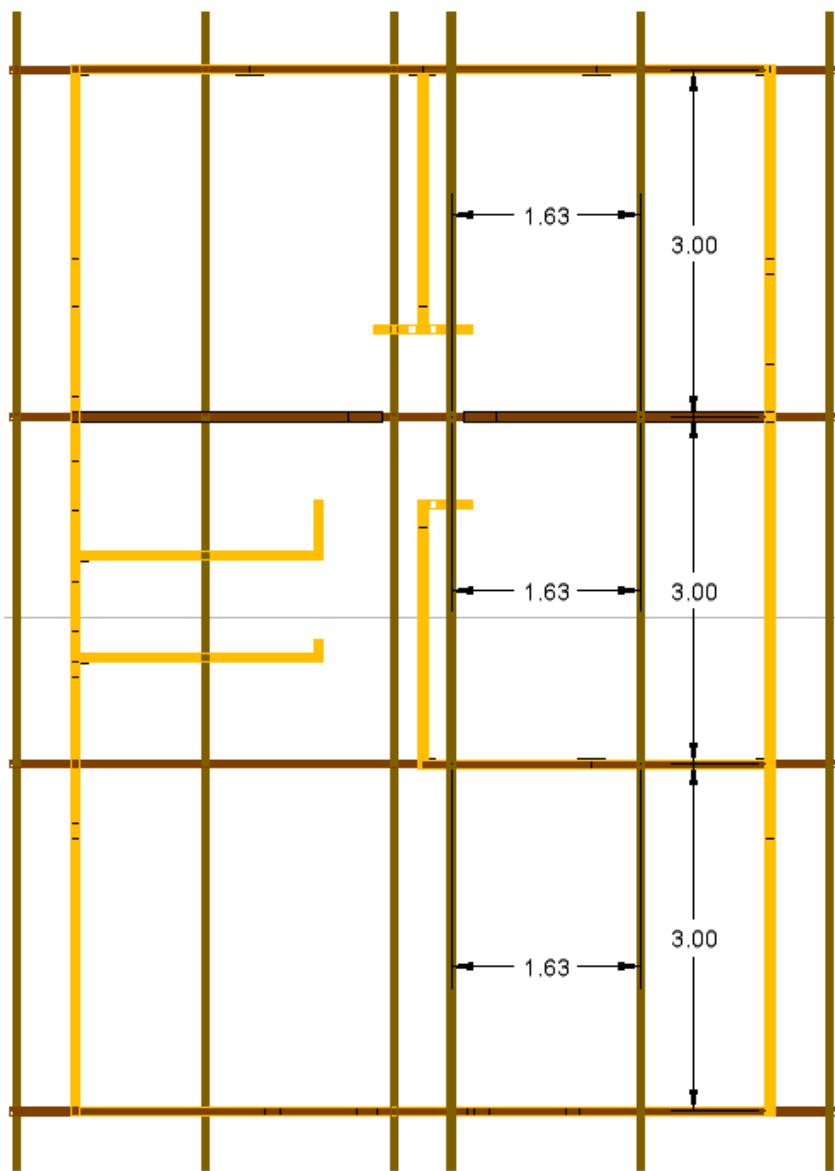


Ilustración 28, Vista planta cubierta fibrocemento.

- **Correa**

Tabla 21, Valores de diseño correa con teja de fibrocemento.

<b>E<sub>0,5</sub> teca (MPa)</b>	<b>γ teca (kN/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Luz (m)</b>	<b>Ancho aferente (m)</b>
10800	6,9	3	1,632

Tabla 22, Carga distribuida de diseño a lo largo de la correa con teja de fibrocemento.

<b>Cargas Muertas</b>		
W correa	0,05	kN/m
W teja	0,20	kN/m
WD	0,25	kN/m
<b>Cargas Vivas</b>		
WL	0,57	kN/m
<b>Combinación (1,5D+L)</b>		
WT	0,93	kN/m

La combinación usada hace referencia a el control de deflexiones a largo plazo.

Tabla 23, Deflexión admisible e inercia requerida de la correa con teja de fibrocemento.

<b>Deflexión admisible (m) (L/240)</b>	<b>Inercia (m<sup>4</sup>)</b>
0,0125	7,39E-06

Tabla 24, Dimensiones correa con teja de fibrocemento.

<b>Altura (m)</b>	<b>Base (m)</b>	<b>Longitud (m)</b>
0,11	0,06	3

- **Languero**

Tabla 25, Valores de diseño larguero con teja de fibrocemento.

<b>E<sub>0,5</sub> teca (MPa)</b>	<b>γ teca (kN/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Luz (m)</b>	<b>Ancho aferente (m)</b>
10800	6,9	3,12	3

El languero está inclinado a 15° con respecto a la horizontal y sus apoyos son en la intersección de ejes de los módulos que en planta están separados 3m.

Tabla 26, Carga distribuida de diseño a lo largo del languero con teja de fibrocemento.

<b>Cargas Muertas</b>		
W vigueta	0,07	kN/m
W teja	0,35	kN/m
<b>WD</b>	<b>0,43</b>	<b>kN/m</b>
<b>Cargas Vivas</b>		
<b>WL</b>	<b>1,01</b>	<b>kN/m</b>
<b>Combinación (1,5D+L)</b>		
<b>WT</b>	<b>1,64</b>	<b>kN/m</b>

La combinación usada hace referencia a el control de deflexiones a largo plazo.

Tabla 27, Deflexión admisible e inercia requerida del languero con teja de fibrocemento.

<b>Deflexión admisible (m) (L/240)</b>	<b>Inercia (m<sup>4</sup>)</b>
0,01300	1,44096E-05

Tabla 28, Dimensiones larguero con teja de fibrocemento.

Altura (m)	Base Vigueta (m)	Longitud (m)
0,13	0,08	3,65

### 3.3.2 Pre-dimensionamiento sistema estructural

#### 3.3.2.1. Muros en bahareque encementado

Los muros se encuentran constituidos por 2 partes principales: Un entramado en madera o guadua con sus respectivos elementos como soleras, pies derechos o elementos verticales y" un revoque en mortero de cemento que debe ser aplicado sobre una malla de alambre clavada en esterilla de guadua que, a su vez, se clava sobre el esqueleto del muro" (AIS, 2010).

En el título E de la NSR-10 se incluye un capítulo con los requisitos mínimos para realizar un diseño sismorresistente adecuado de muros de bahareque, para viviendas de 1 o 2 pisos; donde se encuentra como debe ser diseñada la cimentación, muros y cubierta de la edificación.

El capítulo E.2 Cimentaciones brinda parámetros acerca de la configuración en planta y la estructuración de los cimientos.

Tabla 29, diseño de cimentaciones Título E NSR- 10

	Sistema Estructural	Un piso	Dos Pisos	Resistencia Mínima, MP <sub>a</sub>
Anchura	Mampostería	250 mm	300 mm	$f_y$
	Bahareque	200 mm	250 mm	
Altura	Mampostería	200 mm	300 mm	17
	Bahareque	150 mm	200 mm	
Acero Longitudinal Estribos		4 No. 3 (ó 10M) No. 2 a 200 mm	4 No. 4 (ó 12M) No. 2 a 200 mm	420
				240
Acero para anclaje de muros	Mampostería	No. 3	No. 3	412
	Bahareque	No. 3	No. 4	

Los muros, elementos encargados de transmitir las cargas horizontales y verticales deben cumplir con algunos requisitos en cuanto a su composición, longitud mínima y simetría en planta como se explica a continuación:

El capítulo E.6 explica la composición mínima de los muros, pueden componerse de madera o guadua (esta última con un diámetro mayor a 80 mm). Consta de elementos horizontales llamados soleras y elementos verticales llamados pie-derechos, por efectos de rigidez y transmisión de cargas, el espaciamiento entre pie-derechos debe estar entre 300 y 600 mm entre ejes. El recubrimiento de mortero debe ser aplicado sobre una malla de alambre con un diámetro inferior a 1.25 mm, que a su vez debe estar clavada a una esterilla de guadua o madera. Debe ser por ambas caras del muro, en caso de que no sea posible, la longitud efectiva de muro será tomada como la mitad de este para efectos de diseño.

Siguiendo el capítulo E.7 Bahareque Encementado:

Se determina la longitud mínima de los muros estructurales en cada dirección de planta (X, Y) mediante la ecuación E.7.8-1 de la NSR-10

$$L_i \geq C_B A_P$$

Para garantizar el cumplimiento en cualquier región independientemente de la amenaza sísmica, se utiliza un coeficiente  $C_B$  para zonas de amenaza sísmica alta, tomado de la tabla 5 para muros de bahareque encementado.  $A_P$  corresponde a el área de cubierta, que en este caso será tomado como  $2/3 A_P$  ya que es una cubierta liviana.

Tabla 30, coeficientes de amenaza sísmica (NSR-10)

Amenaza Sísmica	$A_a$	$C_B$
Alta	0.40	0.32
	0.35	0.28
	0.30	0.24
	0.25	0.20
Intermedia	0.20	0.16
	0.15	0.16
Baja	0.10	0.16
	0.05	0.16

Tabla 31, cálculos para determinar longitud mínima de muros (NSR-10)

Longitud mínima de muros (sin aberturas) de acuerdo con la amenaza sísmica				Longitud de muros en caso de cubierta liviana
	$C_B$	$A_p [m^2]$	$C_B * A_p$	$C_B * 2/3 * A_p [m]$
Baja/media	0.16	70	11.2	7.5
Alta	0.2	70	14	9.3
Alta	0.32	70	22.4	14.9

Los muros estructurales serán conformados principalmente por los muros perimetrales de la vivienda, adicional a estos algunos de los muros interiores son diseñados como estructurales para garantizar la longitud mínima, se tienen las siguientes longitudes de muros estructurales en cada dirección, determinadas según los muros sin aberturas y divisorios de la planta arquitectónica.

Tabla 32, Longitud mínima de muros (NSR-10)

Dirección	$L_i$
X	16
Y	18

Para una distribución simétrica de la carga sísmica y de fuerzas verticales, debe verificarse la simetría de los muros. Los muros son conformados por un entramado liviano en madera, con un revoque de mortero tipo N según la NSR-10, el espesor es determinado teniendo en cuenta la altura libre de entrepiso (altura libre/25), la longitud libre horizontal (longitud libre/35) y la amenaza sísmica.

Se define un entramado en madera, con pie derechos de 8 cm en madera o guadua, con espaciamiento cada 50 cm, esterilla y un revoque por ambas caras, para un espesor aproximado de 12 cm.

### 3.3.2.2. Poste y viga en madera

Esta alternativa de superestructura está compuesta por postes que se unen por medio de una viga cumbre y una riostra en madera, lo que genera una cercha donde algunos de sus elementos trabajan a compresión y otros a tracción. Todos los elementos están unidos por uniones tipo pin.

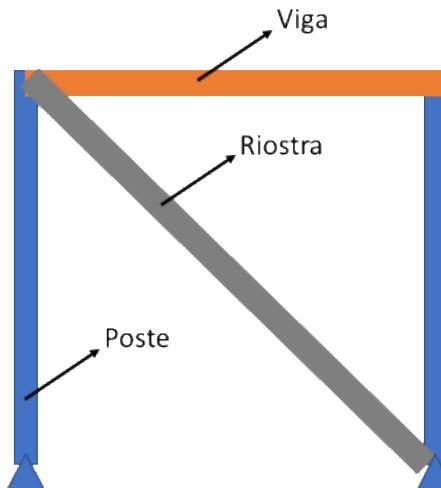


Ilustración 29, Sistema de poste y viga con arrostramiento.

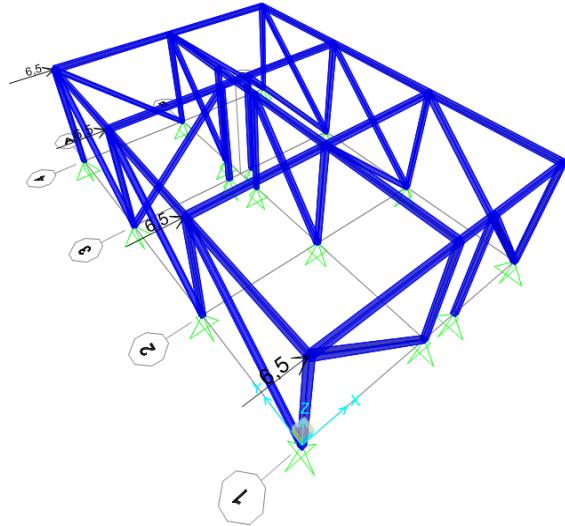


Ilustración 30, Configuración estructural.

Los elementos mencionados anteriormente tienen las siguientes medidas longitudinales: poste 2.8 m, viga 3 m y ristra 4.1 m, la cual hace referencia a la diagonal que se genera entre el poste y la viga. La madera de diseño para dichos elementos es la Teca, que según la NSR-10 está dentro del grupo tipo ES6. Y las cargas de diseño son el peso propio de los elementos, pero propia cubierta y la carga viva de la cubierta ( $0.35\text{kN/m}^2$ ).

### **Pre-dimensionamiento Poste**

El término columna (poste) se refiere a los elementos sometidos a cargas de compresión paralela a la fibra, cualquiera que sea su localización estructural (NSR-10). Los elementos solicitados a compresión que conforman esta alternativa en madera en su totalidad son columnas simples sólidas (conformadas por piezas únicas de madera) de sección cuadrada de 0.1 m de lado. Para el diseño de este elemento se utilizó el procedimiento anteriormente explicado en el numeral 1.3.10, que hace referencia a el diseño de elementos de madera sometidos a compresión.

Tabla 33, Resultado calculo longitud efectiva poste.

<b>l<sub>u</sub> (m)</b>	<b>k<sub>e</sub></b>	<b>l<sub>e</sub> (m)</b>
2,8	1	2,8

Se considera como condición de apoyo columnas como “articulado en ambos extremos”.

Tabla 34, Resultado calculo relación de esbeltez poste.

<b>l<sub>e</sub> (m)</b>	<b>d<sub>1</sub>=d<sub>2</sub> (m)</b>	<b>λ</b>	<b>λ &lt; 50</b>
2,8	0,1	28,0	Cumple

Tabla 35, Coeficientes de modificación poste.

<b>C<sub>pv</sub></b>	<b>C<sub>kd</sub></b>	<b>C<sub>m</sub></b>	<b>C<sub>b</sub></b>	<b>C<sub>F</sub></b>	<b>C<sub>t</sub></b>
1	0,95	1	1	1,1	0,8

$$F'i = (F_i)(CD)(C_m)(C_t)(CL)(CF)(Cfu)$$

Donde:

- $C_m$  = coeficiente de modificación por contenido de humedad.
- $C_t$  = coeficiente de modificación por temperatura.
- $C_F$  = coeficiente de modificación por forma.
- $C_{pv}$  = coeficiente de modificación por preservación.
- $C_b$  = coeficiente de modificación por área de soporte.

- $C_{kd}$  = coeficiente de modificación por desbastamiento o alisadura.

Tabla 36, Resultado esfuerzo admisible de compresión paralelo al grano del poste.

$C_{pv} \cdot C_{kd} \cdot C_m \cdot ...$	$f'_c$ (MPa)	$F^*c$ (MPa)
0,87	12,5	10,9

Tabla 37, determinación del coeficiente valorizado, C, el esfuerzo critico FCE y el coeficiente de estabilidad del poste, Cp.

C	Emin Teca (MPa)	FCE (MPa)	Cp
0,8	3564	3,7	0,31

Tabla 38, Resultado carga admisible Pa del poste.

Esfuerzo admisible Modificado	Área neta	Carga admisible
$F'_c$ (MPa)	$A_n$ (m <sup>2</sup> )	$P_a$ (kN)
3,4	0,010	<b>34,2</b>

Tabla 39, Carga solicitada por poste vs admisible.

Columna	Área Aferente (m <sup>2</sup> )	W viva cubierta (kN/m <sup>2</sup> )	W muerta (kN/m <sup>2</sup> )	W (kN/m <sup>2</sup> )	Carga solicitada (kN)	Carga admisible

						(kN)
Lateral	6	0,35	0,21	0,56	3,4	<b>34,2</b>
Central	9	0,35	0,21	0,56	5,1	<b>34,2</b>

### Pre-dimensionamiento Viga

Para el diseño de este elemento se supone que esta simplemente apoyado y se usa el método de diseño de deflexiones máximas admisibles, el cual fue explicado en el numeral 1.3.10. Se diseñan dos vigas; con la cubierta con teja de zinc y con la cubierta de fibrocemento. A continuación, se presentan los resultados.

Tabla 40, Valores de diseño viga.

E <sub>0,5</sub> teca (MPa)	γ teca (kN/m <sup>3</sup> )	Luz (m)	Ancho aferente (m)
10800	6,9	3	3

Tabla 41, Carga distribuida de diseño a lo largo de la viga.

Cargas Muertas		
W vigueta	0,08	kN/m
W cubierta fibrocemento	0,21	kN/m
W cubierta cinc	0,08	kN/m
WD fibrocemento	0,29	kN/m

WD zinc	0,16	kN/m
<b>Cargas Vivas</b>		
WL	1,05	kN/m
<b>Combinación (1,5D+L)</b>		
WT fibrocemento	1,49	kN/m
WT cinc	1,29	kN/m

La combinación usada hace referencia a el control de deflexiones a largo plazo.

Tabla 42, Deflexión admisible, inercia requerida y dimensiones de la viga.

Teja	Deflexión admisible (m) (L/300)	Inercia ( $m^4$ )	Altura (m)	Base (m)	Longitud (m)
Fibrocemento	0,0100	1,452E-05	0,13	0,08	3
Zinc	0,0100	1,262E-05	0,12	0,08	3

#### Pre- dimensionamiento riostra

Las riostras se consideraron de la misma sección que los postes y se realizó el modelo en el software SAP2000, donde se verificaron derivas por medio del método horizontal equivalente, el cual tiene en cuenta el cortante sísmico ( $V_s$ ), que se obtuvo por medio del  $S_a$  calculado anteriormente en el numeral 1.3.9, que es igual a 0.788 veces la gravedad y con una masa de la edificación igual a 3366 kg. Dando un cortante en la base de 26 kN. A continuación, se presentan los resultados.

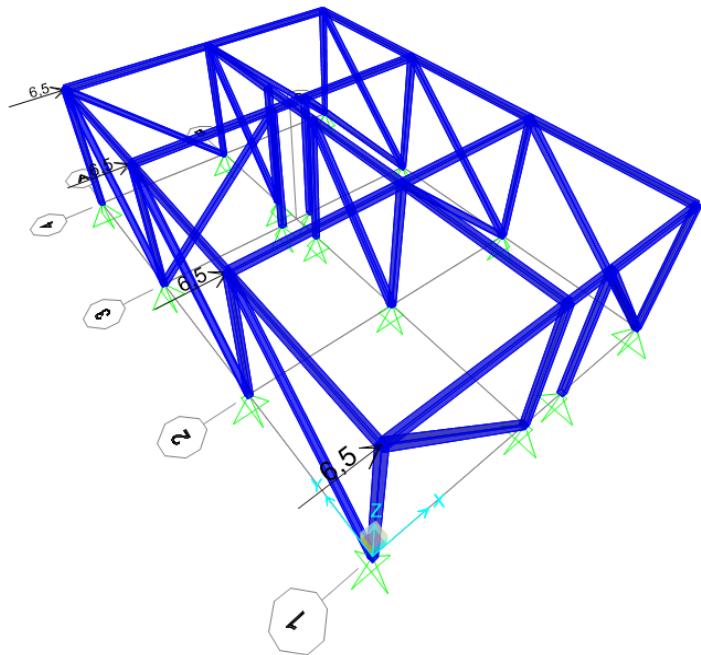


Ilustración 31, Modelo SAP2000 - Poste y viga

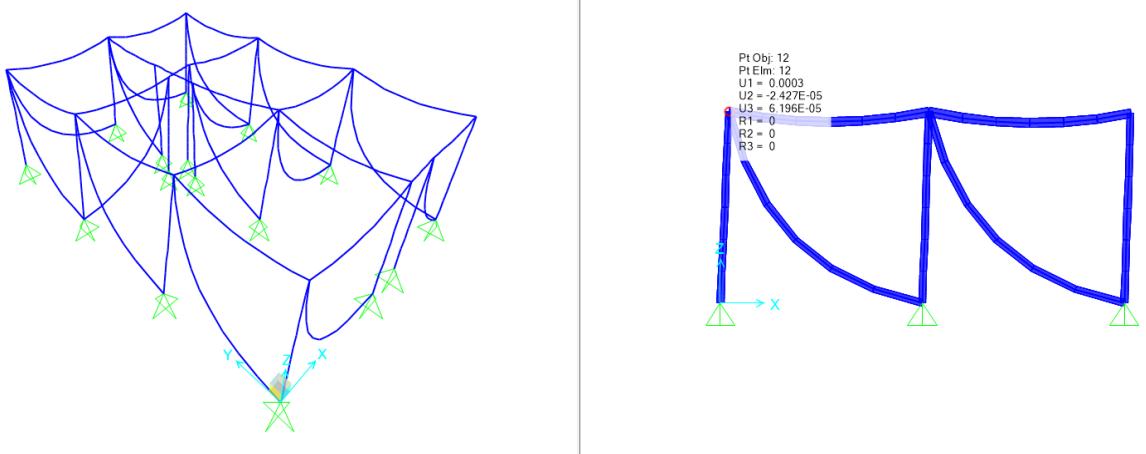


Ilustración 32, Deriva X.

Tabla 43, Deriva en dirección X de sistema poste y viga.

Deriva en "X"		
Altura (m)	Ux (m)	Deriva
2,8	0,003	0,11%

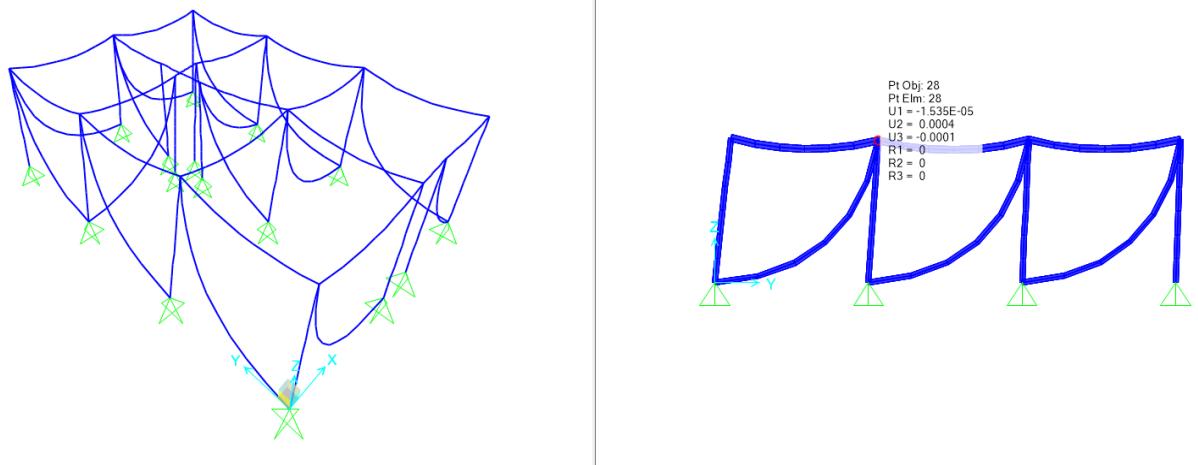


Ilustración 33, Deriva Y.

Tabla 44, Deriva en dirección Y de sistema poste y viga.

Deriva en "Y"		
Altura (m)	Ux (m)	Deriva
2,8	0,004	0,14%

Para ambas direcciones se cumple la deriva máxima de 1%. Además de revisar derivas, se decide revisar la estabilidad de las riostras por medio del mismo procedimiento realizado para los postes, utilizando el procedimiento anteriormente explicado en el numeral 1.3.10, que hace referencia a el diseño de elementos de madera sometidos a compresión.

Tabla 45, Resultado calculo longitud efectiva ríostra.

<b>l<sub>u</sub> (m)</b>	<b>k<sub>e</sub></b>	<b>l<sub>e</sub> (m)</b>
4,1	1	4,1

Se considera como condición de apoyo columnas como “articulado en ambos extremos”.

Tabla 46, Resultado calculo relación de esbeltez ríostra.

<b>l<sub>e</sub> (m)</b>	<b>d<sub>1</sub>=d<sub>2</sub> (m)</b>	<b>λ</b>	<b>λ &lt; 50</b>
4,1	0,1	41,0	Cumple

Tabla 47, Coeficientes de modificación ríostra.

<b>C<sub>pv</sub></b>	<b>C<sub>kd</sub></b>	<b>C<sub>m</sub></b>	<b>C<sub>b</sub></b>	<b>C<sub>F</sub></b>	<b>C<sub>t</sub></b>
1	0,95	1	1	1,1	0,8

$$F'i = (F_i)(CD)(C_m)(C_t)(CL)(CF)(C_f u)$$

Donde:

- C<sub>m</sub> = coeficiente de modificación por contenido de humedad.
- C<sub>t</sub> = coeficiente de modificación por temperatura.
- C<sub>F</sub>=coeficiente de modificación por forma.
- C<sub>pv</sub> = coeficiente de modificación por preservación.
- C<sub>b</sub> = coeficiente de modificación por área de soporte.
- C<sub>kd</sub> = coeficiente de modificación por desbastamiento o alisadura.

Tabla 48, Resultado esfuerzo admisible de compresión paralelo al grano de la riostra.

$C_{pv} \cdot C_{kd} \cdot C_m \cdot ...$	$F_c$ (MPa)	$F^*c$ (MPa)
0,87	12,5	10,9

Tabla 49, determinación del coeficiente valorizado, C, el esfuerzo critico FCE y el coeficiente de estabilidad de la riostra, Cp.

C	Emin Teca (MPa)	FCE (MPa)	Cp
0,8	3564	1,7	0,15

Tabla 50, Resultado carga admisible Pa de la riostra.

Esfuerzo admisible Modificado	Área neta	Carga admisible
$F'c$ (MPa)	$A_n$ ( $m^2$ )	$P_a$ (kN)
1,7	0,010	<b>16,8</b>

Tabla 51, Carga solicitada por riostra vs admisible de la riostra.

Dirección	Carga solicitada (kN)	Carga admisible (kN)
X	6,5	16,8
Y	8,7	16,8

### **3.3.2.3. Entramado ligero en madera**

Para el diseño de entramado ligero en madera se tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones:

- Según la NSR-10 se debe tener en cuenta además de las cargas gravitacionales, las cargas horizontales generadas por viento y sismo. Para ello deberá especificar en forma apropiada diafragmas y muros de corte para dos direcciones ortogonales, según lo establecido en el capítulo G.7. El espesor del recubrimiento será definido de acuerdo con las fuerzas cortantes calculadas y la separación de los pies derechos.
- Debe tenerse en cuenta que la efectividad del sistema resistente de fuerzas horizontales depende de las conexiones para lograr una efectiva transmisión de esfuerzos. De particular importancia es la fijación de los elementos de recubrimiento como contrachapados, enlistonados y tableros a las estructuras de soporte. En consecuencia, se especifica el tipo de grapas, tornillos, pernos o clavos, así como su espaciamiento y penetración.

#### **Pre-dimensionamiento entramado ligero en madera**

Para determinar el cortante sísmico en la base ( $V_s$ ); el cual, es equivalente a la totalidad de los efectos iniciales horizontales producidos por los movimientos sísmicos de diseño, en la dirección en estudio; se utilizó el valor de  $S_a$  calculado en el numeral 1.3.9 igual a 0.788 veces la gravedad y la masa igual al peso propio de los muros y la cubierta de fibrocemento (cubierta más pesada), que es igual a 2304 kg. El procedimiento a seguir es el explicado en el numeral 1.3.9.

Tabla 52, Resultado fuerza horizontal de diseño para muros en entramados ligeros en madera.

Masa (kg)	Sa	Vs (kN)	R0	E (kN)
2304	0,788	17,8	1,5	11,9

El paso siguiente es determinar la resistencia al corte de los entramados ligeros en madera. Para dicho cálculo se utilizó el método de Longitud equivalente estipulado en el numeral G.7.3.6 de la

NSR-10, el cual, se basa en los resultados experimentales obtenidos al ensayar muros que pueden considerarse típicos y por medio de un coeficiente para convertir la longitud de un muro de características dadas a la equivalente de un muro de referencia que tiene una resistencia admisible al corte de 700 N/m. Para utilizar este método se deben tener en cuenta las siguientes restricciones:

- Cada muro de corte debe ser considerado por separado, debe ser capaz de resistir la carga lateral correspondiente a su área de influencia.
- El procedimiento de la longitud equivalente podrá ser aplicado a estructuras relativamente pequeñas.
- El cálculo de longitudes equivalentes deberá descontarse las aberturas de puertas y ventanas.
- No se considerarán aquellos muros cuya relación altura/longitud sea mayor que 2 ni los que estén anclados a la cimentación en un solo punto.

De la tabla G.7.3-1 de la NSR-10 se escogió el muro número 12, el cual tiene las siguientes características:

**Coeficientes de conversión a longitud equivalente del muro de referencia**

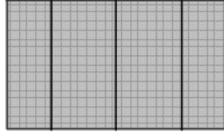
		Entramado	Revestimiento	Coeficiente
12		Pies-derechos de 4cm x 8 cm con espaciamiento entre 40 cm y 50 cm, clavados a soleras de 4cm x 8 cm con clavos de 75 mm.	Paneles de madera contra-chapada de 1.20 m x 2.40 m, de 6 mm de espesor, con clavos de 50 mm a cada 12.5 cm en sus bordes y a cada 25 cm en pies-derechos intermedios.	3.00

Ilustración 34, Muero equivalente.

Según la arquitectura definida anteriormente, se configuraron los muros estructurales, se calculó la resistencia de cada muro y la resistencia al corte en cada dirección de la edificación.

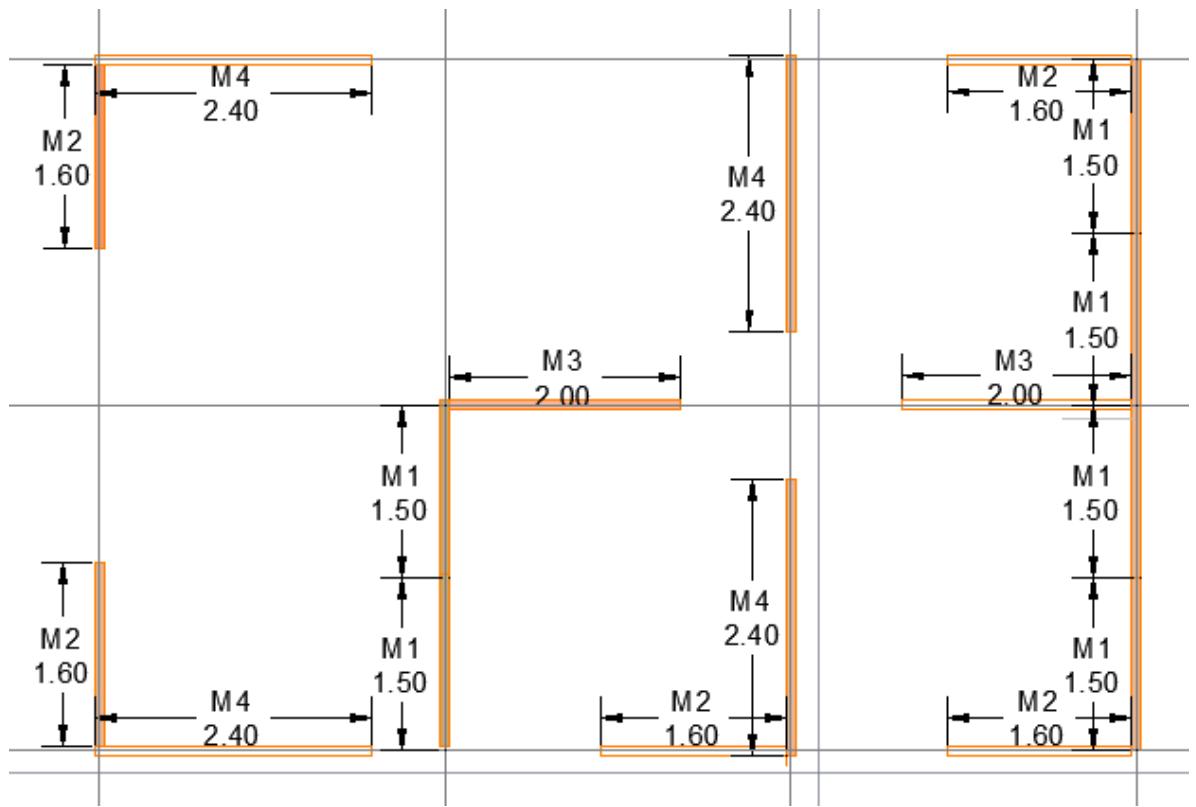


Ilustración 35, Configuración muros estructurales.

Tabla 53, Resistencia al corte por muro.

Muros de corte				
Tipo de muro	M1	M2	M3	M4
Base x Altura (m)	1,5 x 2,8	1,6 x 2,8	2 x 2,8	2,4 x 2,8
Resistencia al corte (kN)	3,15	3,36	4,2	5,04

Tabla 54, Resistencia al corte y longitud de muros por dirección de la edificación.

<b>Muros de corte</b>		
	<b>Longitud por dirección (m)</b>	<b>Resistencia al corte (kN)</b>
<b>Dirección Largo (Y)</b>	17	35,70
<b>Dirección Ancho (X)</b>	13,6	28,56

Por último, se determina el ancho aferente basándose en la masa que soporta cada muro de la cubierta de fibrocemento (cubierta más pesada de las dos alternativas posibles). Con este se determina la participación de cada muro con respecto al cortante total de diseño calculado anteriormente y se revisa que la capacidad admisible al corte sea menor a la solicitada. Para este análisis se está despreciando el posible efecto de diafragma del techo; no se está considerando rígido en su plano, para realizar un diseño conservador.

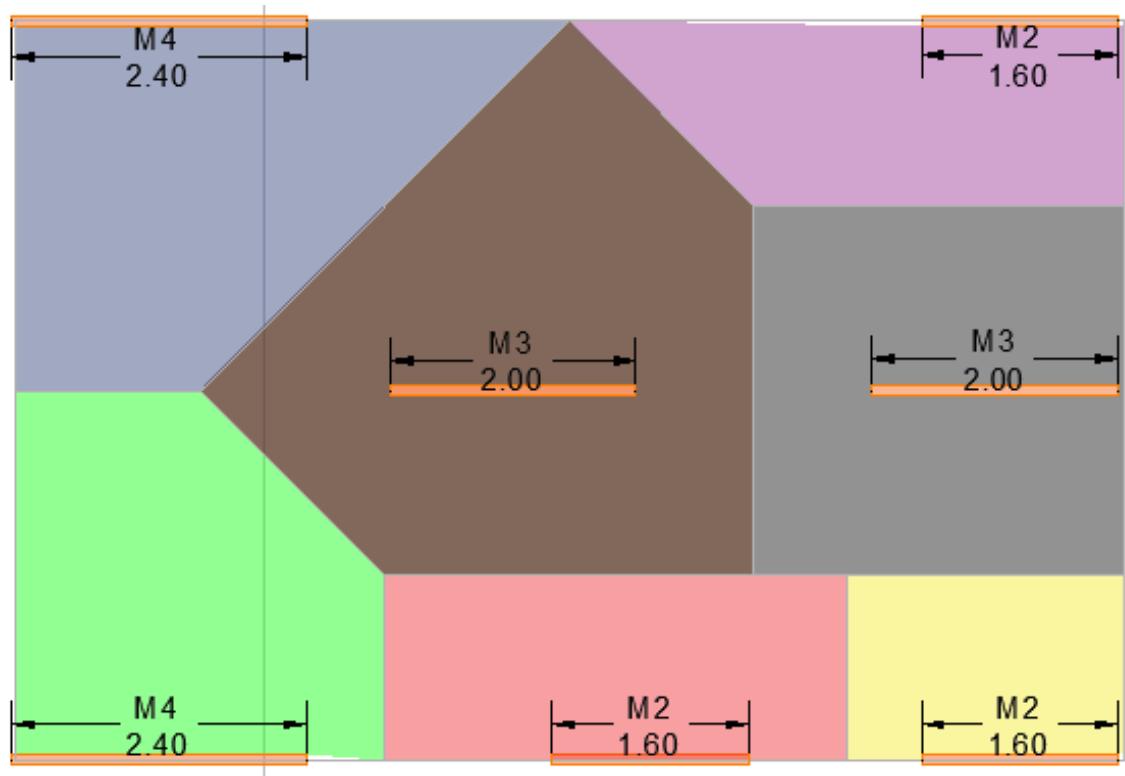


Ilustración 36, áreas aferentes de los muros en X.

Tabla 55, Cortante admisible y solicitado en la dirección X.

Muros "X"					
Longitud muro (m)	Área aferente	Área (m <sup>2</sup> )	Participación	Cortante solicitado (kN)	Cortante admisible (kN)
2.4		9.8	0.2	2.2	5.0
2.4		7.8	0.1	1.7	5.0
2		12.4	0.2	2.7	4.2
1.6		5.6	0.1	1.2	3.4
1.6		3.3	0.1	0.7	3.4
2		9.2	0.2	2.0	4.2
1.6		5.9	0.1	1.3	3.4
<b>TOTAL</b>		<b>54</b>	<b>1</b>	<b>11.9</b>	<b>28.6</b>

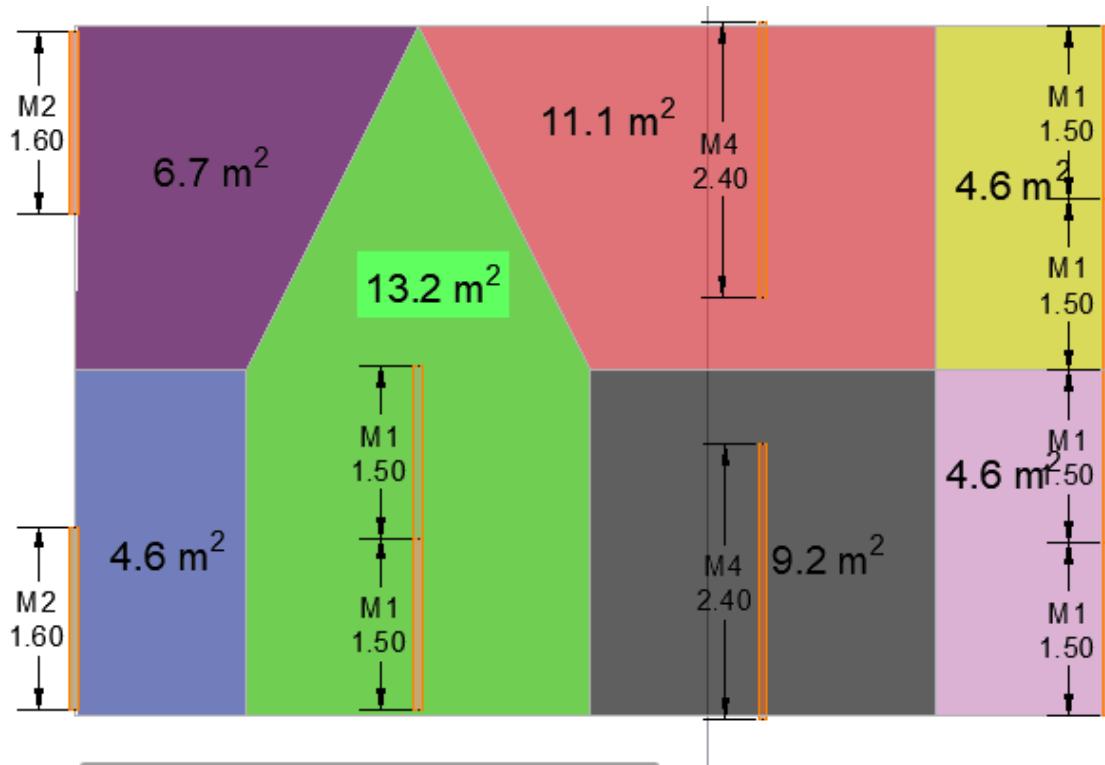


Ilustración 37, Áreas aferentes de los muros en Y.

Tabla 56, Cortante admisible y solicitado en la dirección Y.

<b>Muros "Y"</b>					
<b>Longitud muro (m)</b>	<b>Área aferente</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Participación</b>	<b>Cortante solicitado (kN)</b>	<b>Cortante admisible (kN)</b>
1.6		4.6	0.1	<b>1.0</b>	<b>3.4</b>
3		13.2	0.2	<b>2.9</b>	<b>6.3</b>
3		4.6	0.1	<b>1.0</b>	<b>6.3</b>
2.4		11.1	0.2	<b>2.4</b>	<b>5.0</b>
3		4.6	0.1	<b>1.0</b>	<b>6.3</b>
2.4		9.2	0.2	<b>2.0</b>	<b>5.0</b>
1.6		6.7	0.1	<b>1.5</b>	<b>3.4</b>
<b>TOTAL</b>		<b>54</b>	<b>1</b>	<b>11.9</b>	<b>35.7</b>

En ambos casos (dirección X y Y) el cortante admisible de los muros que conforman la edificación, es mayor que el cortante solicitado por el sismo.

### 3.3.3 Pre-dimensionamiento Pisos

#### 3.3.3.1 Piso en Eterboard

El piso en Eterboard consiste en un conjunto de viguetas metálicas en una sola dirección, que transmiten la carga a la cimentación. Soportan placas de fibrocemento (placas de Eterboard); las demás cargas vivas y muertas debidamente amplificadas según la NSR-10

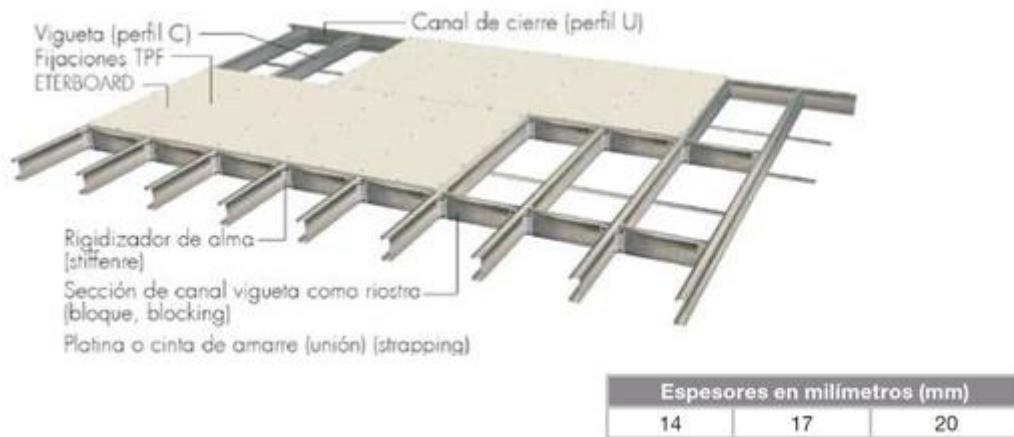


Ilustración 38, Estructura de piso con placas de fibrocemento (Eternit, 2019)  
Las viguetas son diseñadas a cortante y flexión, bajo las cargas últimas de diseño:

$$W_u = 1.2D + 1.6L$$

$$M_u = \frac{W_u L^2}{8}$$

$$V_u = \frac{W_u L}{2}$$

Las cargas de diseño corresponden a 1.8 kN/m<sup>2</sup> de carga viva y 0.2 kN/m<sup>2</sup> de carga muerta correspondiente al peso propio de las placas de fibrocemento; con un espaciamiento entre viguetas de 0.4 m.

Tabla 57, combinaciones de carga para diseño

<b>Combinación (1,2D+1,6L)</b>		
W <sub>u</sub>	1.27	kN/m
<b>Momento requerido</b>		
M <sub>u</sub>	1.43	kN-m
<b>Cortante requerido</b>		
V <sub>u</sub>	1.91	kN-m

Según las cargas necesarias, se eligió el tipo de perfil siguiendo el manual de diseño estructural de Panel Rey (Panel Rey S.A., 2012), las viguetas son perfiles en C, metálicos de 3 m de largo, 50 x 150 mm-

Tabla 58, Cargas permisibles en vigas (Panel Rey S.A., 2012)

**COMPONENTES PV ACTUANDO COMO VIGAS**

Cargas uniformemente repartidas permisibles en vigas en claros sencillos. TABLA V-01



V-01

COMPONENTE TAMANO ESTILO Y CALIBRE	CLAROS SIMPLES (Metros)																
	CARGAS UNIFORMEMENTE REPARTIDAS EN Kg/m																
	2.40	2.70	3.00	3.30	3.60	3.90	4.20	4.50	4.80	5.10	5.40	5.70	6.00	6.30	6.60	7.20	7.50
*10 PAR 10	3032	2396	1940	1604	1347	1148	990	862	758	671	599	537	485	440	401	336	310
*10 PAR 12	2401	1897	1537	1270	1067	909	784	683	600	531	474	425	384	348	317	266	245
*10 PAR 14	1743	1377	1115	922	774	660	569	495	435	386	344	309	278	253	230	193	178
*8 PAR 10	2106	1664	1348	1114	936	797	687	599	526	466	416	373	337	305	278	234	215
*8 PAR 12	1674	1322	1071	885	744	633	546	476	418	370	330	296	267	242	221	186	*171
*8 PAR 14	821	649	525	434	365	311	268	233	205	181	162	145	131	119	*108		
2032 PV 14	549	433	351	290	244	207	179	156	137	121	108	*97	*87				
*6 PAR 10	1147	906	734	606	509	434	374	326	286	254	226	203	*183	*166	*151	*127	
*6 PAR 12	918	725	587	485	408	347	299	261	229	203	*181	*162	*146	*133	*121		
*6 PAR 14	693	547	443	366	307	262	226	196	173	153							
1524 PV 14	360	284	230	190	159	137	118	102	90	80							
1524 PV 18	238	188	152	126	106	90	77	67									
1524 PV 20	180	142	115	95	80	68	59										
920 PV 18	118	93	75	62													
920 PV 20	90	72	58														

**3.3.3.2. Steel deck**

El Steel deck consta de 4 elementos principales:

- Losa de concreto de 10 a 14 cm.
- Malla electrosoldada (acero de retracción).
- Conector de cortante.
- Lámina deck Steel.

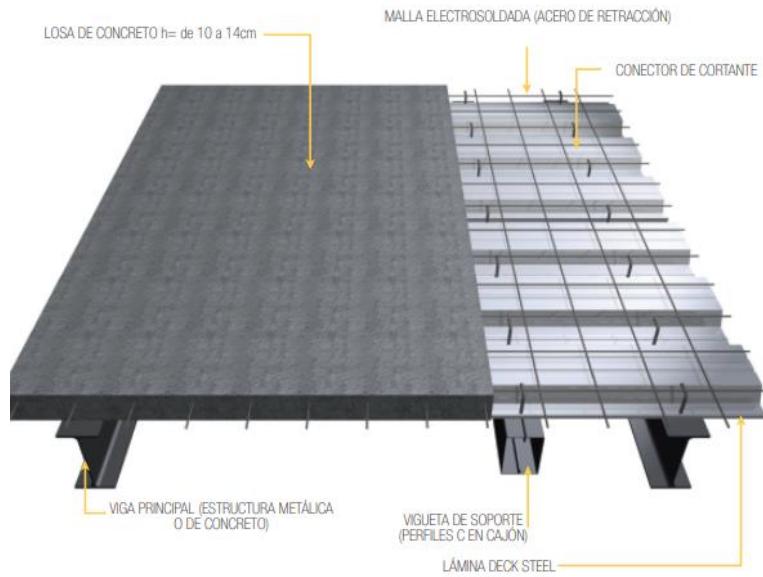


Ilustración 39, Composición del Steel Deck (Colmena, 2019)

Es posible determinar las cargas vivas y muertas según las tablas de la NSR-10 y el peso específico de los materiales, para luego determinar la carga de diseño. Basándose en las tablas de diseño del manual de instalación Deck Steel (Colmena, 2019).

Tabla 59, Consumo teórico de concreto (Colmena, 2019)

ESPESOR DE LOSA (e)(cm)	CONSUMO TEÓRICO (m <sup>3</sup> / m <sup>2</sup> )
10	0.071
11	0.081
12	0.091
13	0.101
14	0.111

Tabla 60, Malla electrosoldada según espesor (Colmena, 2019)

ESPESOR DE LOSA (e)(cm)	cm <sup>2</sup> / m	TIPO	DIÁMETRO (mm)	SEPARACIÓN (mm)
10	0,89	M 1,06	4,5	150
11	1,07	M 1,31	5,0	150
12	1,25	M 1,31	5,0	150
13	1,43	M 1,59	5,5	150
14	1,61	M 1,59	5,5	150

Las cargas de diseño corresponden al peso propio de la estructura y la carga viva para vivienda:

Tabla 61, cargas de diseño para steel deck

Cargas Muertas		
WD	2.35	kN/m <sup>2</sup>
Cargas Vivas		
WL	1.8	kN/m <sup>2</sup>
Combinación (1,2D+1,6L)		
Wu	5.70	kN/m <sup>2</sup>

No es necesario trabajar con las cargas de diseño mayoradas, el peso propio del concreto y la lámina de acero ya se encuentran incluidos, es posible cumplir los requerimientos escogiendo deck Steel calibre 22. Para las luces libres de 3 metros es posible alcanzar cargas de 554 kg/m<sup>2</sup>. Cumpliendo la carga de diseño requerida.

Tabla 62, Capacidades de carga Deck Steel (Colmena, 2019)

ESPESOR	DECK STEEL CALIBRE 22 (Espesor 0,75 mm)																							
	LUZ LIBRE																							
cm	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3	3,1	3,2	3,3	3,4	3,5	3,6	3,7	3,8
10	1.317	1.223	1.140	1.067	1.001	942	888	840	795	754	717	682	650	621	593	554	-	-	-	-	-	-	-	
11	1.459	1.355	1.263	1.182	1.109	1.043	983	929	880	835	793	755	719	686	655	626	586	537	493	-	-	-	-	
12	1.571	1.458	1.359	1.271	1.192	1.121	1.056	998	944	895	850	809	770	735	701	670	641	610	560	514	472	433	-	-
13	1.653	1.534	1.428	1.335	1.251	1.176	1.108	1.046	989	938	890	846	805	767	732	699	668	640	612	576	529	486	447	410
14	1.705	1.581	1.472	1.374	1.287	1.209	1.138	1.074	1.015	961	912	866	832	784	747	713	681	651	623	596	571	539	495	455

### 3.3.3.2 Entramado horizontal en madera

La alternativa de entramado horizontal en madera para el sistema de piso está compuesta por un entablado machihembrado (el acabado de piso es el mismo entablado) que esta soportado sobre unas viguetas de madera en una sola dirección separadas entre sus ejes por 0.5 m, de longitud igual a 2.91 metros, estas están simplemente apoyadas por medio de uniones mecánicas en dos vigas separadas entre sus ejes por 3 metros. A continuación, se ilustra dicha alternativa.



Ilustración 40, Vista lateral entramado horizontal en madera.

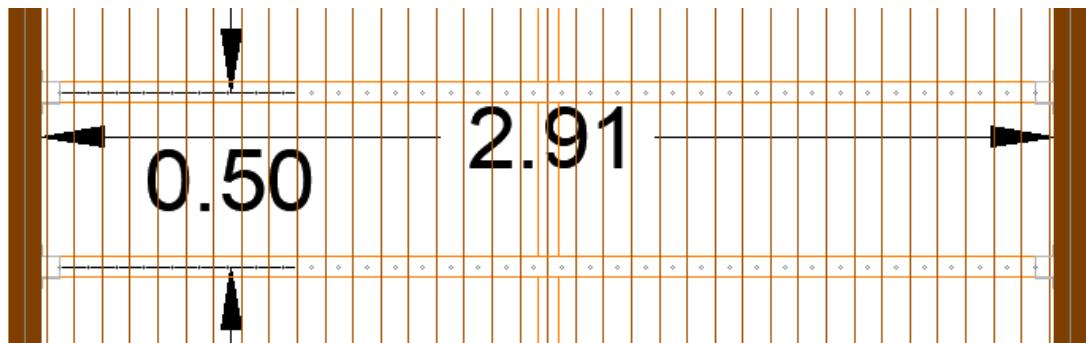


Ilustración 41, Vista planta entramado horizontal en madera.

para este pre- dimensionamiento de esta alternativa solo se tiene en cuenta el entablado machihembrado y las viguetas, ya que, las vigas se diseñan una vez se escoga la alternativa de sistema de cimentación, debido a que la luz de diseño puede variar.

Se define el grosor del entablado según la separación de las viguetas y cargas solicitadas. Para este pre-dimensionamiento se utilizó la tabla G-G-3 de la NSR-10, la cual, especifica el grosor según el espaciamiento y la carga solicitada. Para este caso el espaciamiento entre apoyos es igual a 0.5 metros, una carga solicitada viva de  $1.8 \text{ kN/m}^2$  y una carga muerta de  $0.1 \text{ kN/m}^2$  referente al peso propio de un entablado de teca con 1.5 cm de espesor. Según dicha tabla un entablado con las características anteriormente mencionadas soporta una carga distribuida de  $833 \text{ kg-f/m}^2$  que equivale a  $8.1 \text{ kN/m}^2$ , el cual cumple con las cargas solicitadas, se tiene un buen factor de seguridad y es un espesor comercial. En la siguiente tabla, obtenida de la NSR-10, se presentan los datos de cargas máximas para entablados.

Tabla 63, Cargas máximas en entablados de madera Grupo ES6 G-G-3 NSR-10

Carga puntual “P” en kgf. Carga uniformemente distribuida “W” en  $\text{kgf/m}^2$ . **MADERAS GRUPO “C”**

ESPESOR (cm)	Espaciamiento de los apoyos $\ell$																	
	30		40		50		60		80		100		120		140		160	
	P	W	P	W	P	W	P	W	P	W	P	W	P	W	P	W	P	W
1.0	60	1142	34	482	22	247	15	143	8	60								
1.5	183	3667	114	1626	73	833	51	482	28	203	18	104	13	60				
2.0		244	3667	173	1973	120	1142	68	482	43	247	30	143	22	90	17	60	
2.5				305	3667	234	2230	132	941	84	482	59	279	43	176	33	118	
3.0					366	3667	228	1626	146	833	101	482	74	303	57	203		
3.5						362	2582	232	1322	161	765	118	482	30	323			
4.0								346	1973	240	1142	176	719	135	482			
4.5										342	1626	251	1024	192	686			

Para dimensionar las viguetas, se supone que el elemento está simplemente apoyado y se usa el método de diseño de deflexiones máximas admisibles, el cual fue explicado en el numeral 1.3.10. La madera de diseño para dichos elementos es la Teca, que según la NSR-10 está dentro del grupo tipo ES6. Y las cargas de diseño son el peso propio de los elementos y la carga viva de la edificación ( $1.8 \text{ kN/m}^2$ ). A continuación se presentan los resultados.

Tabla 64, Valores de diseño viga.

<b><math>E_{0,5}</math> teca (MPa)</b>	<b><math>\gamma</math> teca (kN/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Luz (m)</b>	<b>Ancho aferente (m)</b>
10800	6,9	2,91	0,5

Tabla 65, Carga distribuida de diseño a lo largo de la viga.

<b>Cargas Muertas</b>		
W entablado	0,05	kN/m
W vigueta	0,06	kN/m
WD	0,11	kN/m
<b>Cargas Vivas</b>		
WL	0,9	kN/m
<b>Combinación (1,5D+L)</b>		
W'	1,06	kN/m

La combinación usada hace referencia a el control de deflexiones a largo plazo.

Tabla 66, Deflexión admisible, inercia requerida y dimensiones de la vigueta.

<b>Deflexión admisible (m) (L/360)</b>	<b>Inercia (m<sup>4</sup>)</b>	<b>Altura (m)</b>	<b>Base (m)</b>	<b>Longitud (m)</b>
0,00811	1,15037E-05	0,13	0,06	2,92

La deflexión admisible utilizada es para pisos rigidizados.

### 3.3.4 Pre-dimensionamiento cimentación

#### 3.3.4.1 Base flotante

La base flotante consiste en una cimentación con la capacidad boyante adecuada para permitir que la vivienda flote en caso de que llegue una inundación. Este diseño depende principalmente del principio de Arquímedes, donde un cuerpo sumergido experimenta un empuje vertical igual al peso del fluido desalojado. Se plantea un conjunto de cerchas metálicas de bajo peso que rigidizan la base; ubicadas en los ejes de la vivienda, de manera que soporten los muros estructurales. Complementadas con canecas plásticas de 55 galones, que permiten alcanzar el volumen de agua desplazado necesario para igualar la fuerza de empuje vertical con el peso de la vivienda, se ilustra a continuación, donde se muestran las cerchas metálicas y la representación de las canecas en color azul:

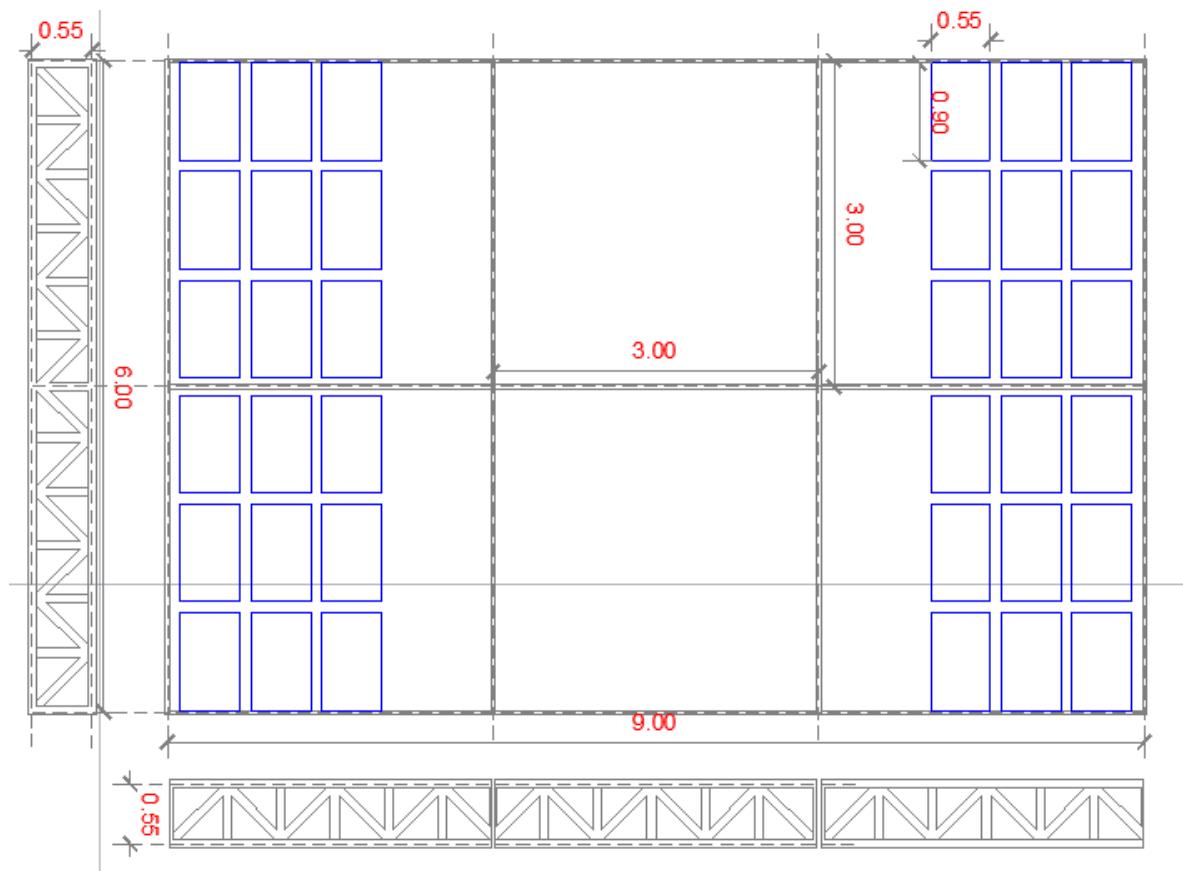


Ilustración 42, Vista en planta y vistas laterales - Base flotante

La ecuación que describe el principio de Arquímedes se presenta a continuación:

$$\text{Empuje} = \text{peso} = \rho \cdot g \cdot V$$

De esta forma conociendo la distribución de las canecas (empuje por flotabilidad) y el peso del conjunto de la subestructura y la superestructura, es posible determinar el volumen de agua desalojado. Se toman como referencia los muros entramados en madera, la cubierta con tejas en fibrocemento, el piso entramado en madera y el peso propio de la base flotante. La altura de la lámina de agua es determinada asumiendo el área de 36 canecas vistas en planta.

Tabla 67, Fuerza de empuje y volumen de agua desalojado

Flotabilidad	$F_e = W$	$\gamma_a * V = mg$
$\gamma$ agua	1000	$\text{kg/m}^3$
$\gamma$ agua	9.8	$\text{kN/m}^3$
$W$ (casa)	30.6	$\text{kN}$
$V$ desplazado	3.1	$\text{m}^3$
$h$ agua	0.3	$\text{m}$
F empuje	30.6	$\text{kN}$

Una vez determinado este volumen, es posible encontrar el centro de flotación, que corresponde al centroide del área sumergida. Se determinó el centro de gravedad del conjunto de la edificación mediante una sumatoria de momentos del centro de masas de la cubierta, los muros, el piso y la base flotante.

$$\sum M = \frac{G_{cubierta} * m_{cubierta} + G_{muros} * m_{muros} + G_{piso} * m_{piso} + G_{base} * m_{base}}{\sum m}$$

Para determinar la estabilidad de la edificación es necesario calcular la altura metacéntrica y verificar que sea mayor a 0, mediante la siguiente ecuación:

$$GM = \frac{I}{V} - GB$$

Donde:

- $GM$  es la altura metacéntrica
- $I$  es la inercia del plano de flotación
- $V$  es el volumen sumergido
- $GB$  es la distancia entre el centro de gravedad y el centro de flotación

La inercia del plano de flotación en este caso puede ser determinado mediante la ecuación para un rectángulo, ya que el corte transversal donde se puede ver el área de la base en contacto con el agua corresponde a la siguiente ilustración:

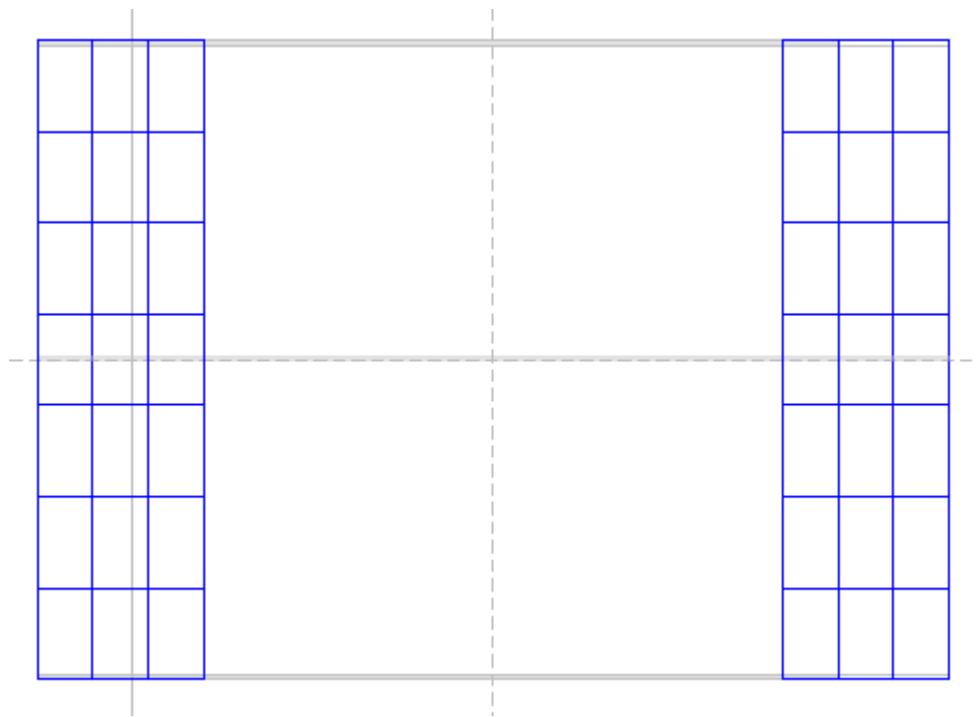


Ilustración 43, Corte transversal del plano de flotación 9 m x 6 m

La inercia es calculada con respecto al eje X, para evaluar la condición más crítica; puede calcularse como se muestra a continuación para tener en cuenta únicamente la inercia del área en contacto con el agua.

$$I = \frac{Bh^3}{12} - \frac{bh^3}{12}$$

Donde B corresponde al ancho total de la base (9 m) y b corresponde al ancho de la base sin canecas.

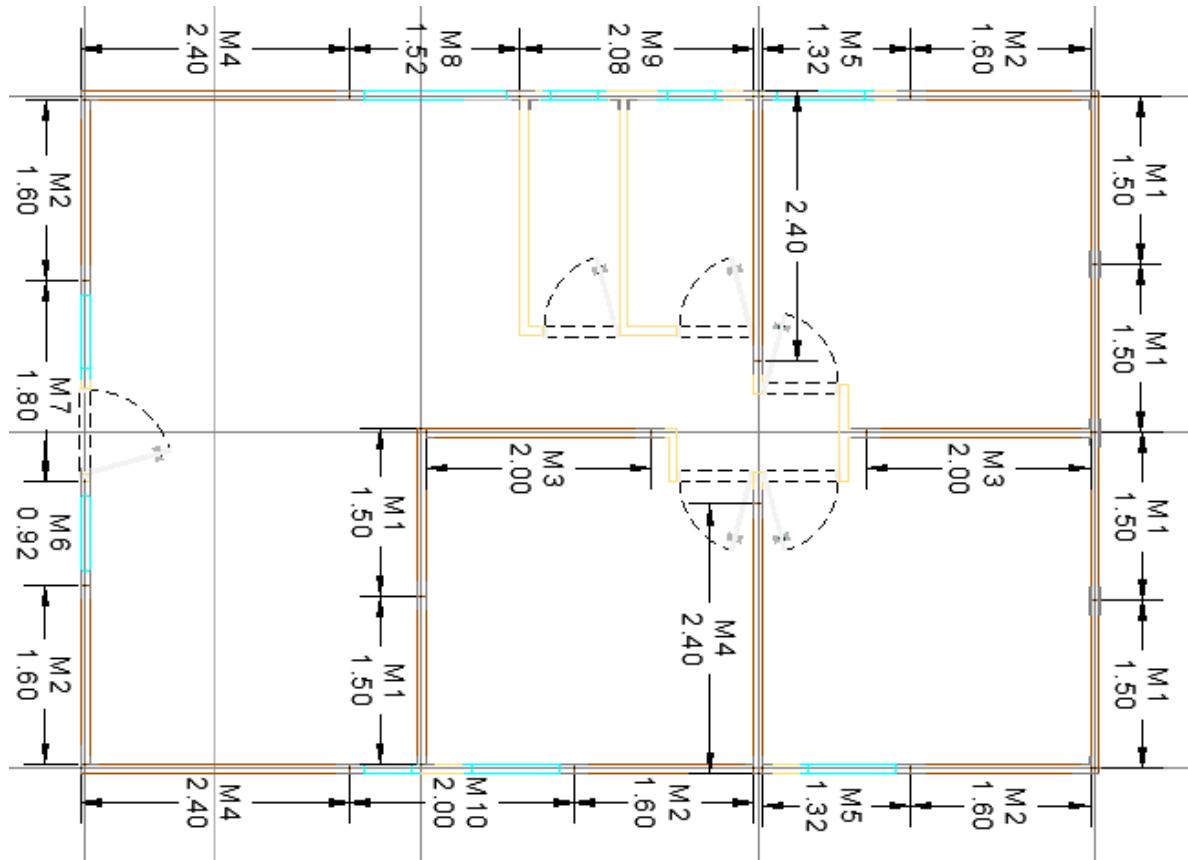


Ilustración 44, Distribución en planta de los muros

Tabla 68, Centro de gravedad de la vivienda

Elemento	Peso [ton]	X	Y	Z
Base flotante	0.8	3	4.5	0.275
Piso entramado en madera	1.03	3	4.5	0.55
Cubierta de fibrocemento	0.5	3	4.5	3.55

Muro entramado en madera	1.17	2.7	5.8	1.95
<b>Vivienda</b>	<b>3.5</b>	<b>2.9</b>	<b>4.9</b>	<b>1.38</b>

Tabla 69, Determinación de estabilidad

Cálculos de flotabilidad		
Centro de gravedad (eje Z)	G [m]	1.4
Centro de flotación	B [m]	0.2
GB	m	1.2
I	m4	39.6
V sumergido	m3	6.3
GM	m	5.12

La distancia GM es mayor que 0, lo que indica un comportamiento estable de la vivienda en caso de flotación.

### 3.3.4.2 Enrocado

El diseño del enrocado se realiza teniendo presente el título H, para el diseño de cimentaciones y estudios de suelos. Este fue pensado como una cimentación tipo losa flotante, construida con materiales autóctonos; considerando la durabilidad, el bajo mantenimiento en el tiempo, y la estabilidad de la edificación en épocas de inundación.

Al realizar un diseño para cualquier tipo de suelo y no contar con datos de este se realizan los cálculos con un valor de carga admisible  $q_a = 5 \text{ ton/m}^2$  según el título H de la NSR-10, como carga admisible máxima del suelo. Son tenidos en cuenta los asentamientos, que son evaluados partiendo de la capacidad del suelo y la carga de la vivienda transmitida a este. Para evitar excentricidades se hace un análisis de centros de masa tanto de la vivienda como de la cimentación, para hacerlos coincidir y evitar asentamientos diferenciales.

El enrocado tiene un peso específico cercano a los  $1.8 \text{ ton/m}^2$  y teniendo en cuenta el peso de la cubierta y el sistema de muros más desfavorable se encontró que no se superan las  $2.2 \text{ ton/m}^2$ .

El análisis inicial se centró en los asentamientos y la transmisión de cargas en el suelo. En primer lugar, fue determinado el centro de masas de la edificación, en ambos ejes X y, definiendo a partir de este las dimensiones de la base para garantizar el alineamiento con el del enrocado y eliminar excentricidades que puedan generar asentamientos diferenciales.

$$\sum M = \frac{\sum(muro_i * distancia_i)}{\sum m_i}$$

Del análisis realizado para centros de gravedad en el diseño de la base flotante, se encontró que los muros estructurales y arquitectónicos no se encuentran distribuidos de forma simétrica, pues tienen un centro de gravedad en X igual a 2.7 m y en Y a 5.8 m medidos desde el extremo inferior derecho de la planta. Para hacer coincidir los centros de masas fue necesario incrementar las dimensiones del enrocado con respecto a la edificación 0.6m en el eje X y 2.6m en el eje Y.

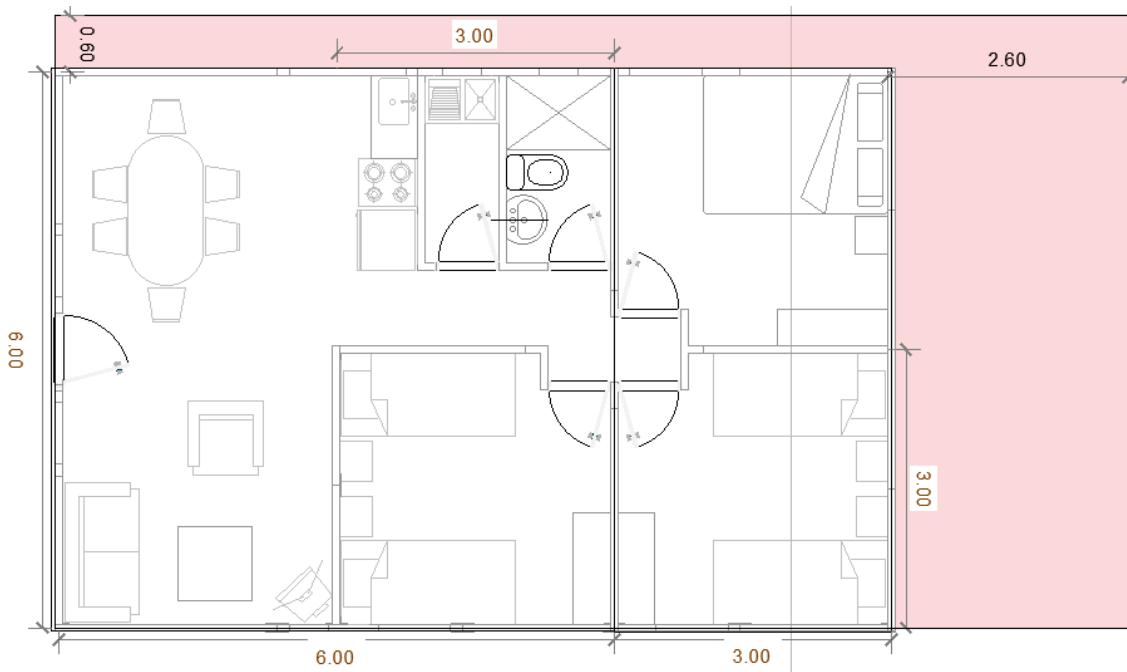


Ilustración 45, sobredimensionamiento enrocado

Tabla 70, centro de masas- Casa y cimentación

CM [m]	Casa	Cimentación
X	2.7	2.7
Y	5.8	5.8

### 3.3.4.3 Palafitos

Cada palafito está conformado por una zapata y columna de concreto reforzado (ambas cuadradas) y unidos por vigas de amarre de 3 m de longitud de concreto reforzado. Estas partes son vaciadas in-situ. A continuación, se presentan las consideraciones que se tuvieron en cuenta para el diseño y la ilustración.

En la siguiente ilustración se ven los siguientes elementos:

- Zapata en concreto reforzado.
- Palafito (columna) en concreto reforzado.
- Viga de amarre en concreto reforzado.
- Sistema de piso.



Ilustración 46, Vista lateral palafitos.

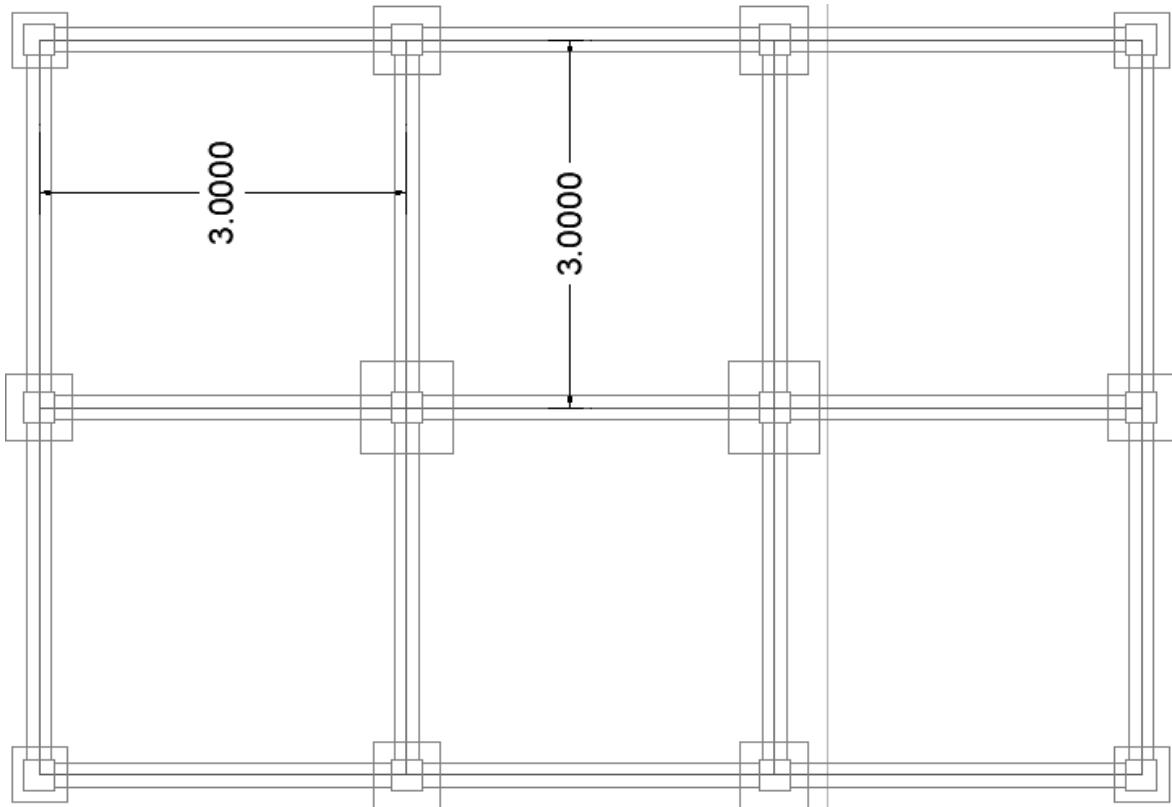


Ilustración 47, Vista planta palafitos.

- La resistencia a compresión admisible ( $q$ ) del suelo se considera como  $5 \text{ ton/m}^2$ ; esto se debe a que la edificación no está concebida para un lugar en específico, por lo cual, según la NSR-10, título E, para casas de uno y dos pisos cuando no se cuente con estudios de suelos se debe asumir dicho valor, el cual, corresponde a valores de resistencia de suelos blandos. En el caso de que se conozca dicha información se recomienda recalcular las zapatas para optimizar el diseño.

- Cada conjunto de zapata y columna están unidos a los otros conjuntos por medio de vigas de amarre en concreto vaciadas in-situ, la ubicación de la viga de amarre es justo a nivel de terreno, es decir a la mitad de la altura del conjunto zapata-columna, y se asume que esta viga soporta los momentos generados en la fundación, por lo cual, la zapata trabaja como un pin.
- $f'_c$  tanto de la zapata como de la columna es igual a 21 MPa.
- Se considera una disipación de energía moderada (DMO) para las columnas según la NSR-10.
- La zapata y la columna unidas tienen una altura de 2 metros, de los cuales, un metro está bajo tierra y el otro metro sobre el terreno, con el fin de garantizar que la edificación permanezca intacta frente a inundaciones menores a un metro de altura.
- La altura de la zapata es igual a 0.225 metros, que según (Rave, 2017) es la mínima permitida. Por lo cual, la altura de la columna es igual a 1.775 metros.
- La sección transversal de la columna cuadrada es la mínima para una columna DMO que es igual a 0.25 metros de lado.

#### **Pre-dimensionamiento palafito (columna)**

Revisar que la resistencia a compresión solicitada sea menor o igual a el 30% de  $f'_c$  de diseño (21 MPa); para esto se analizó la columna más crítica (columna central), la cual, tiene la mayor área aferente igual a  $9 \text{ m}^2$ , y donde la edificación tiene un peso muerto aproximado de  $0.6 \text{ kN/m}^2$  para la alternativa de poste y viga, y vivo de  $1.8 \text{ kN/m}^2$ , para una carga  $P_u$  igual a  $21.6 \text{ kN}$  más el peso propio de la columna, el cual es igual a él volumen ( $0.11 \text{ m}^3$ ) multiplicado por el peso específico de concreto armado de  $24 \text{ kN/m}^3$ , dando un resultado de  $2.7 \text{ kN}$ . Sumando los dos resultados obtenidos da una carga solicitada axialmente de  $24.3 \text{ kN}$ .

El área transversal de la sección es igual a  $0.0625 \text{ m}^2$ . Dividiendo la carga solicitada por el área transversal de la sección da el esfuerzo solicitado que es igual a  $0.39 \text{ MPa}$ . Este valor representa el 1.8% del esfuerzo admisible de  $21 \text{ MPa}$ .

### Pre-dimensionamiento zapata

- Determinar la carga vertical soportada por cada tipo de zapata (esquinera, lateral y central); y el peso propio de la columna que conecta con la zapata, cabe aclarar que para este cálculo el nodo que se genera entre la columna y la zapata se tuvo en cuenta para la columna, por lo cual, la columna tiene una altura de 2 metros y la zapata tiene un hueco en su centro, que hace referencia al volumen que ocupa la columna. A continuación, se presenta una tabla con dichas cargas.

Tabla 71, Cargas de diseño zapata.

Cargas						
Palafito	WD (kN)	WL (kN)	W total	Área Aferente (m <sup>2</sup> )	P (kN)	P (Ton)
Central	0,61	1,8	2,41	9	21,7	2,2
Lateral	0,61	1,8	2,41	4,5	10,8	1,1
Esquinero	0,61	1,8	2,41	2,25	5,4	0,6

Tabla 72, Peso propio columna.

Columna						
a = b (m)	A trans (m <sup>2</sup> )	H (m)	V (m <sup>3</sup> )	X (kN/m <sup>3</sup> )	P (kN)	P (Ton)
0,25	0,063	2	0,125	24	3,00	0,31
0,25	0,063	2	0,125	24	3,00	0,31

0,25	0,063	2	0,125	24	3,00	0,31
------	-------	---	-------	----	------	------

2. Determinar dimensiones de las zapatas. La totalidad de las zapatas se consideraron cuadradas y con una altura de 0.225 m, tal y como se especificó anteriormente. Para el cálculo de la sección se iteró varias veces hasta que los valores convergieron y se tenían los tres tipos de zapata que cumplieran con la carga admisible del suelo igual a 5 ton/m<sup>2</sup>. A continuación se presenta la última iteración con los resultados.

Tabla 73, Resultado dimensiones zapatas.

Zapata iteración 4					
Palafito	P (Ton)	B (m)	L (m)	q (ton/m <sup>2</sup> )	q <sub>adm</sub> (Ton/m <sup>2</sup> )
Central	2,8	0,75	0,75	5,00	5
Lateral	1,5	0,56	0,56	5,00	5
Esquinero	0,9	0,43	0,43	5,00	5

### 3.4 ANÁLISIS COSTO BENEFICIO

A continuación, se presenta la tabla resumen del análisis costo beneficio, en azul se encuentran las alternativas seleccionadas.

Tabla 74, Tabla resumen análisis costo beneficio

Cubierta con viguetas en madera	\$	Peso [ton]	Beneficios adicionales
Teja de Zinc	\$ 2,154,354	0.50	
Teja de fibrocemento	\$ 2,555,304	1.18	Confort térmico Durabilidad

<b>Sistema estructural</b>	\$	Peso [ton]	<b>Beneficios adicionales</b>
Entramado liviano en madera	\$ 4,566,229	1.17	Materiales autóctonos Elementos prefabricados Fácil construcción Fácil transporte
Muros en bahareque	\$ 5,740,469	9.16	Elementos prefabricados Confort térmico
Sistema de poste y viga	\$ 6,015,847	1.60	Elementos prefabricados Materiales autóctonos Versatilidad de los espacios internos

<b>Piso</b>	\$	Peso [ton]	<b>Beneficios adicionales</b>
Eterboard+ Cerámica	\$ 3,536,416	5.01	Durabilidad Resistencia Fácil construcción
Steel deck	\$ 3,857,200	6.61	Rapidez de montaje
Entramado horizontal en madera	\$ 4,316,859	1.03	Materiales autóctonos Fácil construcción

<b>Cimentaciones</b>	\$	Peso [ton]	<b>Beneficios adicionales</b>
Base flotante	\$ 5,687,004	0.42	Versatilidad ante variaciones de altura en inundaciones
Enrocado (Gaviones)	\$ 5,690,955	99.1	Materiales autóctonos Confort en épocas de inundación Durabilidad
Palafitos	\$ 1,884,405	8.10	Elementos prefabricados Durabilidad

**Cubierta:** para la cubierta se eligió la teja de fibrocemento a pesar de tener mayor peso y ser más costosa, debido a que tiene beneficios adicionales que brindan una mejor calidad de vida al interior de la vivienda. El confort térmico, acústico, la durabilidad y costo de mantenimiento son un valor agregado en comparación a las tejas de zinc.

**Sistema estructural:** se escogió el entramado ligero en madera; este es la solución más liviana y de menor costo. Adicional a esto es posible realizar las partes prefabricadas y utilizar material autóctono (madera de la zona donde se construya la edificación), es de fácil construcción gracias a su bajo peso y el uso de uniones mecánicas.

**Piso:** la alternativa seleccionada es el entramado horizontal en madera, a pesar de tener un precio un poco mayor a las otras 2 alternativas, tiene un peso considerablemente menor a estas (corresponde a un 20% del peso de las otras alternativas)

**Cimentación:** los palafitos fueron escogidos porque además de su bajo costo, garantizan una gran durabilidad y un bajo mantenimiento en el tiempo, pueden ser elementos prefabricados, así como ser vaciados in-situ.

### 3.5 DISEÑO DE ALTERNATIVA SELECCIONADA

Tabla 75, Alternativa seleccionada

Alternativa seleccionada	
1	Cubierta con tejas de fibrocemento
2	Muros entramados en madera
3	Piso entramado en madera
4	Pilotes en concreto reforzado

#### 3.5.1 Cubierta con tejas de fibrocemento

El entramado horizontal calculado anteriormente, se usa como la cubierta definitiva. A continuación, se ilustra la cubierta.

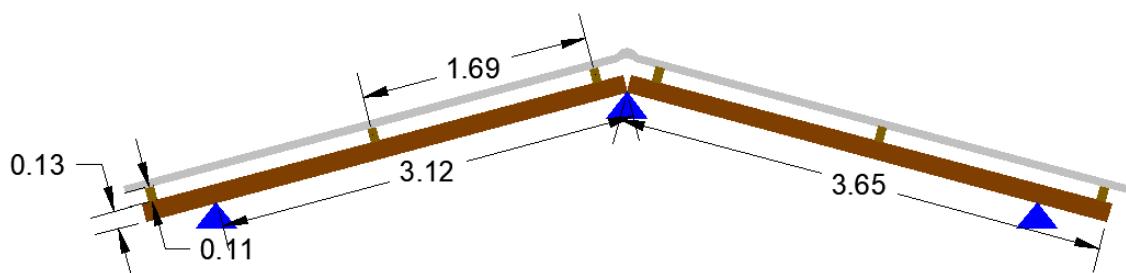


Ilustración 48, Vista lateral cubierta fibrocemento.

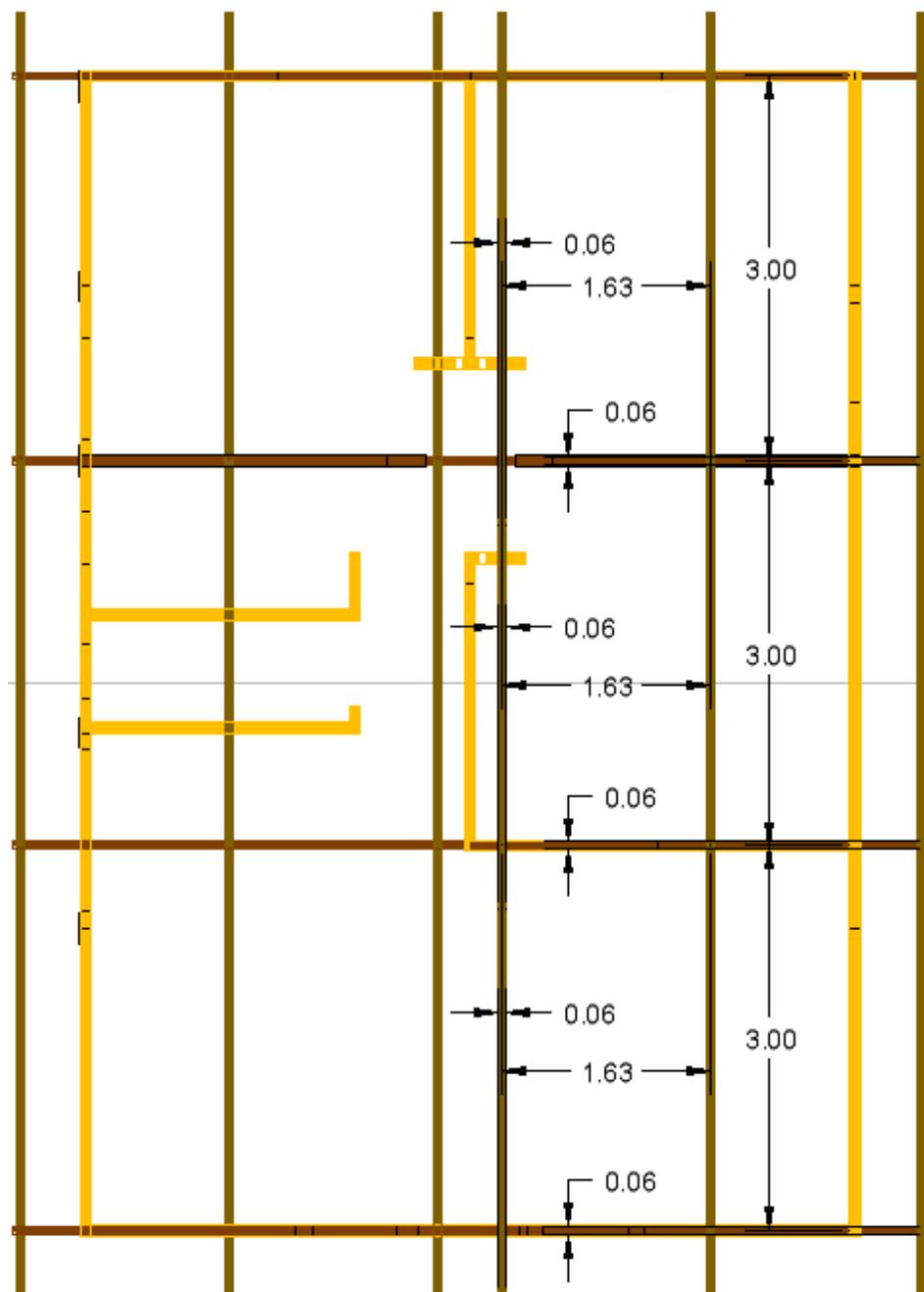


Ilustración 49, Vista planta cubierta fibrocemento.

Para la unión muro – cubierta se colocó una solera de coronación de amarre, la cual sirve como unión intermedia entre los muros y la cubierta, y para darle estabilidad al muro en

su dirección. A continuación, se presenta la vista en planta de la viga de coronación de amarre y la vista lateral de un muro con la viga de coronación de amarre.

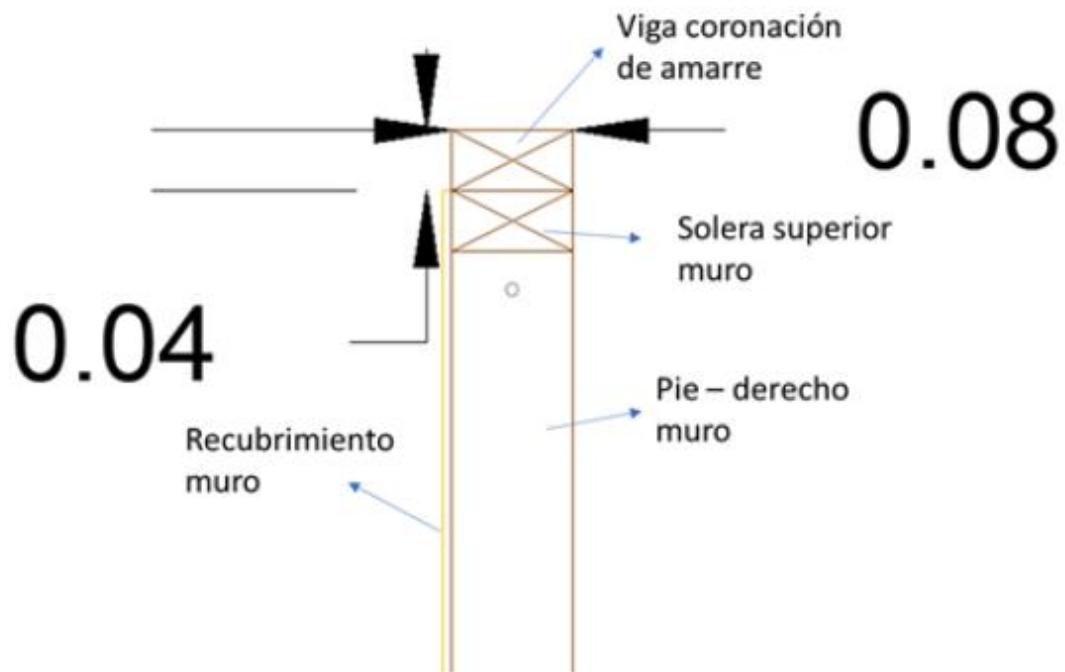


Ilustración 50, Vista lateral muro con viga de coronación de amarre.

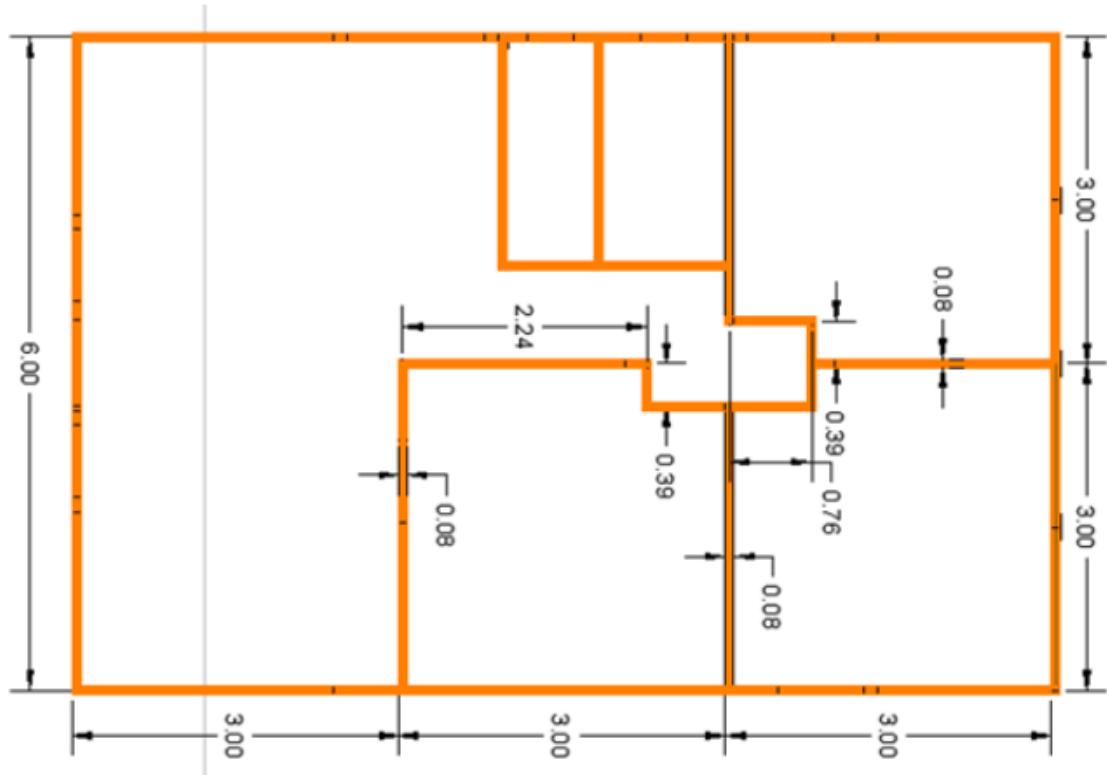


Ilustración 51, Vista en planta viga de coronación de amarre.

### 3.5.2 Muros entramados ligeros en madera

El diseño que se realizó en el pre-dimensionamiento de esta alternativa para los esfuerzos cortantes por medio del método Longitud equivalente estipulado en el numeral G.7.3.6 de la NSR-10, ya garantiza la resistencia a las fuerzas horizontales solicitadas para la edificación. Siguiendo las especificaciones del tipo de muro escogido anteriormente. Se realizó el detallado de los cuatro tipos de muros estructurales definidos en el pre-dimensionamiento y de seis tipos de muros arquitectónicos que conforman la edificación. A continuación, se presentan las consideraciones para el detallado que estipula la NSR-10.

**Coeficientes de conversión a longitud equivalente del muro de referencia**

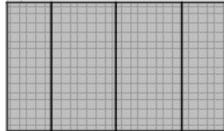
		<b>Entramado</b>	<b>Revestimiento</b>	<b>Coeficiente</b>
12		Pies-derechos de 4cm x 8 cm con espaciamiento entre 40 cm y 50 cm, clavados a soleras de 4cm x 8 cm con clavos de 75 mm.	Paneles de madera contra-chapada de 1.20 m x 2.40 m, de 6 mm de espesor, con clavos de 50 mm a cada 12.5 cm en sus bordes y a cada 25 cm en pies-derechos intermedios.	3.00

Ilustración 52, Detallado de entramado ligero en madera.

A continuación se presentan los muros detallados, tanto estructurales como no estructurales, con sus respectivas medidas, elementos y especificación de cómo debe ir unido cada elemento, tanto estructurales como no estructurales (arquitectónicos) (para más información se recomienda revisar el anexo de planos detallados).

**Muros estructurales**

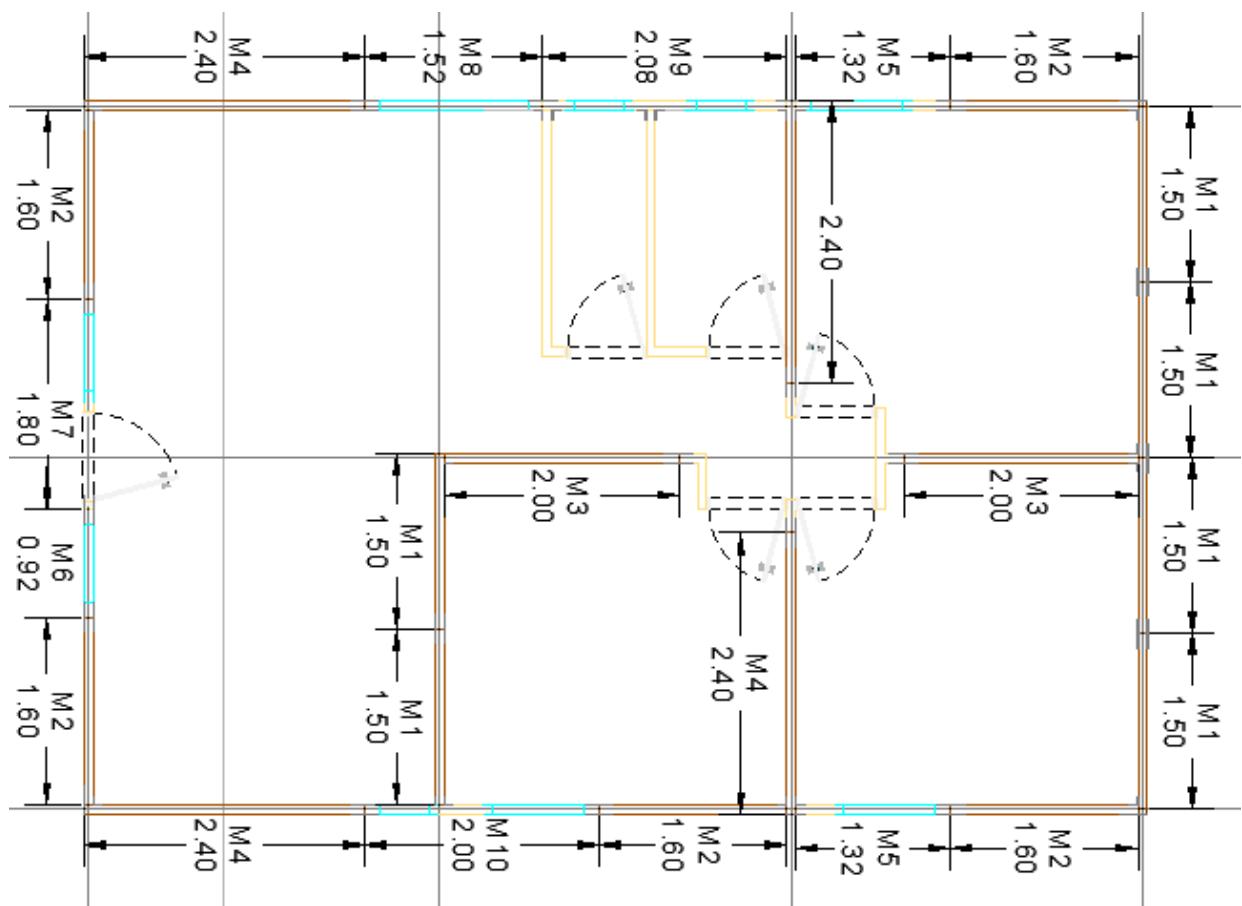


Ilustración 53, Disposición de muros en planta

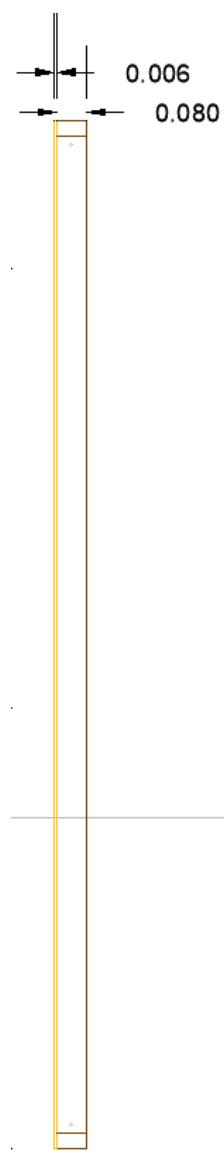


Ilustración 54, Muros con revestimiento en una sola cara - vista lateral.

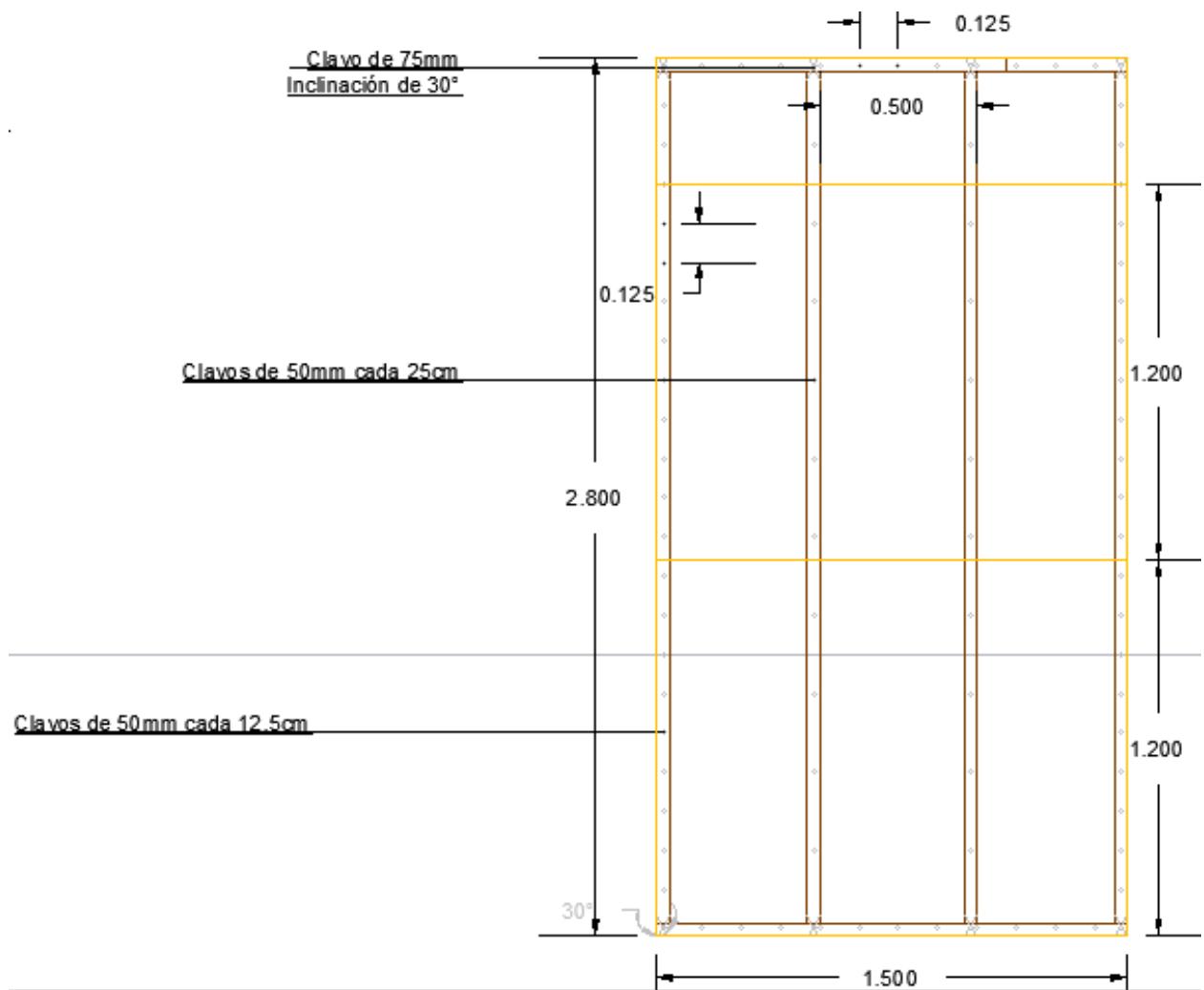


Ilustración 55, Muro estructural M1 1.5 x 2.8 – vista frontal.

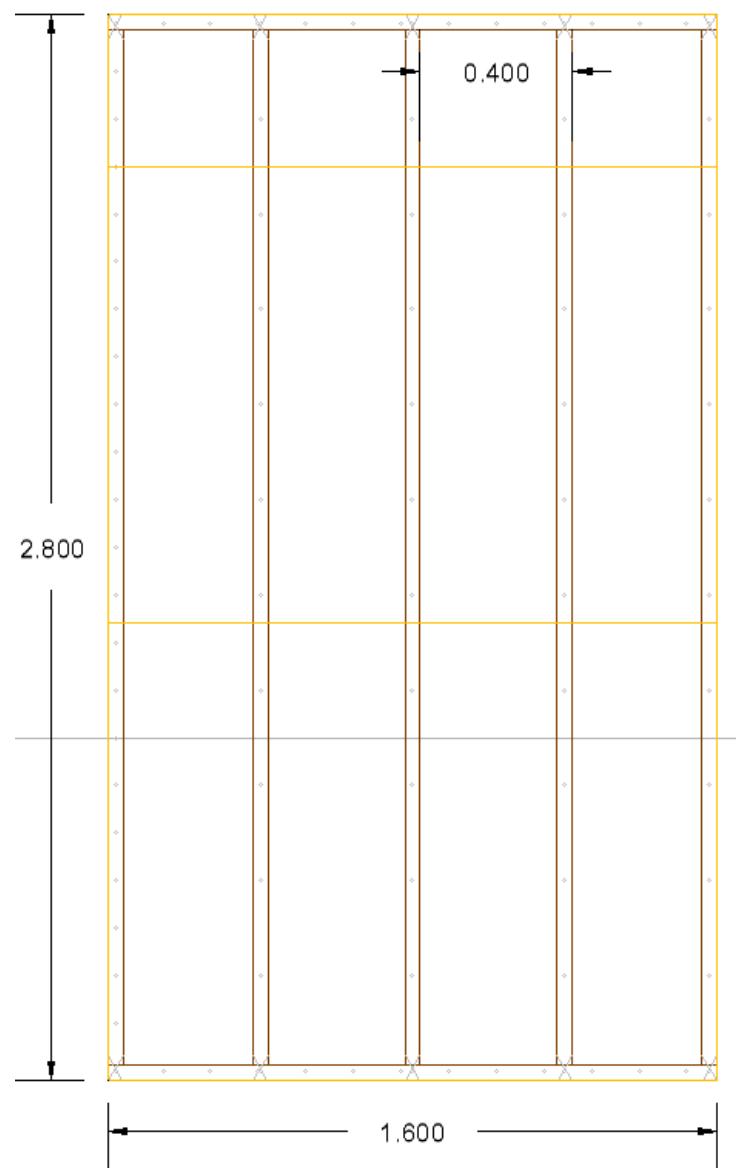


Ilustración 56, Muro estructural M2 1.6 x 2.8

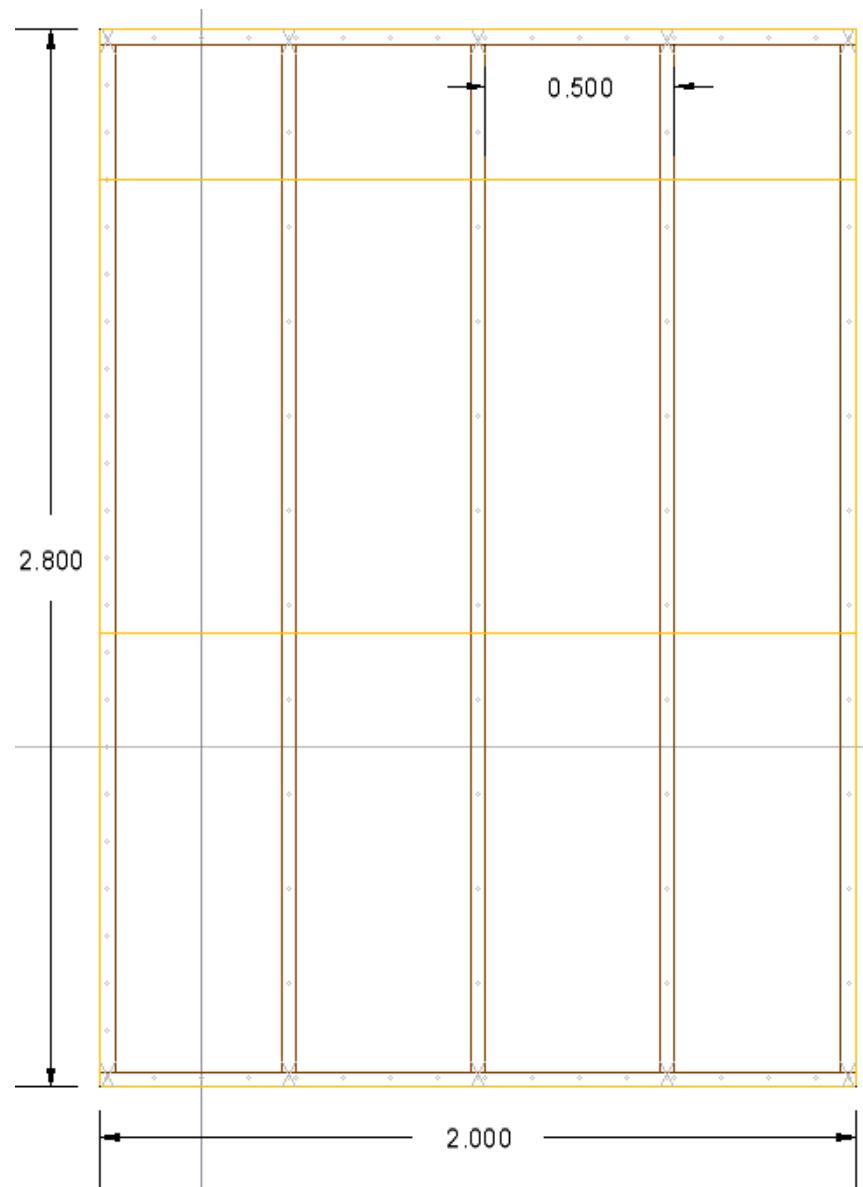


Ilustración 57, Muro estructural M3 2 x 2.8

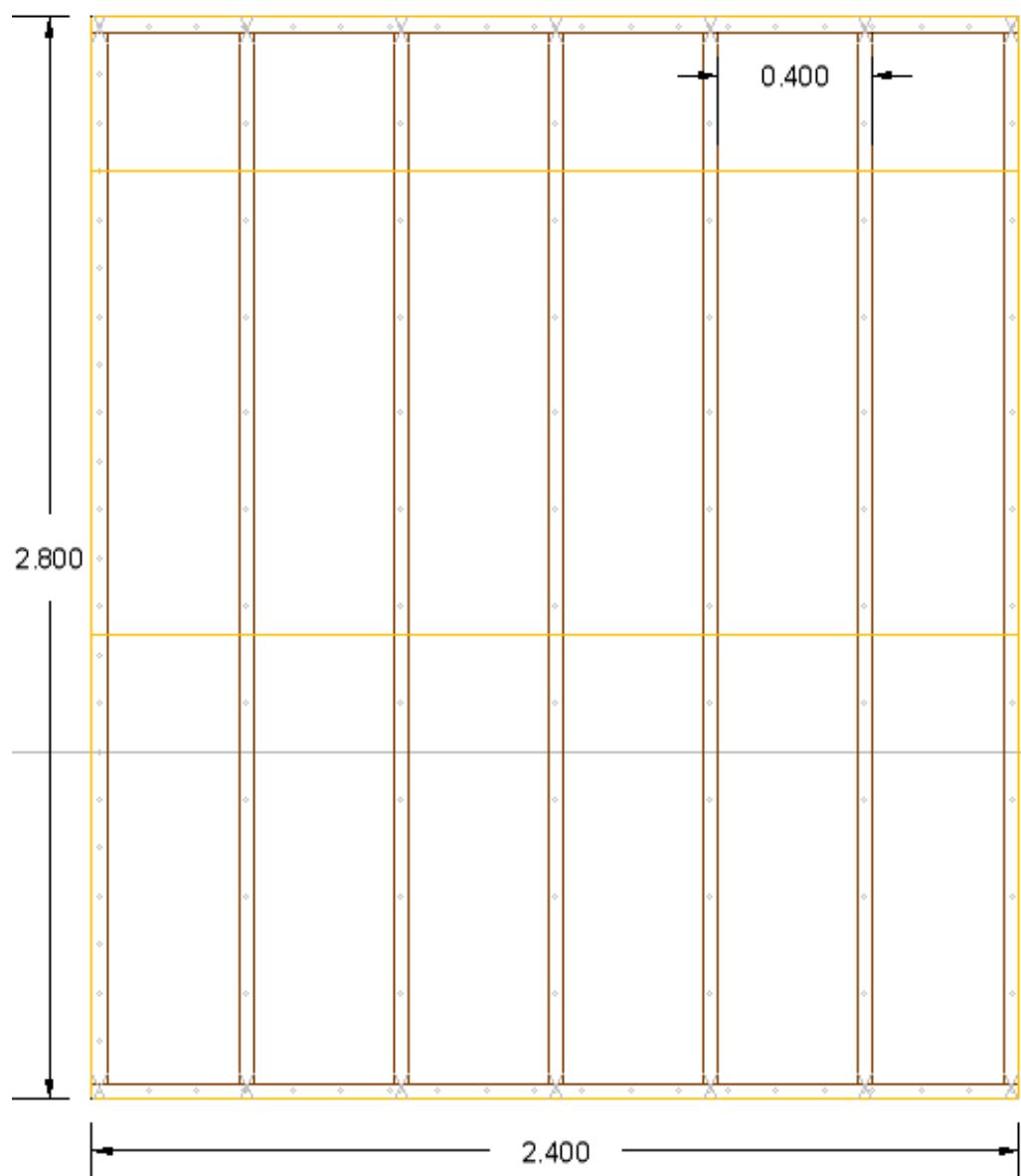


Ilustración 58, Muro estructural M4 2.4 x 2.8

Clavo de 75mm  
Inclinación de 30°

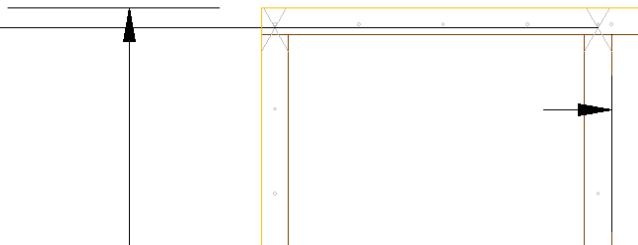


Ilustración 59, Detalle unión pie derecho - larguero

Muros no estructurales

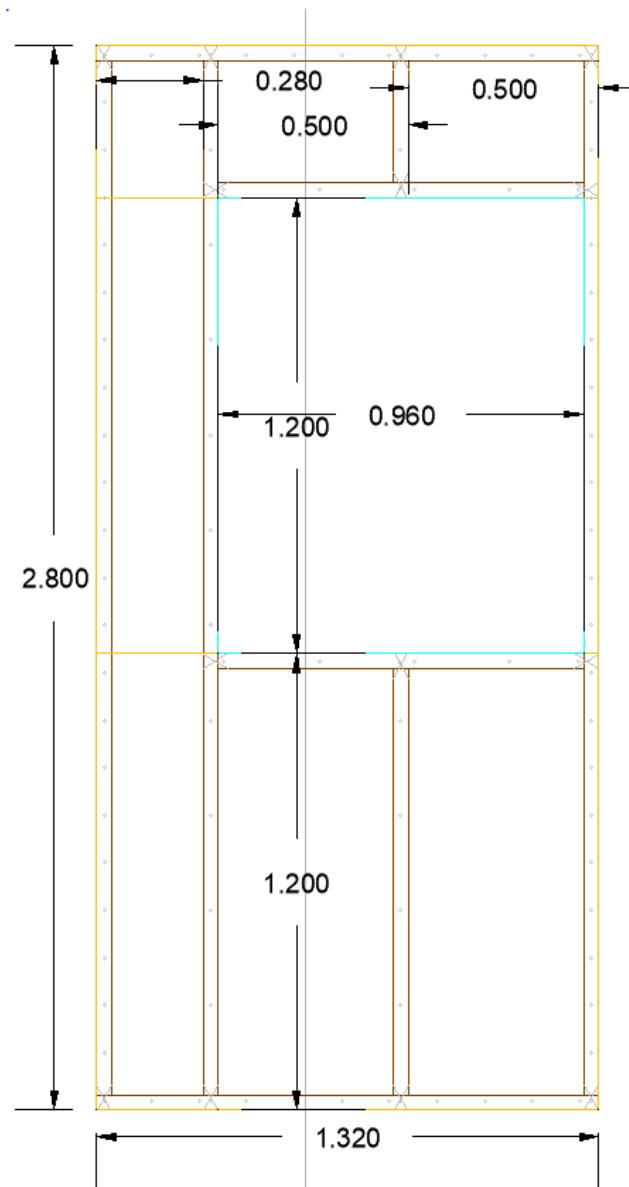


Ilustración 60, Muro no estructural M5 1.32 x 2.8

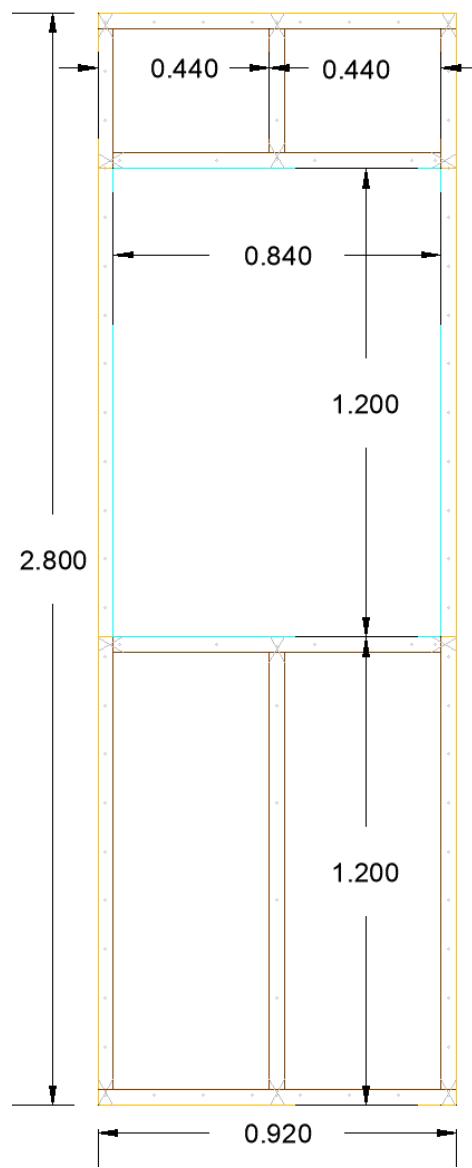


Ilustración 61, Muro no estructural M6 0.92 x 2.8

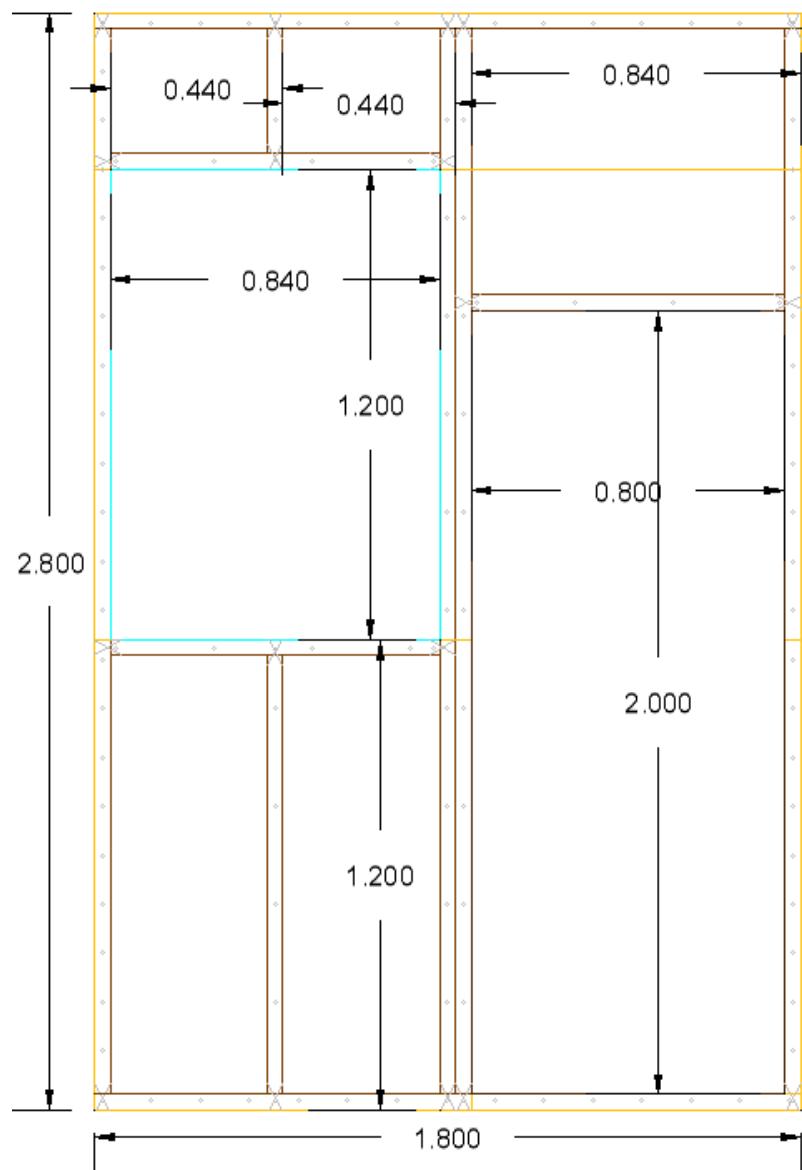


Ilustración 62, Muro no estructural M7 1.8 x 2.8

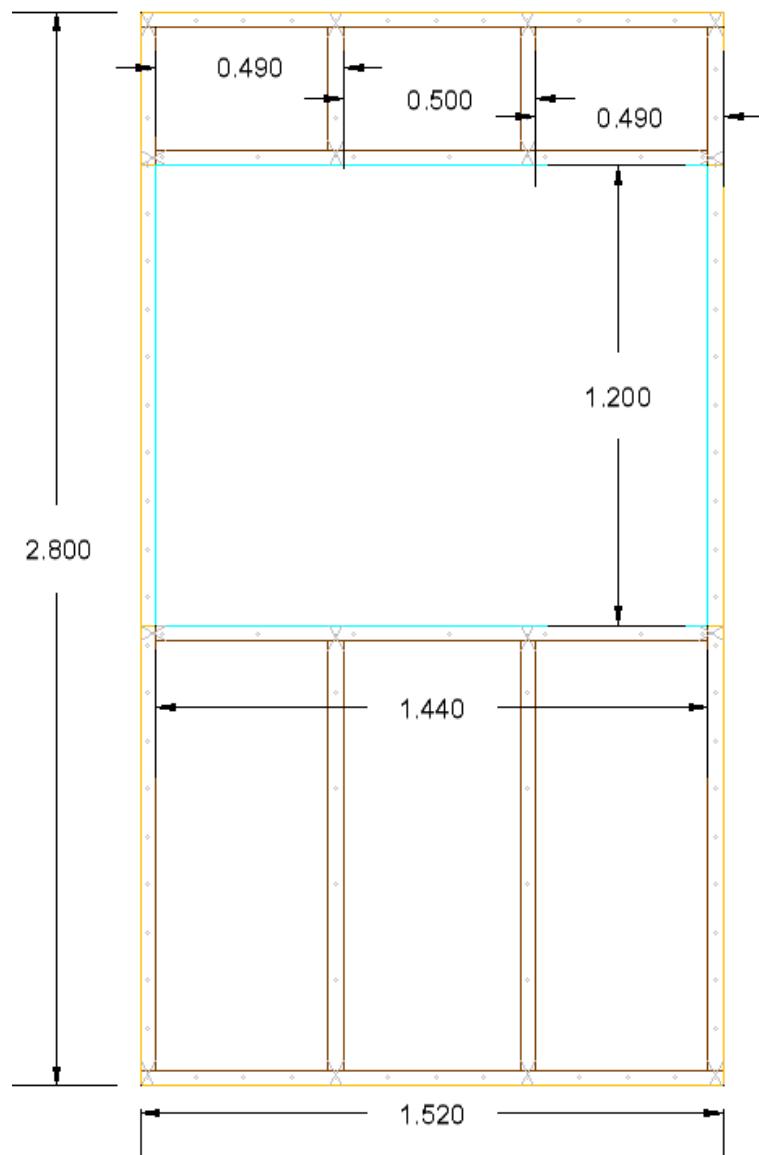


Ilustración 63, Muro no estructural M8 1.52 x 2.8

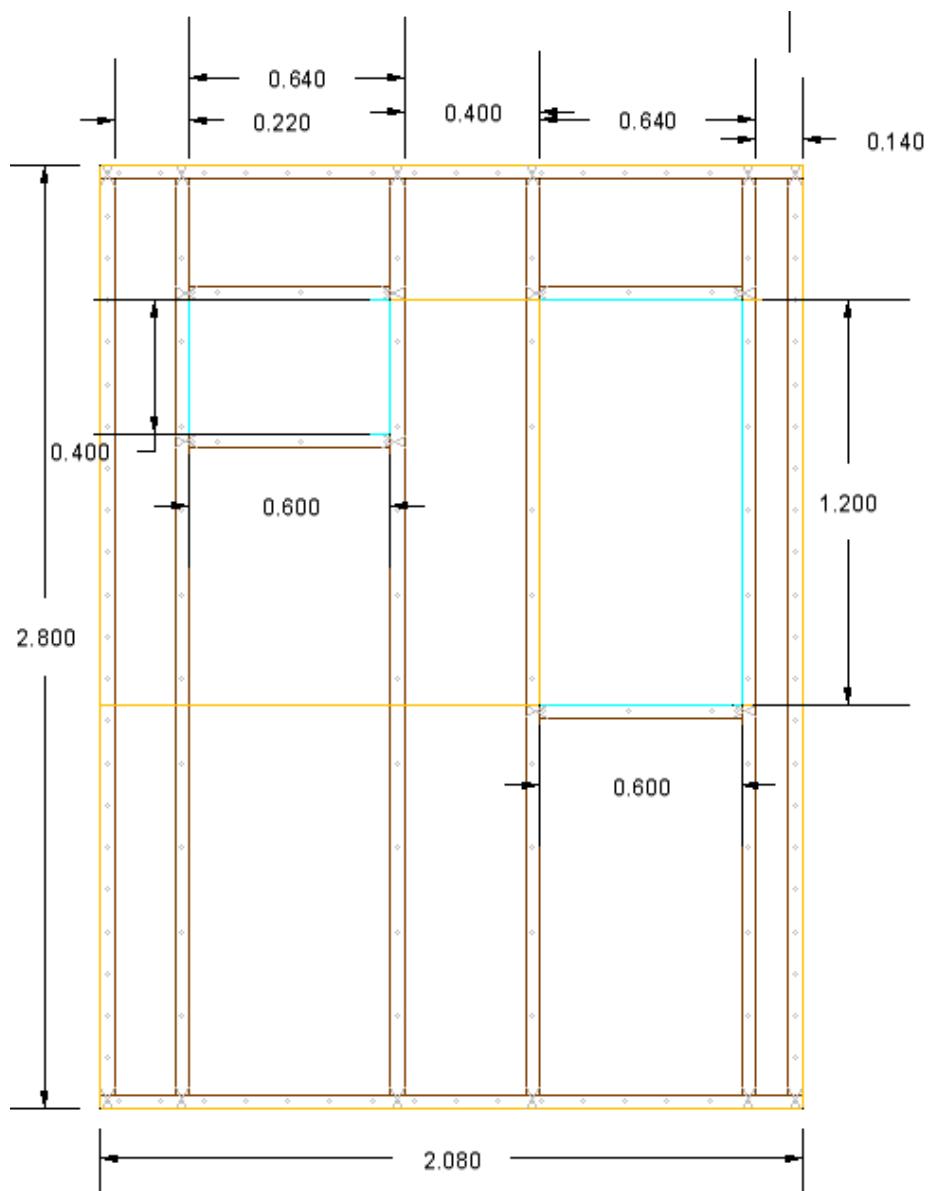


Ilustración 64, Muro no estructural M9 2.08 x 2.8

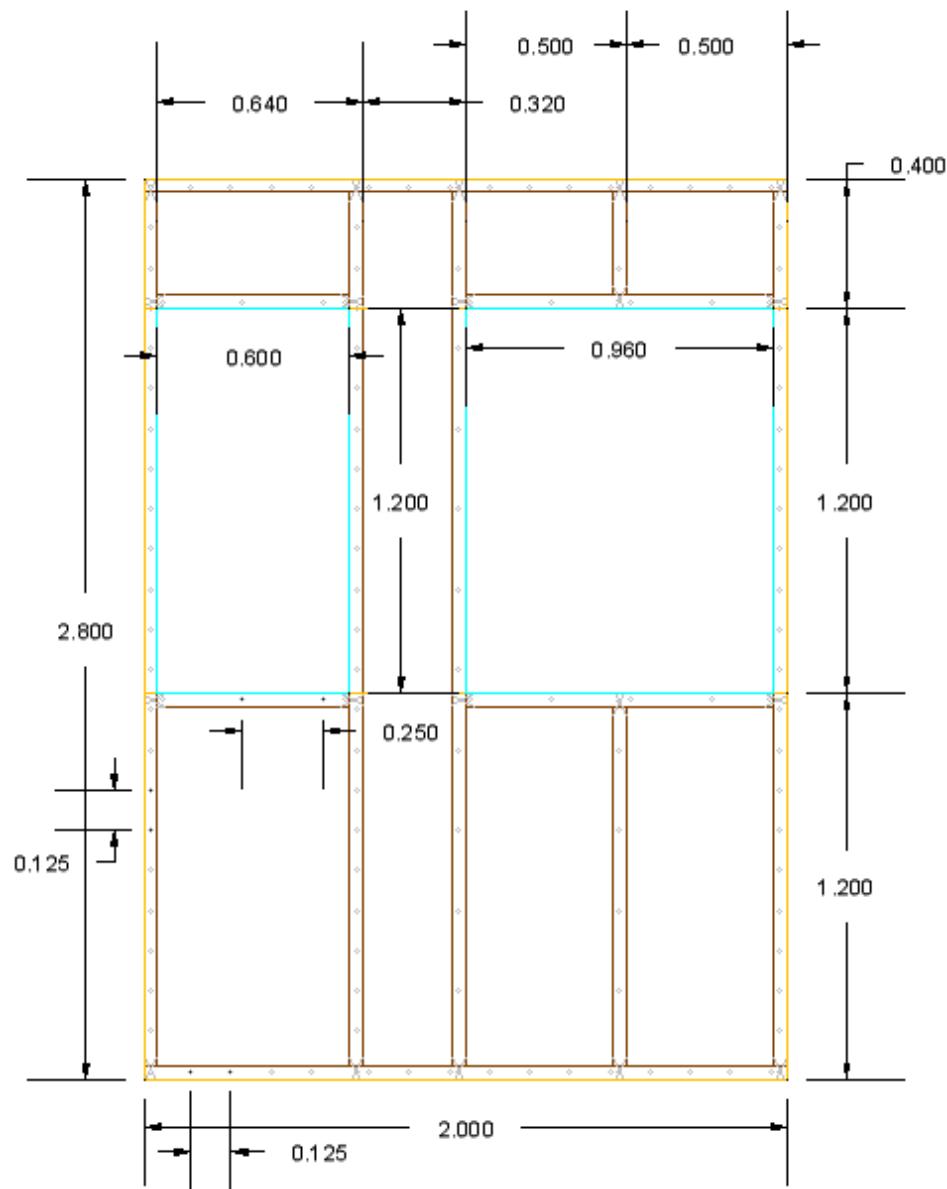


Ilustración 65, Muro no estructural M10 2 x 2.8

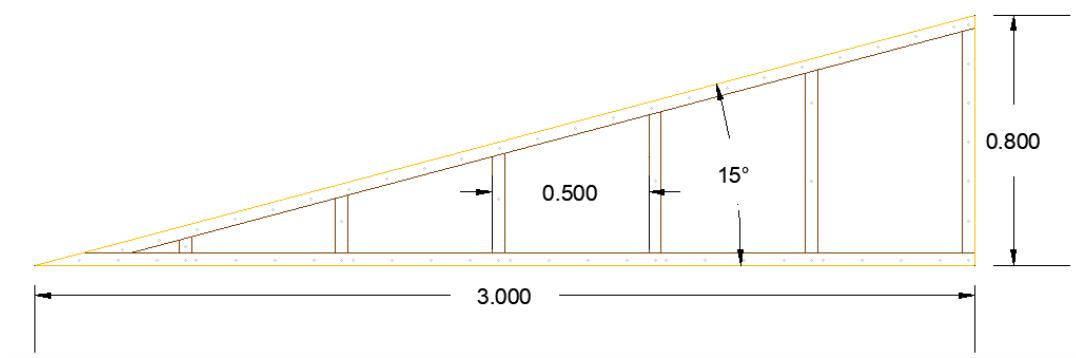


Ilustración 66, Muro cubierta T1

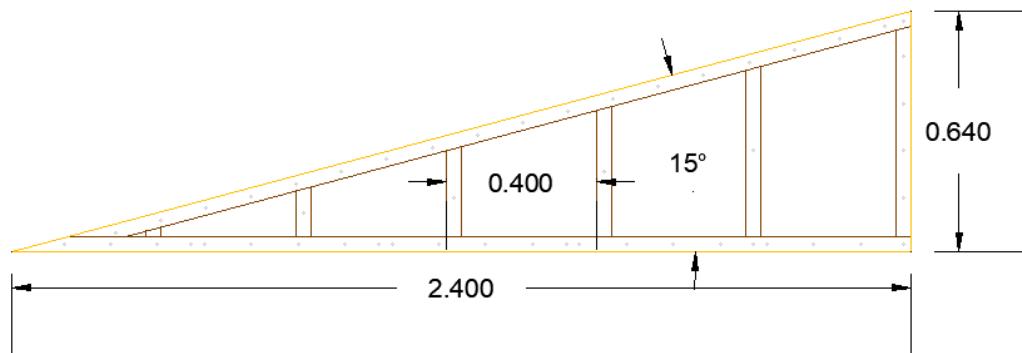


Ilustración 67, Muro cubierta T2

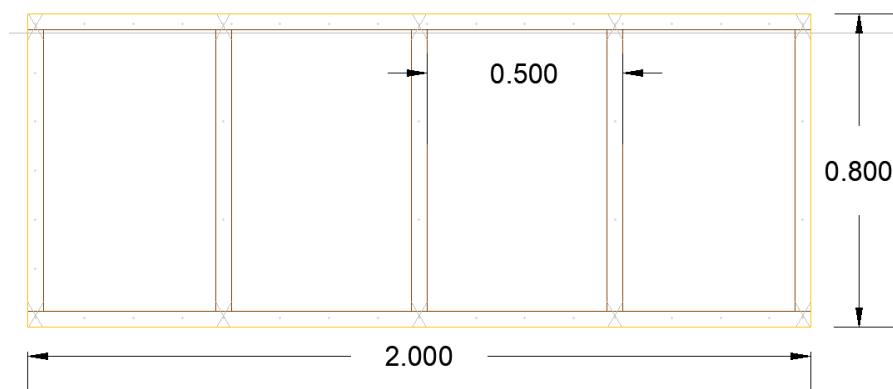


Ilustración 68, Muro cubierta R1

Sin embargo, para el diseño más detallado de los muros de entramado ligero en madera, se realizó la verificación de los pies derechos y el muro en conjunto, los cuales, deben soportar la carga solicitada axialmente por la cubierta de fibrocemento y garantizar la esbeltez del elemento. Para verificación de la carga solicitada axialmente y la esbeltez, se utiliza el método anteriormente explicado en el numeral 1.3.10 de elementos de madera solicitados a compresión. Y la madera de diseño para dichos elementos es la Teca, que según la NSR-10 está dentro del grupo tipo ES6.

- **Pie-derecho**

Para el entramado ligero en madera se tienen muros con pies derechos separados a 0.4 m y otros muros con pies derechos separados a 0.5 m, Tal y como se detalló anteriormente. Se decide trabajar con el más crítico (0.5 m). Además, Según el numeral G.4.3.3 de la NSR-10 la longitud efectiva de los pie-derechos depende del arriostramiento dado por el revestimiento, que en este caso es 0.25 m.

Tabla 76, Resultado calculo longitud efectiva.

<b>l<sub>u</sub> (m)</b>	<b>k<sub>e</sub></b>	<b>l<sub>e</sub> (m)</b>
0,25	1	0,25

Se considera como condición de apoyo de los pie-derechos como “articulado en ambos extremos”.

Tabla 77, Resultado calculo relación de esbeltez pie-derecho.

<b>l<sub>e</sub> (m)</b>	<b>d<sub>1</sub> (m)</b>	<b>d<sub>2</sub> (m)</b>	<b>λ<sub>1</sub></b>	<b>λ<sub>2</sub></b>	<b>λ &lt; 50</b>
0,25	0,04	0,04	6,3	6,25	Cumple

Tabla 78, Coeficientes de modificación pie-derecho.

<b>C<sub>PV</sub></b>	<b>C<sub>KD</sub></b>	<b>C<sub>M</sub></b>	<b>C<sub>T</sub></b>
1	0,95	1	0,8

$$F'i = (Fi)(CD)(Cm)(Ct)(CL)(CF)(Cfu)$$

Donde:

- C<sub>m</sub> = coeficiente de modificación por contenido de humedad.
- C<sub>t</sub> = coeficiente de modificación por temperatura.
- C<sub>pv</sub> = coeficiente de modificación por preservación.
- C<sub>kd</sub> = coeficiente de modificación por desbastamiento o alisadura.

Tabla 79, Resultado esfuerzo admisible de compresión paralelo al grano del pie-derecho.

<b>C<sub>PV</sub>*C<sub>KD</sub>*C<sub>M</sub>*...</b>	<b>F<sub>c</sub> (MPa)</b>	<b>F*c (MPa)</b>
0,76	12,5	9,5

Tabla 80, determinación del coeficiente valorizado, C, el esfuerzo critico FCE y el coeficiente de estabilidad del pie-derecho, Cp.

<b>C</b>	<b>E<sub>min</sub> (MPa)</b>	<b>FCE1 (MPa)</b>	<b>FCE2 (MPa)</b>	<b>Cp</b>
0,8	3564	75,0	300,0	0,99

Tabla 81, Resultado carga admisible Pa del pie-derecho.

Esfuerzo adm. Mod.	Área neta	Carga admisible
F'c (MPa)	An (m <sup>2</sup> )	Pa (kN)
9,4	0,003	<b>30,2</b>

Tabla 82, Carga solicitada por poste vs admisible.

Área Aferente (m <sup>2</sup> )	WL (kN/m <sup>2</sup> )	WD (kN/m <sup>2</sup> )	W (kN/m <sup>2</sup> )	Carga solicitada (kN)	Carga admisible (kN)
1,5	0,35	0,21	0,56	0,8	30,2

- **Muro**, se revisó la esbeltez del muro con secciones menores (M1) (1.5 m x 0.086 m x 2.8 m).

Tabla 83, Resultado calculo longitud efectiva.

l <sub>u</sub> (m)	k <sub>e</sub>	l <sub>e</sub> (m)
2,8	1	2,8

Se considera como condición de apoyo de los pie-derechos como “articulado en ambos extremos”. Debido a que el muro esta unido a la cimentación en su base y está unido a los muros de dirección contraria en la parte superior.

Tabla 84, Resultado calculo relación de esbeltez muro.

d <sub>1</sub> (m)	d <sub>2</sub> (m)	λ <sub>1</sub>	λ <sub>2</sub>	λ < 50

0,086	1,5	32,6	1,9	Cumple
-------	-----	------	-----	--------

### 3.5.3 Piso entramado horizontal en madera

Lo realizado en el pre-dimensionamiento se mantiene igual para el diseño del piso, por lo cual, las viguetas y el entablado machihembrado ya se tiene diseño definitivo. El único elemento faltante por especificar es la viga de longitud igual a 2.75 m y separación entre ejes del mismo elemento de 3 m; la cual transmite las cargas de las viguetas y muros a los palafitos. Esta vigua esta simplemente apoyada por medio de uniones mecánicas a las columnas de los palafitos.

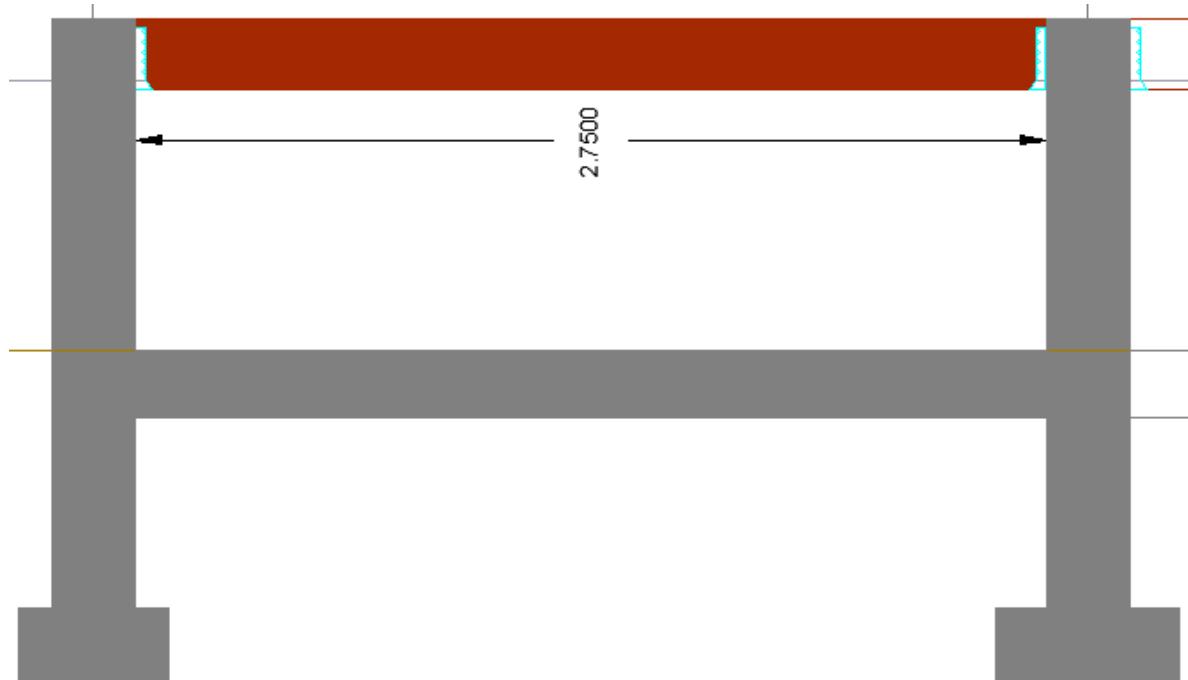


Ilustración 69, Vista lateral viga sistema de piso.

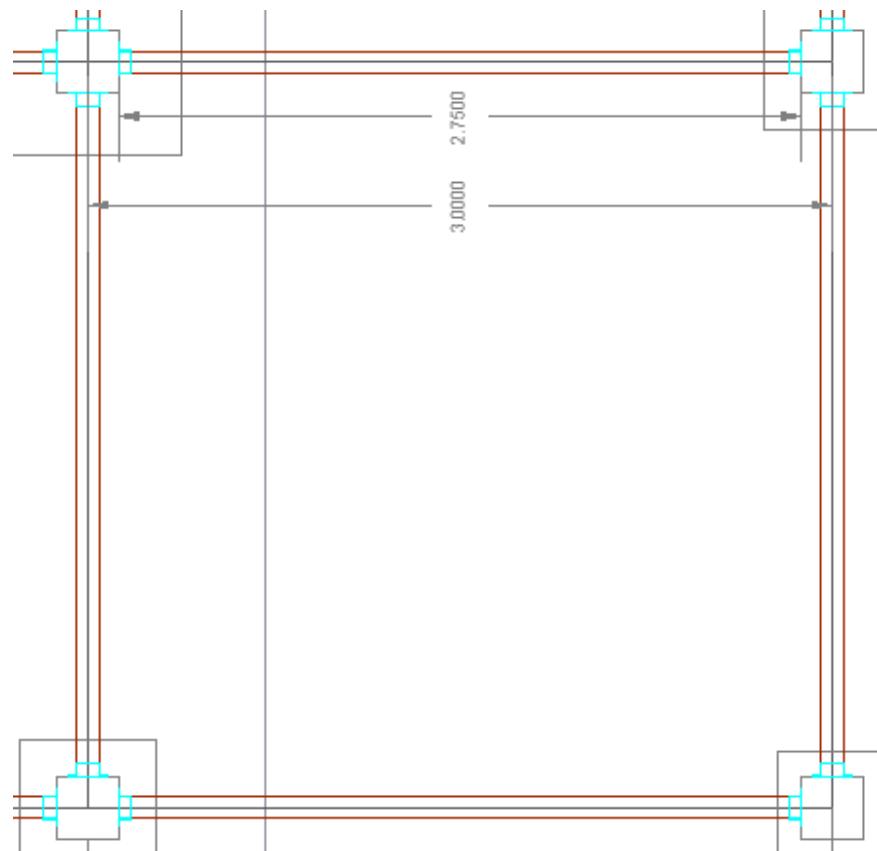


Ilustración 70, Vista planta viga sistema de piso.

Para el diseño de este elemento se supone que esta simplemente apoyado y se usa el método de diseño de deflexiones máximas admisibles, el cual fue explicado en el numeral 1.3.10. Y la madera de diseño para dichos elementos es la Teca, que según la NSR-10 está dentro del grupo tipo ES6.

Tabla 85, Valores de diseño viga.

<b><math>E_{0.5}</math> teca (MPa)</b>	<b><math>\gamma</math> teca (kN/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Luz (m)</b>	<b>Ancho aferente (m)</b>
--	--	----------------	---------------------------

10800	6,9	2,75	3
-------	-----	------	---

Tabla 86, Carga distribuida de diseño a lo largo de la viga.

<b>Cargas Muertas</b>		
W cubierta	0,66	kN/m
W muro	0,59	kN/m
W entablado	0,31	kN/m
W vigueta	0,31	kN/m
W viga	0,12	kN/m
<b>WD</b>	<b>2,00</b>	<b>kN/m</b>
<b>Cargas Vivas</b>		
WL	5,4	kN/m
<b>Combinación (D+L)</b>		
WT	7,40	kN/m

La combinación usada hace referencia a el control de deflexiones inmediata.

Tabla 87, Deflexión admisible, inercia requerida y dimensiones de la viga.

Deflexión admisible (m) (L/360)	Inercia (m <sup>4</sup> )	Altura (m)	Base (m)	Longitud (m)
0,00764	6,6778E-05	0,21	0,09	2,75

La deflexión admisible utilizada es para pisos rigidizados.

A continuación, se presenta el detallado del sistema de piso donde se pueden ver las vigas, viguetas, entablillado y palafitos.

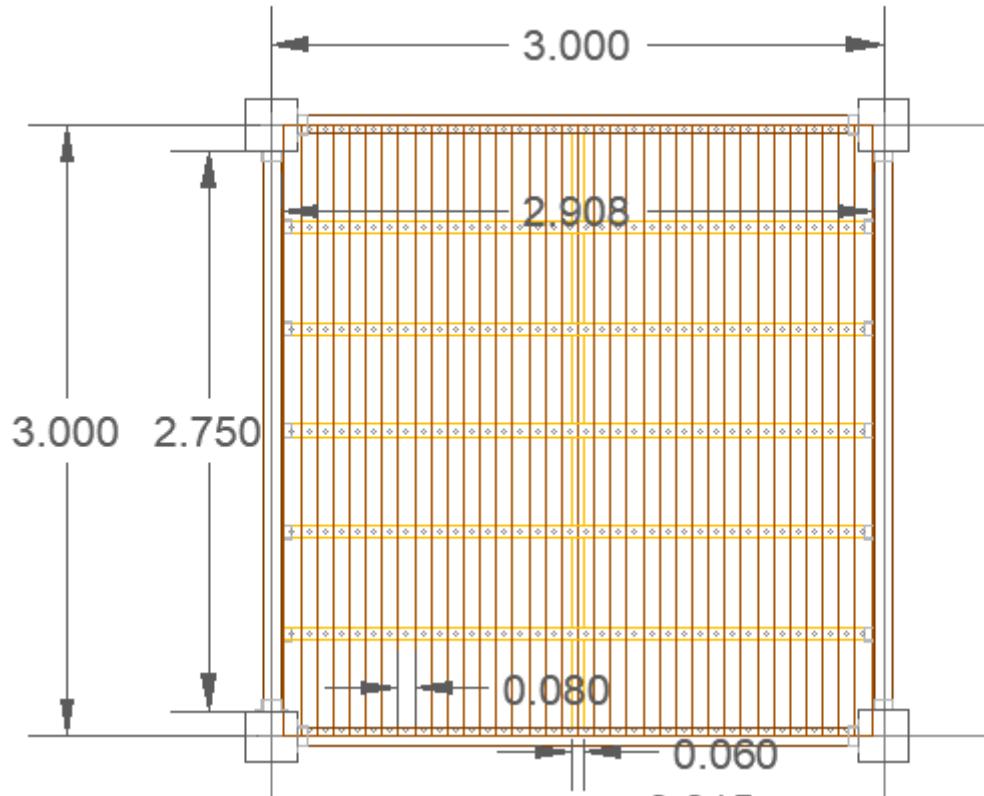


Ilustración 71, Vista en planta piso en madera

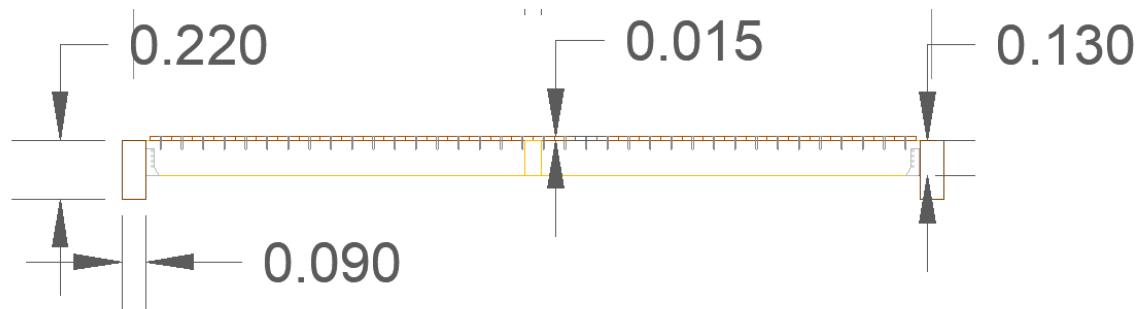


Ilustración 72, Sección transversal sistema de piso

### 3.5.4 Palafitos en concreto reforzado

En el diseño más detallado de los palafitos se determinó el despiece del refuerzo longitudinal de la zapata, columna y viga de amarre, y transversal de la columna y viga de amarre. Además, se revisa la deriva generada por el sismo apoyándose en el software SAP2000. A continuación se ilustra el sistema de cimentación y las consideraciones que se tuvieron en cuenta para el diseño detallado.

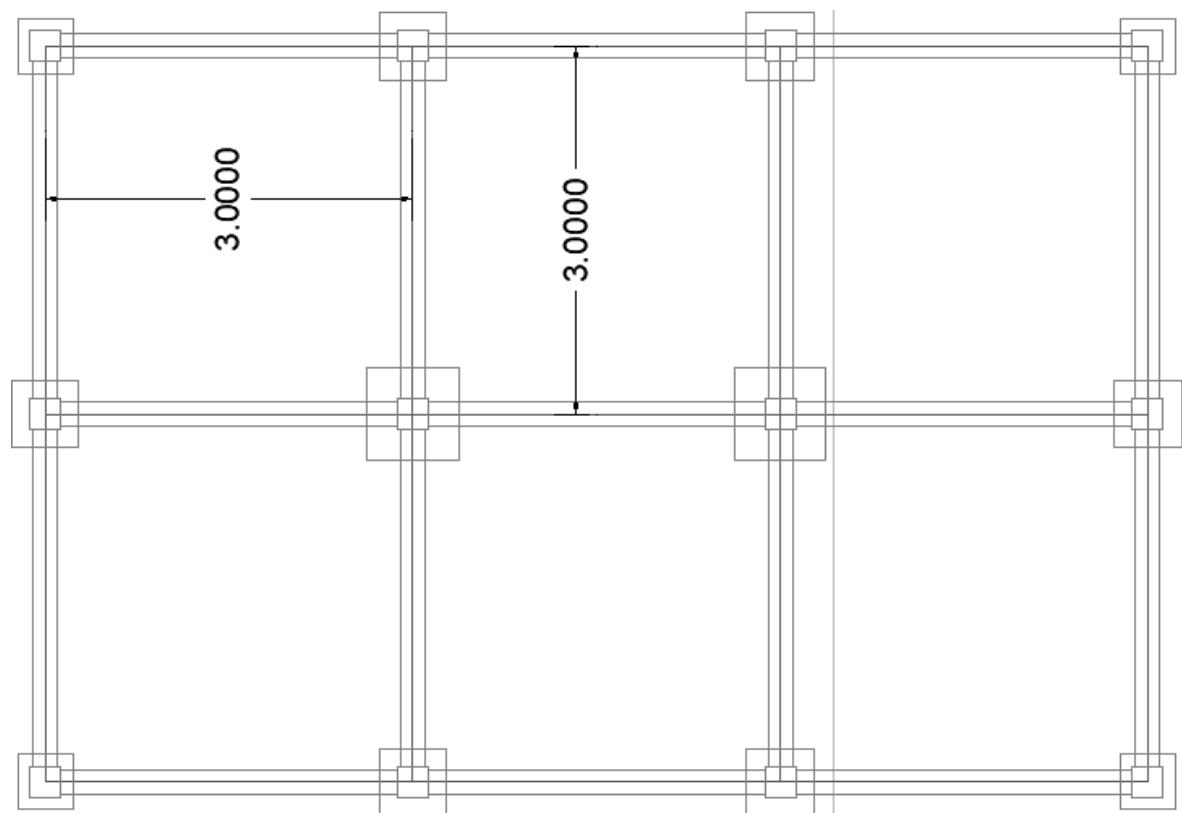


Ilustración 73, Retícula cimentación.

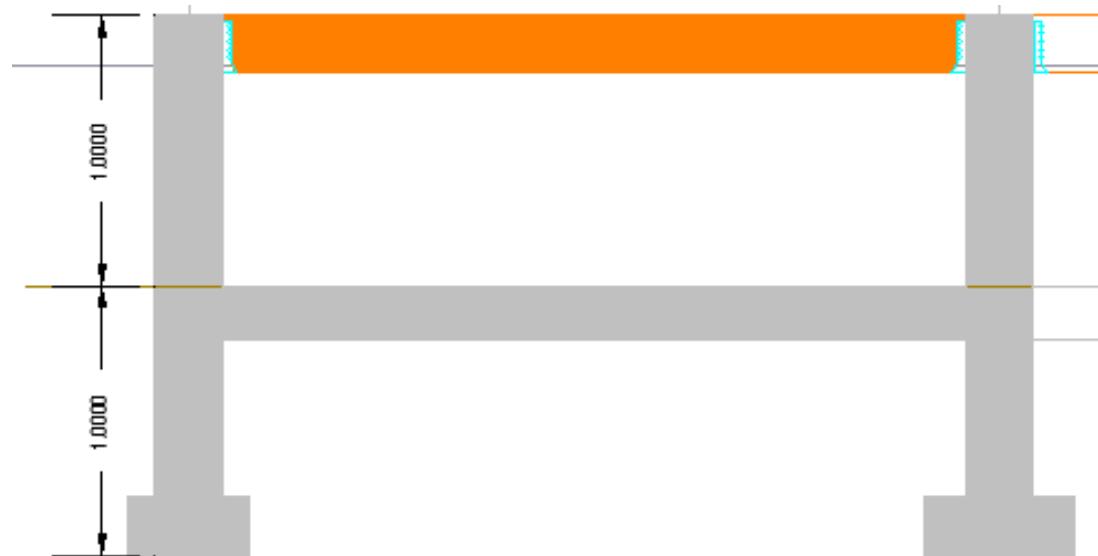


Ilustración 74, Zapata, Palafito, Viga de amarre y sistema de piso.

- Las dimensiones obtenidas en el pre-dimensionamiento se mantienen para este diseño.
- Cada conjunto de zapata y columna están unidos a los otros conjuntos por medio de vigas de amarre en concreto vaciadas in-situ, y se asume que esta viga soporta los momentos generados en la fundación, por lo cual, la zapata trabaja como un “pin”.
- La zapata y la columna unidas tienen una altura de 2 metros, de los cuales, un metro está bajo tierra y el otro metro sobre el terreno.
- $f'_c$  de la zapata, columna y viga de amarre es igual a 21 MPa.
- Se considera una disipación de energía moderada (DMO) para las columnas según la NSR-10.
- Refuerzo necesario para cumplir con las cargas y esfuerzos solicitados para cada tipo de palafito: esquinero, lateral y central. Basado en la NSR-10.
- Cumplimiento con recubrimientos mínimos basado en la NSR-10.
- Verificar derivas y esfuerzos por medio del software SAP2000.

#### **Diseño palafito (columna)**

Para determinar el cortante sísmico en la base ( $V_s$ ); el cual, es equivalente a la totalidad de los efectos iniciales horizontales producidos por los movimientos sísmicos de diseño, en la dirección en estudio; se utilizó el valor de  $S_a$  calculado en el numeral 1.3.9 igual a 0.788 veces la gravedad y la masa total de la edificación es igual a la sumatoria de la masa de la superestructura (entramados ligeros), masa de la cubierta en fibrocemento, masa del sistema de piso en madera y la masa de los palafitos; dicha sumatoria da un resultado igual a 7035 kg. Por lo cual el valor de  $V_s$  para los palafitos es igual a 54.4 kN.

Tabla 88, Resultado fuerza horizontal de diseño para palafitos.

Masa (kg)	Sa	Vs (kN)
7041	0,788	54,3

Dicho valor de Vs se reparte según la masa que soporta cada palafito, por lo cual, las fuerzas que se generan en cada tipo de palafito son las siguientes.

Tabla 89, Vs por tipo de palafito.

Palafito	Cantidad (und)	Carga muerta (kg)	Cantidad x Carga muerta (kg)	Participación Vs	Vs por palafito (kN)
Esquinero	4	446	1785	0,25	3,4
Lateral	6	586	3517	0,50	4,5
Central	2	866	1733	0,25	6,7

Tabla 90, Fuerza cortante y momento solicitado por tipo de palafito.

Palafito	Vu (kN)	Mu (kN-m)
Esquinero	3,4	3,4
Lateral	4,5	4,5
Central	6,7	6,7

Tabla 91, Fuerza axial solicitada por tipo de palafito.

Palafito	Peso propio (kN)	W muerto (kN/m <sup>2</sup> )	W vivo (kN/m <sup>2</sup> )	Área aferente (m <sup>2</sup> )	Pu (kN)
----------	---------------------	----------------------------------	--------------------------------	------------------------------------	---------

<b>Esquinero</b>	3	0,61	1,8	2,25	8,4
<b>Lateral</b>	3	0,61	1,8	4,5	13,8
<b>Central</b>	3	0,61	1,8	9	24,7

Se prosigue el diseño con el siguiente procedimiento.

1. Determinar refuerzo longitudinal. El refuerzo longitudinal de la columna debe estar dentro del rango de cuantía de 1% hasta 4%; para cumplir esto se seleccionan 4 barras número 5 las cuales representan una cuantía de 1.27% con respecto al área transversal de la sección que es igual a  $62500 \text{ mm}^2$  (0.25 metros de lado – sección cuadrada).
2. Determinar la ubicación del refuerzo longitudinal según el recubrimiento necesario, el cual según el numeral C.7.7.1 de la NSR- 10; el concreto colocado contra el suelo y expuesto permanentemente a él, debe tener un recubrimiento de 75 mm como mínimo. A continuación, se ilustra como va distribuido el refuerzo longitudinal.

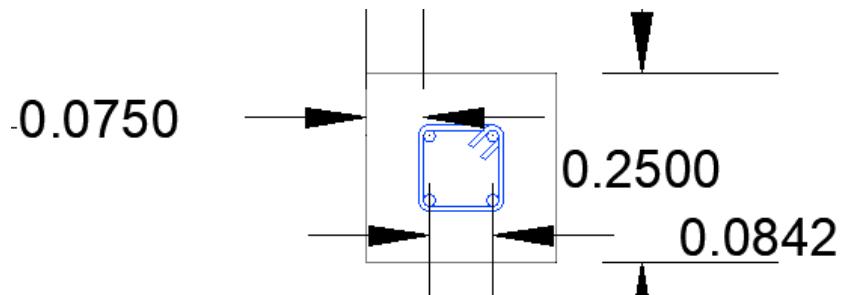


Ilustración 75, Distribución barras longitudinales número 5.

3. Revisar diagrama de iteración de la columna con el refuerzo, recubrimiento, sección y concreto especificado anteriormente. Para garantizar que los valores de  $P_u$  y  $M_u$  de cada columna estén dentro de dicho diagrama.

Tabla 92, Fuerza axial y momento solicitado.

$P_u$ [kN]	$M_u$ [kN*m]
8,4	3,4
13,8	4,5
24,7	6,7

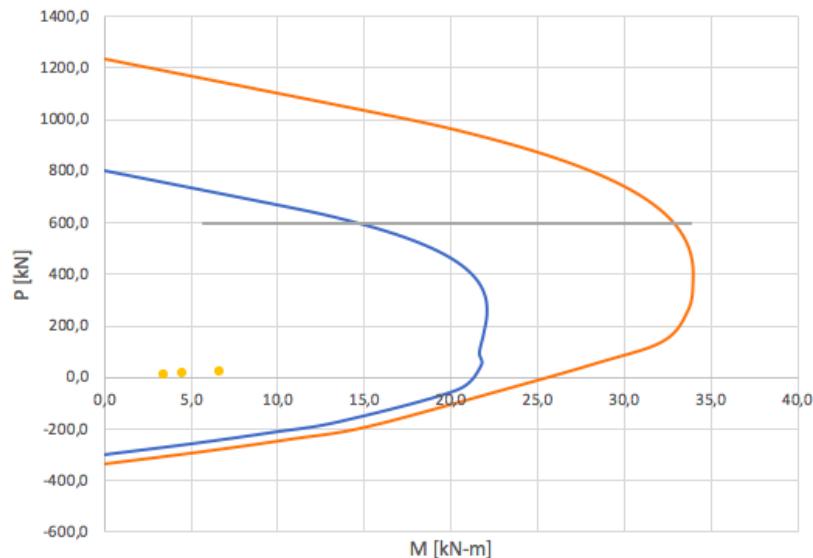


Ilustración 76, Diagrama de iteración.

4. Determinar el refuerzo transversal de la columna. El valor de cortante máximo para las columnas es igual a 6.7 kN que es igual a  $V_u$ ; con un  $f_i$  de 0.75 el valor de  $V_n$  es igual a 8.93 kN, el cual, es menor que el valor del cortante que resiste el concreto de la columna,  $V_c = 34.08$  kN, el cual se calculó con la siguiente formula.

$$Vc = 0.17 * b * d * \sqrt{f'c}$$

Por lo anterior, el refuerzo transversal es igual al mínimo estipulado por la norma, siendo estos ganchos cuadrados de barra número dos, espaciados a  $d/2$  (87 mm), exceptuando en las zonas de confinamiento para una disipación de energía moderada (DMO). Este debe cumplir con los siguientes requerimientos.

El numeral C.21.3.5.6 de la NSR-10 estipula que en ambos extremos del elemento debe proporcionarse estribos cerrados de confinamiento con un espaciamiento de  $s_0$  por una longitud  $l_0$ , medida desde la cara del nudo.

El espaciamiento  $s_0$  no debe exceder el menor de (a), (b), (c) y (d):

- a. Ocho veces el diámetro de la barra longitudinal confinada de menor diámetro.
- b. 16 veces el diámetro de la barra del estribo cerrado de confinamiento.
- c. Un tercio de la menor dimensión de la sección transversal de la columna.
- d. 150 mm.

La longitud  $l_0$ , no debe ser menor que la mayor entre (e), (f) y (g):

- e. Una sexta parte de la luz libre de la columna.
- f. La mayor dimensión de la sección transversal de la columna.
- g. 500 mm.

A continuación, se muestran los resultados.

Tabla 93, Datos de diseño.

<b>Datos de diseño</b>				
<b>b (mm)</b>	<b>h (mm)</b>	<b>D longitudinal (mm)</b>	<b>D transversal (mm)</b>	<b>Luz libre (m)</b>
250	250	15,875	6,35	1

Tabla 94, Espaciamiento entre ganchos.

<b>Espaciamiento entre ganchos</b>		
A	127 mm	mm
B	101,6 mm	mm
C	83 mm	mm
D	150 mm	mm
<b>So</b>	<b>83 mm</b>	<b>mm</b>

Tabla 95, Longitud confinamiento.

<b>Longitud de confinamiento</b>		
E	0,17	m
F	0,25	m
G	0,5	m
<b>Lo</b>	<b>0,50</b>	<b>m</b>

Se decide usar la separación entre barras de confinamiento para la longitud total de la columna, ya que, la diferencia entre el espaciamiento mínimo (87mm) y el espaciamiento de confinamiento (83 mm), no es considerable. A continuación se presenta el despiece de cada tipo de palafito.

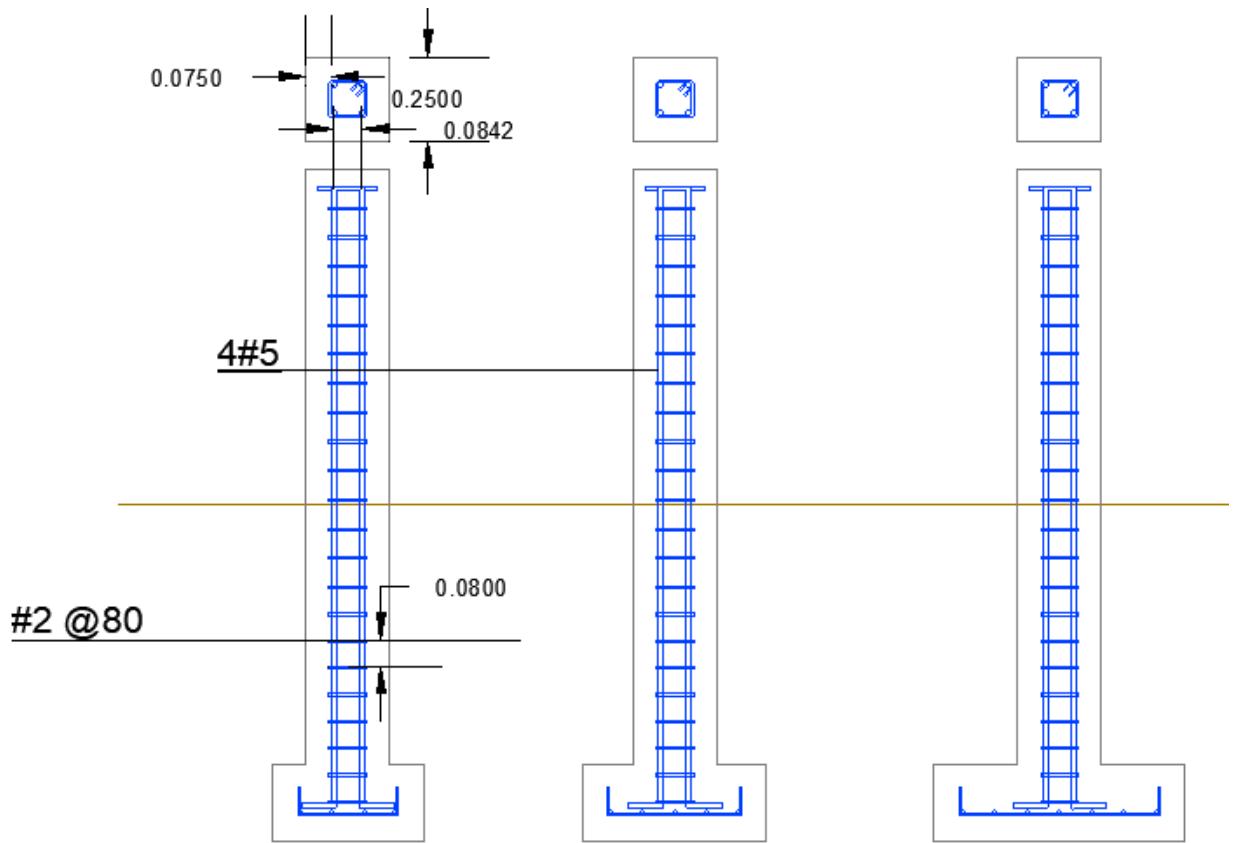


Ilustración 77, Despiece palafitos (Esquinero, Lateral y Central).

### Diseño zapata

Las dimensiones de los tres tipos de zapata (esquinera, lateral y central) permanecen igual al pre-dimensionamiento realizado anteriormente.

1. Determinar capacidad a flexión. A continuación, se ilustra la sección critica a flexión.

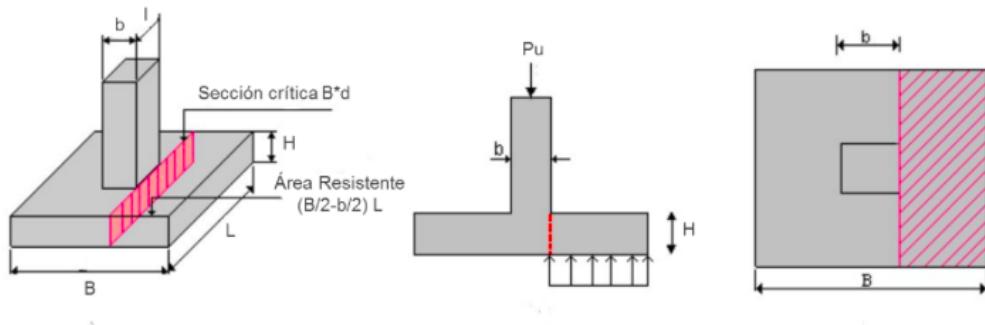


Ilustración 78, Esfuerzo a flexión en zapata (Garza, 2012).

Las ecuaciones para determinar el momento último de diseño son las siguientes.

$$Mu(x) = \frac{Pu}{8 * B} * (B - b)^2$$

$$Mu(y) = \frac{Pu}{8 * L} * (L - l)^2$$

Los resultados obtenidos son los siguientes.

Tabla 96, Momento último de diseño Zapata.

Zapata – Momento último de diseño							
Palafito	B (m)	L (m)	b (m)	I (m)	Pu (kN)	Mu (x) (kN.m)	Mu (y) (kN.m)
Central	0,75	0,75	0,25	0,25	24,69	<b>1,02</b>	<b>1,02</b>
Lateral	0,56	0,56	0,25	0,25	13,85	<b>0,29</b>	<b>0,29</b>
Esquinero	0,43	0,43	0,25	0,25	8,42	<b>0,08</b>	<b>0,08</b>

Teniendo en cuenta el numeral C.7.12.2.1 (b) de la NSR-10 restringe la cuantía mínima para el refuerzo por retracción en estos elementos en 0.18%. Con dicho valor de cuantía se revisó que el momento resistente sea mayor al momento demandante. El recubrimiento utilizado es igual a 75mm por estar el concreto en contacto directo con el suelo.

Tabla 97, Datos de diseño de zapata.

Palafito	B (m)	L (m)	H (m)	r (m)	f <sub>y</sub> (MPa)	f' <sub>c</sub> (MPa)	$\varepsilon_c$	Beta	d (m)	$\varepsilon_y$ (f <sub>y</sub> /E <sub>s</sub> )
Central	0,75	0,75	0,225	0,075	420	21	0,003	0,85	0,15	0,0021
Lateral	0,56	0,56	0,225	0,075	420	21	0,003	0,85	0,15	0,0021
Esquinero	0,43	0,43	0,225	0,075	420	21	0,003	0,85	0,15	0,0021

Tabla 98, Resultado diseño de zapata.

Palafito	Cuantía (p%)	A <sub>s</sub> (mm <sup>2</sup> )	a (mm)	c (mm)	T (N)	C	M <sub>n</sub> (kN.m)	E <sub>s</sub>	F <sub>i</sub> (Ø)	M <sub>u</sub> (kN.m)
Central	0,18%	201,55	6,35	7,47	84651,62	84651,62	12,43	0,06	0,90	11,19
Lateral	0,18%	150,12	6,35	7,47	63048,84	63048,84	9,26	0,06	0,90	8,33
Esquinero	0,18%	116,15	6,35	7,47	48783,04	48783,04	7,16	0,06	0,90	6,45

El M<sub>u</sub> resistente de cada tipo de zapata es mayor al M<sub>u</sub> solicitado; por lo cual, cumple dicho refuerzo y sección.

2. Determinar refuerzo longitudinal. La distribución de refuerzo longitudinal en cada dirección ("x" y "y") para cada zapata se muestra a continuación.

Tabla 99, Refuerzo de cada zapata.

Zapata	Barra	Cantidad	A <sub>s</sub> (mm <sup>2</sup> )	Separación barras (m)
Central	N2	7	224	0,078

Lateral	N2	5	160	0,092
Esquinero	N2	4	128	0,09

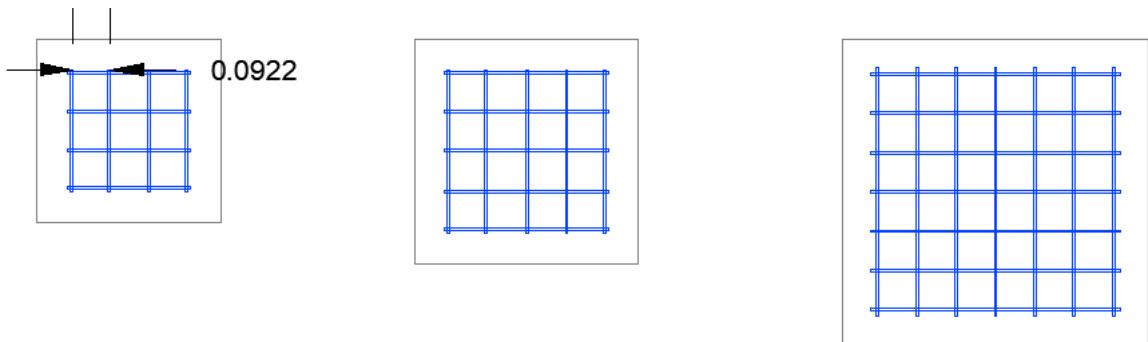


Ilustración 79, Despiece Zapatas.

3. Determinar capacidad a cortante unidireccional necesaria. A continuación, se ilustra la sección crítica a cortante.

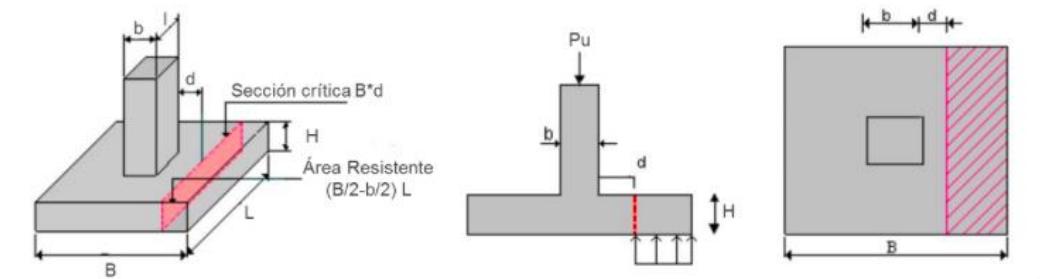


Ilustración 80, Esfuerzo a flexión en zapata (Garza, 2012).

Las ecuaciones para determinar el cortante último de diseño son las siguientes.

$$Vu(x) = \frac{P_u}{B} * \left( \frac{B}{2} - \frac{b}{2} - d \right)$$

$$Vu(y) = \frac{Pu}{L} * \left( \frac{L}{2} - \frac{l}{2} - d \right)$$

Los resultados obtenidos son los siguientes. Se debe tener en cuenta que para la zapata lateral y esquinera se tomó el valor de cortante a cara de columna, ya que, el valor daba negativo si se tomaba a una distancia “d” de la cara de columna por las dimensiones de dichas zapatillas.

Tabla 100, Datos de diseño de zapata.

Zapata	B (m)	L (m)	b (m)	l (m)	d (m)	Pu (kN)	Vu (x) (kN)	Vu (y) (kN)
<b>Central</b>	0,75	0,75	0,25	0,25	0,15	24,69	3,25	3,25
<b>Lateral</b>	0,56	0,56	0,25	0,25	0,15	13,85	3,81	3,81
<b>Esquinero</b>	0,43	0,43	0,25	0,25	0,15	8,42	1,76	1,76

Con un  $\varphi$  de 0.75, se calcula el valor de cortante nominal de diseño,  $V_n$ , y para cada zapata se calcula el cortante que soporta el concreto,  $V_c$ , el cual es mayor que el  $V_n$  de diseño para todos los casos. A continuación, se presentan los resultados.

Tabla 101, Resultado cortante zapata.

Palafito	F <sub>i</sub> (Ø)	V <sub>n</sub> (kN)	V <sub>c</sub> (kN)
<b>Central</b>	0,75	4,33	87,6
<b>Lateral</b>	0,75	5,08	64,27
<b>Esquinero</b>	0,75	2,35	52,58

Se finaliza el diseño de la zapata verificando punzonamiento con la siguiente formula.

$$V_{up} = qu * (B * L - (b + d) * (l + d))$$

Tabla 102, Verificación punzonamiento zapatas.

Palafito	$q$ (kN/m <sup>2</sup> )	$B = L(m)$	$b = l (m)$	$d (m)$	$V_{up}$ (kN)	$V_n$ (kN)
<b>Esquinero</b>	0,51	0,45	0,25	0,15	0,022	0,029
<b>Lateral</b>	0,51	0,55	0,25	0,15	0,073	0,097
<b>Central</b>	0,51	0,75	0,25	0,15	0,205	0,274

### Diseño viga de amarre

Fueron calculadas siguiendo el capítulo E.2 – Cimentaciones, del título E de la NSR- 10. Debe conformarse un sistema de vigas reticular, que asegure el amarre de los palafitos y sirva para controlar asentamientos diferenciales (Estas no pueden ser discontinuas). Basándose en la planta arquitectónica se planteó una viga de amarre de 6m x 9m, con una retícula de vigas cada 3 metros en ambos sentidos. Para dar rigidez a rotación y mejorar la estabilidad general y cumplir con las dimensiones exigidas en la NSR-10, donde no pueden superarse los 4m sin incluir vigas intermedias.

Tabla 103, retícula de VF.

	ejes	ml	Total
X	4	6	24.0
Y	3	9	27.0
			<b>51.0</b>

Se definió una viga con sección de 200 mm de alto y 200 mm de ancho, con un refuerzo de acero longitudinal de 4 barras #3 (2 arriba y 2 abajo) y estribos longitudinales #2@75mm siguiendo las recomendaciones de la tabla E.2.2-1, cumpliendo con las respectivas resistencias del acero y el concreto de 420 y 17 MPa.

Tabla 104, Dimensiones y valores mínimos para cimentaciones E.2.2-1 NSR-10.

	Sistema Estructural	Un piso	Dos Pisos	Resistencia Mínima, MP <sub>a</sub>
Anchura	Mampostería	250 mm	300 mm	$f_c$
	Bahareque	200 mm	250 mm	
Altura	Mampostería	200 mm	300 mm	$f_y$
	Bahareque	150 mm	200 mm	
Acero Longitudinal Estriplos		4 No. 3 (ó 10M) No. 2 a 200 mm	4 No. 4 (ó 12M) No. 2 a 200 mm	420
				240
Acero para anclaje de muros	Mampostería	No. 3	No. 3	412
	Bahareque	No. 3	No. 4	

Tabla 105, Sección de VF.

Sección viga de fundación		
ancho	200	mm
alto	200	mm
acero longitudinal	4	#3
estribos	@75	#2

Tabla 106, Refuerzo longitudinal y transversal.

Acero longitudinal			
ml	Cantidad/ un	#3 m	w kg
51.0	4	204	114.4

Estribos			
ml	Cantidad/ un	#2 m	w kg
0.58	255	147.9	36.9

Se revisaron los esfuerzos solicitados a la viga de amarre debido al sismo de diseño por medio del software SAP2000. Se utilizó el cortante sísmico en la base (Vs) calculado en la columna del palafito, el cual, tiene en cuenta la masa de toda la edificación y el peso propio de dichas columnas. A

continuación se presentan los valores máximos de esfuerzo cortante y momento obtenidos por el software con, el cual, se revisa que sea menor a los esfuerzos de cortante y momentos resistentes por la sección ya establecida.

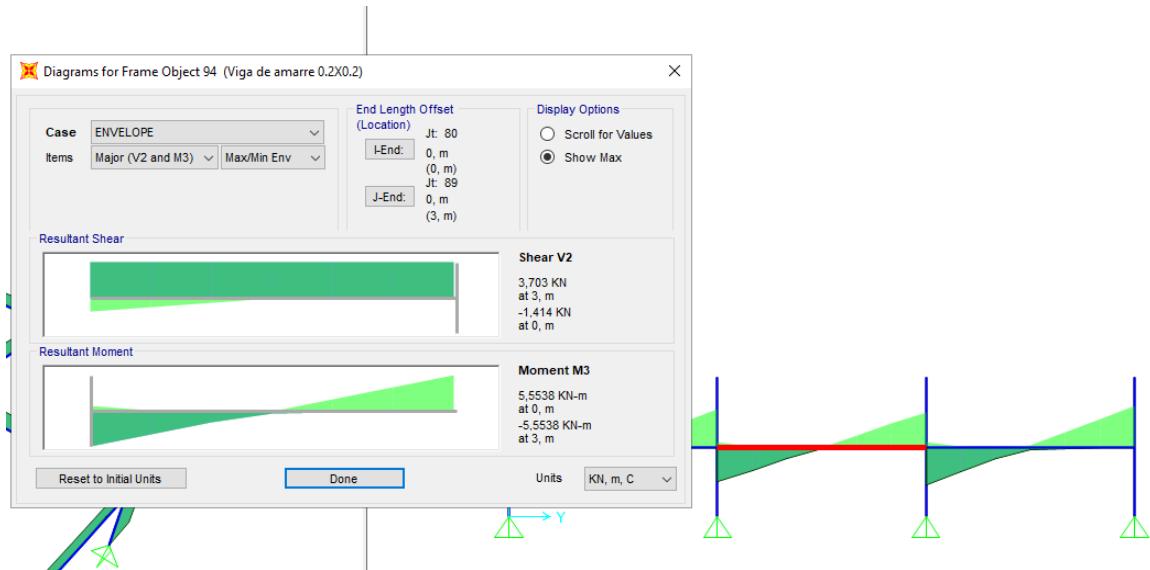


Ilustración 81, Fuerza cortante y momento de viga de amarre SAP2000.

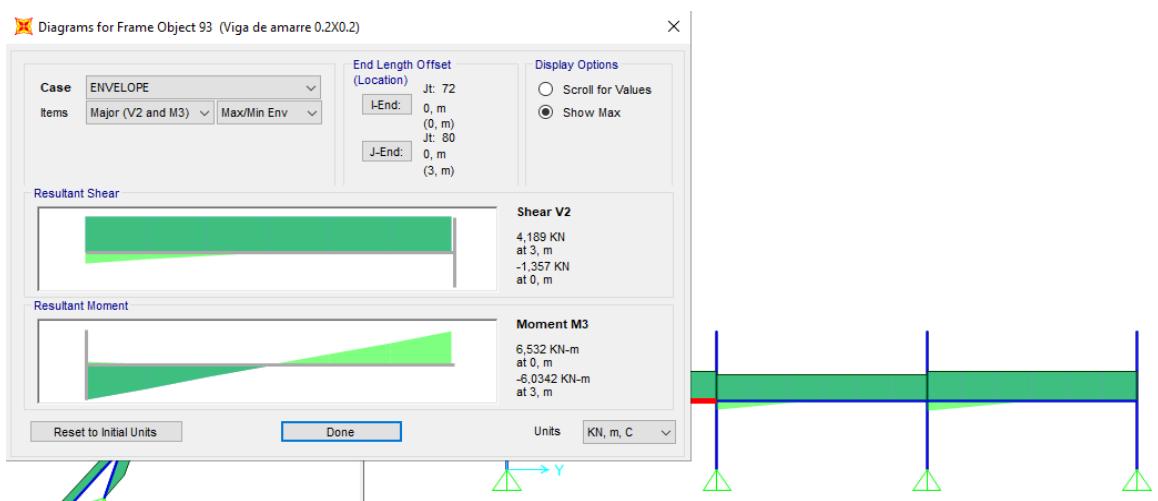


Ilustración 82, Fuerza cortante y momento de viga de amarre SAP2000.

Tabla 107, Fuerzas solicitadas viga de amarre.

Viga de amarre	
V <sub>u</sub> (kN)	M <sub>u</sub> (kN-m)
4,19	6,53

El momento último resistente por la viga de amarre de sección 0.2 m por 0.2 m, con cuatro barras numero 3 distribuidas en las esquinas y un recubrimiento de 0.05 m; es igual a 11.5 kN-m (M<sub>u</sub>) siendo este mayor que el solicitado.

El cortante nominal solicitado es igual a 5.59 kN ( $f_i = 0.75$ ). Mientras que el cortante nominal resistente de dicha sección con el refuerzo transversal mínimo (2#2@75); es igual a 77,1 kN ( $V_c = 23.37$  kN y  $V_s = 53.8$  kN), siendo este mayor que el solicitado.

#### Despiece viga de amarre

A continuación, se presenta el despiece de la viga de amarre.

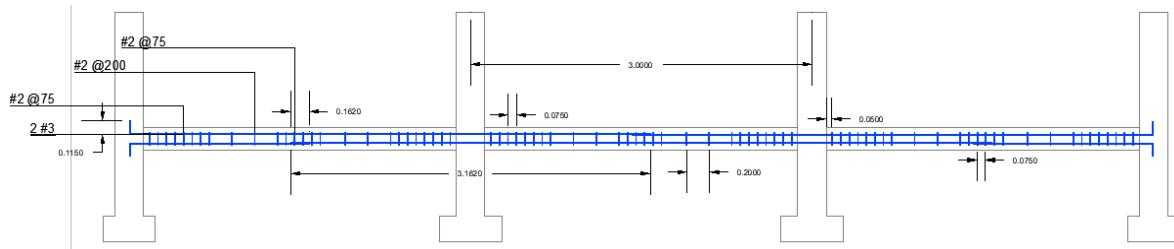


Ilustración 83, despiece de vigas de amarre.

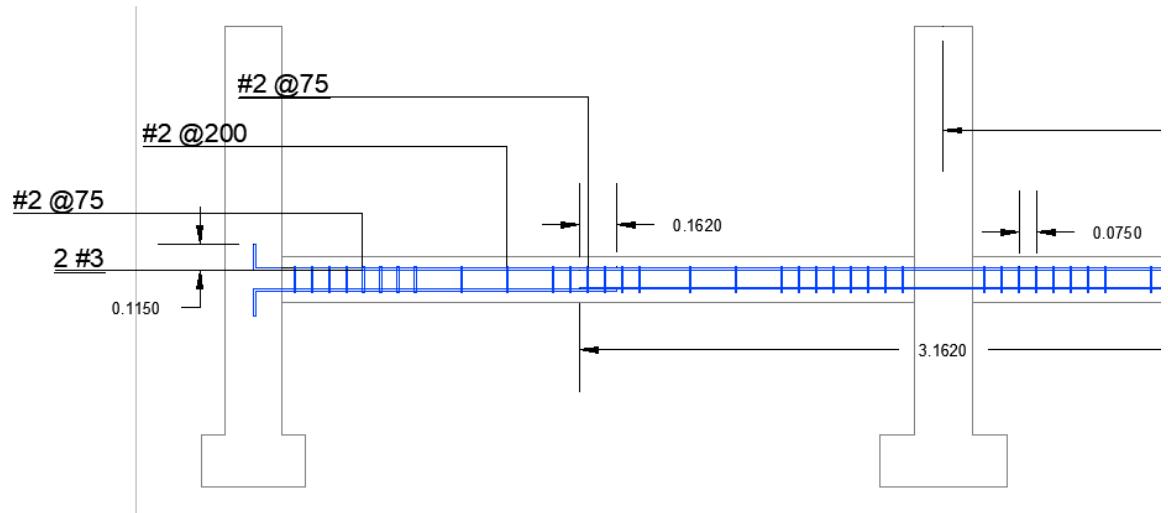


Ilustración 84, despiece de vigas de amarre.

### Derivas

Se revisaron las derivas por medio del método de fuerza horizontal equivalente, el cual, utiliza el cortante sísmico en la base ( $V_s$ ) sin coeficiente de reducción. A continuación se ilustra como se aplicaron las fuerzas horizontales y el resultado de las derivas.

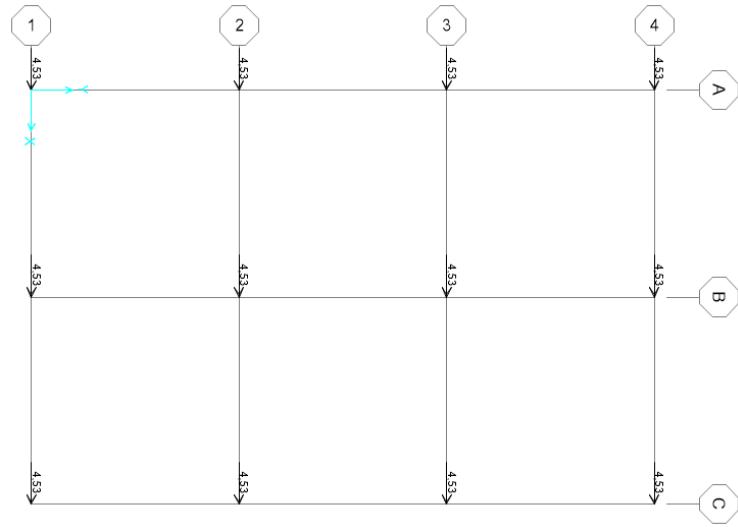


Ilustración 85, Fuerza horizontal equivalente aplicada en la parte superior del palafito en dirección X.

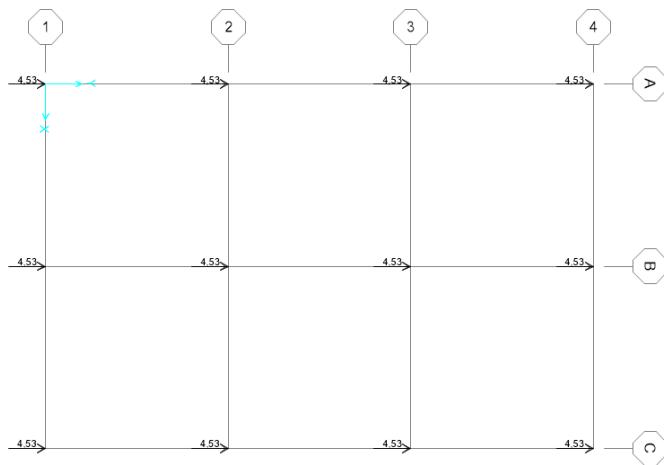


Ilustración 86, Fuerza horizontal equivalente aplicada en la parte superior del palafito en dirección Y.

Tabla 108, Deriva palafitos en X.

Deriva en "X"			
Nivel	Altura entre pisos(m)	Ux (m)	Deriva
Viga de amarre	1	0,0015	0,15%
Fin columna	1	0,0016	0,16%

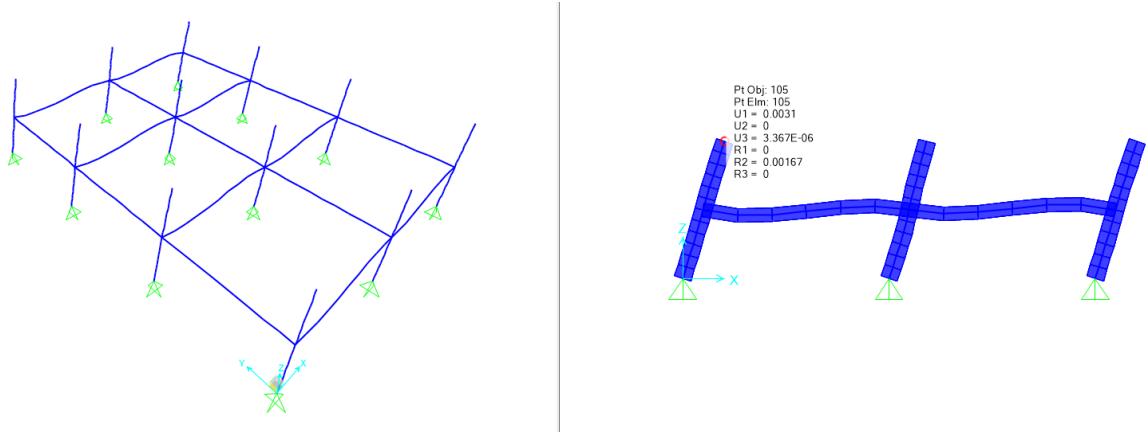


Ilustración 87, Valor de desplazamiento en la parte superior de palafito en dirección X.

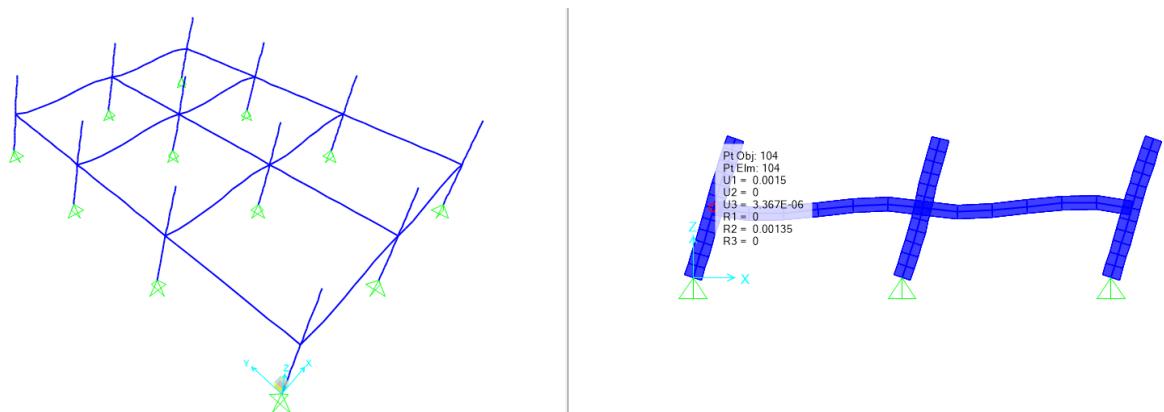


Ilustración 88, Valor de desplazamiento en el nodo palafito-viga de amarre en dirección X.

Tabla 109, Deriva palafitos en Y.

Deriva en "Y"			
Nivel	Altura entre pisos(m)	Ux (m)	Deriva
Viga de amarre	1	0,0013	0,13%
Fin columna	1	0,0015	0,15%

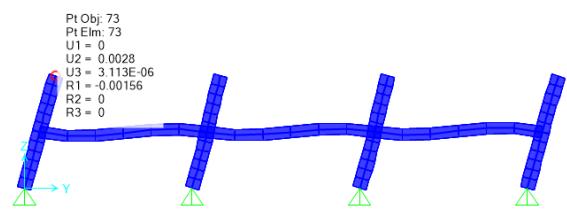
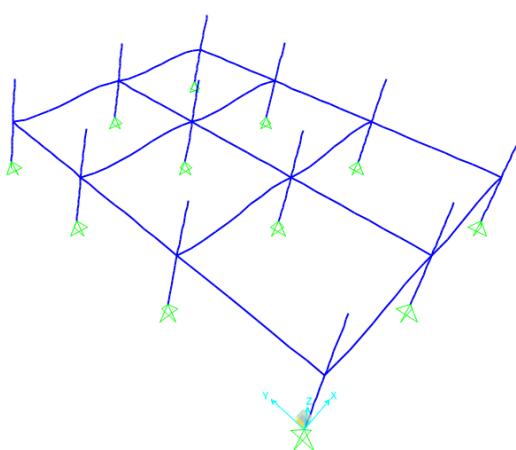


Ilustración 89, Valor de desplazamiento en la parte superior de palafito en dirección Y.

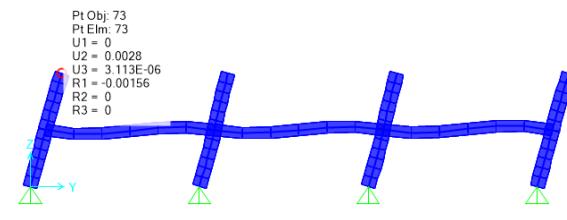
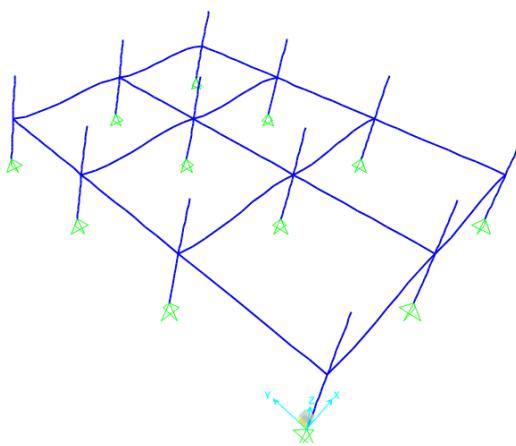


Ilustración 90, Valor de desplazamiento en el nodo palafito-viga de amarre en dirección Y.

En ambas direcciones se cumple con la deriva máxima de 1%. Para finalizar el calculo de los palafitos se revisa el índice de estabilidad general de piso, Q, con la siguiente formula.

$$Q = \frac{Pu * \Delta}{Vu * Lc}$$

Tabla 110, Índice de estabilidad Q - Dirección Y.

Dirección Y					
Palafito	Lc (m)	Δ (m)	Pu (kN)	Vs por palafito (kN)	Q < 0,3 ; Estable
<b>Esquinero</b>	1,78	0,0028	8,4	3,4	0,0039
<b>Lateral</b>	1,78	0,0028	13,8	4,5	0,0048
<b>Central</b>	1,78	0,0028	24,7	6,7	0,0058

Tabla 111, Índice de estabilidad Q - Dirección Y.

Dirección X					
Palafito	Lc (m)	Δ (m)	Pu (kN)	Vs por palafito (kN)	Q < 0,3 ; Estable
<b>Esquinero</b>	1,78	0,0031	8,4	3,4	0,0043
<b>Lateral</b>	1,78	0,0031	13,8	4,5	0,0053
<b>Central</b>	1,78	0,0031	24,7	6,7	0,0064

### 3.5.5 Conexiones mecánicas

El objetivo de utilizar conexiones mecánicas es evitar la mano de obra especializada in-situ para el ensamble de la superestructura y dar versatilidad a la hora de disponer los muros de la edificación. Se utilizaron conexiones mecánicas para el soporte de vigas y viguetas del piso y para la unión de los muros con la cimentación y entre ellos mismos. Las conexiones usadas son certificadas y fabricadas por la multinacional ROTHOBLAAS. A continuación, se presentan las conexiones para el piso y para los muros.

### Conexiones piso

La conexión de viga – palafito garantiza que la viga del piso trabaje como simplemente apoyada.



Ilustración 91, Conexión viga-palafito - PF201300 - (**ROTHOBLAAS, 2016**).

La conexión de vigueta - viga garantiza que la vigueta del piso trabaje como simplemente apoyada.



Ilustración 92, Conexión vigueta-viga - PF201319 - (ROTHOBLAAS, 2016).

### Conexiones muros

La conexión de corte garantiza que el muro pueda trabajar a cortante y transmita dichos esfuerzos cortantes a la fundación.



Ilustración 93, Placa de corte - TCP200 – (ROTHOBLAAS, 2016).

La conexión a tracción para los muros garantiza la estabilidad hacia el lado corto del muro, debido a fuerzas laterales como la del viento.



Ilustración 94, Placa de tracción - PF703100 - PF703020 – (ROTHOBLAAS, 2016).

La conexión tipo codo, es para unir muros que tienen direcciones diferentes.



Ilustración 95, Conexión muros transversales tipo codo - TCF200 - (ROTHOBLAAS, 2016).

#### Disposición de conexiones en la edificación

Las conexiones mencionadas anteriormente tienen unas reglas de colocación en la estructura, las cuales, determinan la cantidad necesaria de conexiones necesarias. Dichas reglas fueron extraídas del “Handbook for timber frame buildings” (ROTHOBLAAS, 2016). A continuación, se presentan las reglas que se tuvieron en cuenta y como fueron dispuestas las conexiones en la edificación diseñada.

- **Placa de corte - TCP200:** todo muro estructural que trabaja a cortante debe estar anclado por lo menos en dos puntos de su base, para transmitir correctamente el esfuerzo cortante. En dos muros seguidos que tengan la misma dirección pueden compartir la misma placa de corte.

Cada muro debe tener dos placas de corte por cara (cuatro en total) que conectan la viga de piso con la solera inferior del muro.

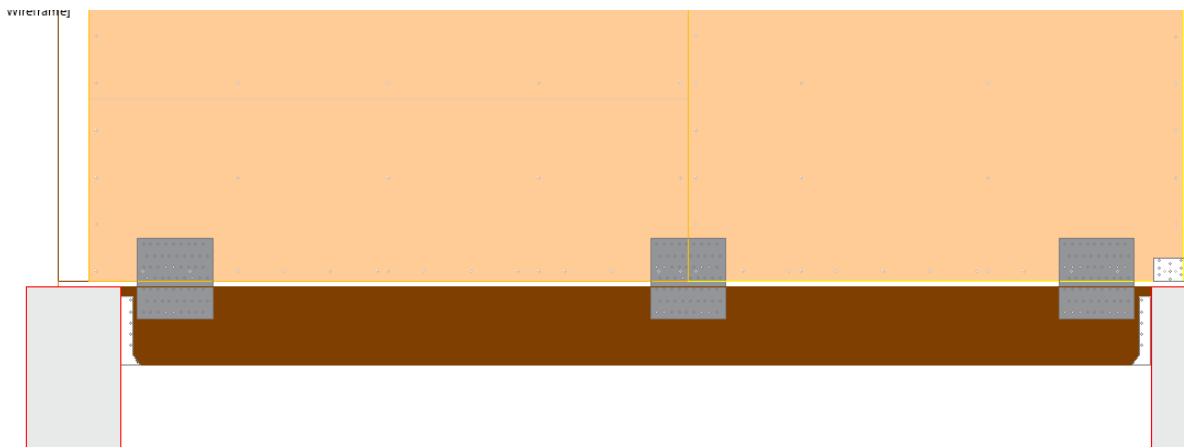


Ilustración 96, Placa de corte - TCP200 – (ROTHOBLAAS, 2016).

- **Placa de tracción - PF703100 - PF703020:** cada muro estructural o no estructural debe tener una placa de tracción en la base puesta verticalmente y una placa de tracción en la parte superior puesta horizontalmente que lo une con los otros muros.

Cada muro debe tener por lo menos un placa de tracción vertical y horizontal en cada cara (cuatro en total).

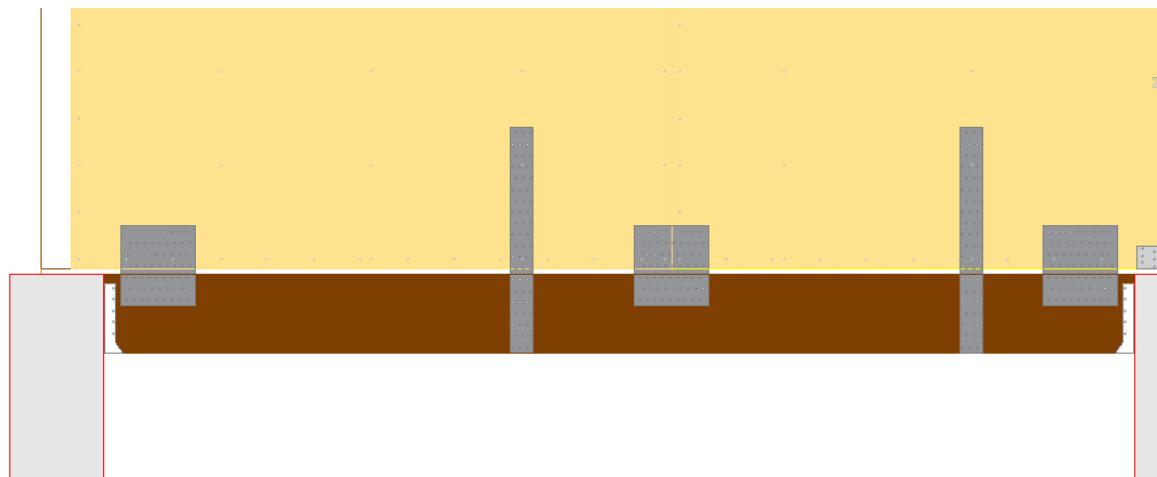


Ilustración 97, Placa de tracción - PF703100 - PF703020 – (ROTHOBLAAS, 2016).

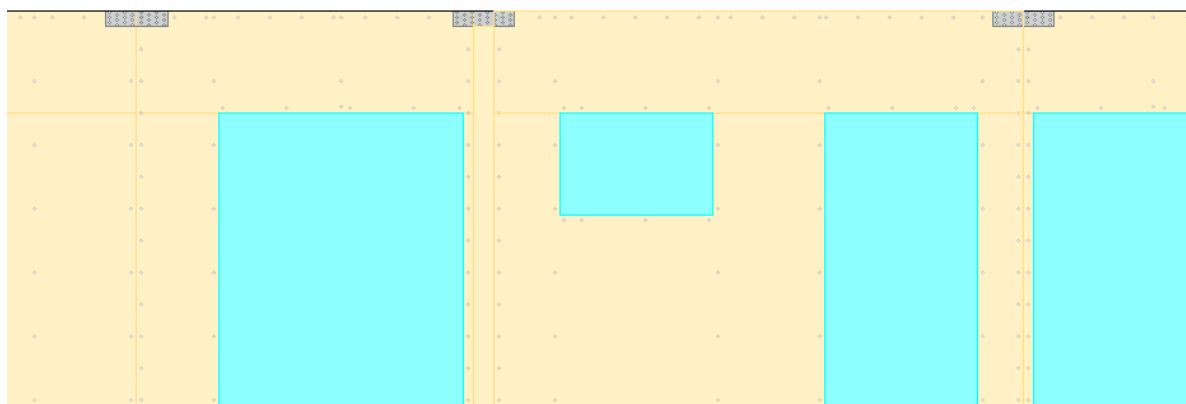


Ilustración 98, Placa de tracción - PF703100 - PF703020 – (ROTHOBLAAS, 2016).

- **Conexión tipo codo:** todos los muros que se encuentren transversalmente con otro muro deben tener una conexión tipo codo en la parte superior, en cada una de sus caras.

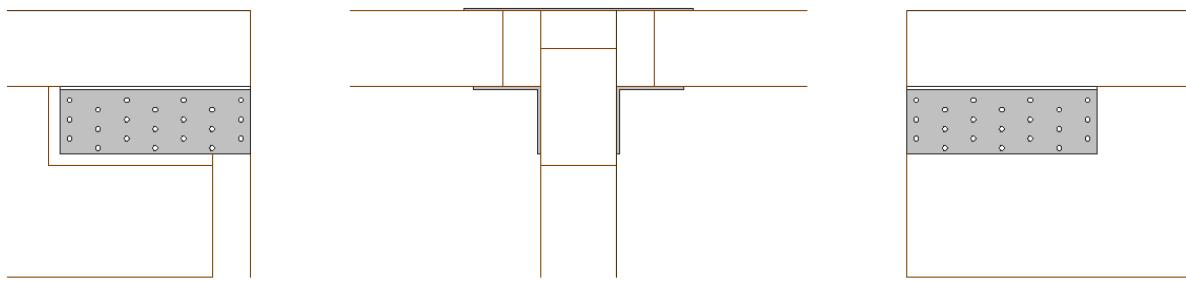


Ilustración 99, Vista laterales y en planta de conexión tipo codo - TCF200 - (ROTHOBLAAS, 2016).

- **Conexión tipo viga – palafito:** esta conexión va anclada a los palafitos por medio de pernos embebidos en el concreto. Cada extremo de viga se soporta con este tipo de conexión.

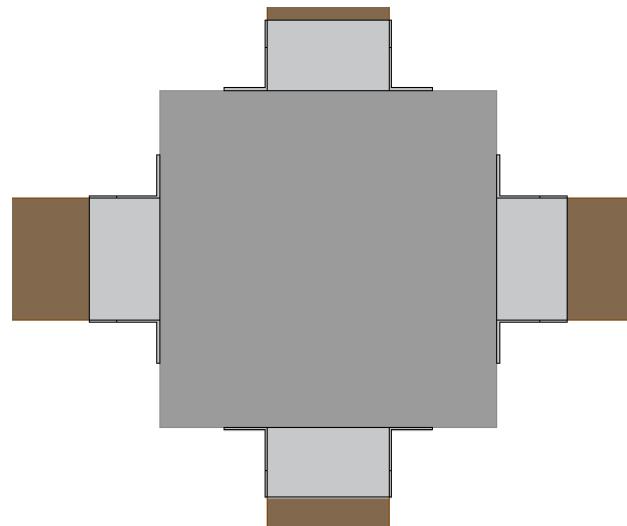


Ilustración 100, Conexión viga-palafito - PF201300 - (ROTHOBLAAS, 2016).

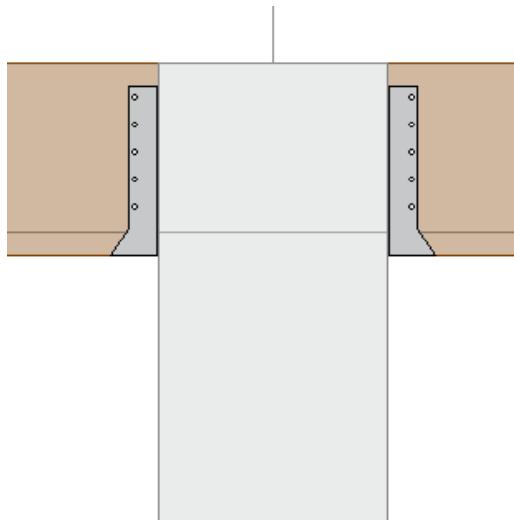


Ilustración 101, Conexión viga-palafito - PF201300 - (ROTHOBLAAS, 2016).

- **Conexión tipo vigueta - viga:** esta conexión va anclada a las vigas. Cada extremo de vigueta se soporta con este tipo de conexión.

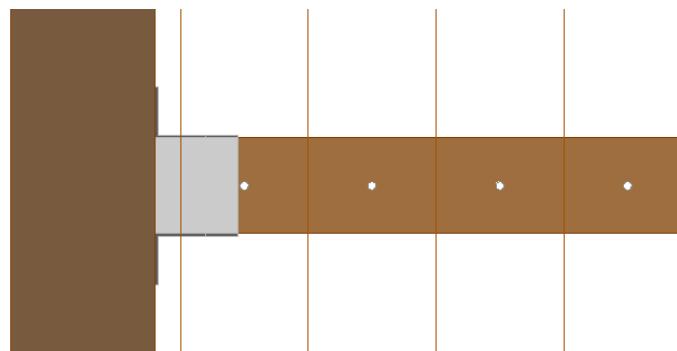


Ilustración 102, Conexión vigueta-viga - PF201319 - (ROTHOBLAAS, 2016).

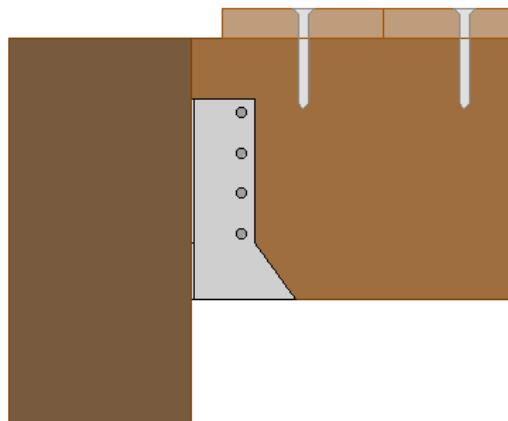


Ilustración 103, Conexión vigueta-viga - PF201319 - (ROTHOBLAAS, 2016).

### 3.6 DISEÑO DE REDES

#### 3.6.1 Diseño eléctrico

Según el (Ministerio de Ambiente & Desarrollo Territorial, 2011) se deben cumplir las medidas de seguridad establecidas por el RETIE (Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas), previniendo o eliminando el riesgo de origen eléctrico. Evitar incendios por instalaciones inadecuadas, cumpliendo requisitos civiles, mecánicos y de fabricación de equipos

Puestas a tierra: toda instalación eléctrica de acuerdo con el RETIE debe disponer de un sistema de puesta a tierra (SPT), en tal forma que cualquier punto del interior o exterior, normalmente accesible a personas que puedan transitar o permanecer allí, no esté sometido a tensiones de paso, de contacto o transferidas que superen los umbrales de soporte cuando se presente una falla

El diseño de redes eléctricas se realiza siguiendo las recomendaciones de la NTC 2050 y el RETIE:

La ubicación de tomas e iluminación se hace partiendo de las siguientes restricciones:

- Tomas en paredes libres cada 3.20m en habitaciones
- Tomas cada 1.20m en cocinas
- Mínimo 1 iluminación por habitación, según estándares de luminosidad

Tabla 112, Potencia requerida en la vivienda

CARGAS	Cantidad	W	W
tomas	17	180	3060
iluminación	11	100	1100
cocina	1	2000	2000
		POTENCIA [W]	
			<b>6160</b>

Partiendo de la potencia de tomas e iluminación se determina la potencia total requerida por la vivienda, se plantea un sistema monofásico para alimentarla.

La corriente se calcula mediante la relación entre potencia y voltaje:

$$I [A] = \frac{P [W]}{V [V]}$$

Tabla 113, Corriente requerida - Mono fase

1F: F+N+T			
V=	120	V	
I=	51.3	A	
Factor de demanda	0.7		
I=	35.9	A	

Calibre del cable Tabla 310-16 NTC 2050 capacidad de corriente permisible en conductores aislados se recomienda el uso de Cables N°8 AWG THHN y tubería 1¼" PVC

Tabla 114, NTC 2050

**Tabla 310-16 Capacidad de corriente permisible en conductores aislados para 0 a 2 000 V nominales y 60 °C a 90 °C. No más de tres conductores portadores de corriente en una canalización, cable o tierra (directamente enterrados) y temperatura ambiente de 30 °C.**

Sección transv.	Temperatura nominal del conductor (ver <a href="#">Tabla 310-13</a> )						Calibre	
	60 °C	75 °C	90 °C	60 °C	75 °C	90 °C		
TIPOS TW*, UF*	TIPOS FEPW*, RHT, RHW*, THHW*, THW*, THWN*, XHHW*, USE*, ZW*	TIPOS TBS,SA,SS,FEP*, FEPB*,MI,RHH*, RHW-2, THHN*, THHW*,THW-2*, THWN-2*, USE-2, XHH, XHHW*, XHHW-2, ZW-2	TIPOS RH*, RHW*, THHW*, THW*, THWN*, XHHW*, USE*	TIPOS TBS,SA,SS, THHN*, THHW*, THW-2, THWN-2, RHH*, RHW-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2				
mm <sup>2</sup>	COBRE			ALUMINIO O ALUMINIO RECUBIERTO DE COBRE			AWG o kcmils	
0,82	--	--	14	--	--	--	18	
1,31	--	--	18	--	--	--	16	
2,08	20*	20*	25	--	--	--	14	
3,30	25*	25*	30*	20*	20*	25*	12	
5,25	30	35*	40*	25	30*	35*	10	
8,36	40	50	55	30	40	45	8	
13,29	55	65	75	40	50	60	6	
21,14	70	85	95	55	65	75	4	
26,66	85	100	110	65	75	85	3	
33,62	95	115	130	75	90	100	2	
42,20	110	130	150	85	100	115	1	
53,50	125	150	170	100	120	135	1/0	
67,44	145	175	195	115	135	150	2/0	
85,02	165	200	225	130	155	175	3/0	
107,21	195	230	260	150	180	205	4/0	
126,67	215	255	290	170	205	230	250	
152,01	240	285	320	190	230	255	300	
177,34	260	310	350	210	250	280	350	
202,68	280	335	380	225	270	305	400	
253,35	320	380	430	260	310	350	500	
304,02	355	420	475	285	340	385	600	
354,69	385	460	520	310	375	420	700	
380,02	400	475	535	320	385	435	750	
405,36	410	490	555	330	395	450	800	
456,03	435	520	585	355	425	480	900	
506,70	455	545	615	375	445	500	1.000	
633,38	495	590	665	405	485	545	1.250	
760,05	520	625	705	435	520	585	1.500	
886,73	545	650	735	455	545	615	1.750	
1.013,40	560	665	750	470	560	630	2.000	

El límite de conducción de corriente por circuito es de 20 Amperios [A], por lo que se realiza el cálculo de cada circuito partiendo de una tensión de 120 V para determinar el número de circuitos requeridos y la distribución de estos en la vivienda.

Tabla 115, Descripción de circuitos

No. de Circuito	TOMAS	ILUM	Carga por Fase en (VA)	Protección Eléctrica			Tensión (V)	Corriente (A)	Cable Cu (AWG) THHN			DUCTO
				R	Polos	Amp.	Icc (kA)		F	N	T	
1	10		1800	1	20	10	120	15	12	12	12	1/2"
2	7		1260	1	20	10	120	11	12	12	12	1/2"
3	0	11	1100	1	20	10	120	9	12	12	12	1/2"
4	1		2000	1	20	10	120	17	12	12	12	1/2"

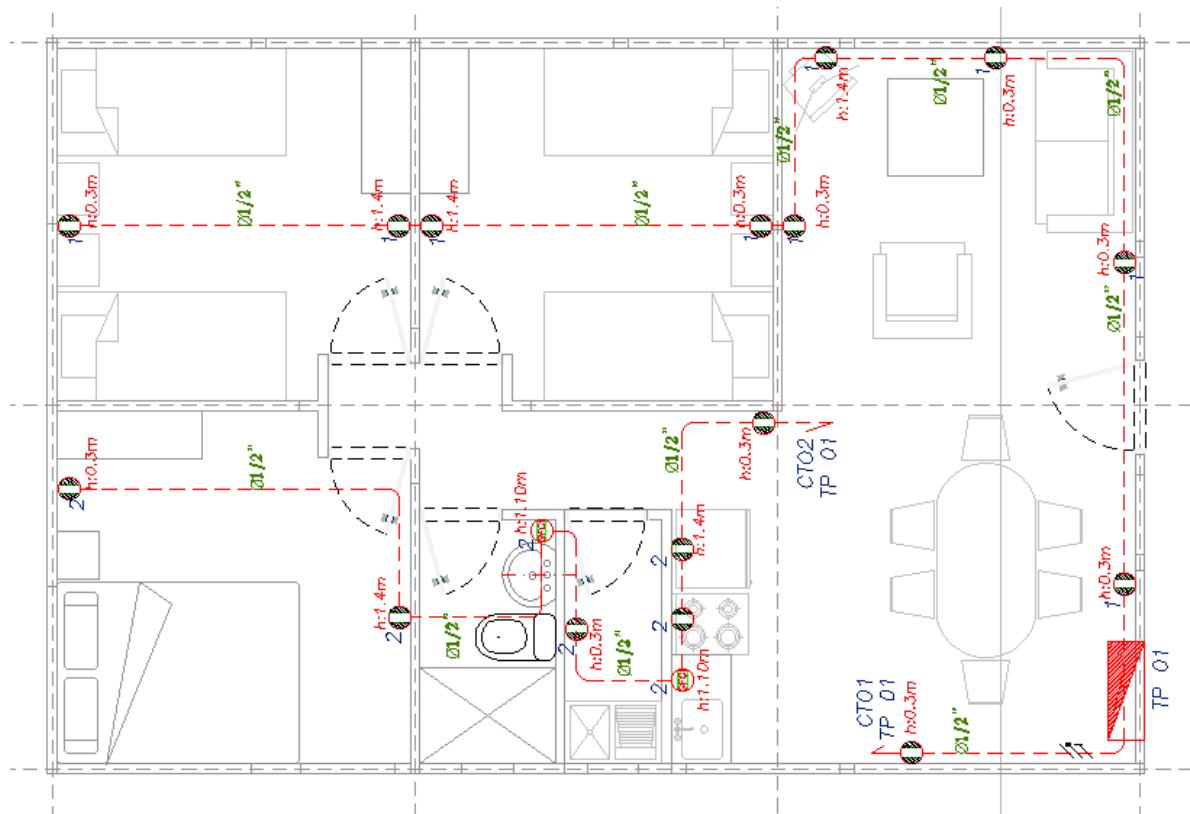


Ilustración 104, Plano de tomas y circuitos eléctricos

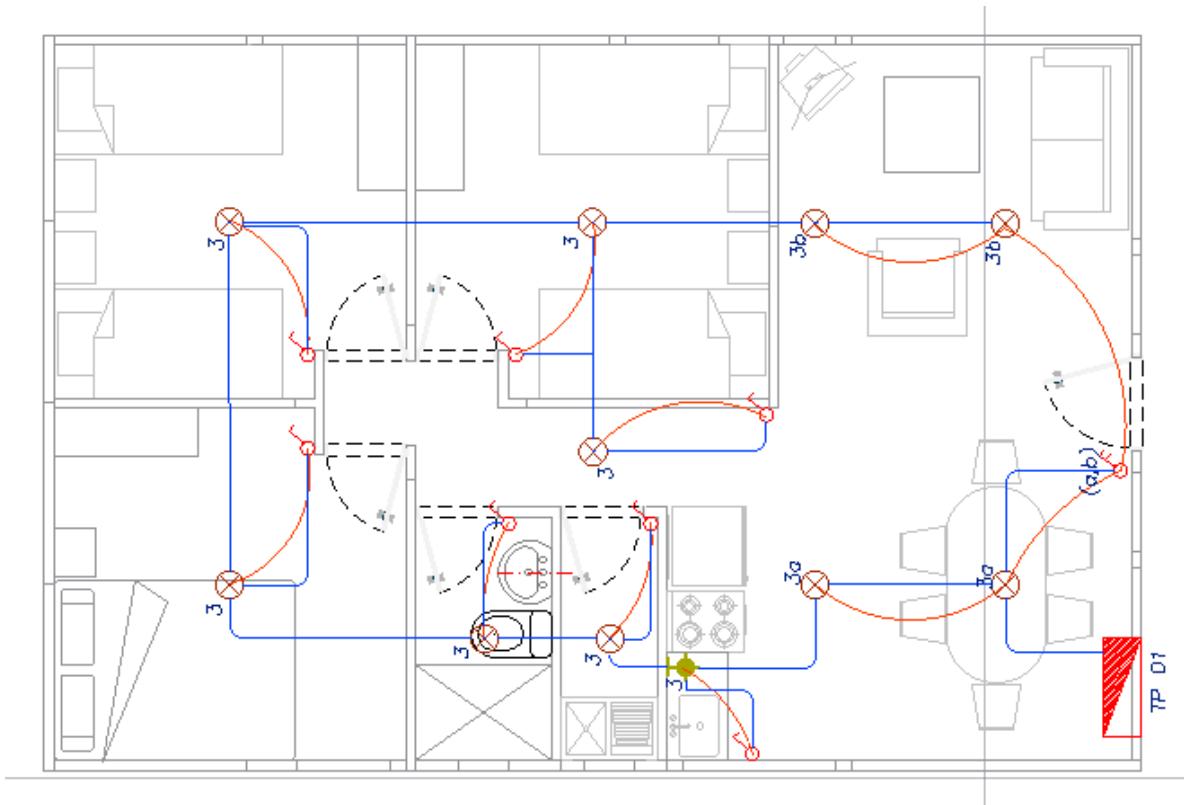


Ilustración 105, Plano de iluminación

### 3.6.2 Diseño hidrosanitario

(Ministerio de Ambiente & Desarrollo Territorial, 2011): abastecimiento de agua potable, sistemas de desagüe de aguas negras y lluvias, sistemas de ventilación y aparatos y equipos necesarios para el funcionamiento y uso de estos sistemas.

Todos los aparatos sanitarios de las viviendas deben estar conectados a un sistema de alcantarillado público, los sistemas de suministro de agua, los sistemas de desagüe de agua, o parte de éstos deben estar ubicados en las viviendas servidas por tales sistemas y no en lotes o predios diferentes.

Se debe contar con un diseño de tubería de agua potable, que garantice el abastecimiento de los aparatos y equipos con la mínima cantidad de agua necesaria para obtener un funcionamiento que cumpla con los requisitos de salubridad, presiones y velocidades adecuadas, además esta debe contar con un registro o válvula de paso, ubicado a continuación del medidor y dentro de la propiedad, de manera que pueda cerrarse el suministro a cada vivienda.

El diseño hidrosanitario debe contar con desagües y abastos. Los desagües y la ventilación pueden ser realizados en tubería de 2", mientras que los abastos serán en tuberías de presión de ½".

#### **Diseño de abastos:**

El objeto principal los métodos de diseño es determinar el caudal máximo probable que se puede presentar en una instalación, sin embargo, es complicado establecer dicho valor debido a que los aparatos sanitarios son utilizados de forma intermitente, con frecuencias muy variadas y en diferentes tipos de edificaciones.

Existen tres metodologías para determinar los caudales o gastos de diseño para las diferentes partes de un sistema de distribución de agua; los cuales se pueden clasificar así:

- Métodos empíricos: Basados en la experiencia.
- Métodos semi empíricos: Basados en la experiencia y un sustento matemático.
- Métodos probabilísticos: Basados en la teoría de la probabilidad.

Se elige realizar un diseño mediante el método semi empírico **del factor de simultaneidad**, ya que este permite tener un sustento teórico mediante expresiones matemáticas además del uso de la experiencia para el diseño (tablas y guías). Consiste en la obtención del caudal máximo probable ( $Q_p$ ) mediante los caudales de los aparatos instalados. Una vez establecidos estos caudales, son sumados y posteriormente, afectados por un coeficiente de simultaneidad  $K_1$ .

$$K_1 = \frac{1}{\sqrt{n - 1}}$$

$$Q_p = K_1 * q_{max}$$

Primero se define el trazado de la red de abastos, usando las zonas comunes como principal ruta de trazado, a continuación, se define la longitud critica correspondiente al tramo más largo, que tiene más perdidas, en este caso la ducha en el punto A.

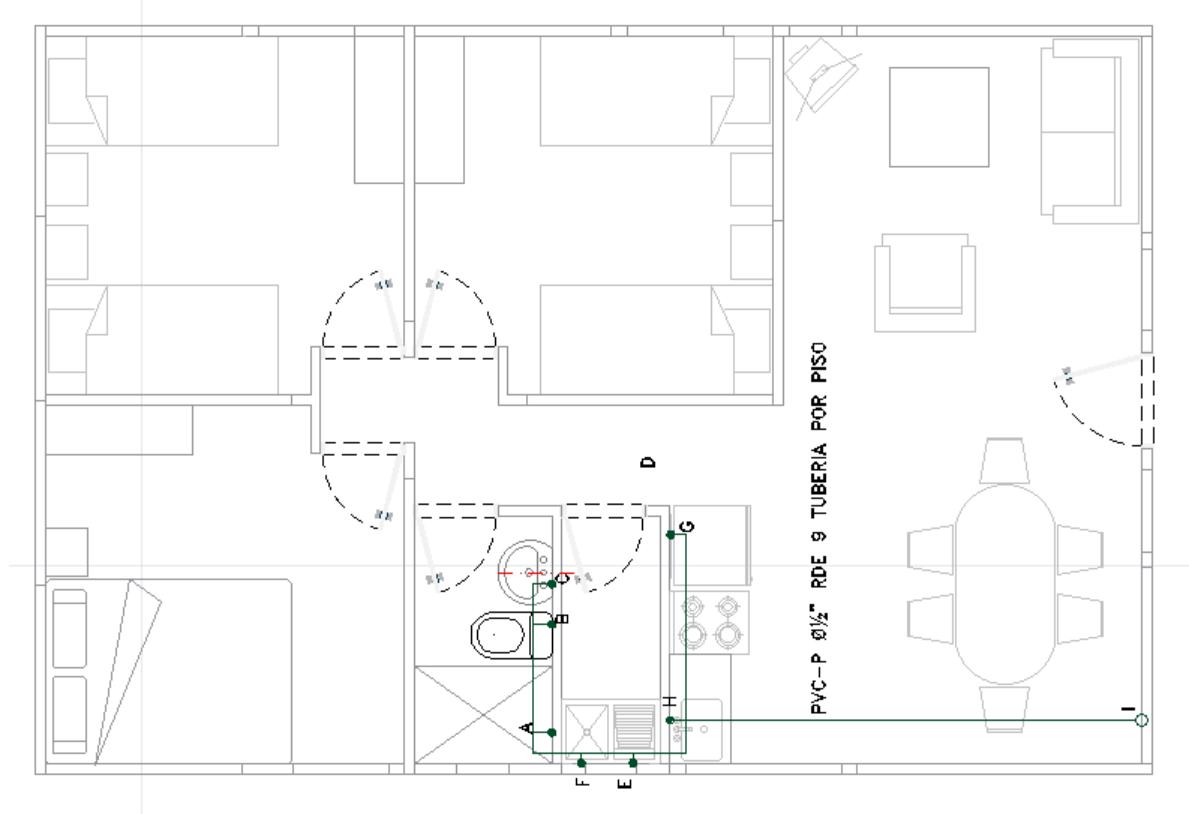


Ilustración 106, Red de abastos

Posteriormente mediante las tablas B.1.3.3 (2) y B.1.3.3 (3) de la NTC 1500 se determinan los valores de carga y los caudales de diseño para cada uno. Se determina el diámetro de la tubería y se evalúan las perdidas por fricción y las perdidas menores (por accesorios)

$$V = \frac{Q}{A}$$

Las perdidas unitarias m/m para tuberías de PVC están dadas por:

$$h = \frac{0.000995 * Q^{1.852}}{D^{4.87}}$$

Tabla 116, Valores de carga por aparato- Red de abastos B.1.3.3(2) NTC 1500

Aparato	Uso	Tipo de control de suministro	Valores de carga, en unidades de aparato de suministro de agua (w.s.f.u.)		
			Fria	Cáliente	Total
Grupo de Baño	Privado	Sanitario de tanque	2.7	1.5	3.6
Grupo de Baño	Privado	Válvula fluxómetro	6.0	3.0	9.0
Bañera	Privada	Grifo	1.0	1.0	1.4
Bañera	Público	Grifo	3.0	3.0	4.0
Bidé	Privado	Grifo	1.5	1.5	2.0
Accesorio de combinación	Privado	Grifo	2.25	2.25	3.0
Lavavajillas	Privado	Automático	-	1.4	1.4
Bebederos	Oficinas, etc.	Válvula 3/8 pulgada	0.25	-	0.25
Lavaplatos	Privado	Grifo	1.0	1.0	1.4
Lavaplatos	Hotel, restaurante	Grifo	3.0	3.0	4.0
Bandeja para el lavado de ropa (1 a 3)	Privado	Grifo	1.0	1.0	1.4
Lavamanos	Privado	Grifo	0.5	0.5	0.7
Lavamanos	Público	Grifo	1.5	1.5	2.0
Poceta de servicio	Oficinas, etc.	Grifo	2.25	2.25	3.0
Regadera	Público	Válvula mezcladora	3.0	3.0	4.0
Regadera	Privado	Válvula mezcladora	1.0	1.0	1.4
Orinal	Público	Válvula de fluxómetro 1 pulgada	10.0	-	10.0
Orinal	Público	Válvula de fluxómetro 3/4 pulgada	5.0	-	5.0
Orinal	Público	Tanque de descarga	3.0	-	3.0
Lavadoras automáticas para ropa (8 lb)	Privado	Automático	1.0	1.0	1.4
Lavadoras automáticas para ropa (8 lb)	Público	Automático	2.25	2.25	3.0
Lavadoras automáticas para ropa (15 lb)	Público	Automático	3.0	3.0	4.0
Inodoro	Privado	Válvula fluxómetro	6.0	-	6.0
Inodoro	Privado	Válvula fluxómetro	2.2	-	2.2
Inodoro	Público	Válvula fluxómetro	10.0	-	10.0
Inodoro	Público	Válvula fluxómetro	5.0	-	5.0
Inodoro	Público privado	Tanque fluxómetro	2.0	-	2.0

\* Para aparatos no incluidos en la lista, se debe asumir la carga comparando el aparato con uno de la lista cuyo gasto de agua tenga similares características. Las cargas asignadas para aparatos de agua caliente y fría se dan por separado, para el agua fría, caliente y el total. La carga separada para agua caliente y fría es de tres cuartos de la carga total para el aparato en cada caso.

Tabla 117, Estimación de demanda para red de abastos B.1.3.3(3) NTC 1500

Sistema de suministro principalmente para sanitarios de tanque			Sistema de suministro principalmente para flúxometro		
Carga	Demanda		Carga	Demanda	
(Unidad de aparato de suministro de agua)	L/min (Galones por minuto)	(Pies cúbicos por minuto)	(Unidad de aparato de suministro de agua)	L/min (Galones por minuto)	(Pies cúbicos por minuto)
1	11,3 (3,0)	0,04	-	-	-
2	18,9 (5,0)	0,07	-	-	-
3	24,6 (6,5)	0,9	-	-	-
4	30,3 (8,0)	1,07	-	-	-
5	35,6 (9,4)	1,2	5	56,8 (15,0)	2,0
6	40,5 (10,7)	1,4	6	65,8 (17,4)	2,3
7	44,7 (11,8)	1,6	7	74,9 (19,8)	2,6
8	48,4 (12,8)	1,7	8	84,0 (22,2)	3,0
9	51,8 (13,7)	1,8	9	93,1 (24,6)	3,3
10	55,3 (14,6)	1,9	10	102,2 (27,0)	3,6
11	58,3 (15,4)	2,0	11	105,2 (27,8)	3,7
12	60,6 (16,0)	2,1	12	108,2 (28,6)	3,8
13	62,4 (16,5)	2,2	13	111,3 (29,4)	3,9
14	64,3 (17,0)	2,3	14	114,3 (30,2)	4,0
15	66,2 (17,5)	2,3	15	117,3 (31,0)	4,1
16	68,13 (18,0)	2,9	16	120,4 (31,8)	4,2
17	69,6 (18,4)	2,5	17	123,4 (32,6)	4,4
18	71,1 (18,8)	2,5	18	126,4 (33,4)	4,5
19	72,7 (19,2)	2,6	19	129,4 (34,2)	4,6
20	74,2 (19,6)	2,6	20	132,5 (35,0)	4,7
25	81,4 (21,5)	2,9	25	143,8 (38,0)	5,1
30	88,2 (23,3)	3,1	30	159 (42,0)	5,6
35	94,2 (24,9)	3,3	35	166,5 (44,0)	5,9
40	99,5 (26,3)	3,5	40	174,1 (46,0)	6,1
45	104,8 (27,7)	3,7	45	181,7 (48,0)	6,4
50	110,1 (29,1)	3,9	50	189,2 (50,0)	6,7
60	121,1 (32,0)	4,3	60	204,4 (54,0)	7,2
70	132,5 (35,0)	4,7	70	219,5 (58,0)	7,7
80	143,8 (38,0)	5,1	80	231,6 (61,2)	8,2
90	155,2 (41,0)	5,5	90	243,4 (64,3)	8,6
100	164,6 (43,5)	5,8	100	255,5 (67,5)	9,0
120	181,7 (48,0)	6,4	120	276,3 (73,0)	9,8
140	198,7 (52,5)	7,0	140	291,4 (77,0)	10,3
160	215,7 (57,0)	7,6	160	306,6 (81,0)	10,8
180	230,9 (61,0)	8,1	180	323,6 (85,5)	11,4
200	246 (65,0)	8,7	200	340,6 (90,0)	12,0
225	264,9 (70,0)	9,3	225	361,5 (95,5)	12,8
250	283,8 (75,0)	10,0	250	382,3 (101,0)	13,5

Tabla 118, Caudales de diseño - Red de abastos

Aparato	Convención	Uso	Valores de carga (agua fría)	Demanda [l/min]	Qd [l/s]
Inodoro	W.C.	Privado	2	18.9	0.3
Lavamanos	LM	Privado	0.5	5.65	0.1
Ducha	DCH	Privado	1	11.3	0.2
Lavadero	LVDERO	Privado	1	11.3	0.2

Lavadora	LVDORA	Privado	1	11.3	0.2
Nevera	NEV	Privado	0.5	5.65	0.1

Tabla 119, Perdidas por accesorios

Accesarios	Pérdidas [m]
Codo 90° RM	0.4
Válvula de compresión	0.1
Te directa	0.3
Te de lado	1

### Desagües

Recibe la descarga de todos los aparatos sanitarios (actividades fisiológicas humanas, desperdicios domésticos y en general las aguas residuales) dispuestos en la vivienda. Esta red es conocida como red de aguas residuales domésticas. Se debe tener en cuenta los siguientes aspectos para su diseño:

- La unidad de descarga corresponde a una unidad de consumo equivalente que se ha definido como el caudal máximo demandado por un lavamanos de tipo privado, corresponde a un caudal de 28,32 L/min (1.0 ft<sup>3</sup>/min).
- Para determinar el caudal que debe transportar un tramo de red es necesario determinar el número de aparatos que son descargados por dicho tramo, sumar las correspondientes unidades de descarga y determinar el caudal que se va a transportar.
- El caudal total que circule por un bajante se estimará con base en las unidades de descarga de cada uno de los ramales que lleguen a esa bajante.

Al calcular el diámetro de los conductos de desagüe, se tendrá en cuenta lo siguiente:

- El diámetro mínimo que recibe la descarga de un inodoro (WC) será de 3" (8 cm) o 4" (10 cm.).

- El diámetro de una bajante no podrá ser menor que el de cualquiera de los ramales horizontales que en ella descarguen.
- El diámetro de un conducto horizontal de desagüe no podrá ser menor que el de cualquiera de los orificios de salida de los aparatos que en él descarguen.
- La pendiente horizontal al interior de la red debe ser mayor o igual 2% para diámetros inferiores a 3 pulgadas, y las tuberías de diámetro superior a 4" tendrán una pendiente mínima de 1%

Tabla 120, Diámetros para tuberías de desagüe

Aparato	Convención	Uso	Valores de desagüe	Dimensión mínima del sifón [""]	Diseño [""]
Inodoro	W.C.	Privado	4	4	4
Lavamanos	LM	Privado	1	1 1/2	2
Ducha	DCH	Privado	2	1 1/2	2
Lavaplatos	LP	Privado	2	1 1/2	2
Lavadero	LVDERO	Privado	1	2	2
Lavadora	LVDORA	Privado	2	2	2
Nevera	NEV	Privado	-	-	-

Las tuberías de desagüe deben funcionar a flujo libre a través de conductos cerrados, satisfaciendo las condiciones de descarga (caudal y velocidad). Se recomienda que la tubería trabaje al 50% de su profundidad y en casos extremos al 75%.

Generalmente se utiliza la expresión de Manning:

$$V = \frac{1}{n} \times R h^{2/3} \times S^{1/2}$$

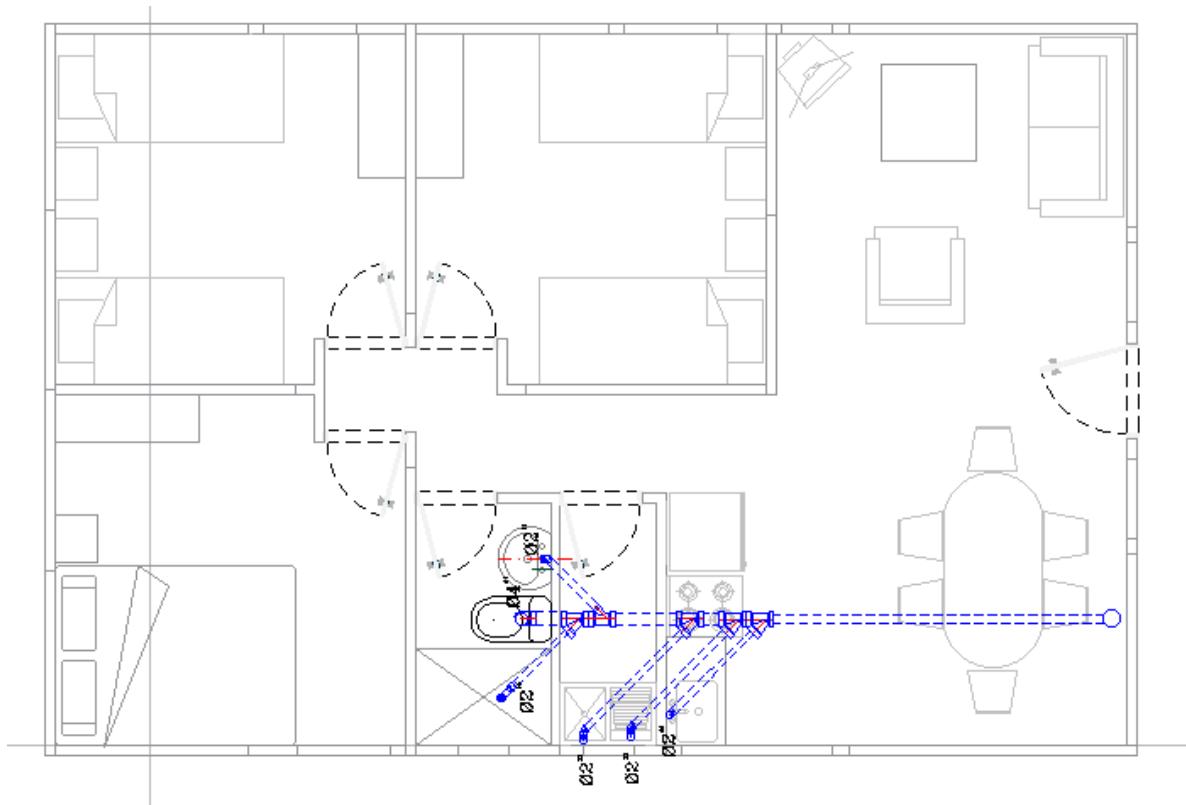
$$Q = V \cdot A = \frac{A}{n} \times R h^{2/3} \times S^{1/2}$$

Se debe tener en cuenta la **fuerza tractive**. Aquí se toma en consideración la forma y área mojada del ducto. Su aplicación permite el control de la erosión, sedimentación y presencia de sulfatos.

La pendiente de la tubería sanitaria debe ser tal que garantice su capacidad para evacuar el caudal de diseño, con una velocidad entre 0,60 m/s y 5 m/s (condiciones a tubo lleno) o mínimo 0,15 kg/m<sup>2</sup>.

$$Ft = \gamma \times Rh \times S$$

- $Ft$ : fuerza de tracción  $\text{Kg/m}^2$ .
  - $\gamma$ : Peso específico del agua  $\text{Kg/m}^3$ .
  - $Rh$ : Radio hidráulico en m.
  - $S$ : pendiente en  $\text{m/m}$



## Ilustración 107, Desagües

### 3.7 CANTIDADES

Tabla 121, Cantidades

Elemento	Cantidad	Unidad
<b>CUBIERTA</b>		
Teja fibrocemento #6 - 0.92 x 1.83	48	und
Correa 0.06 x 0.12 x 3	18	und
Vigueta 0.08 x 0.015 x 2.92 x 3.6	8	und
<b>SUPERESTRUCTURA</b>		
Muro estructural 1.5 x 2.8	6	und
Muro estructural 1.6 x 2.8	5	und
Muro estructural 2 x 2.8	2	und
Muro estructural 2.4 x 2.8	4	und
Muro arquitectónico 0.92 x 2.8	1	und
Muro arquitectónico 1.32 x 2.8	3	und
Muro arquitectónico 1.52 x 2.8	1	und
Muro arquitectónico 1.8 x 2.8	1	und
Muro arquitectónico 2 x 2.8	1	und
Muro arquitectónico 2.08 x 2.8	1	und
<b>Uniones mecánicas muros - Rothoblass</b>		
Placa de corte - TCP200	68	und
Placa de tracción - PF703100	60	und
Placa de tracción - PF703020	42	und
Unión muros - codo - TCF200	17	und
<b>PISO</b>		
Tablilla machihembrada	54	m2
Vigueta 0.06 x 0.013 x 2.92	30	und
Viga 0.09 x 0.21 x 2.75	17	und
<b>Uniones mecánicas piso - Rothoblass</b>		
Unión vigueta-viga - PF201319	60	und
Unión viga-palafito - PF201300	34	und
<b>CIMENTACIÓN</b>		
Zapata 0.45 x 0.45 x 0.225	4	und
Zapata 0.55 x 0.55 x 0.225	6	und
Zapata 0.75 x 0.75 x 0.225	2	und

Columna 0.25 x 0.25 x 1.775	12	und
Viga amarre 0.2 x 0.2 x 2.75	17	und

### 3.8 PRESUPUESTO

Tabla 122, Presupuesto

	Actividad	Unidad	Cantidad	Valor unitario	Valor total	% de incidencia
1	<b><u>Subestructura</u></b>					
1.1	Pilotes (concreto p.o. 17 MPa)	m <sup>3</sup>	2.175	\$ 260,116	\$ 565,753	1.8%
1.2	Viga de amarre (concreto p.o. 17 MPa) .20x.20	m <sup>3</sup>	1.87	\$ 260,116	\$ 486,418	1.5%
1.3	Acero Fy=420 MPa	kg	202	\$ 2,202	\$ 444,832	1.4%
2	<b><u>Estructura</u></b>					
2.1	Muro estructural 1- 1.5x2.8 m	un	6	\$ 229,315	\$ 1,375,889	4.4%
2.2	Muro estructural 2- 1.6x2.8	un	5	\$ 263,209	\$ 1,316,047	4.2%
2.3	Muro estructural 3- 2x2.8	un	2	\$ 296,536	\$ 593,072	1.9%
2.4	Muro estructural 4- 2.4x2.8	un	4	\$ 376,294	\$ 1,505,176	4.8%
2.5	Muros no estructurales	m <sup>2</sup>	36.4	\$ 48,133	\$ 1,752,041	5.6%
3	<b><u>Piso</u></b>					
3.1	Viga en madera .09x.22x2.75	un	17	\$ 141,032	\$ 2,397,544	7.6%
3.2	Vigueta en madera .06x.13x2.9	un	6	\$ 72,075	\$ 432,453	1.4%

3.3	Tablas machimbradas .08x.015x3	m2	54	\$ 49,801	\$ 2,689,245	8.6%
4	<b><u>Hidrosanitario</u></b>					
4.1	Instalaciones hidrosanitarias	gl	1	\$ 508,047	\$ 508,047	1.6%
5	<b><u>Eléctrico</u></b>					
5.1	Instalaciones eléctricas	gl	1	\$ 2,868,948	\$ 2,868,948	9.1%
6	<b><u>Aparatos, griferías, rejillas</u></b>					
6.1	Lavamanos con pedestal	un	1	\$ 90,900	\$ 90,900	0.3%
6.2	Sanitario	un	1	\$ 129,000	\$ 129,000	0.4%
6.3	Grifería ducha sencilla	un	1	\$ 49,900	\$ 49,900	0.2%
6.4	Enchape de baño	m2	1.76	\$ 42,866	\$ 75,444	0.2%
7	<b><u>Carpintería metálica/madera</u></b>					
7.1	Ventanería	m2	8.7	\$ 284,722	\$ 2,470,250	7.9%
7.2	Puerta madera .80x2.00	un	1	\$ 304,352	\$ 304,352	1.0%
7.3	Puerta madera .70x2.00	un	5	\$ 295,056	\$ 1,475,280	4.7%
7.4	Uniones mecánicas	gl	1	\$ 6,111,100	\$ 6,111,100	19.4%
8	<b><u>Pinturas</u></b>					
8.1	Barniz resistente a la humedad y radiación solar 3 manos	m2	84	\$ 8,553	\$ 718,452	2.3%
9	<b><u>Cubierta</u></b>					
9.1	Viga en madera .06x.15x3.64	un	8	\$ 68,320	\$ 546,562	1.7%
9.2	Vigueta en madera .06x.12x2.94	un	18	\$ 59,774	\$ 1,075,926	3.4%
9.3	Teja fibrocemento N°6 1.83x0.92	un	48	\$ 24,570	\$ 1,179,360	3.8%
9.4	Caballetes (teja ondulada perfil 7)	un	12	\$ 22,054	\$ 264,648	0.8%

				<b>TOTAL</b>	\$ 31,426,640	100.0%
				<b>Valor x m<sup>2</sup></b>	\$ 581,975	

Las cantidades de obra fueron determinadas partiendo del proceso de diseño de la vivienda, los planos detallados en AutoCAD y el modelo en Revit. Posteriormente fueron realizadas cotizaciones en empresas especializadas como *INGERLUX* y *ROTHOBLAAS*, análisis de precios unitarios mediante rendimientos de obra y precios del mercado, bases de datos como OPUS y generador de precios Colombia. Cotizaciones y APU's se encuentran en los archivos anexos de Excel. Los precios solo incluyen el material, la herramienta menor y la mano de obra necesaria para fabricar los elementos prefabricados, ya que se busca una alternativa auto construible donde se pueda reducir los costos de mano de obra, los precios del diseño eléctrico si incluyen mano de obra in- situ.

### 3.8.1 Modelo en Revit



Ilustración 108, Modelación en Revit

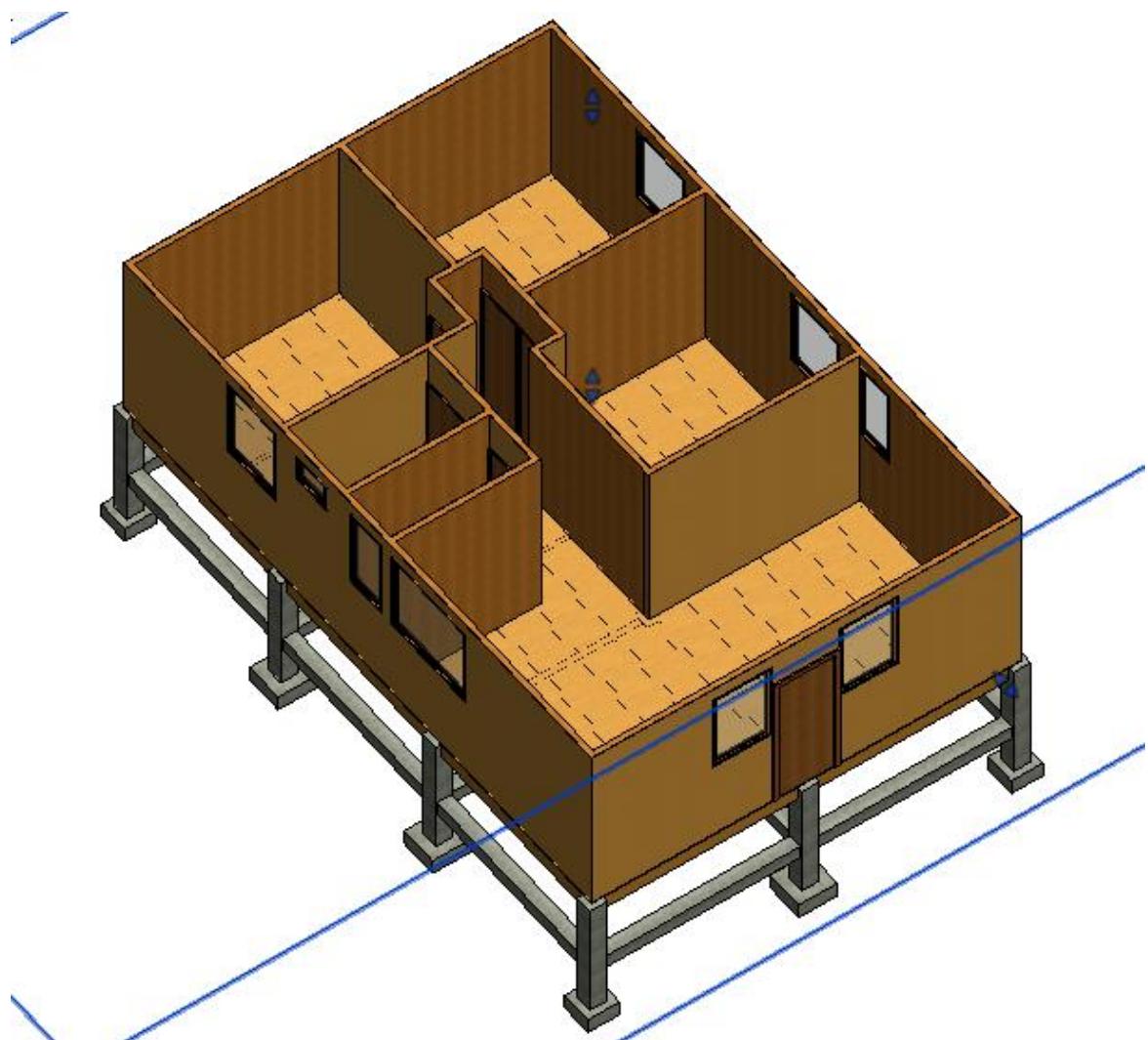


Ilustración 109, Modelación en Revit - Corte longitudinal

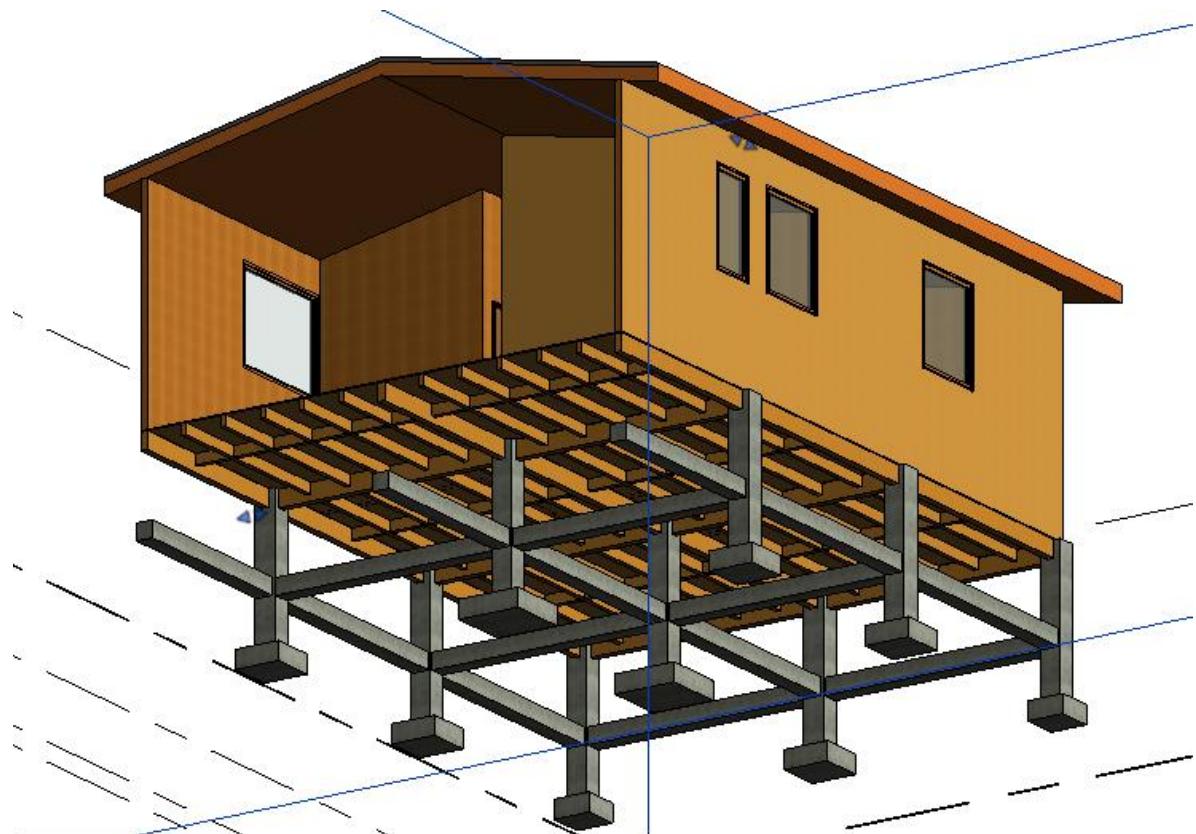


Ilustración 110, Modelación en Revit - Corte transversal

### 3.9 PROCESO CONSTRUCTIVO

#### 1. Cimentación

- Desmonte y limpieza del terreno donde será ubicada la vivienda
- Excavar una profundidad aproximadamente de un metro o hasta pasar el horizonte orgánico.
- Una vez alcanzado el suelo donde se hará la cimentación será vaciada la zapata con la debida mezcla de concreto para 21 MPa; siguiendo los planos con el detalle de acero de refuerzo y dimensiones.

- Vaciar pilotes y viga de fundación con la debida mezcla de concreto para 21 MPa y siguiendo los planos con el detalle de acero de refuerzo y dimensiones.
- Anclar uniones mecánicas viga-palafito (Rothoblaas PF-201300) en la parte superior de los palafitos; por medio de pernos embebidos en el palafito, que van a soportar la viga principal de sistema de piso.

## 2. Piso

- Instalar las vigas principales de madera sobre las uniones viga-palafito, por medio de tornillos.
- Poner las viguetas sobre las uniones vigueta-viga (PF-201319) las cuales fueron instaladas en el proceso de pre-fabricación.
- Clavar el entablillado de piso sobre las viguetas y garantizar la unión machimbrada entre tablillas.

## 3. Muros

- Todos los muros que conforman el sistema estructural, como los muros arquitectónicos, serán prefabricados e instalados in-situ mediante las uniones mecánicas de Rothoblaas, siguiendo los planos con los detalles constructivos; cada muro debe tener una unión de corte y una de tracción en cada extremo (TCP-200 y PF-73100 respectivamente) por ambas caras del muro.
- Los muros deben ubicarse como se especifica en la ilustración 54 disposición de muros en planta; estos serán clavados entre la solera inferior y la viga principal de piso.
- Los muros deben unirse entre sí con la unión *placa de tracción* (PF-703020) o unión muro codos (TCF-200) según el detalle constructivo; ilustraciones 96 y 97.
- En la parte superior debe instalarse una viga de coronación en madera para soportar la cubierta.

- Anexo Muros.DWG

#### 4. Cubierta

- Sus partes serán todas prefabricadas de acuerdo con las medidas calculadas.
- Instalar los muros de soporte de techo como se ilustran a continuación.

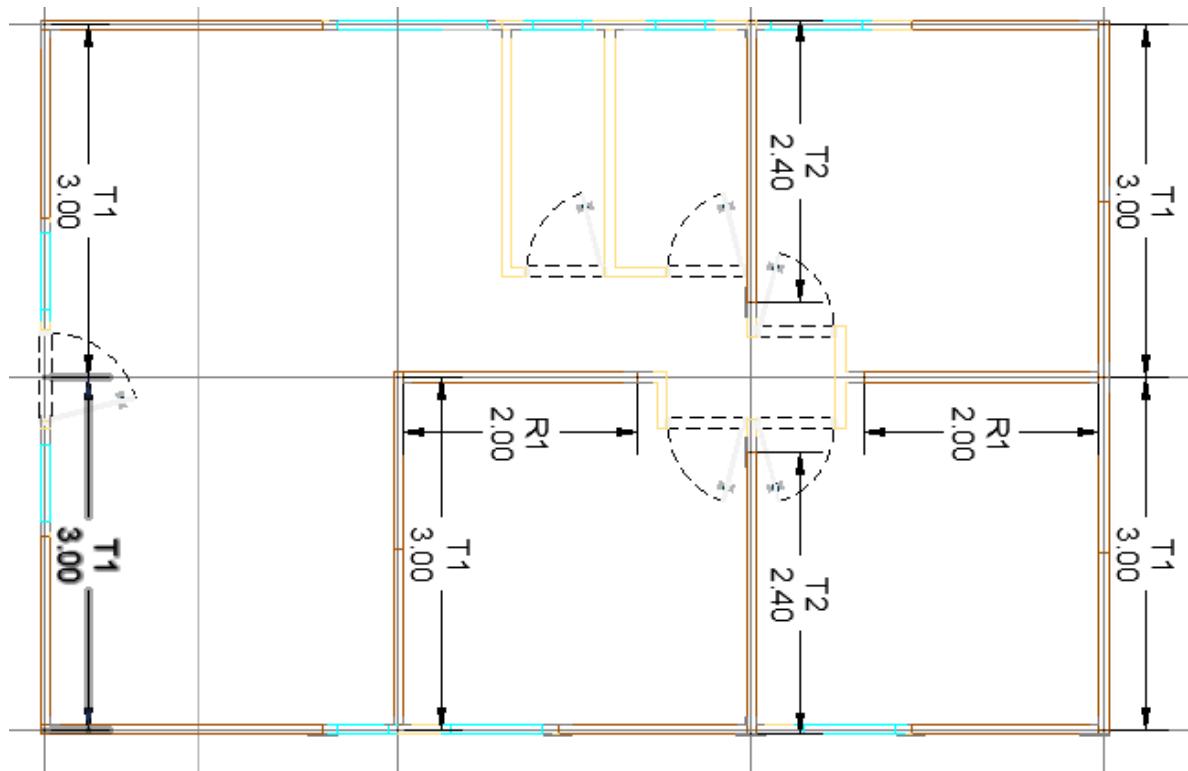


Ilustración 111, Distribución muros de cubierta.

- Instalar los entramados horizontales; los largueros deben ser clavados o atornillados a los muros de soporte y las correas deben ir clavadas a los largueros como se muestra en las ilustraciones 49 y 50.
- Instalar la teja de fibrocemento la cual es soportada por las correas; siguiendo el manual de bolsillo de (Eternit, 2018).

#### 5. Redes

- Las redes deben ser instaladas por mano de obra calificada siguiendo los diseños anexos.

### **3.10 MODELO A ESCALA**

Se realizó el modelo a escala de uno de los seis módulos que conforman la edificación (módulo de habitación de 3 m por 3 m en planta).



Ilustración 112, Modelo a escala 1:10.



Ilustración 113, Modelo a escala 1:10.



Ilustración 114, Modelo a escala 1:10.



Ilustración 115, Modelo a escala 1:10.



Ilustración 116, Modelo a escala 1:10.



Ilustración 117, Modelo a escala 1:10.



Ilustración 118, Modelo a escala 1:10.

#### 4. CONCLUSIONES Y CONSIDERACIONES FINALES

##### Conclusiones:

- Se presenta una alternativa de construcción para zonas de anegación periódica, cumpliendo con el presupuesto por metro cuadrado límite (700 mil pesos legales vigentes por metro cuadrado). Con un valor de \$ 581,975 m<sup>2</sup>; sin tener en cuenta el transporte ya que este varía según la zona a la que sea destinada la vivienda.
- El uso de recursos del *Buildin Information Modeling* permite anticiparse a posibles incompatibilidades a la hora de ejecutar un proyecto constructivo, además de ser una herramienta útil a la hora de tener precisión en las cantidades de obra, esto dependiendo directamente de la fidelidad del modelo realizado.
- En comparación a las 2 alternativas existentes, se realizaron los diseños estructurales de la cubierta, los muros y la cimentación, de manera que la vivienda pueda ser construida y replicada; mediante mano de obra no calificada.
- La alternativa diseñada es viable en el territorio colombiano, debido a los materiales escogidos y la facilidad de construcción, gracias a los elementos prefabricados. Las redes son la parte más compleja ya que podría ser necesario mano de obra calificada para garantizar su correcta funcionalidad y seguridad.
- Es posible diseñar la vivienda siguiendo la normativa colombiana (NSR-10, NTC 2050, NTC 1500, entre otras), garantizar funcionalidad y la sismo resistencia en todas las partes de la edificación.

##### Recomendaciones:

- La cimentación de palafitos es posible utilizarla para suelos con propiedades de carga admisible igual o mayor a 5 ton/m<sup>2</sup>. En caso de conocer propiedades del suelo y tener valores mayores se recomienda recalcular el diseño de estas para optimizar materiales. En caso de no alcanzar dicha resistencia se recomienda recalcular las dimensiones de las zapatas o usar la base flotante, ya que es más ligera y su comportamiento podría asumirse como una losa flotante, apoyándola sobre un solado de concreto. En ese caso es posible mantener la conectividad a las redes públicas mediante el uso de tuberías flexibles en la acometida hidráulica o la alimentación mediante un tanque donde se recolecten aguas lluvias.
- La edificación puede ser construida en zonas donde el coeficiente Sa de diseño (máximo coeficiente de aceleración) sea menor o igual a 0.79.
- La versatilidad de los muros y las uniones mecánicas entre estos permite aumentar o disminuir las áreas de la vivienda, además de cambiar la distribución de los espacios, aumentar o reducir la ventilación y la luminosidad, según las necesidades de los usuarios.
- Es posible realizar un presupuesto acertado mediante el uso de bases de datos y programas especializados en control de costos como OPUS, además de tener cotizaciones del mercado para ítems más específicos como las uniones en este caso.
- Es posible disminuir los costos utilizando otro tipo de uniones mecánicas ya sea de origen nacional o evaluando otro método, ya que estas corresponden al 19.4% de los costos directos.

## REFERENCIAS

- Ajuría Fernández, S. (2015). Sistema constructivo modular en madera con cubierta inclinada y estándar Passive House.
- Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., & Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático. (2018). Caracterización General de Escenario de Riesgo de Inundación por Desbordamiento.
- Alliance, S. framing. (2007). *Steel framing guide*.
- Arencibia Fernández, J. M. (2007). Conceptos fundamentales sobre el mantenimiento de edificios. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193915927005>
- Bardhan, R., & Debnath, R. (2018). Evaluating building material based thermal comfort of a typical low-cost modular house in India. *Materials Today: Proceedings*, 5(1), 311–317.  
<https://doi.org/10.1016/J.MATPR.2017.11.087>
- Campos, A., Holm-Nielsen, N., Díaz, C., Rubiano, D. M., Costa, C. R., Ramírez, F., & Dickson, E. (2012). *Análisis de la gestión del riesgo de desastres en Colombia*.
- Cipriano. (2012). Vida útil de estructuras en concreto | ARGOS 360. Retrieved October 29, 2019, from <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/categoryid/157/categoriname/buenas-practicas/vida-util-de-estructuras-en-concreto-de-que-depende>
- Colmena. (2019). Deck Steel manual de instalación.
- Congote, N. (2013). El Canal del Dique, tres años después - Archivo Digital de Noticias de Colombia y el Mundo desde 1.990 - eltiempo.com.
- CYPE Ingenieros. (2019). Precio en España de m<sup>3</sup> de Entramado ligero de madera, para forjado. Generador de precios de la construcción. CYPE Ingenieros, S.A. Retrieved November 5, 2019, from [http://carm.generadordeprecios.info/obra\\_nueva/Estructuras/Madera/Entramados\\_ligeros/EML030\\_Estramado\\_ligero\\_de\\_madera\\_\\_para\\_fo.html](http://carm.generadordeprecios.info/obra_nueva/Estructuras/Madera/Entramados_ligeros/EML030_Estramado_ligero_de_madera__para_fo.html)
- Estela, L., Castaño, A., Jairo, J., Lopera, O., Esteban, J., & Gómez, Q. (2009). *CONTROL DE PROGRAMACIÓN Y PRESUPUESTO EN EDIFICACIONES CON AYUDA DE MICROSOFT PROJECT 2007. CONTROL DE PROGRAMACIÓN Y PRESUPUESTO EN EDIFICACIONES*.
- Eternit. (2018). *Cartilla teja P7*.
- Forés, J., Gironés, I., & Morant, A. (2017). *Self-sufficient floating house for students in Groningen*.

- Forés Montesinos, J. R. (2017). *Self-sufficient floating house for students in Groningen Materials for upper structure and Modularity.*
- Hernández Castañeda, O., & Mendoza Escobedo, C. J. (2006). Durabilidad e infraestructura : retos e impacto socioeconómico. Retrieved from  
[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-77432006000100005](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-77432006000100005)
- IDEAM. (2015). Condiciones climática del departamento de Sucre.
- IDEAM, & MINAMBIENTE. (2014). *Estudio Nacional del Agua.*
- Institución EAE. (2011). *Artículo 31.º Durabilidad de las estructuras de acero 31.1. Generalidades.*
- Jiang, D., Tan, K. H., Wang, C. M., Ong, K. C. G., Bra, H., Jin, J., & Kim, M. O. (2018). Analysis and design of floating prestressed concrete structures in shallow waters. *Marine Structures*, 59, 301–320. <https://doi.org/10.1016/J.MARSTRUC.2018.01.006>
- Jones, J. C. (1998). *Design Methods: seeds of human futures.*
- Martínez et al., A. (2017). *La madera: propiedades, limitaciones y tratamientos.*
- McArthur, C., Yeung, B., Eadie, T., Bosch, T., Palfrey-Sneddon, H., & Cail, J. (2012). THE HOUSE THAT FLOATS- FLOOD RESISTANT HOUSING SOLUTION FOR THE AN MINH DISTRICT.
- Ministerio de Ambiente, M., & Desarrollo Territorial, V. (2011). *Serie Guías de Asistencia Técnica para Vivienda de Interés Social.* Retrieved from  
[http://www.minvivienda.gov.co/Documents/guia\\_asis\\_tec\\_vis\\_2.pdf](http://www.minvivienda.gov.co/Documents/guia_asis_tec_vis_2.pdf)
- Miranda, U. N. E. F. de. (2014). *Materiales autóctonos (construcciones en tierra).* Santa Ana de Coro.
- Mohamad, H. A. (n.d.). Light Weight steel framing.
- Muñoz, F., & Mendoza Escobedo, C. J. (2011). INFLUENCIA DE LAS FIBRAS DE POLIPROPILENO EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADOS PLÁSTICO Y ENDURECIDO. *Concreto y Cemento. Investigación y Desarrollo*, 2(2), 35–47.
- Ovando, G. (2016). *LA CONSTRUCCIÓN MODULAR LIGERA CON MÓDULOS TRIDIMENSIONALES, ANTECEDENTES Y SITUACIÓN ACTUAL.* Madrid.
- Panel Rey S.A. (2012). Manual de diseño estructural.
- Rave, J. fernando. (2017). *GUÍA DE DISEÑO DE CIMENTACIONES SUPERFICIALES PREFABRICADAS PARA EDIFICACIONES JAVIER EMILIO PENAGOS CONGOTE.* Medellín.
- Sararit, T., Tamiyo, K., & Maly, E. (2018). Resident's satisfaction to relocated Houses after 2004

- Indian Ocean Tsunami, Thailand. *Procedia Engineering*, 212, 637–642.  
<https://doi.org/10.1016/J.PROENG.2018.01.082>
- Shahtaheri, Y., Rausch, C., West, J., Haas, C., & Nahangi, M. (2017). Managing risk in modular construction using dimensional and geometric tolerance strategies. *Automation in Construction*, 83, 303–315. <https://doi.org/10.1016/J.AUTCON.2017.03.011>
- Shi, Q. J., Xu, D. L., Zhang, H. C., Zhao, H., & Wu, Y. S. (2018). Optimized stiffness combination of a flexible-base hinged connector for very large floating structures. *Marine Structures*, 60, 151–164. <https://doi.org/10.1016/J.MARSTRUC.2018.03.014>
- SURA. (2019). ARL SURA - Riesgos Laborales - ARL - ARL SURA - Riesgos Laborales - ARL. Retrieved February 24, 2019, from  
<https://www.arlsura.com/index.php/component/content/article?id=785:-sp-7581>
- Tezuka, S., Takiguchi, H., Kazama, S., Sato, A., Kawagoe, S., & Sarukkalige, R. (2014). Estimation of the effects of climate change on flood-triggered economic losses in Japan. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 9, 58–67. <https://doi.org/10.1016/J.IJDRR.2014.03.004>
- The World Bank Washington, D. C. (2006). Hazards of Nature, Risks to Development Hazards of Nature, Risks to Development: An IEG Evaluation of World Bank Assistance for Natural Disasters. <https://doi.org/10.1596/978-0-8213-6650-9>
- Universidad EAFIT. (2015). Spin off UTÓPICA - EAFIT.
- Universidad Nacional. (2018). Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales: Casas flotantes albergarían a damnificados por inundaciones.
- Universidad Nacional de San Juan. (2016). *MÉTODOS DE DISEÑO*.
- Valdés Krieg, A. (2017). DURABILIDAD DEL CONCRETO: CONCEPTOS Y SOSTENIBILIDAD | Hormigon especial. Retrieved October 29, 2019, from <http://www.hormigonespecial.com/blog/?p=349>
- Wang, C. M., & Tay, Z. Y. (2011). Very Large Floating Structures: Applications, Research and Development. *Procedia Engineering*, 14, 62–72.  
<https://doi.org/10.1016/J.PROENG.2011.07.007>

Ministerio de Transporte. (28 de 12 de 2004). Límites de peso y dimensiones en los vehículos de transporte terrestre automotor de carga por carretera. *Resolución No. 004100*. Colombia.

PADT-REFORT. (1982). Manual de diseño para maderas del Grupo Andino. Cartagena de Indias: Junta de Acuerdo de Cartagena.

ROTHOBLAAS. (2016). Handbook for timber frame buildings.

