

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



**MEGAPROYECTO  
EL BAMBÚ COMO ELEMENTO ESTRUCTURAL**

**Equipo de trabajo:**

Aguilar Melgar, Leonel Enrique  
Delgado Maza, Luis Fernando  
Girón Coronado, Erick Roberto  
Jerez González, Eva María  
Martínez del Rosal Teague, Andrea  
Paredes Ledesma, Astrid Lorena  
Portillo Paz, Lisbeth Mariana  
Rodas Alonso, Diego José  
Schambach Batres, Oliver Henry

Guatemala  
2008



MEGAPROYECTO  
**EL BAMBÚ COMO ELEMENTO ESTRUCTURAL**

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería

**MEGAPROYECTO  
EL BAMBÚ COMO ELEMENTO ESTRUCTURAL**

Trabajo de investigación presentado por Leonel Enrique Aguilar Melgar, Luis Fernando Delgado Maza, Erick Roberto Girón Coronado, Eva María Jerez González, Andrea Martínez del Rosal Teague, Astrid Lorena Paredes Ledesma, Lisbeth Mariana Portillo Paz, Diego José Rodas Alonso y Oliver Henry Schambach Batres para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Civil

Guatemala  
2008

Vo.Bo:

(f) \_\_\_\_\_  
Ing. Alejandro Maldonado  
Asesor

(f) \_\_\_\_\_  
Ing. Carlos Paredes  
Decano Facultad de Ingeniería

Fecha de aprobación: 28 de Noviembre de 2008

# Contenido

	Página
Lista de figuras	ix
Lista de tablas	xii
Lista de gráficos	xv
Resumen	xvii
I Introducción	1
II Objetivos	4
2.1 Objetivo general	5
2.2 Objetivos específicos	5
III Siembra y cosecha de la guadua	6
3.1 Definición y propiedades	7
3.2 Siembra y cosecha	7
3.3 Inmunización	8
3.4 Beneficios para el medio ambiente y reducción de riesgo	9
3.5 Situación en Guatemala	10
IV Comportamiento del bambú con el transcurso del tiempo	11
V Propiedades físico-mecánicas del bambú	14
5.1 Metodología a seguir para ensayos	15
5.2 Ensayo a compresión	16
5.3 Ensayo a tensión	17
5.4 Ensayo a flexión	18
5.4.1 Módulo de ruptura	19
5.4.2 Esfuerzo cortante	20
VI Ventajas y desventajas del uso del bambú en la construcción	21
VII Principios de diseño	24
7.1 Diseño y construcción	25
7.1.1 Materiales	25
7.1.2 Combinación de materiales	27
7.1.3 Juntas sísmicas	27
7.1.4 Cubiertas	28
7.1.5 Uso de herramientas	28
7.2 Funcionamiento estructural	28
7.3 Consideraciones del bambú	29
VIII Planos constructivos	30
8.1 Planos	31
IX Proceso constructivo	32
9.1 Trabajos preliminares	33
9.2 Cimentación	34

		Página	
	9.3	Piso	35
	9.4	Paredes	36
	9.5	Fabricación de paneles	36
	9.5.1	Ensamble de paneles	38
	9.5.2	Colocación de paneles	40
	9.6	Techo	40
	9.6.1	Tijeras	40
	9.6.2	Costaneras	41
	9.7	Lámina	42
	9.8	Repello y cernido	42
	9.9	Programa de construcción	46
X		Pruebas de paneles	47
	10.1	Metodología de pruebas de laboratorio y análisis de resultados	48
	10.1.1	Metodología general	48
	10.1.2	Diseño experimental	48
	10.1.3	Conversión de la carga aplicada a carga puntual	52
	10.1.4	Peso específico	53
	10.1.5	Módulo de elasticidad	53
	10.1.6	Procedimiento para la medición de deformaciones ocasionadas por la carga aplicada a las muestras de los paneles	54
	10.1.7	Proceso de conversión de la carga del gato hidráulico de 10 toneladas	55
	10.2	Peso de los paneles de muestra	55
	10.3	Peso específico	58
	10.4	Carga aplicada a paneles y deformación resultante	58
	10.5	Módulo de elasticidad	59
	10.5.1	Con base a la ecuación de la deformación resultante	59
	10.5.2	Módulo de elasticidad en cortante	60
XI		Metodología y análisis de pruebas de laboratorio de testigos de mortero	63
	11.1	Diseño y metodología	64
	11.2	Ensayos de compresión	66
	11.3	Ensayos de tensión	67
	11.4	Cálculos y resultados	69
	11.5	Discusión de resultados	75
XII		La sismicidad en Guatemala	77
	12.1	Fuentes sismogénicas	78

	Página	
12.2	Percepción del problema sísmico	78
12.3	Riesgo sísmico en aumento	79
12.4	Terremotos olvidados e ignorados	79
12.5	Peligros derivados	82
	12.5.1 Derrumbes	82
	12.5.2 Ruptura y fisuración del terreno	83
	12.5.3 Licuefacción y/o asentamiento de suelos saturados sin cohesión	83
	12.6 Espectro sísmico de diseño	84
XIII	Análisis Estructural	85
	13.1 Metodología	86
	13.2 Diseño experimental	86
	13.3 Datos	88
	13.4 Espectro sísmico, cálculos y resultados	90
	13.5 Análisis estructural	92
	13.5.1 Índice de gráficas para análisis y descripción	92
	13.5.2 Gráficas	93
	13.6 Resultados	113
	13.7 Discusión del análisis estructural	116
XIV	Detalle del análisis, metodología SAP2000 para análisis dinámico modal aplicando espectro de diseño AGIES NR-2	119
	14.1 Definición de tipos de cargas	120
	14.2 Ingreso de espectro de diseño	121
	14.3 Casos de análisis	124
	14.4 Combinaciones de cargas	127
	14.7 Corte basal	128
XV	Análisis financiero	129
	15.1 Vivienda de mampostería reforzada de block	130
	15.1.1 Paneles actuales de bambú	130
	15.1.2 Trabajos preliminares	131
	15.1.3 Diseño del cimiento corrido	131
	15.1.4 Diseño de los muros de mampostería	133
	15.1.5 Solera tipo "U"	134
	15.1.6 Soleras	135
	15.1.7 Integración de materiales, y el costo	136
	15.1.8 Resumen de costos casa de block	136
	15.2 Integración de costos de la casa de bambú	137
	15.2.1 Cimiento corrido	137
	15.2.2 Mortero para repello	138

	Página	
15.2.3	Integración de áreas en paneles	138
15.2.4	Integración de costos por panel	139
15.2.5	Costos unitarios para integración	155
15.2.6	Integración de costos casa de bambú	156
15.3	Integración de costos de adobe reforzado con malla y mortero	158
15.4	Costos registrados por el banco de Guatemala	158
15.5	Incremento anual de costos	159
15.6	Proyección de costos	159
15.6.1	Gráficos de proyección de costos bambú	160
15.6.2	Gráficos de proyección de costos adobe	161
15.7	Análisis comparativo	162
XVI	Estudio del sitio para la construcción de una vivienda	164
16.1	Estudio de riesgo aldea El Socorro	165
16.1.1	Conclusión del estudio	168
16.1.2	Recomendaciones	168
16.2	Propuesta de sitio para realizar la construcción de una vivienda de bambú	169
XVII	Divulgación del proyecto a las comunidades	173
17.1	Problemática actual de vivienda	174
17.2	Sistemas de construcción	175
17.3	El bambú como elemento estructural	176
17.4	Propuesta de vivienda para Guatemala	177
17.5	Divulgación del proyecto	180
XVIII	Conclusiones	181
XIX	Recomendaciones	185
XX	Bibliografía	189
XIX	Anexo - Planos	192

## Lista de figuras

	Página	
Figura 1	Guadua en Guatemala	7
Figura 2	Piscina de inmunización de la guadua.	8
Figura 3	Bosque de guadua.	10
Figura 4	Pobreza en Guatemala.	10
Figura 5	Conformación del albergue.	12
Figura 6	Grieta causada por el desprendimiento de un perno.	13
Figura 7	Grietas superficiales.	13
Figura 8	Equipo para ensayo a tensión (ASTM D2938, D3148).	17
Figura 9	Ilustración Soiltest Versa Tester Mecánico.	18
Figura 10	Distancias sobre la carga y los apoyos.	19
Figura 11	Madera a utilizar en casa	25
Figura 12	Esterilla de bambú guadua	26
Figura 13	Esterilla de bambú guadua	26
Figura 14	Mortero preparado para el repello	27
Figura 15	Calculo junta sísmica entre edificaciones	27
Figura 16	Junta sísmica “J” para construcciones aladañas	28
Figura 17	Sistema constructivo de paneles	29
Figura 18	Estructura que transmite cargas a cimientos	29
Figura 19	Limpieza del terreno.	33
Figura 20	Trazo del terreno para cimentación	34
Figura 21	Sistema de cimentación	34
Figura 22	Cimiento corrido	35
Figura 23	Panel de madera con esterilla de bambú repellido	36
Figura 24	Dimensiones madera	36
Figura 25	Bambú Guadua del que se fabrica la esterilla	37
Figura 26	Proceso colocación esterilla y repello de paneles	37
Figura 27	Detalle de unión de los paneles prefabricados	38
Figura 28	Junta entre paneles que funcionan de pared exterior	38
Figura 29	Juntas de unión esquinas superiores	39
Figura 30	Techo de tijeras	41
Figura 31	Detalle de la armadura de techo	41
Figura 32	Detalle de costaneras y lámina	42
Figura 33	Madera utilizada en formaleta	43
Figura 34	Panel armado con formaleta	43
Figura 35	Clavado de formaleta en panel	43
Figura 36	Lanzado de mortero dentro del panel	44
Figura 37	Panel totalmente repellido	44

	Página	
Figura 38	Aplicación de mortero en panel	45
Figura 39	Vista general de la vivienda	45
Figura 40	Paneles utilizados en las pruebas de laboratorio.	49
Figura 41	Panel colocado en marco de prueba de muros de la Universidad del Valle de Guatemala.	50
Figura 42	Soporte lateral para evitar la traslación de los paneles.	50
Figura 43	Punto de aplicación de la carga lateral a los paneles utilizando un gato hidráulico con capacidad de 10 toneladas.	51
Figura 44	Deformímetro utilizado para medir la deformación del panel ocasionada por la carga aplicada.	51
Figura 45	Manómetro utilizado para la lectura de la carga aplicada a los paneles.	51
Figura 46	Prueba del gato hidráulico en la forney.	52
Figura 47	Mecanismo de análisis de paneles suponiendo que funciona como una viga empotrada y en voladizo, con una carga puntual en su extremo libre (panel D1).	54
Figura 48	Moldes testigos cúbicos	65
Figura 49	Moldes para briquetas	65
Figura 50	Anillo que mide deformación y fuerza en vueltas en máquina de compresión.	66
Figura 51	Testigo cúbico hecho conforme especificaciones	66
Figura 52	Testigo cúbico con vacíos y poros	67
Figura 53	Falla de testigo cúbico en prueba de compresión	67
Figura 54	Tensora de briquetas	68
Figura 55	Briqueta fallada	68
Figura 56	Briquetas falladas	68
Figura 57	Medición del ancho de la falla de la briqueta fallada	69
Figura 58	Ejemplo de testigo cúbico	69
Figura 59	Ejemplo de briqueta	73
Figura 60	Mapa tectónico de Guatemala	79
Figura 61	Terremotos históricos del norte	80
Figura 62	Terremotos históricos en zona de subducción	80
Figura 63	Terremotos históricos de subducción 2	80
Figura 64	Propensión sísmica	81
Figura 65	Esquema conciencia pública de amenaza sísmica	81
Figura 66	Comparación de los espectros probabilistas deducidos en el estudio con los propuestos por las normativas de Guatemala y España,	84
Figura 67	Definir tipos de cargas	120
Figura 68	Definición de tipos y conjuntos de carga.	121
Figura 69	Pasos para ingreso de espectro de diseño	121

	Página	
Figura 70	Definición del espectro de respuesta.	122
Figura 71	Interactive database editing. (menús)	122
Figura 72	Edición interactiva de base de datos	123
Figura 73	Edición interactiva de base de datos, ingreso de función	123
Figura 74	Definición de la función del espectro de respuesta	124
Figura 75	Casos de análisis	125
Figura 76	Datos del caso de análisis.	125
Figura 77	Caso de análisis de cargas por peso propio	126
Figura 78	Definición sismo en dirección x	126
Figura 79	Definición de las combinaciones de carga	127
Figura 80	Creación de combinaciones de cargas	127
Figura 81	Terreno disponible para construir la vivienda.	166
Figura 82	Terreno disponible para construir la vivienda otra vista.	166
Figura 83	Fotografía del Aérea	166
Figura 84	La vivienda evaluada.	167
Figura 85	Vista al río Pantaleón desde el camino frente a la vivienda evaluada.	167
Figura 86	Vista de la topografía irregular de la orilla del cauce del río Pantaleón	167
Figura 87	Construcción informal de la vivienda actual.	168
Figura 88	Fotografía aérea localizando la Nueva Concepción.	170
Figura 89	Localización de la municipalidad de La Nueva Concepción.	170
Figura 90	Distancia desde el río Madre Vieja a la Nueva Concepción	171
Figura 91	Ubicación del terreno disponible para la construcción de la vivienda.	171
Figura 92	Fotografía del terreno disponible.	172
Figura 93	Mapa de porcentaje de hogares con una o más necesidades insatisfechas según INE.	174
Figura 94	Vivienda de mampostería	175
Figura 95	Vivienda de bahareque	176
Figura 96	Construcción de vivienda de bambú	176
Figura 97	Construcción de vivienda en la SE-CONRED	178
Figura 98	Construcción de vivienda en SE-CONRED	179
Figura 99	Construcción de vivienda en SE-CONRED	179

## Lista de tablas

		Página
Tabla 1	Condiciones de siembra	8
Tabla 2	Ciclo biológico	9
Tabla 3	Resultados del ensayo a compresión.	16
Tabla 4	Resultados a ensayo de tensión.	18
Tabla 5	Módulo de ruptura en varilla promedial.	19
Tabla 6	Módulo de ruptura en cilindro promedial.	19
Tabla 7	Esfuerzo cortante.	20
Tabla 8	Valor de j para las juntas sísmicas	27
Tabla 9	Cuadro de perforaciones	39
Tabla 10	Orden de colocación de paneles	40
Tabla 11	Peso de paneles sin mortero.	55
Tabla 12	Peso unitario del mortero (proporción	56
Tabla 13	Peso en libras de panel F2.	56
Tabla 14	Peso en libras de panel F3.	56
Tabla 15	Peso en libras de panel D1.	57
Tabla 16	Peso específico de paneles de muestra y peso específico promedio.	58
Tabla 17	Carga aplicada a los paneles y deformación resultante de la aplicación de dicha carga.	58
Tabla 18	Módulo de elasticidad de cada panel de muestra.	59
Tabla 19	Especificaciones de las medidas de la viga.	60
Tabla 20	Módulo de elasticidad cortante de los paneles F2, F3 y D1.	61
Tabla 21	Panel 1 – Prueba a compresión	70
Tabla 22	Panel 2 – Prueba a compresión	70
Tabla 23	Panel 3 – Prueba a compresión	70
Tabla 24	Panel 4 – Prueba a compresión	71
Tabla 25	Panel 5 – Prueba a compresión	71
Tabla 26	Panel 6 – Prueba a compresión	71
Tabla 27	Panel 7 – Prueba a compresión	71
Tabla 28	Panel 8 – Prueba a compresión	71
Tabla 29	Panel 9 – Prueba a compresión	71
Tabla 30	Panel 10 –Prueba briqueta	73
Tabla 31	Panel 11 –Prueba briqueta	73
Tabla 32	Panel 12 –Prueba briqueta	74
Tabla 33	Panel 13 –Prueba briqueta	74
Tabla 34	Panel 14 –Prueba briqueta	74
Tabla 35	Panel 15 –Prueba briqueta	74
Tabla 36	Panel 16 –Prueba briqueta	74

	Página	
Tabla 37	Panel 17 –Prueba briqueta	75
Tabla 38	Panel 10 –Prueba briqueta	75
Tabla 39	Función de amplificación sísmica	88
Tabla 40	Periodos para distintos perfiles de suelos	88
Tabla 41	Aceleraciones máximas para el sismo básico y el sismo frecuente	88
Tabla 42	Nivel de protección sísmica	89
Tabla 43	Carga para techo de lámina (AGIES, Nr-2)	89
Tabla 44	Datos panel sólido	90
Tabla 45	Cargas y deformaciones paneles	90
Tabla 46	Coeficientes para el cálculo del espectro sísmico	90
Tabla 47	Aceleraciones máximas efectivas	91
Tabla 48	Periodos sísmicos	91
Tabla 49	Cálculo espectro sismo básico	91
Tabla 50	Cálculo espectro sismo frecuente	91
Tabla 51	Propiedades de la madera	91
Tabla 52	Deformación panel F2 análisis SAP	113
Tabla 53	Deformación panel F3 análisis SAP	113
Tabla 54	Deformación panel F2 análisis SAP, considerando por separado la acción de los marcos de madera en ventanas	113
Tabla 55	Deformación panel F3 análisis SAP, considerando por separado la acción de los marcos de madera en ventanas	113
Tabla 56	Deformación panel D1 análisis SAP	114
Tabla 57	Mayores desplazamientos en los nudos de la casa en X	114
Tabla 58	Mayores desplazamientos en los nudos de la casa en Y	114
Tabla 59	Mayores desplazamientos en los nudos de la casa en X, habiendo relocalizado tijeras y considerando por separado de la acción de los marcos de madera	114
Tabla 60	Mayores desplazamientos en los nudos de la casa en Y, habiendo relocalizado tijeras y considerando por separado de la acción de los marcos de madera	115
Tabla 61	Resultados	115
Tabla 62	Deriva máxima lateral permitida debida a sismos	115
Tabla 63	Comparación cargas y factor de seguridad	115
Tabla 64	Resultados del análisis	128
Tabla 65	Detalle de longitudes, alturas y áreas de los actuales paneles de bambú.	130
Tabla 66	Detalle de integración de materiales y de costos para el cimiento corrido.	132
Tabla 67	Detalle del análisis de los materiales según noma AGIES NR-4 y el costo de los mismos a la fecha	133

		Página
Tabla 68	Detalle del análisis de los materiales según noma AGIES NR-4 y el costo de los mismos a la fecha	134
Tabla 69	Cuantificación de éstas de acuerdo a las especificaciones generales para la construcción AGIES NR-4.	135
Tabla 70	Materiales para el repello + cernido en muros interiores y exteriores	136
Tabla 71	Techo de lámina, casa de mampostería	136
Tabla 72	Resumen del costo de la casa de mampostería.	136
Tabla 73	Resumen total de los materiales de cuantificación	137
Tabla 74	Cuantificación cemento	137
Tabla 75	Cuantificación repello	138
Tabla 76	Integración de áreas en paneles	138
Tabla 77	Paneles terminados de proveedor	139
Tabla 78	Costo panel D-1	140
Tabla 79	Costo panel D-2	141
Tabla 80	Costo panel D-3	142
Tabla 81	Costo panel F-1	143
Tabla 82	Costo panel F-2	144
Tabla 83	Costo panel F-3	145
Tabla 84	Costo panel I-1	146
Tabla 85	Costo panel I-2	147
Tabla 86	Costo panel T-1	148
Tabla 87	Costo panel T-2	149
Tabla 88	Costo panel T-3	150
Tabla 89	Costo panel T-4	151
Tabla 90	Costo panel T-5	152
Tabla 91	Costo panel T-6	153
Tabla 92	Tijeras para techo	154
Tabla 93	Costaneras	154
Tabla 94	Costo de materiales	155
Tabla 95	Integración de costo casa de bambú, proveedor de paneles	156
Tabla 96	Integración de costo casa de bambú, precios integrados	157
Tabla 97	Costo casa de adobe reforzado con malla y mortero	158
Tabla 98	Costos registrados por el banco de Guatemala	158
Tabla 99	Incremento anual de costos	159
Tabla 100	Proyección de costo de casa de bambú de paneles integrados	159
Tabla 101	Proyección de costo de casa de bambú de paneles integrados por material	160
Tabla 102	Comparativo de costos bambú vs. adobe.	162
Tabla 103	Comparativo incremento de costo bambú vs. adobe	163

## Lista de gráficas

		Página
Gráfica 1	Gráfica y ecuación lineal para la conversión de libras por pulgada cuadrada a libras en	55
Gráfica 2	Gráfica esfuerzo vs. deformación unitaria de las pruebas realizadas a los tres paneles del tipo F2.	60
Gráfica 3	Gráfica esfuerzo vs. deformación unitaria de las pruebas realizadas a los tres paneles del tipo F3.	60
Gráfica 4	Gráfica esfuerzo vs. deformación unitaria de las pruebas realizadas a los tres paneles del tipo D1.	61
Gráfica 5	Promedio pruebas de compresión en testigos cúbicos	72
Gráfica 6	Libras promedio a las cuales cedían las briquetas por torsión	75
Gráfica 7	Espectro sismo básico	93
Gráfica 8	Espectro sismo frecuente	93
Gráfica 9	Distribución de esfuerzos genérica en paneles	94
Gráfica 10	Caso carga 1, Aplicación de una carga en SAP de 3675.34 Lbs. al panel F2	94
Gráfica 11	Caso carga 2, Aplicación de una carga en SAP de 7350.69 Lbs. al panel F2	95
Gráfica 12	Caso carga 3, Aplicación de una carga en SAP de 6738.13 Lbs. al panel F2	95
Gráfica 13	Caso carga 4, Aplicación de una carga en SAP de 3369.07 Lbs. al panel F3	96
Gráfica 14	Caso carga 5, Aplicación de una carga en SAP de 6125.57 Lbs. al panel F3	96
Gráfica 15	Caso carga 6, Aplicación de una carga en SAP de 5819.3 Lbs. al panel F3	97
Gráfica 16	Caso carga 7, Aplicación de una carga en SAP de 11026.03 Lbs. al panel D1	97
Gráfica 17	Caso carga 8, Aplicación de una carga en SAP de 10719.75 Lbs. al panel D1	88
Gráfica 18	Caso carga 9, Aplicación de una carga en SAP de 8575.8 Lbs. al panel D1	98
Gráfica 19	Desplazamiento caso 1	99
Gráfica 20	Desplazamiento caso 2	99
Gráfica 21	Desplazamiento caso 3	100
Gráfica 22	Desplazamiento caso 4	100
Gráfica 23	Desplazamiento caso 5	101
Gráfica 24	Desplazamiento caso 6	101
Gráfica 25	Desplazamiento caso 7	102
Gráfica 26	Desplazamiento caso 8	102
Gráfica 27	Desplazamiento caso 9	103

	Página	
Gráfica 28	Distribución de esfuerzos en panel F2 (kip) siendo rojo la mayor compresión y azul la mayor tensión.	103
Gráfica 29	Distribución de esfuerzos en panel D1 (kg), siendo rojo-morado la mayor compresión y azul la mayor tensión	104
Gráfica 30	Primeros pasos en la creación del modelo	104
Gráfica 31	Modelo terminado, sin diafragma (techo de lámina)	105
Gráfica 32	Cargas de techo, aplicadas con 5 elementos frame a cada 1.5 metros	105
Gráfica 33	Aplicación de cargas de techo, y rigidizarían y aplicación del diafragma	106
Gráfica 34	Deformación máxima (exagerada) para sismo en X (1.556 inch)	106
Gráfica 35	Deformación máxima (exagerada) para sismo en Y (2.889 inch)	107
Gráfica 36	Ajuste con marco de madera	107
Gráfica 37	Desplazamiento ajustado caso 1, acción del marco de madera en la ventana	108
Gráfica 38	Desplazamiento ajustado caso 2, acción del marco de madera en la ventana	108
Gráfica 39	Desplazamiento ajustado caso 3	109
Gráfica 40	Desplazamiento ajustado caso 4	109
Gráfica 41	Desplazamiento ajustado caso 5	110
Gráfica 42	Desplazamiento ajustado caso 6	110
Gráfica 43	Redistribución de tijeras en techos	111
Gráfica 44	Distribución de materiales, para mejora del desempeño estructural de la estructura	111
Gráfica 45	Deformación máxima (exagerada) para sismo en Y (0.4513 inch)	112
Gráfica 46	Deformación máxima (exagerada) para sismo en X (0.7115 inch)	112
Gráfica 47	Proyección anual de costo bambú	160
Gráfica 48	Proyección porcentual de costo bambú	160
Gráfica 49	Proyección por costos de materiales bambú.	161
Gráfica 50	Proyección anual de costo adobe.	161
Gráfica 51	Proyección porcentual de costo adobe.	162
Gráfico 52	Proyección por costos de materiales adobe.	162
Gráfica 53	Proyección de costo bambú vs. adobe	163
Gráfica 54	Proyección de costo bambú vs. adobe igualados en 2028	163

# Resumen

Las expectativas que se esperan de la realización de este trabajo de investigación son ante todo la introducción de un método alternativo a la vivienda popular que sea seguro, eficiente y económico. El objetivo en sí de todo el proyecto, se centra en documentar y presentar los resultados y la metodología utilizada, para demostrar a las comunidades alrededor de la República que este método es seguro, confiable y ante todo accesible.

Los resultados obtenidos de las pruebas de laboratorios son una muestra general de lo que se puede lograr con los materiales utilizados y con la combinación de dichos materiales. Las muestras utilizadas son pequeñas y las pruebas realizadas a los paneles son limitadas, por lo que se recomienda ampliar en este tema, pero los resultados obtenidos permiten visualizar la capacidad de la combinación de dichos materiales y presentan características viables de la capacidad resistiva de la vivienda propuesta.

El bambú no sólo es una planta importante en la ecología de nuestro país, sino que sin duda se convertirá en un fundamento importante para la economía y desarrollo de la industria que requiere de ideas novedosas, pero realizables a corto plazo. Una vez estudiado el comportamiento de paneles de bambú con carga axial y fuerza horizontal para predecir el comportamiento de las estructuras construidas con esterilla guadua, se procede a analizar el método constructivo a seguir para tener un prototipo de vivienda económica. Se propone el diseño ya utilizado en la Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres –CONRED y una construcción con participación de la comunidad de manera que cada individuo contribuya activamente en la calidad y definición de su propia vivienda y le lleve a apreciar y reevaluar el concepto que tenga sobre éste tipo de material.

La construcción final de una vivienda utilizando el bambú es a lo que corresponde esta sección del megaproyecto. Aquí se demostrará el proceso de construcción de los paneles y su montaje hasta la construcción de una casa / prototipo. Así mismo se demostrará cómo ha sido el comportamiento de este material con el transcurso del tiempo cuando éste se utiliza como un elemento estructural. Finalmente se armó un manual informativo sobre el método constructivo en donde se explica en una forma sencilla cómo deben armarse los paneles, qué tipos de paneles se deben utilizar y cómo deben ser distribuidos para lograr la configuración de la vivienda.

Se evaluó el desempeño estructural de la casa de bambú, al someterla a distintos tipos de sismos. Este trabajo está compuesto por varias partes, la primer parte donde se plantea el marco teórico sobre sismicidad, amenaza y vulnerabilidad sísmica de Guatemala, y la segunda donde se detalla el análisis sísmico.

Se realizó un análisis sísmico modal espectral y se llegó a comprobar que la estructura puede resistir un sismo con aceleraciones y características como las del sismo frecuente de la norma AGIES NR-2, y que probablemente conociendo mejores las propiedades de los paneles, principalmente a flexión, pueda llegarse a comprobar analíticamente que esta estructura es apta para un sismo con características como las de sismo básico de la norma AGIES NR-2, pero sí se puede asegurar, que los esfuerzos por cortante no llevarán a la falla la estructura, debido a que se requeriría de un sismo con aceleraciones 8.5 veces mayores que las del sismo básico (ver Capítulo XIII, sección Resultados del análisis) .

Las pruebas de laboratorio realizadas a los paneles dieron como resultado el peso específico del material combinado, siendo este de 1540.59 kilogramos por metro cúbico, así como también el módulo de elasticidad de 11.36 kilo libras por pulgada cuadrada y el módulo de elasticidad en cortante correspondiente a 1848 libras por pulgada cuadrada. Para obtener estos resultados se probaron tres tipos de paneles de los que conforman la casa, paneles F2, F3 y D1, y se probaron tres de cada tipo, siendo un total de nueve muestras.

Las pruebas de laboratorio realizadas al bambú (guadua) mostraron las características resistivas del material sometido a esfuerzos de compresión, tensión y flexión. Las pruebas a compresión dieron como resultado una resistencia de 26,500 libras para la muestra sin nudo y 27,500 libras para la muestra con nudo, así como módulos elásticos de  $1.38 \times 10^5$  y  $1.41 \times 10^5$  libras por centímetro cuadrado correspondientemente. Las muestras a tensión resistieron 1450 libras para la muestra sin nudo y 1900 libras la muestra con nudo. Los ensayos a flexión dieron como resultado el módulo de ruptura y el esfuerzo cortante para la estería y para cilindros de bambú. El esfuerzo cortante promedio obtenido es de  $36.44 \text{ lb/cm}^3$ .

El mortero utilizado en los paneles ayuda a resistir la carga de viento y al mismo tiempo su densidad es baja, permitiendo la flexibilidad de los materiales para que estos resistan la carga sísmica. De cada panel se tomaron 6 testigos, 3 testigos cúbicos y 3 testigos tipo briqueta para realizarles pruebas de compresión y tensión respectivamente. Estas pruebas de laboratorio demostraron que los valores obtenidos en el caso de los testigos cúbicos son satisfactorios ya que el mortero demostró un peso específico un 66% del peso específico del concreto, indicando esto que la combinación de materiales en los paneles no se vuelva tan rígida y que al ocurrir un sismo permita deformaciones sin fluir.

Este Mega-Proyecto ofrece a Guatemala una alternativa de vivienda popular que además de cumplir con los requerimientos estructurales, también es económicamente viable para la mayoría de su población. Actualmente la vivienda propuesta es sólo un 10.08% más cara que la de adobe reforzado y un 33.63% más barata que la de block reforzado con acero. Adicionalmente el efecto de inflación en los costos de materiales, afecta mayormente a la casa de Adobe y a la de block reforzado con acero; si la tendencia actual es estable da como resultado, que para

el año 2028 la vivienda de Bambú no sólo tenga mejores características estructurales, sino también sea más económica.

Por lo anteriormente expuesto, se elaborará un manual para la construcción de viviendas de bambú, un trífoliar que exponga los resultados y las ventajas de este método constructivo, así como también un documento audiovisual demostrando las pruebas realizadas y los resultados obtenidos.

# Capítulo I

## *Introducción*

---

# I. Introducción

La realización de este proyecto surge de la aspiración de nueve estudiantes de Ingeniería Civil de la Universidad del Valle de Guatemala de investigar la posibilidad de contar con una nueva opción constructiva de vivienda popular, para así ayudar a la población de escasos recursos a contar con una vivienda digna, segura y económica.

La necesidad de vivienda en países como el nuestro es inminente, así como la necesidad cumpla con las cualidades de ser económica, antisísmica y fácil de construir. Cumpliendo con estas necesidades y luego de realizar algunos de los análisis respectivos, este trabajo resulta en una propuesta de vivienda popular que resulta segura, económica, autosostenible y viable para las comunidades de bajos recursos de Guatemala.

Al igual que todas las alternativas, ésta presenta sus ventajas y desventajas, pero cumple con la relación costo/beneficio de la combinación de materiales (bambú, madera y mortero de baja resistencia) para que resulte en una propuesta viable de vivienda popular. Es por esto el costo de la vivienda de bambú se compara con otros métodos constructivos y hace un estimado de sus costos futuros y su susceptibilidad al incremento del valor de los materiales de construcción.

La propuesta consiste en una vivienda de 30 metros cuadrados de construcción, con dos cuartos, un baño y un área común. Está conformada por paneles de madera de pino, bambú y mortero, techo de lámina montado sobre tijeras de madera de pino y toda la estructura está cimentada sobre una base trapezoidal de concreto ciclópeo. Cada panel puede llevar cualquier diseño ya sea de puerta, ventana o macizo; siempre que se cumpla con las especificaciones de aberturas permitidas en muros por área de muro. Las uniones entre paneles son a base de pernos y las uniones de cada panel son a base de clavos. De esta manera se quiere demostrar que el uso apropiado de los materiales permite la creación de espacios de gran estética y sobrios acabados.

El bambú colocado en los paneles trabaja a tensión y compresión, dependiendo de la ubicación y en algunas partes trabaja a tenso-compresión. Para el cálculo del módulo de elasticidad del material combinado se considera que los paneles funcionan como vigas empotradas y que el bambú, además de rigidizar los paneles, resistir los esfuerzos de cortante producidos por la carga sísmica.

Un factor muy importante que se toma en cuenta es la sismicidad en Guatemala, ya que Guatemala se encuentra en una zona de alta sismicidad, por su posición en el límite de varias placas tectónicas. Por esta razón se realizó una investigación bibliográfica, sobre la sismicidad en Guatemala y métodos aplicables para analizarla. Y luego se procedió con el análisis, haciendo uso del programa para análisis estructural SAP2000, detallando su uso.

Para respaldar los resultados se analizaron individualmente algunos de los materiales utilizados en la casa, los materiales analizados fueron el bambú, el mortero y la combinación de materiales de los paneles.

Al bambú utilizado se le llama “Guadua”, el cual presenta diversas características como su fácil renovación, alta resistencia con relación a su peso y su capacidad de brindar soluciones de vivienda óptimas al alcance no sólo de las comunidades de bajos recursos, sino de todo tipo de usuario.

Una parte esencial del proyecto se centra en llevar los resultados y la información recaudada a las diferentes comunidades de la república; para lograr que las personas lo conozcan y se familiaricen con él, de esta forma se crea una cultura en el que las personas siembren guadua y construyan una casa. El propósito de la divulgación es crear confianza en las personas, fomentar la siembra de la guadua y propiciar la autosostenibilidad de las comunidades.

## **Capítulo II**

### *Objetivos*

---

## **II. Objetivos**

### **2.1 Objetivo general**

Evaluar y analizar el bambú como una alternativa estructural para implementar en la construcción de viviendas de bajos costos.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Evaluar la capacidad resistiva del bambú como elemento estructural.
- Analizar las ventajas y desventajas de la construcción a base de bambú.
- Determinar la relación costo/beneficio de las estructuras de bambú.
- Proponer el uso del bambú, en vivienda popular, como una alternativa autosostenible para las comunidades de bajos recursos.
- Determinar las propiedades físico-mecánicas de los paneles que conformarán la casa y el material compuesto que resulta en dichos paneles.
- Determinar las propiedades físico-mecánicas del mortero que se utilizará en los paneles.
- Realización del análisis estructural y comprobación del desempeño de la estructura.
- Obtención del rango de cargas seguras que proporcionen a los habitantes seguridad y características de servicibilidad aceptables.
- Evaluar si la casa cumple con los requisitos de servicibilidad y deformaciones.
- Investigar proyectos de vivienda desarrollados a partir de donaciones para hacer un análisis comparativo de la cantidad de viviendas que se podrían desarrollar en bambú, contra el método utilizado, y así proyectar donaciones futuras.
- Preparar material impreso y electrónico que sirva para divulgar los resultados de este sistema estructural en del país.

## **Capítulo III**

### *Siembra y cosecha de la guadua*

---

# III. Siembra y cosecha de la guadua

## 3.1 Definición y propiedades

La guadua es una hierba, una gramínea, un pasto gigante que puede ser sembrado como bosque protector o como bosque reproductor. Hace unos años se comenzó a practicar su cosecha y poco a poco se ha comenzado a usar en la construcción, sobretodo en las zonas rurales. Sin embargo el uso de la guadua aún no se ha masificado.(4)

Esta especie está dotada y rodeada de condiciones que la hacen ideal para distintos campos de aprovechamiento. Se trata de un recurso sostenible y renovable porque se auto multiplica vegetativamente, es decir, que no necesita de semilla para reproducirse como ocurre con algunas especies maderables. Tiene además alta velocidad de crecimiento, casi 11 cm de altura por día en la región cafetera y en sólo 6 meses puede lograr su altura total, lo cual es muy positivo si se tiene en cuenta que, uno de los problemas acusados para la siembra de especies maderables y reforestación, es el tiempo extremadamente largo para la obtención de resultados.(4)

## 3.2 Siembra y cosecha

Para la construcción de vivienda se deben usar guaduas "jechas" es decir maduras, que no tengan caparazón y que tengan unos hongos blancos, señal que la planta ha alcanzado su madurez. Cuando la guadua está lista, más o menos 5 años después de la siembra, se debe cosechar, preferiblemente antes de que salga el sol, pues la guadua absorbe agua de la tierra a través de la raíz.(4)

El calor, la sequedad del ambiente y la luz hacen que sus hojas pierdan agua y al sentir la carencia tratan de suplir la necesidad extrayéndola de la tierra, a través de las raíces, subiéndola por el tallo. Este fenómeno se conoce como transpiración.(4)

**Figura 1:** Guadua en Guatemala



Durante la noche la temperatura es fresca y hay poca luz, por lo tanto la transpiración es mínima y el tallo no tiene mucha agua, por lo que el mejor momento para su cosecha es antes de que amanezca. Después de cortada, se deja parada lo más perpendicular posible apoyada en las otras guaduas de su entorno, por un mes, tiempo durante el cual la planta terminará por evacuar toda el agua de su interior, a este proceso se le conoce como la cura, después de curada queda lista para ser inmunizada.(4)

Sumado a esto, las condiciones de cosecha de la guadua son mucho más sencillas que las requeridas por otras especies. Se corta con machete, herramienta elemental de fácil uso y mínima inversión, tiene peso liviano y a pesar de su altura, también tiene diámetros que facilitan su transporte y almacenamiento.(20)

**Tabla 1:** Condiciones de siembra

<b>Condiciones de siembra</b>	
<b>Donde sembrar</b>	
Altitud	400 a 2,000 m.s.n.m
Temperatura	18°C a 22°C
Precipitación	Superior a 1,300 milímetros por año
Humedad relativa	80%
Suelos	Areno-limosos, arcillosos, sueltos profundos, bien drenados y fértiles
<b>Como sembrar</b>	
Distancia de siembra	5 X 5 metros
Plateo	1.5 metros
Hoyo	40 X 40 centímetros

Fuente: Corporación Autónoma Regional del Valle CVC. Luis Fernando Cortes  
Documento: El cultivo de la guadua alternativa económica para el desarrollo sostenible

### 3.3 Inmunización

Se conocen varias maneras para inmunizarla, la primera es construyendo una piscina o fosa de 11 metros de largo y un metro de profundidad, teniendo en cuenta que la guadua utilizada para la construcción pocas veces excede este largo.(4)

**Figura 2:** Piscina de inmunización de la guadua.



Esta fosa se forra en polietileno y se le echa una solución de aguacal en la cual se sumerge para acelerar el proceso de secado; posteriormente se agrega una solución de sulfato de cobre, bórax y agua, mezcla con que se inmuniza la guadua contra el ataque del xilófago, que no es otro que el gorgojo que se la come de adentro hacia fuera.(4)

Otro tratamiento para inmunizarla consiste en hacer una mezcla de petróleo, pimienta y cal que se inyecta con una jeringa 2,5 cm arriba de cada nudo. Este tratamiento resulta más barato pues evita la construcción de la fosa. Mientras que inyectando el preservativo el gasto es simplemente de mano de obra. Dos operarios trabajando durante 8 días pueden inmunizar todas las guaduas de una edificación de 180 metros cuadrados.(4)

Si la guadua queda bien inmunizada es un elemento muy resistente que puede durar cientos de años. En algunas ciudades latinoamericanas existen edificaciones en guadua de 300 y 400 años.(4)

**Tabla 2:** Ciclo biológico

<b>Ciclo biológico</b>	
<b>Crecimiento</b>	Como recurso forestal la guadua crece rápidamente (promedio de crecimiento durante los primeros 20 días es de 10 cm por día. Obtiene su altura definitiva a los 120 días)
<b>Aprovechamiento</b>	Las condiciones anteriores permiten gran nivel de aprovechamiento en tiempo reducido (madera entre 4 y 5 años) lo que significa una inversión rentable y un ingreso económico sostenible.
<b>Maduración y dureza</b>	La madera se va endureciendo a medida que la especie se desarrolla y llega a convertirse en una estructura que ya madura o hecha, soporta alturas de mas de doscientas veces su diámetro.

Fuente: Corporación Autónoma Regional del Valle CVC. Luis Fernando Cortes  
Documento: El cultivo de la guadua alternativa económica para el desarrollo sostenible<sup>2</sup>

### **3.4 Beneficios para el medio ambiente y reducción de riesgo**

Como bosque protector, la guadua se siembra para cuidar y proteger el medio ambiente ya que es un autorregulador de caudales y además, es el hábitat de animales y aves silvestres que se benefician con esta clase de cultivos. Como bosque reproductor, se siembra para ser un cultivo rentable y se vende a la industria de la construcción; la guadua requiere un cuidado especial los primeros 30 días de sembrada, y es mejor aprovechar la época de lluvias para que el terreno donde se siembre esté húmedo todo el tiempo.(4)

Otro aspecto favorable, es que el bambú también evita la movilización de tierra y conserva efectivamente los suelos, de allí que su siembra resulte ideal en áreas propensas a deslizamientos, derrumbes, erosión y remociones, sin contar su gran capacidad para el almacenamiento de agua.

**Figura 3:** Bosque de guadua.



### 3.5 Situación en Guatemala

Más de un millón y medio de viviendas son necesarios para solucionar el déficit habitacional existente en Guatemala. Las personas más afectadas son aquellas de menores ingresos, quienes no encuentran alternativas ni opciones que les permita adquirir una casa que reúna las condiciones mínimas para vivir con dignidad.(10)

La posibilidad de construir con guadua es una alternativa que se debe considerar para resolver este problema, ya que esta opción es bastante más económica que una vivienda de mampostería. Es importante que el ciudadano guatemalteco esté informado que existe una solución de vivienda viable y aplicable no solo al contexto rural sino también al urbano.(10)

**Figura 4:** Pobreza en Guatemala.



## **Capítulo IV**

### *Comportamiento del bambú con el transcurso del tiempo*

---

## IV. Comportamiento del bambú con el transcurso del tiempo

El bambú ha sido reconocido mundialmente por sus buenas características y buen comportamiento cuando éste se utiliza como un elemento estructural en la construcción de viviendas. En Guatemala como en otros países tropicales el bambú crece y no es difícil de cosechar. Para propósitos de análisis y comprobación del buen comportamiento de este material se llevó a cabo una visita a La Nueva Concepción, Escuintla en donde se construyó en el 2001 un albergue en el Centro de Salud.

**Figura 5:** Conformación del albergue.



La metodología de construcción de este albergue es por medio de la utilización del mismo tipo de paneles que se han venido estudiando a lo largo de todo este proyecto. Sin embargo, estos paneles fueron construidos con un refuerzo extra de madera colocado en cada una de sus esquinas. Luego de los extensos análisis realizados a cada tipo de panel se determinó que este refuerzo extra colocado en las esquinas no influía en el comportamiento y desempeño de los mismos. Por lo que se llegó a la conclusión que no es necesario este refuerzo.

El albergue fue construido hace siete años y aún se encuentra en óptimas condiciones. Lastimosamente nunca fue completado ya que solamente se construyó la estructura, pero no se le dio el uso para el cual fue diseñado. Esto quedaría como una inquietud a seguir luego de finalizar este proyecto; el de terminar el albergue para que éste pueda ser utilizado por el centro de salud y durante emergencias.

La estructura del albergue se encontró intacta a pesar de la edad y el descuido del mismo. Las grietas que eran visibles eran grietas superficiales del repello y ninguna de ella era estructural por falla del bambú. El único desperfecto estructural que se encontró fue el del desprendimiento de un perno en uno de los marcos de madera de un panel de puerta. Es una falla mínima y fácil de reparar y se debió al hecho de que el perno que se utilizó para la junta del marco de madera no soportó la carga; pero aún así el panel permaneció intacto. Este desperfecto es fácil de arreglar ya que solo es de volver a pernar la unión de madera y volver a repellar esa sección.

**Figura 6:** Grieta causada por el desprendimiento de un perno.



Es importante notar que la falla previamente descrita se dio por un desperfecto en uno de todos los pernos que fueron utilizados y no por que el bambú haya fallado. Así mismo en estos siete años el albergue que como se mencionó con anterioridad no se ha terminado ha soportado sismos, lluvias y vientos fuertes y su desempeño ha demostrado el buen comportamiento del material así comprobando nuestra hipótesis de que el bambú es un material confiable y apto para construir viviendas seguras.

**Figura 7:** Grietas superficiales.



## **Capítulo V**

### *Propiedades físico-mecánicas del bambú*

---

## **V. Propiedades físico-mecánicas del bambú**

Guatemala es uno de los primeros países Centro Americanos en enfocar su atención al bambú como un material de construcción innovador, es uno de los pioneros en aprovechar este material y explotarlo debido a muchas especies nativas que existen en la región. El bambú contiene fibras con atributos iguales o superiores al hierro con ciertas ventajas que otros materiales no poseen. La Guadua, el material a analizar, posee propiedades espectaculares significativas que se dice que superan a la mayoría de los distintos tipos de maderas, siendo también comparada con las del acero y fibras de alta tecnología.

El bambú tiene características que hacen de él un material beneficioso y económico para la construcción de viviendas populares, como también para las armazones de parquets que facilitan construirla en la obra. Para su elaboración así como su propósito óptimo, se dice que es efectiva solamente con un uso y tratamiento adecuado con un buen acabado, las cuales ayudan a optimizar las ventajas de su resistencia. Ya que esta especie absorbe grandes cantidades de energía, admite grandes niveles de flexión y tiende a soportar grandes esfuerzos a compresión, no cabe duda que es ideal para la elaboración de construcciones sismo resistente.

### **5.1 Metodología a seguir para ensayos**

Según el procedimiento a seguir al diseñar y construir algún tipo de edificación como vivienda es necesario integrar normas estipuladas en cada región, en nuestro caso las normas AGIES (Guatemala) y ASTM (Estados Unidos) son las que se considerarán. De la norma AGIES usaremos uno de sus capítulos para la integración de los efectos sísmicos, los cuales propone valores de factores de calidad, basándose en aspectos según el material. De la norma ASTM, de igual manera se tomara como referencia la obtención de sus propiedades físico-mecánicas la cual especifica los ensayos a realizarse para ayudar a determinar su capacidad a compresión, tensión y flexión del bambú. Ya que no existen normas específicas para este material innovador nos basaremos en las de su material similar, la madera. De acuerdo a lo que establecen AGIES Y ASTM, lo que se pretende es calificar el material con ensayos y procedimientos que sean entendibles para diseñadores y propietarios a la hora de cualquier tipo de construcción. Es por esto que se recomienda poder seguir un procedimiento sugerido como el que aparece a continuación:

1. Definir el bambú adecuado con sus respectivas mediciones ya establecidas.
2. Definir equipo adecuado a seguir para el ensayo específico.
3. Asegurar las muestras al equipo y tomar todas las precauciones adecuadas.
4. Familiarizarse con resultados que pueden obtener con los distintos equipos.
5. Seguir procedimientos según normas
6. Encontrar resultado aceptables
7. Conclusiones y recomendaciones basándose de los datos obtenidos.

## 5.2 Ensayo a compresión

Al tomar muestras para el ensayo a compresión es de suma importancia establecer el tiempo de madurez, longitud y diámetro de las muestras. Sin estos datos las pruebas carecen de significado alguno. El largo y diámetro del cilindro de bambú si es relativamente grande, tiende a que su resistencia compresiva disminuya por la consecuencia del pandeo. Para la tensión paralela, las especies de bambú son más resistentes en la zona del entrenudo que la zona del nudo, dada que la zona del nudo la falla es por desprendimiento del nudo, mientras que en la zona sin nudo algunas veces alcanza la falla por aplastamiento de las fibras por el efecto de la mordaza.

Las secciones de un tubo con nudos tienen unas características mecánicas sobre el 8% más altas que los que no tienen nudo, al aplicarle cargas de compresión paralelo a las fibras. Con la presión perpendicular a las fibras los nudos absorben la fuerza hasta en un 45%, comparándolos con los que no tienen nudo.(17)

Se hicieron dos pruebas de laboratorio (compresión y tensión) con diferentes dimensiones y técnicas para poder llegar a conclusiones satisfactorias. Las pruebas a compresión fueron hechas con y sin nudo para determinar cómo esto podría afectar los resultados así como con diferentes dimensiones. Se midió con un micrómetro las lecturas de espesor y diámetros externos e internos para promediar una sección transversal efectiva. Se utilizó una compresora Forney con capacidad de 250,000 Lbs.

Las fallas en el bambú bajo compresión son básicamente de dos tipos:

1. Aplastamiento, con el plano de ruptura aproximadamente horizontal.
2. Por agrietamiento paralelo a la fibra.(17)

Hay que tomar en cuenta que el rompimiento de la madera convencional se diferencia del rompimiento del bambú. Aquí no ocurre una ruptura espontánea por todo el tubo al rasgarse la fibra. Las grietas que se presentan se distribuyen inmediatamente en dirección de las fibras y no afectan al punto crítico. La corriente de energía es retardada por la dispersión. Las grietas longitudinales no pueden extenderse a todo su largo, debido a los nudos y diafragmas. Particularmente la firmeza a las cargas de presión, de corte y a las fisuras aumenta por los nudos.

**Tabla 3:** Resultados del ensayo a compresión.

No. muestra	Tipo	Modulo elástico (lb/cm <sup>2</sup> )	Resistencia (lb.)
1	Guadua S. N.	1.38 x 10 <sup>5</sup>	26500
2	Guadua C.N.	1.41 x 10 <sup>5</sup>	27500

Estos resultados son valiosos para poder encontrar la resistencia máxima bajo el área de cargas de servicio así como el Módulo de elasticidad de las pruebas

a compresión. En esta prueba el cilindro tiende a agrietarse más con las muestras sin nudos y vemos su diferencia a la hora de aplicar la fórmula de Modelo elástico.

### 5.3 Ensayo a tensión

No cabe duda que la mejor propiedad que posee el bambú es gracias a su resistencia a tensión debido a las fibras que posee. Es muy difícil efectuar ensayos satisfactorios debido a que los extremos de las regletas del bambú no son planos y a su vez difícil poder ajustarlos correctamente. Sin embargo este ensayo es de suma importancia ya que se necesitan conocer sus cualidades físico-mecánicas bajo este método.

Es por esto que se elaboraron muestras de 30 cm de largo por 4.2 cm de ancho y se redujo un grosor de promedio de 0.2 cm. para que la falla pueda ocasionarse ahí; también se tomó en cuenta muestras con un promedio de humedad del 16%. Se utilizó el Soiltest Versa Tester eléctrica con capacidad de 60,000 Lbs. Aprobado por la ASTM.

**Figura 8:** Equipo para ensayo a tensión (ASTM D2938, D3148).



Este ensayo se realizó dos veces con metodologías diferentes. En el primero sólo se tomó las regletas del bambú sin ningún tipo de refuerzo en los extremos. Se debe notar que la razón por la cual las pruebas no dieron resultados satisfactorios es porque estos extremos se sueltan de la mordaza y no ejercen la tensión adecuada sobre las fibras. En la segunda prueba teniendo en cuenta que las varillas de bambú tienden a soltarse por su curvatura, en especial si éstas no son reforzadas adecuadamente, para ver si con la ayuda de la madera pegado con cola a la varilla podría ayudar al ensayo en sí, y el otro con la varilla virgen. Como se nota en las ilustraciones y resultados a tensión, los valores obtenidos fueron similares a las varillas que no fueron modificadas; Aunque su resistencia a tensión

si aumento significativamente esta también afecto su capacidad de modulo de elasticidad.

**Tabla 4:** Resultados a ensayo de tensión.

No. muestra	Tipo	Modulo elástico (lb/cm <sup>2</sup> )	Resistencia (lb.)
1	Guadua S. N.	$2.22 \times 10^5$	1450
2	Guadua S.N. (con cola)	$2.90 \times 10^5$	1900

No cabe duda que a pesar que este ensayo no fue de lo más exitoso ya que los extremos tendían a soltarse y no poder determinar un modulo de elasticidad al bambú. A pesar de los resultados se obtuvieron unos valores razonables y utilizables a la hora que se piensan hacer análisis más rigurosos. Se notó que una buena tensión de los extremos ayuda a la fibra del bambú que se comporte como se esperaría que trabajara.

En resumen, fue difícil poder llegar a una conclusión certera ya que la mayoría de ensayos los extremos tendían a sobarse aun con el refuerzo puesto de madera. Sin embargo a pesar de las fallas y fracasos pudimos llegar a tener una idea con un valor estimado de cuanto una varilla de guadua puede llegar a obtener; ya que su alta resistencia a flexión es de suma importancia a la hora de un sismo.

## 5.4 Ensayo a flexión

Método para medir el comportamiento (ductilidad) de los materiales sometidos a una carga de viga simple. Para algunos materiales, también se denomina ensayo en viga transversal. La probeta es soportada por dos yunques como una viga simple y una carga se aplica en su punto medio. El esfuerzo máximo de fibra y la deformación máxima se calculan para incrementos de carga. Los resultados se trazan en un diagrama esfuerzo-deformación y el esfuerzo máximo de la fibra en el punto de ruptura es la resistencia a la flexión. La resistencia de flexión en el Punto de fluencia se reporta para aquellos materiales que no se rompen. Procedimientos de ensayo estándares se especifican según ASTM.(6)

**Figura 9:** Ilustración Soiltest Versa Tester Mecánico.



Estos ensayos fueron realizados con varillas de 25 cm. de largo con 4.2 cm. de ancho y grosor promedio de 0.3875 cm. utilizando el equipo de Soiltest Versa Tester manual con capacidad de 6,000 Lbs. La carga se aplicó en el centro de las varillas las cuales fueron sometidas a flexión estática de manera que podemos determinar los esfuerzos flexionantes y cortantes horizontales de las muestras para determinar un módulo de ruptura.

**5.4.1 Módulo de ruptura.** Para calcular el módulo de ruptura se utiliza la fórmula  $f = M/S$

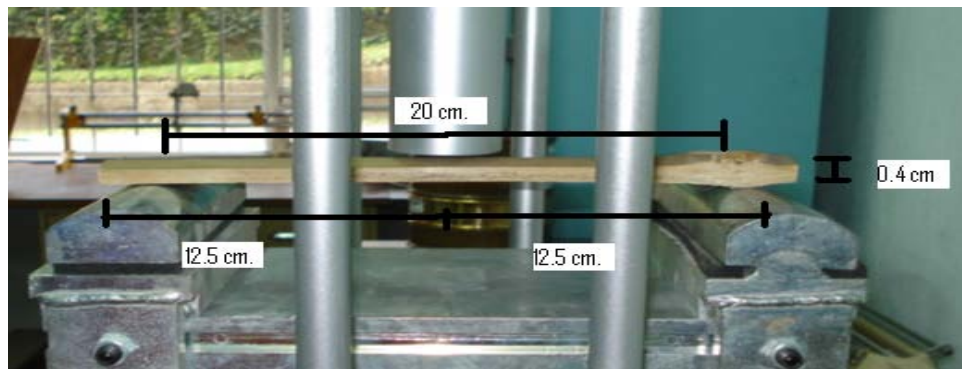
Donde:

$f$ = esfuerzo sobre la fibra extrema

$M$ = momento flector máximo

$S$ = módulo de sección

**Figura 10:**  $M = PabL$ ,  $a$  y  $b$  son las distancias sobre la carga y los apoyos.



**Tabla 5:** Módulo de ruptura en varilla promedial.

	Momento flector máximo	Módulo de sección	Módulo ruptura $f = M/S$
Muestra promedio varilla (Arriba)	876 lb.	416.67 cm <sup>2</sup>	2.10 lb./cm <sup>2</sup>
Muestra promedio varilla (Abajo)	642.4 lb.	416.67 cm <sup>2</sup>	1.54 lb./cm <sup>2</sup>

**Tabla 6:** Módulo de ruptura en cilindro promedial.

	$P_u$ (lb.)	$A$ (cm)	$D_e$ (cm)	$I$ (cm <sup>4</sup> )	Módulo ruptura (lb/cm <sup>2</sup> )
Muestra promedio cilindro C.N.	650 lb.	15	9.1	20.73	1069.82
Muestra promedio cilindro S.N.	568.33	15	9.1	18.01	1076.79

En el ensayo de flexión a las varillas se encontró que el módulo de ruptura hacia arriba es más resistente que el de hacia abajo debido a la dureza de su textura que llega a crearse conforme a los años. Estos valores son de suma importancia ya que podríamos compararlos al comportamiento de materiales

similares como el de la madera utilizada en la construcción. Para propósitos de porcentajes una varilla expuesta a una flexión con la textura hacia arriba tiene un 27% más resistencia que puesta hacia abajo.

En los ensayos de flexión al cilindro se obtuvieron valores muy similares para ambas muestras. Se sacaron los resultados utilizando un método más sofisticado para la obtención de datos satisfactorios. Los valores encontrados demuestran que a menor resistencia tenga el bambú mayor su módulo de ruptura. Se tiene que tomar en cuenta que las muestras fueron hechas sin nudo y tiende a ser más flexibles que las de nudos rígidos. Podremos sacarle provecho a estos valores los cuales nos serviría para determinar un factor flexionante aceptable para un servicio de carga ya sea para una vivienda o estructura más compleja como un edificio. No cabe duda que el bambú no deja de sorprender y en sus resultados se nota.

#### 5.4.2 Esfuerzo cortante. El esfuerzo cortante viene dado por:

$$f = (Q/2el) * A * Y$$

En donde:

F= esfuerzo cortante

Q= fuerza cortante máxima

2e=ancho neto de la varilla en el eje neutro

l=momento de inercia de la sección

A= área neta del semicírculo sobre el eje neutro

Y= centroide del área A

**Tabla 7:** Esfuerzo cortante.

Muestra	Tipo	Esfuerzo cortante (lb/ cm <sup>2</sup> )
Promedio	Guadua S.N.	36.44 lb/ cm <sup>2</sup>

Se obtuvo un valor de esfuerzo cortante media-baja a comparación de el esfuerzo cortante de la madera (30-45 lb/cm<sup>2</sup>) promedial la cual lo clasifica como un material que resista un esfuerzo cortante no tan ideal para su uso porque tiende a rajarse fácilmente paralelo a las fibras. Sería de analizar un bambú tratado adecuadamente ya que se estima que tiende a rajarse fácilmente por la introducción de hongos y humedad a ella haciéndola muy resistente en ciertos sentidos, pero vulnerable en otros.

## **Capítulo VI**

### *Ventajas y desventajas del uso del bambú en la construcción*

---

## VI. Ventajas y desventajas del uso del bambú en la construcción (Hidalgo 1974)

Las ventajas son las siguientes:

- El bambú guadua está dotado de extraordinarias características físicas que permiten su empleo en todo tipo de miembros estructurales.
- Su forma circular y su sección hueca lo hacen un material liviano, fácil de transportar y de almacenar, lo que permite la construcción rápida de estructuras temporales o permanentes.
- En cada uno de los nudos del bambú hay un tabique o pared transversal que además de hacerlo más rígido y elástico evita su ruptura al curvarse; por esta característica es un material apropiado para construcciones anti-sísmicas.
- La constitución de las fibras de las paredes del bambú permite que pueda ser cortado transversal o longitudinalmente en piezas de cualquier longitud, empleando herramientas manuales sencillas como el machete.
- La superficie natural del bambú es lisa, limpia, de color atractivo y no requiere ser pintada, raspada o pulida.
- Los bambúes no tienen corteza o partes que puedan considerarse como desperdicio.
- Además de usarse como elemento estructural el bambú puede usarse para otras funciones en la construcción. Tales como tuberías para el transporte de agua y en pequeñas secciones para drenaje.
- El bambú puede emplearse en combinación con todo tipo de materiales de construcción como elementos de refuerzo.
- Del bambú pueden obtenerse diversos materiales para enchapes tales como esteras, paneles contrachapados, etc.
- El bambú continúa siendo el material de construcción de más bajo precio.

Las desventajas:

- El bambú en contacto permanente con la humedad del suelo presenta pudrición y aumenta el ataque de termitas y otros insectos; por ello no deben utilizarse como cimiento por enterramiento a menos que se trate previamente.
- El bambú una vez cortado es atacado por insectos como *Dinoderus minutus* que construye grandes galerías en su pared debilitándolo. Por ello, una vez cortado debe someterse inmediatamente a tratamientos de curado y secado.
- El bambú es un material altamente combustible cuando está seco; por ello debe recubrirse con una sustancia o material a prueba de fuego.
- El bambú cuando envejece pierde su resistencia si no se trata apropiadamente.

- El bambú no tiene diámetro igual en toda su longitud, tampoco es constante el espesor de la pared por lo que algunas veces presentan dificultades en la construcción.
- El bambú al secarse se contrae y se reduce su diámetro; esto tiene implicaciones en la construcción.
- Las uniones de miembros estructurales no pueden hacerse a base de empalmes, como en la madera, lo que implica dificultades como material de construcción.
- El bambú por su tendencia a rajarse no debe clavarse con puntillas o clavos que generalmente se emplean en la madera.

Muchas de las desventajas anotadas anteriormente pueden ser superadas con la aplicación de preservantes apropiados, con un diseño estructural apropiado y siguiendo las normas apropiadas para la preparación y combinación con otros materiales de construcción.

## **Capítulo VII**

### *Principios de diseño*

---

## VII. Principios de diseño

### 7.1 Diseño y construcción

**7.1.1 Materiales.** Para el desarrollo del sistema constructivo, se utilizaron tres materiales básicos: la madera, la caña guadua y un mortero para recubrimiento.

**Madera:**

- La madera se empleó como material estructural de los paneles formado por pies derechos, y soleras (superior e inferior). Creándose con éstas, una armadura capaz de soportar las fuerzas verticales y horizontales de la vivienda.
- Se utiliza madera ya que ésta permite uniones más firmes y una construcción más rígida, en parte porque las maderas duras gozan de mayor prestigio, y además porque son por naturaleza mucho más resistente a los hongos y a los insectos que se alojan en el bambú no inmunizado.

**Figura 11:** Madera a utilizar en casa (5)

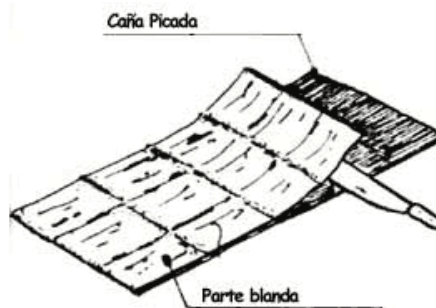


- Características:
  - o Nombre común : Pino
  - o Color: Café claro con vetas
  - o Longitudinales oscuras.
  - o Calificación: Tipo A (dura)
  - o Inmunización: Pentanol

### Bambú guadua:

- La esterilla se empleó para forrar los paneles estructurales de madera, fijándola a la madera por medio de clavos y alambres galvanizados.
- La caña guadua es apta para su utilización una vez que alcanza su madurez, que es entre los 3 y 5 años.
- Es necesario que previo a su uso, se desprenda la parte blanda o "tripa", de la cara interior de la caña, previniéndose con esto el ataque de polillas, hongos y mohos.

**Figura 12:** Esterilla de bambú guadua (5)



- Características:
  - o Nombre común: Bambú guadua, (esterilla).
  - o Color: Verde amarillento con manchas blancas (3-5 años)
  - o Dimensiones: Variables
  - o Inmunización: Boro

**Figura 13:** Esterilla de bambú guadua



### Mortero:

- El mortero se aplicó como recubrimiento interior y exterior de los muros para vivienda, aislando la madera y la guadua del medio ambiente, protegiéndola del fuego y proporcionando solidez al conjunto, además de un acabado de calidad y durabilidad aceptables.
- Proporción de la mezcla: 1: 3 (cemento y arena) aplicado en dos capas.

**Figura 14:** Mortero preparado para el repello



**7.1.2 Combinación de materiales.** El correcto concepto de diseño y construcción es fundamental. En la construcción de bahareque de guadua encementado, no hay que adicionar materiales de diferentes características de rigidez y resistencia como muros en ladrillo o elementos pesados que la hacen vulnerable frente a un sismo. Es recomendable que si se quiere cambiar la fachada o hacer adiciones a la edificación se hagan del mismo material, de lo contrario aislarlo para que trabaje independiente de la estructura de bahareque. (18)

**7.1.3 Juntas sísmicas.** Cuando en un conjunto de casas, coexisten casas de bahareque con otras de diferentes materiales como mampostería, concreto, etc. debe dejarse un espacio mínimo de  $j$  veces la altura de la edificación, medida hasta el caballete de la cubierta. El valor de  $j$  se establece en la Tabla 8.

**Tabla 8:** Valor de  $j$  para las juntas sísmicas (2)

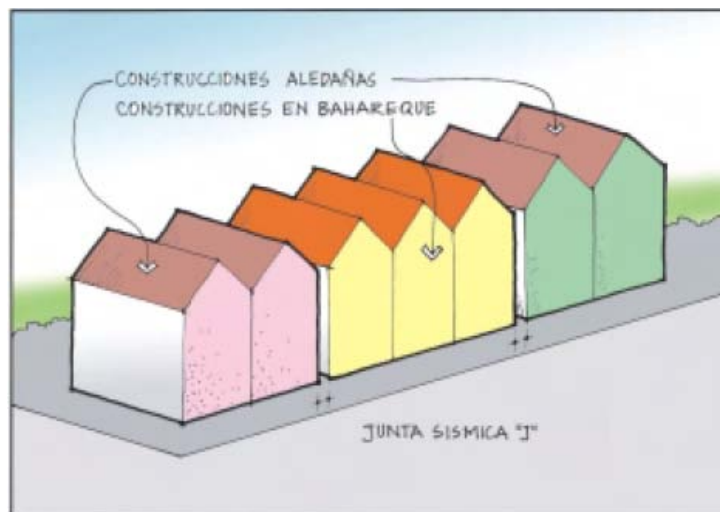
Estructura	$j$ (mm/m)
Edificación con aberturas de más del 25% de las fachadas	20
Edificación con aberturas de menos del 25% de las fachadas	15

**Figura 15:** Calculo junta sísmica entre edificaciones (2)



La junta sísmica debe hacerse también entre unidades de bahareque, construidos independientemente, o entre grupo de edificaciones medianeras que exceden en longitud tres veces su altura.

**Figura 16:** Junta sísmica "J" para construcciones aledañas (2)



**7.1.4 Cubiertas.** Si es que se utilizan cubiertas de teja de barro, se debe evitar el contacto directo con el bambú, porque transmite la humedad por capilaridad, provocando su pudrición.

**7.1.5 Uso de herramientas.** Las construcciones en este material no requieren herramienta especializada y permiten el uso intensivo de mano de obra no calificada, aunque debe haber un profesional y un maestro artesano en su dirección; ello contribuye positivamente a la generación de empleo.

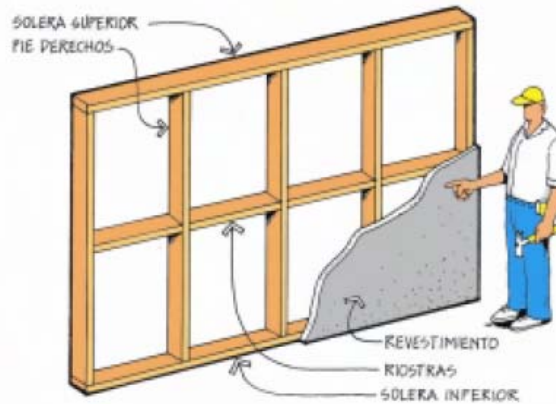
## 7.2 Funcionamiento estructural

Los paneles de bambú prefabricados con mortero son un sistema estructural de muros que se basa en la fabricación de paredes construidas con un esqueleto de madera, cubierto con un revoque de mortero de cemento aplicado sobre esterilla de guadua, que a su vez, se clava sobre el esqueleto del muro.

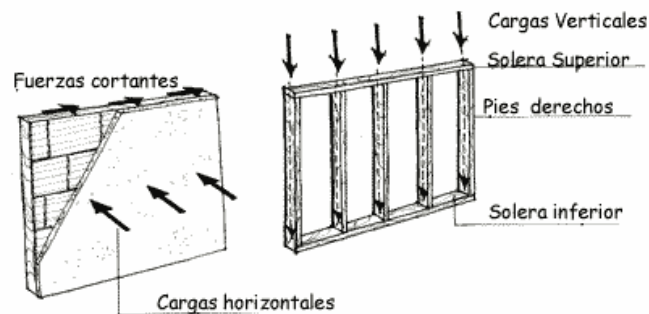
El funcionamiento estructural como sistema constructivo a base de muros es similar a la mampostería reforzada. Los paneles de bambú se constituyen de dos partes:

- Las paredes, que se construyen con entramados de madera horizontales, denominadas «soleras o carreras», y madera verticales, llamadas también «pie-derecho» y pueden contener elementos diagonales; y
- el recubrimiento o revoque que se fabrica con mortero de cemento aplicado sobre esterilla de guadua.

**Figura 17:** Sistema constructivo de paneles



**Figura 18:** Estructura que transmite cargas a cimientos (5)



### 7.3 Consideraciones del bambú

Es necesario tener presente los 5 enemigos de la guadua los cuales se debe resolver y prever en su diseño y construcción:

1. El agua, la humedad y la intemperie, que le causan pudrición.
2. El fuego, que la consume.
3. Los hongos e insectos, que atacan su estructura y la destruyen.
4. Los rayos ultravioleta de la luz solar que la decoloran y la hacen más vulnerable a los anteriores agentes.
5. El mal diseño y la mala construcción que la destruyen rápidamente.

Construir con bahareque encementado de guadua es, por lo menos, un 20% más económico comparándolo con la construcción tradicional de ladrillo, hierro y cemento y, su durabilidad es de muchas generaciones si se han seguido las normas de su buen uso. Esto mismo se demostrará más adelante en este trabajo.

## **Capítulo VIII**

### *Planos constructivos*

---

## **VIII. Planos constructivos**

La vivienda en mención consiste en una casa de marcos de madera forrados con estería de bambú y mortero. Es una vivienda de interés social, de un nivel y un techo de madera forrado con lámina. Se tomó como ayuda la norma NR-4 para los elementos constructivos como son el cimiento y los muros. También se tomo en cuenta el área mínima de una vivienda estipulada por la ley la cual es de 30 metros cuadrados, siendo esta distribución de 6m x 5m.

Los planos constructivos son de fácil entendimiento para cualquier persona que sepa o no sepa del tema. En los planos están incluidos la distribución de paneles, los paneles en sí, detalles de cimiento, uniones, entre otros.

El diseño de la casa tiene como finalidad proporcionar una vivienda segura y económica para personas de ingresos bajos. Esto se debe a que la escasez de vivienda en Guatemala y en los países en vías de desarrollo es bastante grande por lo cual este diseño ayudara a hacer una casa con materiales que se pueden conseguir fácilmente, se puede hacer sin necesidad de mano de obra especializada, es igual de resistente que una casa de mampostería por un menor precio.

La casa también cumple con las normas para vivienda mínima según la ley. Esta ley dice que la vivienda mínima debe tener 30 metros cuadrados, lo cual cumple esta casa ya que tiene 30.00 metros cuadrados y posee todos los servicios básicos para limpieza y salud.

### **8.1 Planos**

Los planos se encuentran al final de este documento, en la sección anexos, se presentan planos de:

- Paneles individuales
- Planta acotada
- Planta de cimentación
- Elevaciones
- Detalles de joist (o tijeras)
- Distribución de paneles dentro de la estructura de la casa
- Detalle de uniones

## **Capítulo IX**

### *Proceso constructivo*

---

## IX. Proceso constructivo

El proceso descrito a continuación utilizo como base el “Proyecto de Vivienda Experimental de Bambú” realizado en CONRED por su bajo costo, y facilidad de construcción.

### 9.1 Trabajos preliminares

La ubicación de la vivienda depende de cuán segura será, por ello debe hacerse sobre un terreno apropiado.

#### Limpieza general:

- Antes de iniciarse la construcción, se limpiará todo el terreno de los escombros, residuos, malezas, etc. que hubiere. Deberá extraerse la capa vegetal de aproximadamente 20 cm debe quitarse del lugar donde se colocará el cimiento.

Figura 19: Limpieza del terreno.



#### Nivelación del terreno:

- Debe buscarse localizar la vivienda en terrenos lo más planos posibles. De esta manera se evitara rellenos innecesarios. Evitar zonas de erosión y lugares donde existan fuertes corrientes de lluvia

#### Trazo:

- Se definirá el área de trazo con escuadra a 90° según las medidas indicadas en el plano de cimentación. Los ejes de las paredes maestras serán delineados con alambres bien seguros (puede ser lazo), tendidos con torniquetes a una altura conveniente sobre el nivel del suelo. Se delinea el cimiento con cal para delimitar el ancho de la zanja. Esos alambres no serán retirados hasta que las paredes alcancen a aquella altura.

**Figura 20:** Trazo del terreno para cimentación

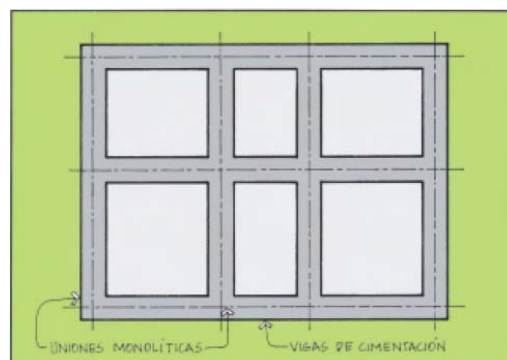


## 9.2 Cimentación

Los cimientos serán la base que soporta la carga de toda la estructura. Tiene como función servir de apoyo y amarre de los paneles, aislándolos del nivel del piso y sirviendo de barrera contra la humedad. La profundidad de los cimientos varía de acuerdo a las condiciones del terreno. En terreno plano sobre la cimentación a nivel puede iniciarse directamente la construcción de los paneles de bambú, garantizando que este no este en contacto directo con el suelo.

El sistema debe estar compuesto por una configuración de anillos rectangulares en planta, que aseguren la transición de las cargas de la estructura en forma integral y equilibrada.

**Figura 21:** Sistema de cimentación (2)



**Excavación:**

- Las dimensiones de las excavaciones deberán responder a lo especificado en el plano de cimentación, mínimo de 60 cm, para que pueda trabajar una persona.

**Cimiento corrido:**

- Este consta de base de concreto ciclópeo, en forma trapezoidal para que soporte los paneles y la cubierta y además cuente con una buena resistencia para que no sea levantada la vivienda de sus cimientos por un sismo o viento. Para mejor comprensión referirse a los planos de cimentación adjuntos al trabajo. Las dimensiones de esta tienen en su parte inferior 30 cm y la parte de arriba o corona 20 cm, con 30 cm de altura. Esta cimentación sobresale 10 cm sobre el nivel del suelo para que tenga una función de solera de humedad, por lo que el panel se encontrará en contacto directo con el concreto ciclópeo. Se le colocara sabieta para tener una superficie lisa cuando se coloque el panel. Los paneles se barrenarán luego de colocados en su lugar según plantilla de colocación.

**Figura 22:** Cimiento corrido**Acero y pines:**

- El acero de refuerzo lateral y los pines deben estar libres de impureza, estos deben poseer rosca y tuerca, y son tipo "Hilti" de 6 pulg. Estos se deben introducir al concreto, una vez colocada la solera de madera y el panel prefabricado.

**9.3 Piso****Relleno:**

- Se realizará con material selecto compactado con mazo, hasta alcanzar una altura de 20 cm.

**Capa de suelo-cemento:**

- El selecto se mezcla con el cemento a una proporción especificada y se coloca sobre el relleno compactándolo con mazo hasta alcanzar 10 cm.

**9.4 Paredes**

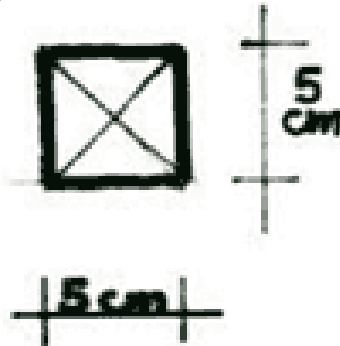
El panel es a la vez la estructura de la vivienda y su cerramiento. La unión de los paneles entre sí, con la cimentación, y con la estructura de cubierta, conforma una estructura sólida que resiste y transmite las cargas hasta llevarla a los cimientos de la vivienda.

**Figura 23:** Panel de madera con esterilla de bambú repellado

**9.5 Fabricación de paneles****Marcos:**

- Los paneles constan de marcos de madera de pino de 2x2", fabricados de acuerdo a las medidas señaladas en los planos y empalmados con clavos de 2.5". La madera del pino debe ser curada con Pentanol.

**Figura 24:** Dimensiones madera



- Proceso:
  - o La madera utilizada para la estructura fue seleccionada, recta y de aristas regulares.
  - o Una vez listos los elementos, se armaron los paneles de acuerdo a las especificaciones de los planos.
  - o Los pies derechos están unidos a las soleras por medio de empalmes a media madera, y clavados entre sí.
  - o A los paneles con aberturas se les colocó un travesaño horizontal para contrarrestar la esbeltez de los pies derechos.

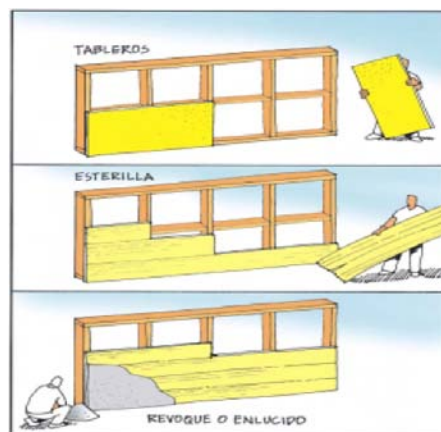
#### **Esterilla de bambú:**

- El bambú debe tratarse con boro para evitar la putrefacción y el ataque de insectos. La esterilla se corta de 1pulg. de ancho colocada horizontalmente a una distancia de 1pulg cada una, permitiendo un espaciamiento apropiado para la penetración del mortero. Para clavar la esterilla se utiliza clavo de 1.5 pulg. Las varas de esterilla deben colocarse invirtiendo los lados, es decir un lado rugoso seguido por un lado liso.

**Figura 25:** Bambú guadua del que se fabrica la esterilla (13)



**Figura 26:** Proceso colocación esterilla y repello de paneles (2)

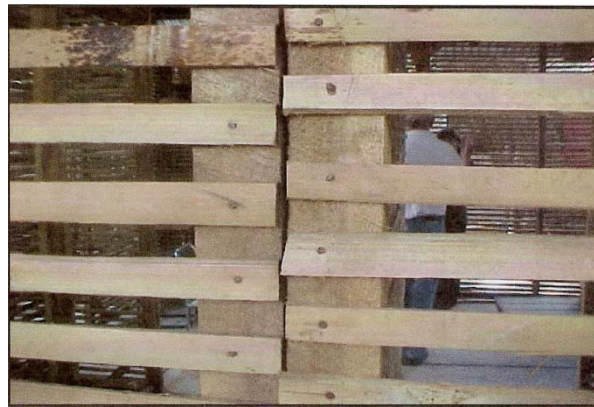


### 9.5.1 Ensamble de paneles

#### Generalidades:

- El armado de los paneles debe realizarse según la localización señalada en los planos. Los paneles deben perforarse, colocarse sobre la solera y colocar una tuerca.
- La unión de estos se realiza con tornillos hexagonales de rosca milimétrica de 5x3/8" con doble roldana y tuerca. Se utilizaron dos unidades de fijación por unión, colocados a 50cm ó 40cm desde la parte superior e inferior según lo indicado.

**Figura 27:** Detalle de unión de los paneles prefabricados (13).



- Se recomienda realizar la colocación de paneles continuos a 90° para proveer estabilidad. Se colocan unas esquineras en todos los paneles corrigiendo cualquier desviación de estos.

**Figura 28:** Junta entre paneles que funcionan de pared exterior (13)



**Figura 29:** Juntas de unión esquinas superiores (13)**Perforaciones:**

- Se les llama perforaciones laterales las que se realizan en el grosor de 2” del marco de madera del panel a lo largo de la dirección de la esterilla de bambú.
- Las perforaciones frontales se realizan en el marco en dirección perpendicular a la esterilla de bambú.
- El frente del panel corresponde al que posee la esterilla de bambú.
- Se señala como lado “Iz” al lado izquierdo del panel observándolo desde su frente. El lado derecho se señala como *De*, visto a su desde el frente.
- La ubicación de las reglas I1-1, T4-1 y T5-1 se indica en planos.

**Tabla 9:** Cuadro de perforaciones

	Panel	Perforaciones laterales				Perforaciones frontales			
		@ 50 cm.		@ 40 cm.		@ 50 cm.		@ 40 cm.	
		<i>Iz</i>	<i>De</i>	<i>Iz</i>	<i>De</i>	<i>Iz</i>	<i>De</i>	<i>Iz</i>	<i>De</i>
1	F1	2	2						
2	F2	2	2					2	
3	I1	2					2		
4	I2	2	2						
5	I1	2					2 regla I1-1		
6	D1		2			2			2
7	D2	2	2					2	2
8	D3	2							
9	F3	2	2						
Continuación del cuadro de perforaciones									
10	F2	2	2						2
11	T1				2	2			
12	T2	2	2						
13	T3				2			2	
14	T4	2			2		2 regla T4-1		
15	T5			2	2		2 regla T5-1		
16	T6	2	2						

**9.5.2 Colocación de paneles.** Los paneles deben colocarse en pares de manera de que el armado posea estabilidad. El orden debe ser el siguiente:

**Tabla 10:** Orden de colocación de paneles

Paneles	
1	I1-F1
2	T1-F2
3	D1-T4
4	D2-T5
5	D3-F2
6	T3-F3
7	I1-T6
8	I2-T2

## 9.6 Techo

### 9.6.1 Tijeras

#### Fabricación:

- Las tijeras se fabrican con parales de madera de pino de 2x2" y deben ser curadas con Pentanol.

#### Cobertura de Bambú:

- Dos de las tres tijeras deben ser cubiertas con estería de bambú colocadas una al lado de la otra. La esterilla debe colocarse del lado liso.

#### Colocación de Tijeras:

- Se colocan las dos tijeras cubiertas en el frente y parte posterior de la vivienda. La tijera restante se coloca en el medio de la vivienda es decir a 3mts. del frente. Las tijeras se ensamblan a los paneles con tornillos hexagonales de rosca milimétrica de 5x3/8" con doble roldana y tuerca.

#### Colocación de tijera frontal y tijera superior:

- La tijera frontal tiene 6 perforaciones colocadas a 84 cm de distancia. Los paneles ubicados en el frente y parte posterior deben perforarse a iguales distancias.

#### Colocación de tijera intermedia:

- La tijera intermedia tiene dos perforaciones, cada una localizada en los extremos de la misma para unirla a los paneles.

**Figura 30:** Techo de tijeras (13)



### 9.6.2 Costaneras

**Fabricación:**

- Las 10 costaneras utilizadas se fabrican con parales de madera de pino de 2x2" a su vez curada con Pentanol.

**Colocación:**

- Las costaneras se ensamblan a las tijeras con tornillos hexagonales de rosca milimétrica de 5x3/8" con doble roldana y tuerca. Se colocan 5 costaneras en cada agua de la tijera la primera se coloca a 10 cm. del extremo superior de la tijera y las otras cuatro a 60cm. de distancia entre cada una.

**Figura 31:** Detalle de la armadura de techo (13)



## 9.7 Lámina

### Corte de lámina:

- La lámina de 12 pies debe ser recortada a 10 pies y los sobrantes deben utilizarse para la fabricación del capote.

### Colocación de lámina:

- La lámina se clava directamente sobre las costaneras con clavo de lámina, es por eso que sus medidas deben de coincidir.

### Colocación de capote:

- El capote se compone de piezas separadas de los sobrante de lámina clavadas sobre las primeras dos costaneras con clavo de lámina.

**Figura 32:** Detalle de costaneras y lámina (13)



## 9.8 Repello y cernido

### Formaleta:

- Como formaleta puede utilizarse cualquier tipo de material relativamente liso al alcance de la comunidad, como madera o lámina aunque su costo es mayor. Ésta se coloca directamente en los paneles en el lado interno y debe ser sujeta a los marcos de los mismos firmemente.

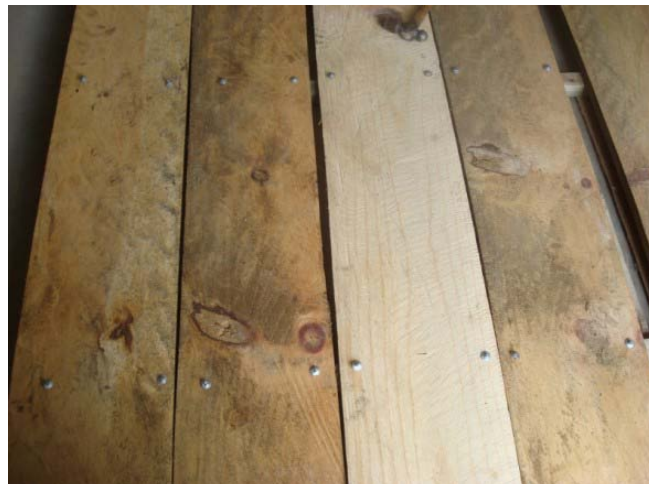
**Figura 33:** Madera utilizada en formaleta



**Figura 34:** Panel armado con formaleta



**Figura 35:** Clavado de formaleta en panel



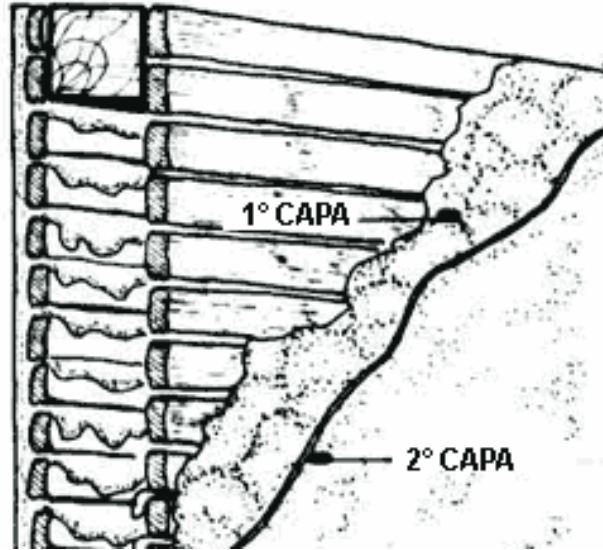
**Repello:**

- El repello tiene una dosificación de 1:3 (cemento: arena de río) y se coloca rellenando el espacio entre la formaleta y la esterilla de bambú. Luego se lanza de manera de cubrir la esterilla de bambú completamente y debe ser levemente alisado.

**Figura 36:** Lanzado de mortero dentro del panel**Figura 37:** Panel totalmente repellado**Cernido:**

- El cernido tiene una proporción de 1:3 (cal: arena blanca) y se coloca con una cuchara (no lanzado) luego de que el primer repello seca. Luego de alisarse completamente con plancha y realizarse cortes en ventanas y puertas.

**Figura 38:** Aplicación de mortero en panel (5)



**Figura 39:** Vista general de la vivienda



## 9.9 Programa de construcción

CRONOGRAMA "GRÁFICA DE GANTT"

PROCESO CONSTRUCCIÓN	DÍAS HABLES DE TRABAJO																										
ACTIVIDADES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	
<b>TRABAJOS PRELIMINARES</b>																											
1* Trazo	■																										
<b>CIMENTACIÓN</b>																											
2* Excavación		■																									
3* Cimiento corrido			■	■	■		■	■	■	■	■																
4* Solera humedad					■	■	■																				
5* Acero y pines							■																				
6* Solera de madera										■																	
<b>PISOS</b>																											
7* Relleno							■	■																			
8* Suelo cemento									■	■																	
<b>PÁNELES DE BAMBÚ</b>																											
9* Fabricación de paneles	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
10* Ensamble de paneles																											
11* Colocación de paneles																											
<b>TECHO</b>																											
12* Tijeras																											
13* Costaneras																											
14* Lámina y capote																											
<b>REPELLO Y CERNIDO</b>																											
15* Formaleta																											
16* Repello																											
17* Cernido																											

■ Semanas

**Grupo 1** (2 personas): Fabricación de paneles

**Grupo 2** (2 personas): Trazo, cimentación, piso

**Grupo 1 y 2:** Colocación de paneles, techo, repello y cernido

**Duración Total = 24 días**

# Capítulo X

## *Pruebas de paneles*

---

## X. Pruebas de paneles

Para poder realizar el análisis estructural de la casa elaborada por el material compuesto por madera, mortero y estriaría de bambú es necesario conocer las propiedades del material. Por lo mismo, en esta parte del proyecto se calculan las propiedades necesarias, como lo son el módulo de elasticidad, el módulo de elasticidad en cortante y el peso específico.

### 10.1 Metodología de pruebas de laboratorio y análisis de resultados.

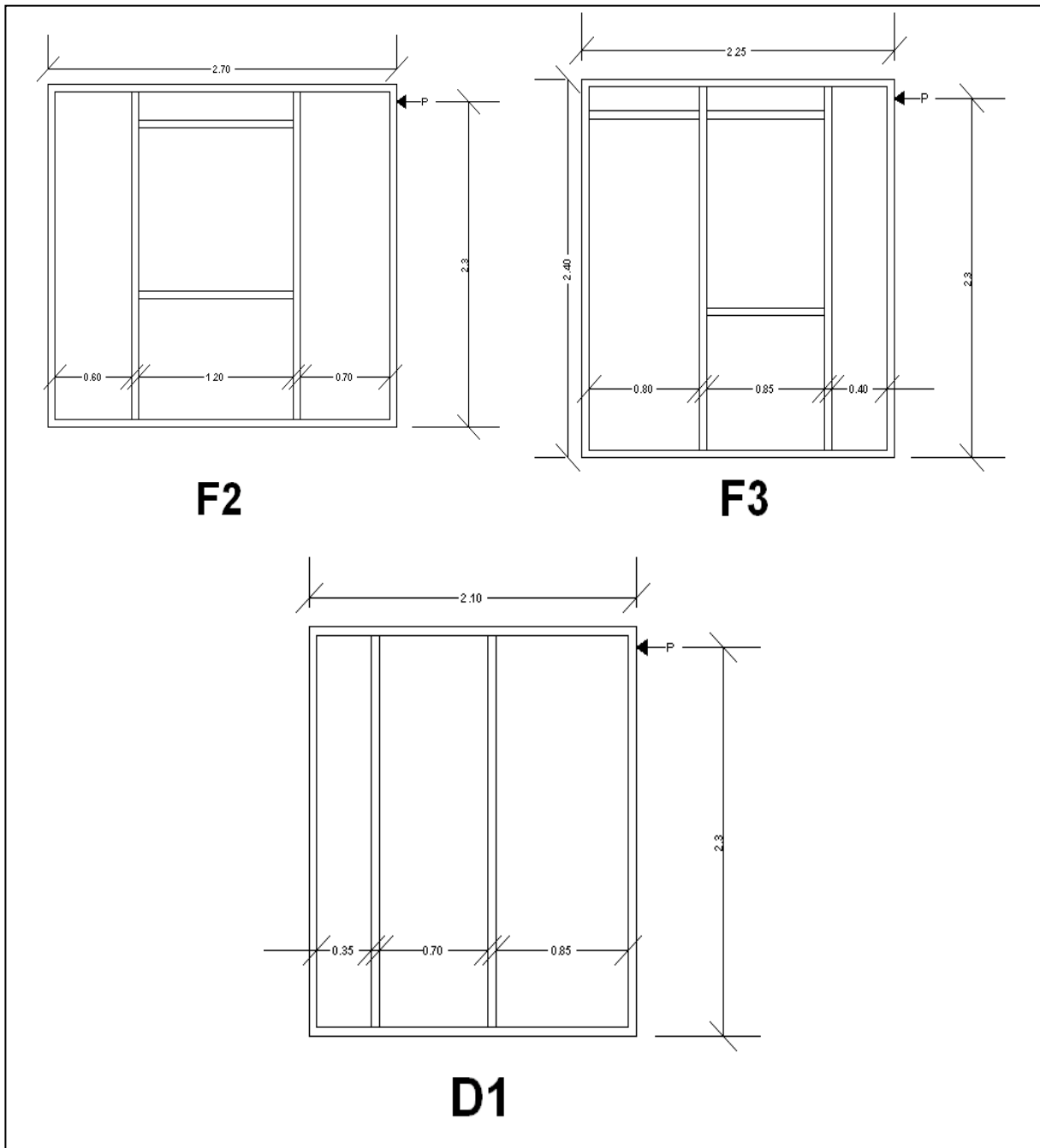
**10.1.1 Metodología general.** Para la evaluación del comportamiento de los paneles y determinación de sus propiedades se realizaron las actividades listadas a continuación:

- Investigación bibliográfica sobre el comportamiento de una viga empotrada y en voladizo.
- Investigación bibliográfica sobre el cálculo del módulo de elasticidad en vigas por medio de gráficas esfuerzo-deformación unitaria.
- Cálculo del peso de los paneles de muestra.
- Cálculo del peso específico del material compuesto de los paneles de muestra.
- Análisis de pruebas de laboratorio en las que se le aplicó una carga puntual a los paneles y se obtuvo la deformación ocasionada por dicha carga.
- Cálculo de la ecuación correspondiente a la conversión de libras por pulgada cuadrada a libras del gato hidráulico de 10 toneladas utilizado para la aplicación de carga a los paneles.
- Cálculo de la carga aplicada a los paneles y deformación resultante.
- Cálculo del módulo de elasticidad de los paneles (E).
- Cálculo del módulo de elasticidad cortante de los paneles (R).

**10.1.2 Diseño experimental.** Con el objetivo de determinar la resistencia de los paneles compuestos por madera, bambú y una mezcla de cemento de 2000 lb/pulg<sup>2</sup> y arena de río (proporción 1 a 4 correspondientemente) se realizaron pruebas de laboratorio en las que a los paneles se les aplicó una carga puntual a cierta altura aumentando esta carga gradualmente y midiendo la deformación del mismo.

Para las pruebas de laboratorio se tomó una muestra de 3 tipos de paneles (Figura 40) y se le realizaron pruebas a 3 paneles de cada tipo. Con los resultados obtenidos de éstas muestras se calcularon las propiedades del material combinado que se utilizan para el análisis estructural.

**Figura 40:** Paneles utilizados en las pruebas de laboratorio.



Los paneles de muestra se colocan en el marco para prueba de muros del laboratorio, como se muestra en la Figura 41. Ya colocado el panel en su lugar, se le aplica una carga de 1000 libras distribuidas a lo largo del panel en la parte superior para simular la carga techo. En los extremos inferiores del panel se le colocan soportes laterales para evitar la traslación, como se puede ver en la Figura 42.

**Figura 41:** Panel colocado en marco de prueba de muros de la Universidad del Valle de Guatemala.



**Figura 42:** Soporte lateral para evitar la traslación de los paneles.



Fotografía de la Conred

La carga lateral se aplica a los paneles utilizando un gato hidráulico con una capacidad de 10 toneladas y la carga de techo se aplica utilizando un gato hidráulico de 25 toneladas de capacidad, en el que causará mayor momento, que es la parte superior del panel, como se muestra en la Figura 43.

La deformación ocasionada por la carga aplicada es medida en el extremo opuesto a la aplicación de la carga utilizando el deformímetro mostrado en la Figura 44.

La lectura de la carga aplicada se obtiene del manómetro conectado al gato hidráulico, el cuál se muestra en la Figura 45. Dicho manómetro da como resultado carga en libras por pulgada cuadrada, la cual, convertida a libras dará la carga real aplicada a los paneles.

**Figura 43:** Punto de aplicación de la carga lateral a los paneles utilizando un gato hidráulico con capacidad de 10 toneladas.



**Figura 44:** Deformímetro utilizado para medir la deformación del panel ocasionada por la carga aplicada.



**Figura 45:** Manómetro utilizado para la lectura de la carga aplicada a los paneles.



Utilizando las deformaciones medidas se calculan los módulos de elasticidad de los paneles de muestra, generando con esto una característica física experimental del material que conforma los paneles de distintos materiales combinados.

**10.1.3 Conversión de la carga aplicada por medio de los gatos hidráulicos de 10 y 25 toneladas a carga puntual.** La lectura que da el manómetro de la carga aplicada a los paneles está en libras por pulgada cuadrada y la conversión de la misma a libras depende no sólo del área de contacto del gato hidráulico con los paneles, sino también de la calibración del manómetro.

Para convertir la carga mencionada a libras es necesario desarrollar las gráficas que corresponden a los gatos hidráulicos y éstas se desarrollan aplicando la misma carga a la máquina forney, mostrada en la Figura 46, y graficando la lectura del manómetro (en libras por pulgada cuadrada) versus la lectura de la forney en libras se puede calcular la ecuación de la recta producida por los puntos graficados.

**Figura 46:** Prueba del gato hidráulico en la forney.



**10.1.4 Peso específico.** El peso específico del material se calcula con base al peso total de cada panel en kilogramos entre el volumen total de los mismo en metros cúbicos. El promedio de los tres pesos específicos calculados es el utilizado para los cálculos.

El peso de los paneles se obtiene pesando en una balanza los paneles sin mortero y de acuerdo al peso de los testigos del mortero y al volumen que se estima cubierto por la misma se puede obtener el peso total de cada panel.

El volumen de los paneles se obtiene de las dimensiones de los mismos, tomando en cuenta el espesor de repello en la cara superior de dichos paneles.

**10.1.5 Módulo de elasticidad.** El módulo de elasticidad o módulo de Young es la razón entre el incremento del esfuerzo y el cambio correspondiente a la deformación unitaria. Si el esfuerzo es una tensión o una compresión, el módulo se denomina módulo de Young y tiene el mismo valor para una tensión que para una compresión, siendo una constante independiente del esfuerzo siempre que no exceda de un valor máximo denominado *límite elástico*. Tanto el módulo de Young como el límite elástico, son naturalmente distintos para las diversas sustancias. El hecho de que la variación de deformación unitaria sea directamente proporcional a la variación de esfuerzo, siempre que no se sobrepase el límite elástico, se conoce como *ley de Hooke*.(14)

Para el cálculo del módulo de elasticidad de los paneles se consideran dos alternativas considerando que los paneles funcionan como una viga empotrada y en voladizo, con una carga puntual en su extremo libre (Figura 47), en la primera se utiliza la ecuación para la deformación máxima asumiendo que la deformación máxima es la correspondiente al punto de falla de los paneles, obteniendo el módulo de elasticidad, y la segunda es basándose en la teoría que la pendiente de la gráfica esfuerzo (eje y) versus deformación unitaria (eje x) es el módulo de elasticidad en cortante del panel.

En la primera alternativa, asumiendo que la deformación máxima de los paneles ocurre en el punto de falla de los mismos, se utiliza la ecuación para la deformación máxima de una viga empotrada en voladizo con una carga puntual en su extremo libre como sigue:

$$\delta = \frac{Pl^3}{3EI}$$

De esta fórmula se despeja el módulo de elasticidad (E), quedando de la siguiente forma:

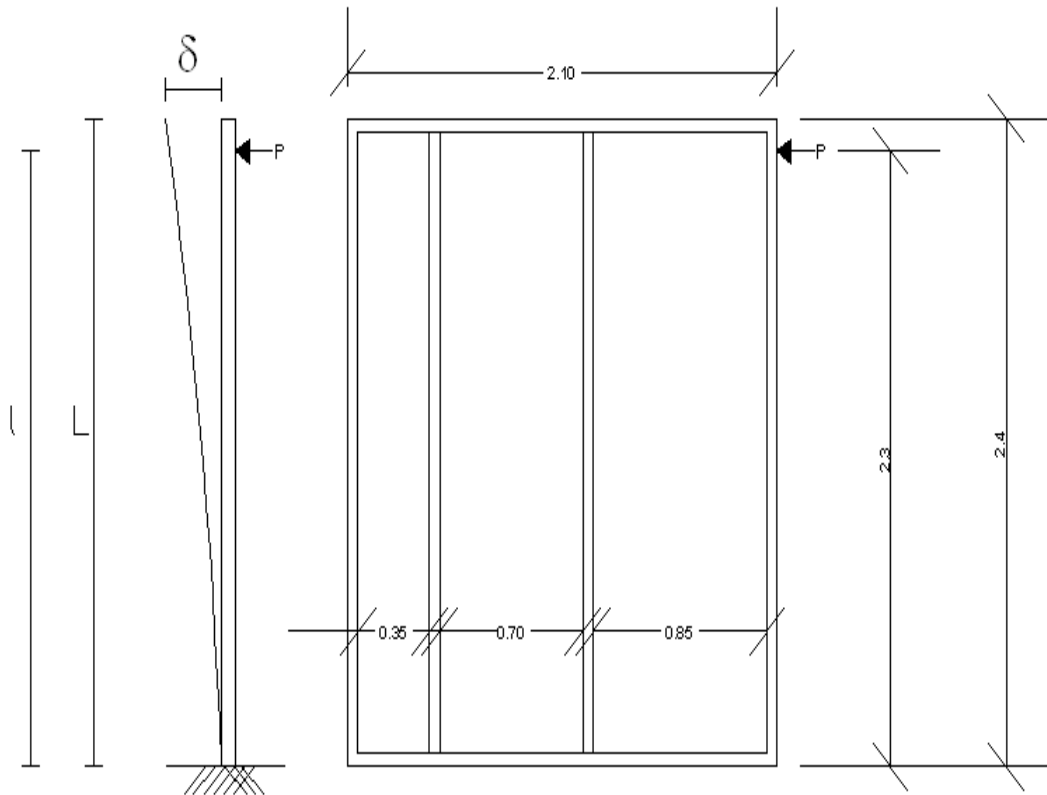
$$E = \frac{Pl^3}{3I\delta}$$

En donde P es la carga aplicada en el extremo libre, l es la distancia a la cuál se aplica la carga, medida desde el punto de empotramiento, la Inercia (I) se calcula como sigue:

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

Siendo la base el espesor del panel considerando tanto el espesor de la madera como el espesor de la estería y el del repello.

**Figura 47:** Mecanismo de análisis de paneles suponiendo que funciona como una viga empotrada y en voladizo, con una carga puntual en su extremo libre (panel D1).



En el segundo método, por medio de regresión lineal y utilizando los datos de los tres paneles del mismo tipo se calcula la ecuación lineal de la gráfica de la deformación unitaria (eje x) y esfuerzo (eje y), de la cuál se obtiene la pendiente de la gráfica que corresponde al módulo de elasticidad en cortante del tipo de panel analizado. La deformación unitaria ( $\epsilon$ ) es la deformación ocasionada por la carga ( $\delta$ ) entre la longitud total de la viga (L) y el esfuerzo es la carga (P) entre el área de la sección transversal (A).

### 10.1.6 Procedimiento para la medición de deformaciones ocasionadas por la carga aplicada a las muestras de los paneles.

La deformación de cada panel se calculó según el número de vueltas que marcó el deformímetro que se colocó en el lado opuesto al punto de aplicación de la carga,

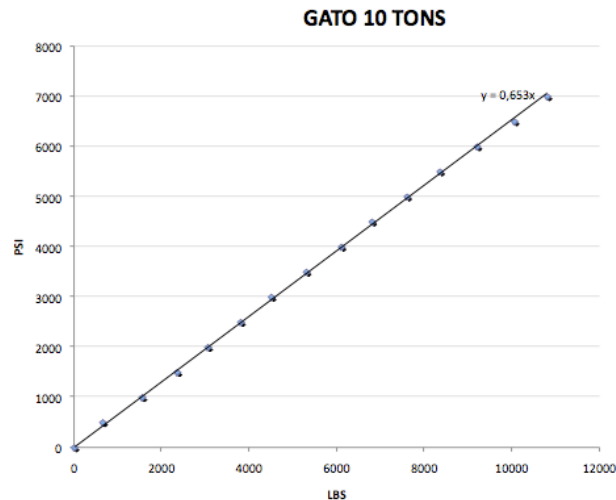
tomando en cuenta que una vuelta del deformímetro equivale a 0.103397238cms/vuelta y siguiendo el siguiente procedimiento:

$$\begin{aligned} \text{Deformación}^* &= (0.103397238\text{cms/vuelta}) \times (\#Vueltas_{(f)} - \#Vueltas_{(i)}) \\ &= (0.103397238\text{cms/vuelta}) \times (23.75 - 22.75\text{vueltas}) \\ &= 0.1\text{cms} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Deformación acumulada}^* &= (0.103397238\text{cms/vuelta}) \times (\#vueltas) \\ &= 2.46\text{cms} \end{aligned}$$

### 10.1.7 Proceso de conversión de la carga del gato hidráulico de 10 toneladas de libras por pulgada cuadrada a libras con la forney

**Gráfica 1:** Gráfica y ecuación lineal para la conversión de libras por pulgada cuadrada a libras en base al gato de 10 toneladas utilizado para realizar las pruebas de laboratorio.



## 10.2 Peso de los paneles de muestra

El peso de los paneles se estimó ya que el único peso que se supo con exactitud fue el del panel sin mortero (pesado en una balanza) y el peso del mortero se proyectó en base al peso de las muestras que se obtuvo de la misma y según las dimensiones cada panel y se obtuvieron los resultados siguientes:

**Tabla 11:** Peso de paneles sin mortero.

Panel	Peso (Sin mortero)
F2	1209.93 Lbs.
F3	1043.86 Lbs.
D1	1194.61 Lbs.

**Tabla 12:** Peso unitario del mortero (proporción: 4 partes de arena y 1 parte de cemento de 2000lb/pulg<sup>2</sup>)

Volumen	131.10	cm <sup>3</sup>
Peso	0.452	lb
Peso unitario de mortero	0.00345	lb/cm <sup>3</sup>

**Tabla 13:** Peso en libras de panel F2.

Panel F2		
Base	270 cm	Marco sin estería Estería Repello
Altura	240 cm	
Base ventana	120 cm	
Altura ventana	115 cm	
Espesor	4.25 cm	
Espesor	1.45 cm	
Espesor	1.3 cm	
Volumen	327420 cm <sup>3</sup>	
Peso de mortero	1128.89 Lbs.	
Peso de madera y estería	81.04 Lbs.	
<b>Peso Total</b>	<b>1209.93 Lbs.</b>	

**Tabla 14:** Peso en libras de panel F3.

Panel F3		
Base	225 cm	Marco sin estería Estería Repello
Altura	240 cm	
Base ventana	120 cm	
Altura ventana	86 cm	
Espesor	4.25 cm	
Espesor	1.45 cm	
Espesor	1.3 cm	
Volumen	280426 cm <sup>3</sup>	
Peso de mortero	966.86 Lbs.	
Peso de madera y estería	77.00 Lbs.	
<b>Peso Total</b>	<b>1043.86 Lbs.</b>	

**Tabla 15:** Peso en libras de panel D1.

Panel D1		
Base	210 cm	Marco sin estería Estería Repello
Altura	240 cm	
Espesor	4.25 cm	
Espesor	1.45 cm	
Espesor	1.3 cm	
Volumen	323568 cm <sup>3</sup>	
Peso de mortero	1115.61 Lbs.	
Peso de madera y estería	79.00 Lbs.	
<b>Peso Total</b>	<b>1194.61 Lbs.</b>	

El peso total de cada panel fue calculado como se indica a continuación, tomando como ejemplo ilustrativo el panel D1:

$$\begin{aligned} \text{Área (VISTA FRONTAL)} &= \text{Base} \times \text{altura} \\ &= 210\text{cm} \times 240\text{cm} \\ &= 50,400\text{cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volumen mortero} &= \text{Área (A)} \times \text{Espesor}_{(\text{PÁNEL} + \text{REPELLO})} \\ &\quad + \text{Área (A)} \times 60\%^1 \times \text{Espesor}_{(\text{ESTERÍA})} \\ &= 50,400 \times (4.25+1.3) + 50,400 \times 1.45 \times 0.60 \\ &= 323,568 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Peso de mortero} &= \text{Volumen} \times \text{peso unitario de mortero} \\ &= 323,568 \text{ cm}^3 \times 0.00345 \text{ lb/cm}^3 \\ &= 1,115.61 \text{ lb} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Peso total} &= \text{Peso de mortero} + \text{peso de panel sin mortero} \\ &= 1,115.61 + 79 \\ &= 1,194.61 \text{ Lbs.} \end{aligned}$$

Para los paneles que tienen ventanas y puertas, el área a utilizar es el área neta.

---

<sup>1</sup> El área de mortero calculada en el espacio en donde se encuentra la estería se asume como el 60% del área total, siendo ésta una estimación.

### 10.3 Peso específico

**Tabla 16:** Peso específico de paneles de muestra y peso específico promedio.

	panel F2	panel F3	panel D1	PROMEDIO
Volumen total (m <sup>3</sup> )	0.36	0.31	0.35	
Peso total (kg)	548.82	473.49	541.87	
Peso Específico (kg/m <sup>3</sup> )	1537.30	1548.56	1535.90	1540.59

El peso específico de los paneles se calculó en base al siguiente procedimiento, que se ilustra con el panel D1:

Volumen (V):

$$V = \frac{Base_{PANEL} * Altura_{PANEL} * Espesor}{100^3} = \frac{Base_{VENTANA} * Altura_{VENTANA} * Espesor}{100^3}$$

$$V = 0.35m^3$$

El peso total fue tomado del resultado obtenido en la Tabla 16, multiplicándolo por 0.45359237 para convertir de libras a kilogramos.

Peso Específico ( $\gamma$ ):

$$\gamma = \frac{W}{V} = \frac{541.87kg}{0.35m^3} = 1535.90 \frac{kg}{m^3}$$

El peso específico promedio es la sumatoria de los tres pesos específicos, divididos entre 3 y el resultado final es:

$$\gamma = 1,540.59 \frac{kg}{m^3}$$

### 10.4 Carga aplicada a paneles y deformación resultante

**Tabla 17:** Carga aplicada a los paneles y deformación resultante de la aplicación de dicha carga.

Panel	Muestra	Carga (lb/pulg <sup>2</sup> )	Carga (lbs)	Deformación (cms)
F2	1	2400	3675.34	2.95
	2	4800.00	7350.69	3.08
	3	4400	6738.13	3.23
F3	1	2200	3369.07	1.66
	2	4000	6125.57	4.96
	3	3800	5819.3	4.07
D1	1	7000	10719.8	6.1
	2	6800	10413.5	5.27
	3	5600	8575.8	2.46

## 10.5 Módulo de elasticidad

### 10.5.1 Con base a la ecuación de la deformación máxima para una viga empotrada y en voladizo

Tabla 18: Módulo de elasticidad de cada panel de muestra.

Panel	Carga (Lbs)	Deformación (pulg)	Longitud (pulg)	Base(pulg)	Altura(pulg)	Inercia (pulg <sup>4</sup> )	Módulo de Elasticidad (klb/pulg <sup>2</sup> )	Módulo de Elasticidad (klb/pulg <sup>2</sup> )
F2	1	3675.34	1.1602	89.76	2.76	106.3	275850	2.77
	2	7350.69	3.0771	89.76	2.76	106.3	275850	2.09
	3	6738.13	1.2721	89.76	2.76	106.3	275850	4.63
F3	4	3369.07	0.6546	89.76	2.76	88.58	159636	7.77
	5	6125.57	1.954	89.76	2.76	88.58	159636	4.73
	6	5819.3	1.6039	89.76	2.76	88.58	159636	5.48
D1	7	10719.75	2.4017	89.76	2.76	82.68	129790	8.29
	8	10413.48	2.0761	89.76	2.76	82.68	129790	9.32
	9	8575.8	0.9668	89.76	2.76	82.68	129790	16.48

El módulo de elasticidad se calculó con base a la suposición de que el panel funciona de igual forma que una viga empotrada en voladizo y que se puede utilizar la fórmula para la deformación máxima del caso referido. Los cálculos realizados en la Tabla 18 corresponden al siguiente procedimiento, tomando como ejemplo ilustrativo el panel 8 del tipo D1:

Inercia

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{(2.76)(82.68)^3}{12} = 129,790$$

Módulo de elasticidad (E)

$$E = \frac{PL^3}{3\delta_y I} = \frac{(8575.80)(89.76)^3}{3(0.9668)(129790)} = 16.48 \text{ klb/pulg}^2$$

Módulo de elasticidad promedio

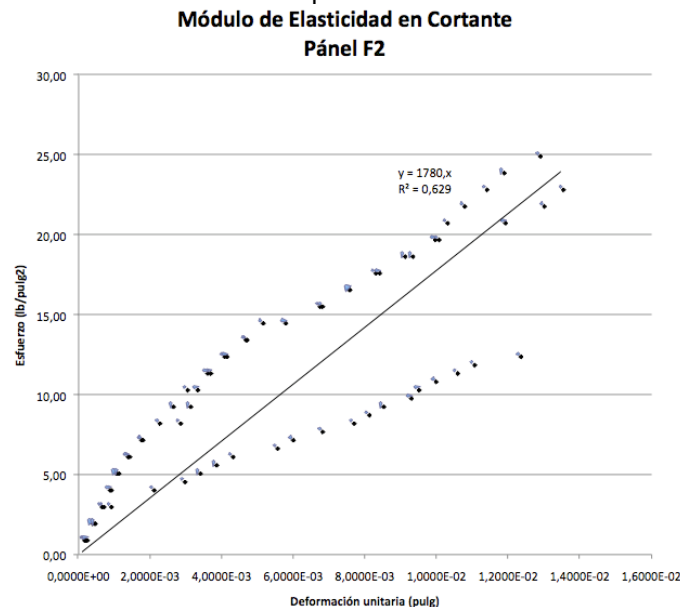
$$E_{\text{PROM}} = \frac{\sum E}{n} = \frac{8.29 + 9.32 + 16.48}{3} = 11.36 \text{ klb/pulg}$$

### 10.5.2 Módulo de elasticidad en cortante. Módulo de elasticidad en cortante calculado por medio de la regresión lineal y despejando la pendiente de la ecuación de la recta.

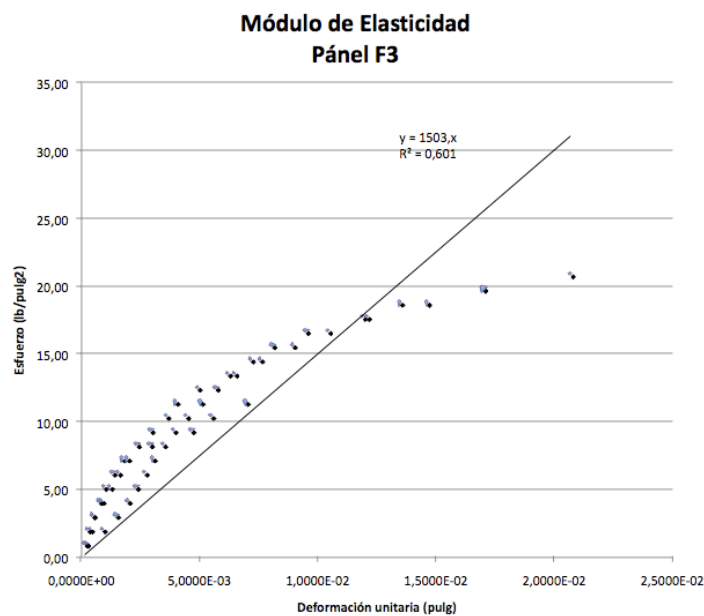
**Tabla 19:** Especificaciones de las medidas de la viga.

<b>L (long total de la viga)</b>	240	cm
<b>A (área)</b>	292.95	Pulg <sup>2</sup>

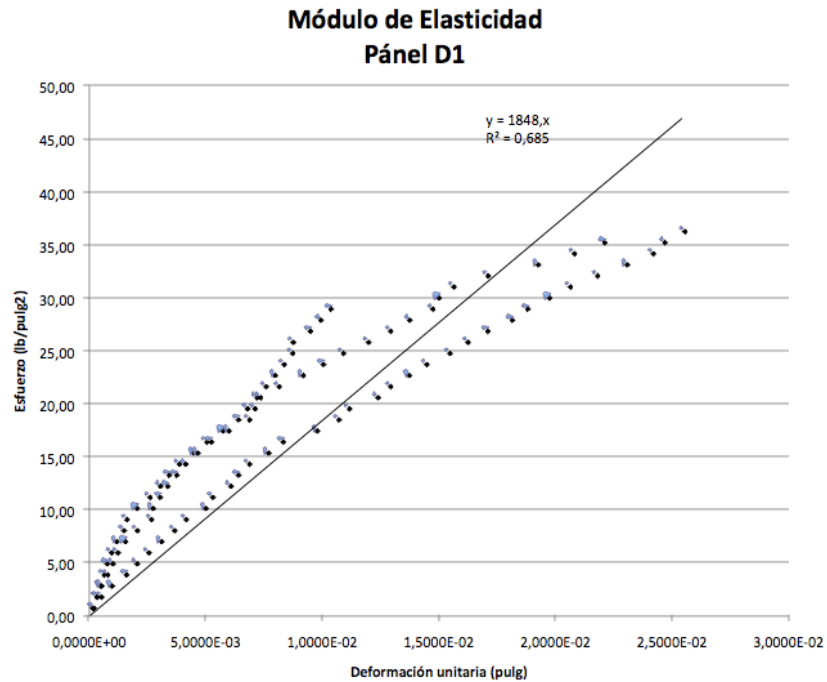
**Gráfica 2:** Gráfica esfuerzo vs. deformación unitaria de las pruebas realizadas a los tres paneles del tipo F2.



**Gráfica 3:** Gráfica esfuerzo vs. deformación unitaria de las pruebas realizadas a los tres paneles del tipo F3.



**Gráfica 4:** Gráfica esfuerzo vs. deformación unitaria de las pruebas realizadas a los tres paneles del tipo D1.



**Tabla 20:** Módulo de elasticidad cortante de los paneles F2, F3 y D1.

PÁNEL	Módulo de elasticidad cortante (R)
F2	1780 lb/pulg <sup>2</sup>
F3	1503 lb/pulg <sup>2</sup>
D1	1848 lb/pulg <sup>2</sup>

El módulo de elasticidad en cortante (R) se calculó de acuerdo a la suposición de que el panel funciona de igual forma que una viga empotrada en voladizo y la pendiente de las ecuaciones de las Gráficas 2, 3 y 4 corresponden al módulo de elasticidad en cortante de cada tipo de panel. El procedimiento que se utilizó para calcular estas ecuaciones fue el siguiente, a modo de ejemplo ilustrativo.

Cálculo de la deformación unitaria ( $\epsilon$ ):

$$\gamma = \frac{\delta}{L} = \frac{0.01}{240} = 2.85E-05$$

$\delta$ = es la deformación ocasionada por la carga aplicada

$L$ = es la longitud de la viga, Tabla 18.

$\gamma$ = deformación unitaria, es adimensional.

Esfuerzo ( $\sigma$ ):

$$\tau = \frac{F}{A} = \frac{F_{\text{AplicadaConElGato}}}{A} \cdot 0.653 = \frac{200 \text{ lb/pulg}^2}{292.95 \text{ pulg}^2} \cdot 0.653 = 1.05 \text{ lb/pulg}^2$$

$\tau$ = esfuerzo aplicado, lb/pulg<sup>2</sup>

F= fuerza

A= área de la sección transversal de la viga.

$F_{\text{AplicadaConElGato}}$ = es el esfuerzo que se lee en el manómetro que está conectado al gato hidráulico

0.653= factor de conversión de la carga del gato hidráulico de libras por pulgada cuadrada a libras y se calcula según la sección 6.3.3, Gráfica 1.

Las rectas de las Gráficas 2, 3 y 4 se rigen por la ecuación:

$$y = mx + b$$

en donde m es la pendiente de la recta y en este caso es el módulo de elasticidad en cortante de cada panel.

La ecuación de la recta se calculó por medio de regresión lineal.

## **Capítulo XI**

### *Metodología y análisis de pruebas de laboratorio testigos de mortero*

---

## **XI. Metodología y análisis de pruebas de laboratorio de testigos de mortero.**

En el laboratorio se realizaron dos tipos de pruebas; éstas son de compresión y de tensión. Las máquinas a utilizar son la Soiltest Mecánica de Compresión y la Tensora de Briquetas Soiltest. Éstas se usan con el fin de determinar las cargas máximas que resiste el concreto y si éste fue aplicado de la forma correcta.

### **11.1 Diseño y metodología**

Diseño experimental:

Con el fin de determinar la resistencia del concreto a la compresión y a la torsión de los paneles compuestos por madera, bambú y una mezcla de cemento de 2000 lb/pulg<sup>2</sup> y arena de río se realizaron pruebas de laboratorio en las que a los paneles se les aplicó una carga puntual a cierta altura aumentando esta carga gradualmente y midiendo la deformación de mismo.

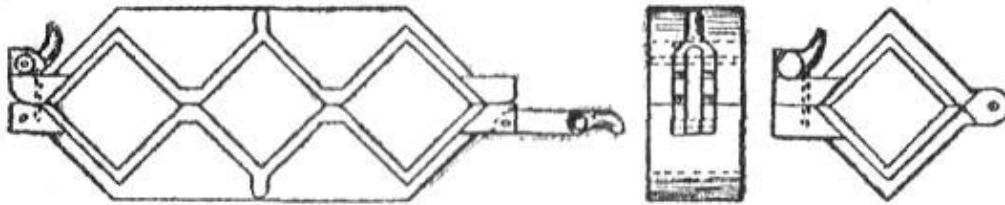
Asimismo, se tomó muestras “testigo” de cada panel en forma de cubos y de briquetas. Esto fue para luego analizarlas en el laboratorio y comprobar su resistencia a la compresión y a la tensión.

Metodología para hacer los testigos:

Se utilizaron dos tipos de testigos, unos con forma cúbica para realizarles pruebas de compresión y otros en forma de briquetas para realizarles pruebas de tensión.

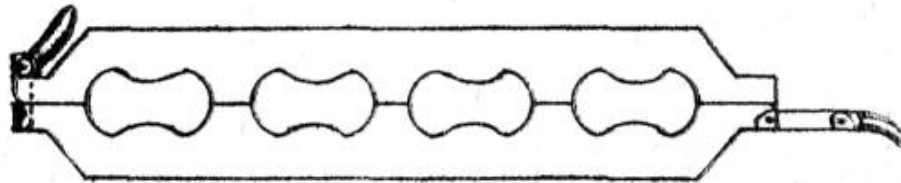
Los testigos con forma cúbica se hicieron tomando un molde cúbico y se llenaba con sabieta en tres partes iguales para que no hubiese ratoneras ni vacíos y la compactación fuera similar a la que se hace realmente en campo debido a los vibradores de concreto. Esto se lograba llenando la parte debida y luego moviendo el molde en forma vibratoria contra algún objeto para fomentar una compactación y eliminación de vacios. Así se hacía con todas las partes y luego se le colocaba una tapadera y se dejaba fraguar. El tiempo de fraguado fue de 14 y 28 días. Esto fue para comprobar la resistencia a compresión.

**Figura 48:** Moldes testigos cúbicos.(6)



Los testigos para realizar briquetas se hicieron utilizando un molde especial de bronce para hacer briquetas. La forma de rellenarlos era igual que para los testigos con forma cubica. Estos también se dejaron fraguar 14 y 28 días para demostrar la resistencia a torsión y como esta incrementa conforme pase el tiempo.

**Figura 49:** Moldes para briquetas. (6)



Funcionamiento de máquinas utilizadas en pruebas de laboratorio

Las máquinas utilizadas en el laboratorio fueron dos. Éstas fueron la Soiltest Mecánica de Compresión y la Tensora de Briquetas Soiltest. La Soiltest Mecánica de Compresión es la que se utilizó para hacerle las pruebas a los testigos cúbicos probando compresión. Esta máquina funciona colocando el testigo en el centro de una base metálica y se calibra el manómetro. Luego se comienza a dar vueltas a una manivela la cual hace que la base donde está colocado el testigo suba. Esta base luego es presionada contra un cilindro de metal que está conectado a un anillo donde se encuentra el manómetro ya calibrado. Este anillo soporta deformaciones y las transmite al manómetro. La aguja del manómetro avanza conforme se continúa dando vueltas a la manivela hasta que llega un punto donde el testigo falla y la aguja se detiene y se obtiene la fuerza de compresión. Cada vuelta del manómetro equivale a 730Lbs.

La Soiltest Tensora de Briquetas funciona por medio de un tornillo sin fin que va girando generando tensión a la briqueta. Esta briqueta se inserta dentro de dos mordazas que tienen la forma de la misma y se ajusta evitando que haya alguna holgura entre las mordazas. Luego se ajusta la aguja que indica la fuerza en tensión en cero y se enciende la maquina. Esta máquina luego comienza a moverse en el tornillo sin fin y a la vez va aumentando la tensión que hay en la briqueta hasta que se quiebra y obtenemos la fuerza necesaria para romper la briqueta.

## 11.2 Ensayos de compresión

El ensayo de compresión es un ensayo técnico de laboratorio para determinar la resistencia de un material o su deformación ante un esfuerzo de compresión.

En el caso de los ensayos de compresión se intenta dar una vuelta a la manecilla manual por segundo para mantener una velocidad constante y así la fuerza aplicada sea constante.

**Figura 50:** Anillo que mide deformación y fuerza en vueltas en máquina de compresión.



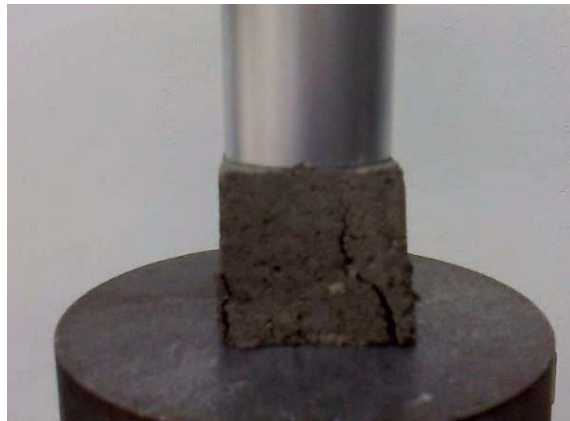
**Figura 51:** Testigo cúbico hecho conforme especificaciones, sin vacíos ni poroso



**Figura 52:** Testigo cúbico con vacíos y poros



**Figura 53:** Falla de testigo cúbico en prueba de compresión

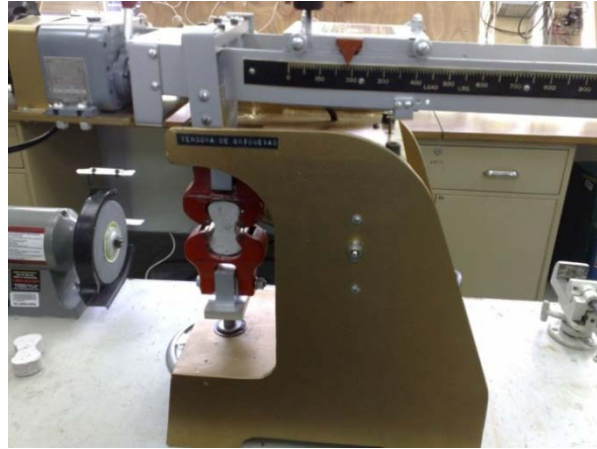


### 11.3 Ensayos de tensión

Estos ensayos tienen como objeto determinar si los ingredientes utilizados para hacer la sabieta o si los procedimientos utilizados en la fabricación permitieron obtener un endurecimiento continuo y uniforme de la materia empleada.

Las edades de fraguado para los ensayos de tensión son de catorce y veintiocho días después de hacerse las muestras; en cada caso las briquetas quedan durante veinticuatro horas expuestas al aire húmedo. La velocidad de graduación de carga se recomienda sea aproximadamente de 280 kilogramos por minuto.

**Figura 54:** Tensora de briquetas



**Figura 55:** Briqueta fallada



**Figura 56:** Briquetas falladas



**Figura 57:** Medición del ancho de la falla de la briqueta fallada



## 11.4 Cálculos y resultados

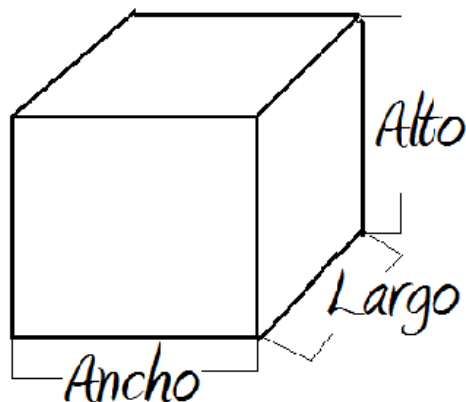
### Peso de cubos y briquetas

Los pesos de los cubos y las briquetas se tomaron utilizando una pesa de laboratorio marca Soiltest redondeando el peso al gramo entero. Se tomaron las medidas para obtener las áreas y los volúmenes de cada cubo utilizando un pie de rey digital con dos decimales de precisión. En el caso de las briquetas se tomó únicamente el peso y luego se midió el ancho de la falla con el pie de rey. Esto fue para ver si había fallado en el centro más cerca a las orillas.

### Resultados de pruebas de laboratorio

### Resultados de los testigos cúbicos

**Figura 58:** Ejemplo de testigo cúbico



Los datos de las tablas se obtuvieron de la forma siguiente:

**Peso:** Con la pesa manual marca soiltest redondeado al gramo entero más cercano

**Medidas:** Con pie de rey digital utilizando precisión de 2 decimales, en milímetros.

**Volumen:** Se obtuvo el volumen en mm cúbicos ancho (mm) \* alto (mm) \* largo (mm) primero y luego se dividió dentro de 1000 para obtener el valor en cm<sup>3</sup>.

**Densidad:** Se obtuvo la densidad utilizando la fórmula densidad=masa (peso)/volumen.

**Fuerza (vueltas):** En el caso de la primera medición, la fuerza era obtenida contando el número de vueltas tomando en cuenta 2 decimales de precisión. Cada vuelta equivale a 730Lbs.

**Fuerza (Lbs.):** Se obtenía la fuerza en libras multiplicando el número de vueltas por 730 para obtener el valor en libras.

**Ejemplo:** El testigo cúbico llegó a su falla de compresión a las 2.76 vueltas, por lo tanto  $F \text{ (Lbs.)} = 2.76 * 730 \rightarrow 2014.8 \text{ Lbs.}$

**PSI:** Se obtuvieron las libras por pulgada cuadrada dividiendo la fuerza en libras entre el largo por el ancho dividido  $2.54 * 2.54 * 100$  para pasar de milímetros a pulgadas cuadradas.

**Promedio:** Se obtuvo el promedio sumando algebraicamente los valores en PSI obtenidos y dividiéndolos dentro del número de muestras realizadas.

**Tabla 21:** Panel 1 – Prueba a compresión

PANEL # 1		Medidas								Promedio
Muestra	Peso(g)	1(largo) mm	2(ancho) mm	3(altura) mm	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Fuerza (vueltas)	Fuerza (lb)	PSI	
1	218	50.2	50.05	50.66	127.28	1.71	2.38	1737.4	446.13	504.36
2	219	49.99	49.79	50.21	124.97	1.75	2.73	2014.8	529.24	
3	220	50.12	49.98	50.25	125.88	1.75	2.87	2187.8	534.71	

**Tabla 22:** Panel 2 – Prueba a compresión

PANEL # 2		Medidas								Promedio
Muestra	Peso(g)	1(largo) mm	2(ancho) mm	3(altura) mm	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Fuerza (vueltas)	Fuerza (lb)	PSI	
1	218	50.2	50.05	50.66	127.28	1.71	2.38	1700	436.52	498.83
2	219	49.99	49.79	50.21	124.97	1.75	2.76	2014.8	522.24	
3	220	50.12	49.98	50.25	125.88	1.75	2.86	2087.8	537.71	

**Tabla 23:** Panel 3 – Prueba a compresión

PANEL # 3		Medidas								Promedio
Muestra	Peso(g)	1(largo) mm	2(ancho) mm	3(altura) mm	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Fuerza (vueltas)	Fuerza (lb)	PSI	
1	220	49.98	50.05	50.11	125.35	1.76	4	2920	753.10	695.18
2	214	49.1	50.18	49.98	123.14	1.74	3.4	2482	649.92	
3	217	50.2	50.86	50.22	128.22	1.69	3.7	2701	682.51	

**Tabla 24:** Panel 4 – Prueba a compresión

PANEL # 4		Medidas								
Muestra	Peso(g)	1(largo) mm	2(ancho) mm	3(altura) mm	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Fuerza (vueltas)	Fuerza (lb)	PSI	Promedio
1	224	51.35	50.35	49.93	129.09	1.74	4.35	3175.5	792.39	836.67
2	226	51.37	50.01	49.8	127.94	1.77	4.8	3504	879.96	
3	228	50.14	49.9	51.22	128.15	1.78	4.45	3248.5	837.66	

**Tabla 25:** Panel 5 – Prueba a compresión

PANEL # 5		Medidas								
Muestra	Peso(g)	1(largo) mm	2(ancho) mm	3(altura) mm	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Fuerza (vueltas)	Fuerza (lb)	PSI	Promedio
1	237	49.98	49.8	53.5	133.16	1.78	4.8	3504	908.25	722.18
2	225	49.98	49.79	50.21	124.95	1.80	3.15	2299.5	596.16	
3	227	50.11	51.1	50.25	128.67	1.76	3.6	2628	662.14	

**Tabla 26:** Panel 6 – Prueba a compresión

PANEL # 6		Medidas								
Muestra	Peso(g)	1(largo) mm	2(ancho) mm	3(altura) mm	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Fuerza (vueltas)	Fuerza (lb)	PSI	Promedio
1	226	50.01	50.8	49.69	126.24	1.79	4.45	3248.5	824.95	850.39
2	229	50.05	50.06	51.67	129.46	1.77	4.6	3358	864.68	
3	229	51.08	50.3	49.91	128.23	1.79	4.7	3431	861.53	

**Tabla 27:** Panel 7 – Prueba a compresión

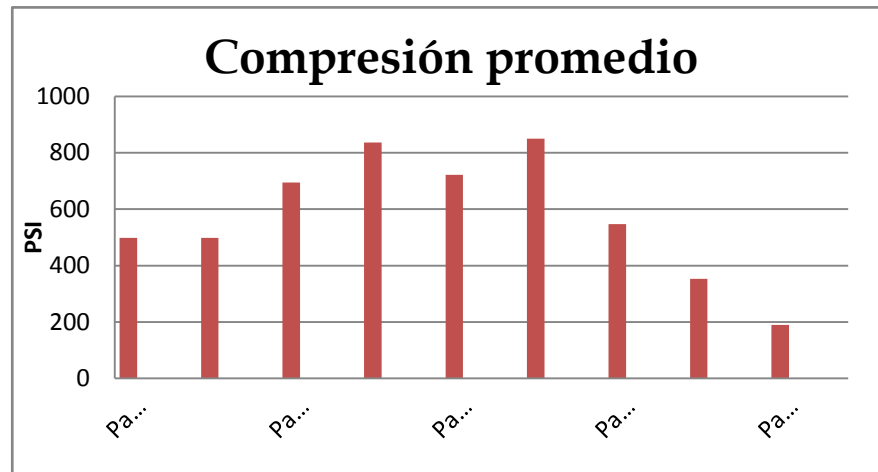
PANEL # 7		Medidas								
Muestra	Peso(g)	1(largo) mm	2(ancho) mm	3(altura) mm	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Fuerza (vueltas)	Fuerza (lb)	PSI	Promedio
1	221	50.1	50.03	49.97	125.25	1.76	1.8	1314	338.22	547.62
2	218	50.2	49.3	49.5	122.51	1.78	3.2	2336	608.96	
3	217	50.5	49.6	48.99	122.71	1.77	3.7	2701	695.70	

**Tabla 28:** Panel 8 – Prueba a compresión

PANEL # 8		Medidas								
Muestra	Peso(g)	1(largo) mm	2(ancho) mm	3(altura) mm	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Fuerza (vueltas)	Fuerza (lb)	PSI	Promedio
1	234	51.17	49.79	49.91	127.16	1.84	2.25	1642.5	415.93	352.52
2	231	49.92	50.4	49.6	124.79	1.85	1.3	949	243.35	
3	240	49.97	52.06	49.79	129.53	1.85	2.2	1606	398.29	

**Tabla 29:** Panel 9 – Prueba a compresión

PANEL # 9		Medidas								
Muestra	Peso(g)	1(largo) mm	2(ancho) mm	3(altura) mm	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Fuerza (vueltas)	Fuerza (lb)	PSI	Promedio
1	227	49.68	50.16	49.65	123.73	1.83	1.2	876	226.79	189.45
2	223	49.94	49.81	49.65	123.50	1.81	0.9	657	170.40	
3	224	49.73	49.8	51.21	126.82	1.77	0.9	657	171.15	

**Gráfica 5:** Promedio pruebas de compresión en testigos cúbicos

Los datos de las tablas anteriores fueron obtenidos de la forma siguiente:

**Peso:** Utilizando la pesa manual marca soiltest se obtenía el peso calibrándola hasta que la aguja quedaba en el centro donde indicaba el peso exacto.

Ej: 218 gramos

**Medidas:** Utilizando el pie de rey digital se obtenían las medidas.

Ej: 50.2mm\*50.5mm\*50.66mm

**Volumen:** Se obtuvo el volumen en mm cúbicos primero y luego se dividió dentro de 1000 para obtener el valor en cm<sup>3</sup>.

Ej:  $50.2 * 50.5 * 50.66 = 127283757mm^3$

$$\frac{128428.166mm^3}{1} * \frac{1cm^3}{1000mm^3} = 127.283757cm^3 \approx 127.28cm^3$$

**Densidad:** Se utilizó la fórmula masa/volumen.

$$Ej: \frac{218g}{127.28cm^3} = 1.712gm/cm^3$$

**Fuerza (vueltas):** Se tomó el número de vueltas con dos decimales de precisión.

Ej: 2.38 vueltas

**Fuerza (Lbs.):** Se multiplicó el número de vueltas por 730Lbs.

Ej:  $(2.88)*(730Lbs.)= 1737.4Lbs.$

$$PSI: \frac{50.2mm*50.05mm}{1} = 2512.51mm^2$$

$$\frac{2512.51mm^2}{1} * \frac{1in^2}{2.54cm*2.54cm*1000} = 3.894in^2$$

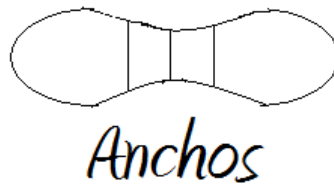
$$\frac{1737.4\text{lbs}}{3.894\text{in}^2} = 446.13\text{lbs/in}^2$$

**Promedio:** Se sumó algebraicamente todos los valores obtenidos de las 3 muestras y se dividió dentro de 3 para obtener promedio.

$$\text{Ej: } \frac{446.13+529.24+537.71}{3} = 504.36\text{PSI}$$

Tablas de resultados de briquetas

**Figura 59:** Ejemplo de briqueeta



Los datos en las tablas anteriores se obtuvieron de la siguiente forma:

**Peso:** Con la pesa marca Soiltest redondeado al gramo entero más cercano

**Libras:** Estas son las libras que soportó la briqueeta antes de fallar por torsión.

**Falla:** Esta falla es el ancho que tuvo donde fallo. Hubo algunas que fallaron en el centro cuando otras fallaron cerca de los extremos.

A continuación se presentan las tablas con los resultados obtenidos en las pruebas de tensión a las briquetas:

**Tabla 30:** Panel 10 –Prueba briqueeta

Panel #1			
Muestra	Peso(g)	Libras	Falla (ancho,in)
1	91	165	1.002
2	93	200	1.09
3	217	195	1.01

**Tabla 31:** Panel 11 –Prueba briqueeta

Panel #2			
Muestra	Peso(g)	Libras	Falla (ancho,in)
1	116	195	0.998
2	114	220	1.42
3	115	215	1.02

**Tabla 32:** Panel 12 –Prueba briqueta

Panel #3			
Muestra	Peso(g)	Libras	Falla (ancho,in)
1	115	230	0.994
2	115	190	0.967
3	114	185	1.042

**Tabla 33:** Panel 13 –Prueba briqueta

Panel #4			
Muestra	Peso(g)	Libras	Falla (ancho,in)
1	123	200	1.006
2	121	205	1.09
3	122	215	1

**Tabla 34:** Panel 14 –Prueba briqueta

Panel #5			
Muestra	Peso(g)	Libras	Falla (ancho,in)
1	120	180	1.24
2	119	165	1.03
3	120	155	1.04

**Tabla 35:** Panel 15 –Prueba briqueta

Panel #6			
Muestra	Peso(g)	Libras	Falla (ancho,in)
1	125	215	1.39
2	124	195	1.007
3	122	185	1.02

**Tabla 36:** Panel 16 –Prueba briqueta

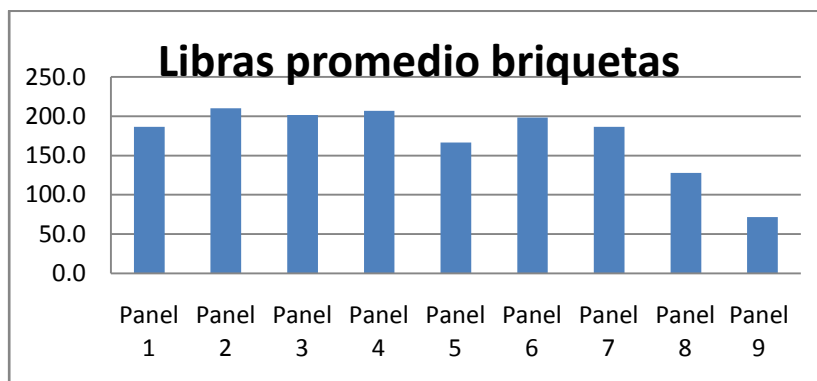
Panel #7			
Muestra	Peso(g)	Libras	Falla (ancho,in)
1	113	205	1.462
2	114	195	1.32
3	116	160	1.328

**Tabla 37:** Panel 17 –Prueba briqueta

Panel #8			
Muestra	Peso(g)	Libras	Falla (ancho,in)
1	123	145	0.994
2	124	120	1.008
3	122	119	1.12

**Tabla 38:** Panel 10 –Prueba briqueta

Panel #9			
Muestra	Peso(g)	Libras	Falla (ancho,in)
1	117	65	1.287
2	117	70	1.1
3	116	80	1.31

**Gráfica 6:** Libras promedio a las cuales cedían las briquetas por torsión

## 11.5 Discusión de resultados

Las propiedades de la sabieta ayudan a los paneles de madera y bambú a hacerlos más rígidos y pesados, esto es beneficioso ya que ayudan a reducir las presiones que el viento ejerce ya que, de estas ser muy grandes podrían botar la casa lo cual se minimiza colocándole sabieta al bambú. Por otro lado la sabieta utilizada no es tan densa como el concreto, es decir su peso específico es menor al del concreto por lo cual permiten cierta flexibilidad en conjunto con el bambú y la madera en el caso que ocurra un sismo así aguantando el mismo. De cada panel se tomaron 6 testigos, los cuales se mencionaron con anterioridad que fueron 3 testigos cúbicos y 3 testigos tipo briqueta para realizarles pruebas de compresión y tensión respectivamente.

Las pruebas de laboratorio demostraron que los valores obtenidos en el caso de los testigos cúbicos son satisfactorios ya que la sabieta utilizada demostró un peso específico un 66% del peso específico del concreto. Esto indica que los valores obtenidos son satisfactorios ya que se está combinando con materiales flexibles y esto permite que el panel no se vuelva tan rígido y que al ocurrir un sismo permita deformaciones sin fluir.

En el caso de las briquetas éstas se sometieron a la carga por medio de la máquina Soiltest Tensora de Briquetas antes mencionada, lo que se pudo observar es que algunas briquetas no cedían en el centro, es decir su ruptura ocurrió en algunos casos cerca de las orillas de la misma y no en el centro como se esperaba ya que es donde menos área transversal hay. Esto puede ser debido a que en esa área había algún tipo de sedimento o vacío que ocasiono que cediera en ese punto y no en el centro. (Ver Figuras 54-57)

En los casos de las pruebas ocurrió cierta desviación como se puede observar en las tablas en ambos casos para tensión y compresión. Se puede observar en los paneles 1 al 6 que los valores de compresión y tensión se mantienen más o menos parejos mientras que en los paneles 7 al 9 disminuyeron notoriamente. Esto se debe mayormente a un error humano al hacer los testigos.

La hechura de los testigos como se discutió anteriormente debe ser en tres partes vibrando cada parte para que al aplicar la sabieta los vacíos suban y no queden burbujas de aire atrapadas. En el caso de los paneles 1 al 6 para los testigos cúbicos y las briquetas el encargado de realizar los testigos sí tenía conocimiento previo y los realizó en las etapas necesarias ocasionando así un fraguado como se esperaba sin vacíos ni poros. En el caso de los paneles 7 al 9 la persona que hizo los testigos fue otra y no tenía experiencia al hacerlos por lo cual se cree que llenó los testigos sin vibrarlos y de una sola vez lo cual ocasionó la porosidad y que fallaran mucho antes por tensión y compresión que los testigos anteriores. (Ver Figuras 51 y 52)

Se debe tomar en cuenta también que los testigos del panel 9 llevaban menos tiempo de fraguado que los demás y es por esto también que pueden haber fallado. Los resultados obtenidos en los paneles 1 al 6 demuestran que la sabieta alcanzó los valores esperados y que sí puede ser utilizada para rigidizar los paneles de bambú.

## **Capítulo XII**

### *La sismicidad en Guatemala*

---

## **XII. La sismicidad en Guatemala**

### **12.1 Fuentes sismogénicas (16)**

Guatemala se localiza en un área donde convergen tres placas tectónicas. Tomando en cuenta la pequeña extensión territorial, poco más de 100,000 km<sup>2</sup>, la frecuencia de sismos dañinos es relativamente alta. En Guatemala por su posición geográfica antes mencionada, posee gran cantidad de fallas geológicas, tal como se ilustra en la Figura 60. Se pueden diferenciar tres familias de fuentes sismogénicas:

- La zona de fallas de transcurrancia, ésta atraviesa la franja central del país, de Izabal a Huehuetenango.
  - Ésta puede llegar a generar devastadores sismos superficiales, como los terremotos de 1976 y 1816 (Figura 61)
- La zona de fallas de subducción, esta se encuentra debajo de la costa sur del país.
  - Ésta genera constantemente sismos de magnitud pequeña e intermedia.
  - Ocasionalmente genera sismos de gran magnitud, relativamente profundos, que pueden afectar grandes áreas. Entre los terremotos generados por estas fallas podemos encontrar los terremotos de 1773 y 1902 (Figuras 62 y 63)
- Sismos locales, estos son originados sobre la altamente fallada corteza continental, entre la zona de transcurrancia y la zona de subducción.
  - Esos son generalmente sismos superficiales, con limitada extensión, pero muy extensos y destructores.
  - Regularmente ocurren en sitios inesperados, y Guatemala posee una larga lista de este tipo de eventos, como los terremotos de Guatemala de 1976 y San Salvador en 1985

### **12.2 Percepción del problema sísmico (16)**

La incidencia de sismos significativos a nivel nacional es lo que el público suele pensar. En las Figuras 2, 3 y 4 se muestran los sismos significativos ocurridos en los últimos tres siglos generados en la zona de transcurrancia y en la zona de subducción, por lo menos. Esto da un intervalo de 28 años al tomar de 10 sismos en 278 años lo cual es mucho más frecuente que el intervalo de 50 años, frecuentemente citado. En esta cuenta no se incluyen los sismos locales, los cuales han sido entre dañinos y altamente dañinos, entre los que se encontrarían los de 1945 en Bananera, 1917 en la Capital, 1913 en Cuilapa y 1888 en Amatitlán, entre otros.

### 12.3 Riesgo sísmico en aumento (16)

Debido al aumento de la población, en áreas anteriormente no pobladas, el riesgo sísmico es cada vez mayor, tales son los casos de los grandes sismos como los de la Costa Sur en 1942 y 1862, los cuales hoy en día, serían mucho más dañinos debido al aumento de la población y de instalaciones industriales en la zona en que ocurrieron. En sí la tasa de incidencia sísmica puede considerarse constante a lo largo de nuestra historia, pero el riesgo sísmico ha aumentado al densificarse la población y la infraestructura expuesta a sismos.

El área propensa a sismos es mayor de lo que usualmente se supone. A nivel público, existe una distorsión en la percepción del área sísmica. Ésta se asocia frecuentemente con el altiplano central y occidental, aunque el sismo de 1976 vino a ampliar esa área para incluir la franja del Motagua. La realidad incluye, no solo a la Costa Sur sino a la franja de Huehuetenango, Quiché, Verapaces e Izabal. La Figura 5 ilustra claramente la extensión del área expuesta a sismos. La Figura 6 intenta mostrar una distribución de la consciencia pública sobre el área expuesta a sismos. Es necesaria más educación y divulgación en este aspecto. Y por supuesto, se necesita más investigación científica para confirmar o refinar la información disponible y generar nueva.

### 12.4 Terremotos olvidados e ignorados (16)

Debido a lo anteriormente mencionado, en muchos lugares donde no existía mucha población, o solamente grupos aislados olvidados por la sociedad, muchas veces poblaciones de escasos recursos, se tiene un desconocimiento total o distorsión de la amenaza sísmica. Este es el caso de áreas como el litoral costero sur, ya que por no haber daños extensos no se informa el evento o no se le da importancia. Por esta razón grandes sismos como el de 1816 (Figura 62), se recuerda en Chiapas, donde afectó centros urbanos, pero está prácticamente olvidado en Guatemala donde afectó numerosas poblaciones mayoritariamente indígenas. De tomarse con mayor seriedad este sismo, como se ha tomado el sismo de 1773 que destruyó la capital en el centro del país, probablemente tendríamos otra percepción de la amenaza sísmica en el nor- occidente del país.

Figura 60: Mapa tectónico de Guatemala (16)



Figura 61: Terremotos históricos del norte (16)

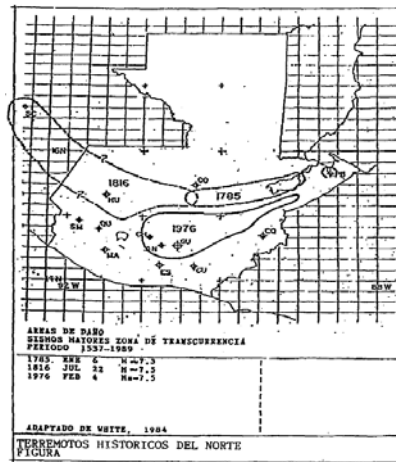


Figura 62: Terremotos históricos en zona de subducción (16)

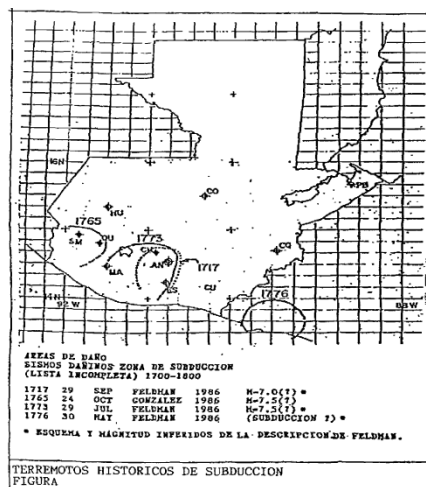


Figura 63: Terremotos históricos de subducción 2 (16)

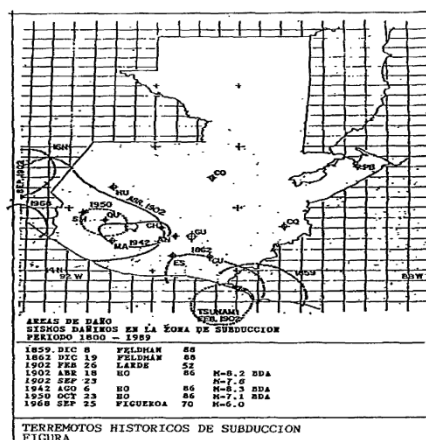


Figura 64: Propensión sísmica (16)

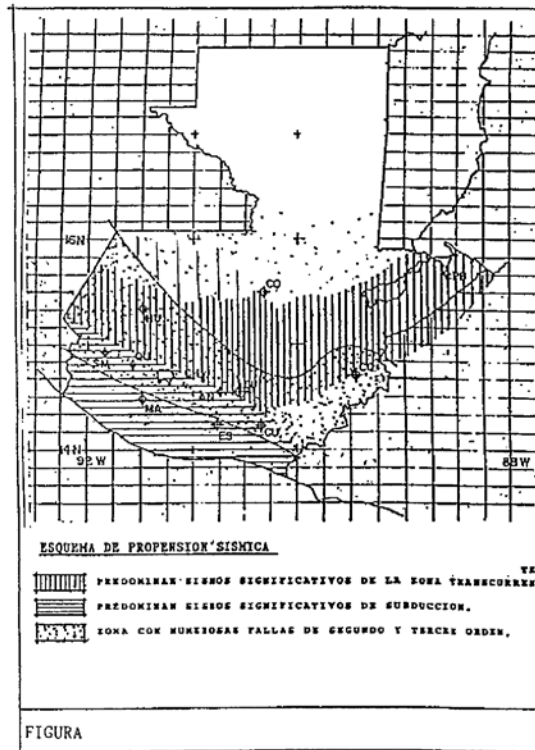
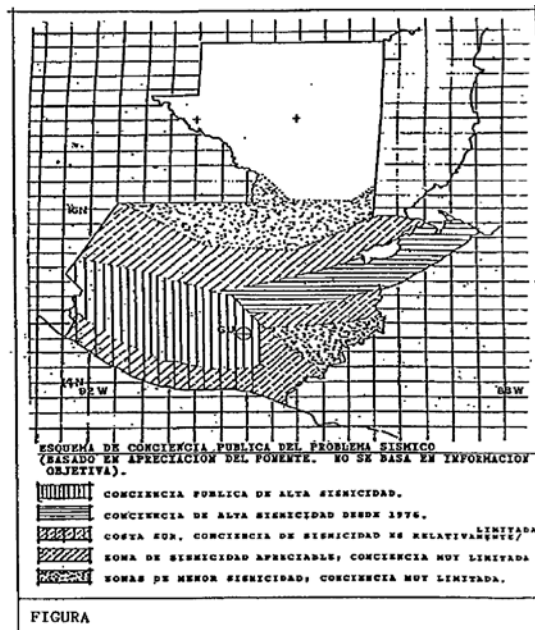


Figura 65: Esquema conciencia pública de amenaza sísmica (16)



## 12.5 Peligros derivados (16)

Algunos de los más grandes daños causados por los sismos, no son causados por la aceleración impuesta por el mismo, sino por fenómenos producidos a consecuencia del mismo. Uno de los más generalizados y comunes son los derrumbes de laderas de cerros y barrancas.

**12.5.1 Derrumbes.** Uno de los problemas más característico del país, son los derrumbes en laderas, ya que casi todos los valles y quebradas del altiplano guatemalteco son conformados por cenizas y arenas volcánicas geológicamente recientes. Estos depósitos pueden llegar a tener cientos de metros de profundidad y por las características de estos materiales volcánicos, las paredes de barrancos son bastante pronunciadas, incluso totalmente verticales creando acantilados que llegan a ser bastante altos.

En muchos taludes y laderas se produce una estabilidad engañosa, ya que los mismos son bastante estables bajo condiciones normales de carga gravitacional, esto se debe a la “trabazón” mecánica de las minúsculas e irregulares partículas de ceniza, la cual se pierde al ser sujetos a la vibración de un sismo intenso. Este efecto sobre los taludes y laderas constituidos por material volcánico causan el descascaramiento o incluso el desprendimiento de enormes bloques a lo largo de fisuras previamente existentes en la masa de ceniza. El principal problema de esta estabilidad engañosa es que da un falso sentido de seguridad lo cual exorta a la construcción al pie del talud o ladera inestable o incluso en la parte superior del mismos cuando la pendiente lo permite. Esto se debe a la presión social para utilizar hasta el último pedazo de terreno urbanizable, principalmente por las personas con menores recursos y grupos marginales.

Otra de las amenazas que se derivan de los sismos, es la magnificación de la vibración sísmica cuando las masas de suelo no se encuentran totalmente confinadas, como es el caso de camellones, espinazos y cuchillas de terreno, rodeados por barrancos en dos o tres lados, esto incrementa el riesgo de derrumbe, como el daño de las estructuras construidas sobre los mismos.

Según menciona el doctor Monzón-Despang, la mejor forma de mitigación del peligro de derrumbes, es evitar construir al borde del talud, cerca del pie y sobre el talud. En la Ciudad de Guatemala estas condiciones no se cumplen, ya que personas de todas las condiciones económicas, habitan al borde de barrancos o taludes peligrosos. Sin importar las malas experiencias sufridas durante el terremoto de 1976, la cantidad de personas que habitan y contruyen en áreas de alta peligrosidad cada vez es mayor, ya sea por presiones territoriales, presiones sociales, o simplemente el valor escénico y tener una bonita vista. No existen regulaciones municipales, ni voluntad política de llevarlas a cabo. A pesar que algunas veces sí se realizan estudios geotécnicos, estos no se toman con la

seriedad que se debe. Se debe tomar en cuenta que al ocurrir un derrumbe debajo de una edificación, las consecuencias pueden llegar a ser fatales.

**12.5.2 Ruptura y fisuración del terreno.** Como segundo gran peligro derivado de la actividad sísmica se encuentra la ruptura y fisuración del terreno. Aquí podemos identificar:

Ruptura activa, al producirse un sismo, las fallas sufren de rupturas, que es lo que generan la vibración del sismo, esto produce un desplazamiento del terreno y produce grandes daños a las estructuras que se encuentran próximas a la falla. Esto es un gran problema ya que Guatemala posee valles densamente urbanizados, que contienen gran cantidad de fallas superficiales geológicamente activas. Un ejemplo de este tipo de daños son los causados por el terremoto de 1976 a lo largo del valle del motagua en localidades de Chimaltenango y en el occidente de la Ciudad de Guatemala.

Fisuras pasivas, estas agravan la condición anterior, agrietando o fisurando franjas de terreno de incluso varios kilómetros de ancho, a lo largo de la zona donde ocurren las rupturas activas. Estas causan daño principalmente a las estructuras que se encuentran sobre alguna de estas grietas. El principal problema de este tipo de fisuras es que es casi imposible de determinar donde se podrían producir.

Para este tipo de peligros no existe ninguna medida de mitigación, más que una buena aplicación de la técnica constructiva así como regulaciones políticas, ya que es imposible evitarlas, y más en áreas como el Valle de Guatemala que se encuentra plagado de fallas geológicas.

**12.5.3 Licuefacción y/o asentamiento de suelos saturados sin cohesión.** La licuefacción es un proceso de pérdida de resistencia de ciertos tipos de suelos, que están saturados en agua y cuando son sometidos a la sacudida de un terremoto fluyen como un líquido a causa de un aumento de la presión. El suelo se comporta como una “arena movediza”, o como un líquido y las estructuras se encuentran flotando en él. Algunos suelos cerca de grandes masas de agua, como en la costa, esteros, lagos y grandes ríos, son susceptibles a la licuefacción. En Guatemala para el terremoto de 1976 se dio este fenómeno en algunas playas del lago de Amatitlán y en algunas riberas del río Motagua y se destruyó el muelle de Puerto Barrios.

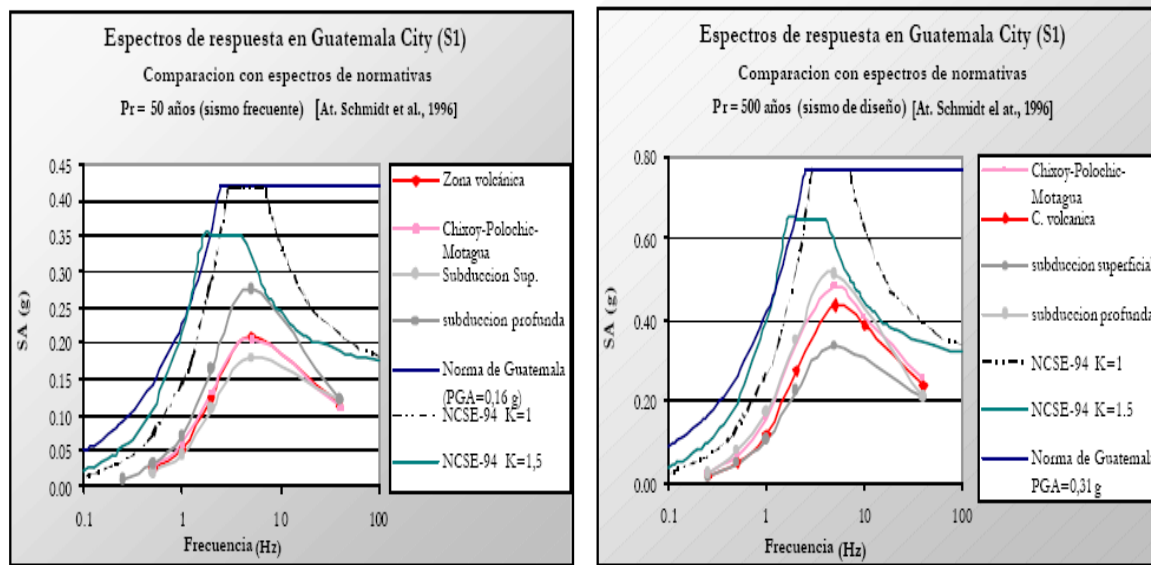
Como comenta el doctor Monzon-Despagn en el artículo anteriormente mencionado, existen métodos para la protección contra la licuefacción, pero están limitados a zonas localizadas. Para protegerse de la licuefacción en áreas extensas, lo mejor es la identificación de estas zonas.

## 12.6 Espectro sísmico de diseño (3)

Debido a que Guatemala no posee un código de diseño sismoresistente y al tener desconocimiento si existía un espectro específico para el diseño sísmico en Guatemala, se encontraron varias alternativas. En Guatemala muchas veces para el diseño se adopta algún código extranjero para el diseño y cada uno de estos posee su propio espectro de diseño, entre estos podemos encontrar el espectro del UBC-97, IBC – 2003, Eurocode 8 y con respecto a normas nacionales, en las Normas Recomendadas de AGIES se propone un espectro, pero al tener varias opciones cabe la duda sobre cual es espectro más adecuado para Guatemala. En el artículo *Metodología par a el est udio de am enaza sí smica en G uatemala aplicación al diseño sismorresistente*, de Benito *et al*, se explica una investigación sobre la definición de un espectro de respuesta sísmica para el diseño sismoresistente en Guatemala, pero se llegó a la conclusión que se poseían muy pocos datos, muchos de los datos utilizados para el estudio se basaron en extrapolaciones de sismógrafos en El Salvador, Honduras y México.

En la Figura 66 podemos observar la comparación de varios espectros de respuesta de distintas normativas, contra los espectros probables analizados en el estudio. Pudiéndose observar que el espectro utilizado por la Norma Recomendada de AGIES (NR-2), es mucho mayor que los demás espectros. Y de esta manera en este documento recomiendan su uso, mientras no hayan estudios más profundos o mayor información. Por esta razón para el siguiente análisis se hará uso de este espectro de diseño.

**Figura 66:** Comparación de los espectros probabilistas deducidos en el estudio con los propuestos por las normativas de Guatemala y España,  
 a) Sismo de servicio (PGA=0.16 g)  
 b). sismo de diseño (PGA = 0.31 g) (Benito, e tal)



## **Capítulo XIII**

### *Análisis estructural*

---

## **XIII. Análisis estructural**

### **13.1 Metodología**

Para el siguiente estudio se realizaron las siguientes actividades.

- Investigación bibliográfica sobre actividad sísmica , vulnerabilidad sísmica y amenaza sísmica en Guatemala
- Investigación bibliográfica sobre los espectros de diseño para Guatemala.
- Obtención de un material representativo para los paneles que componen la casa. Esto se hizo basándose en los resultados de laboratorio efectuados a los paneles.
- Calibración de dicho material
- Cálculo del espectro sísmico
- Creación del modelo virtual y aplicación del material representativo al mismo
- Análisis dinámico modal
- Recalibración del material, al considerar por separado el aporte de los marcos de madera, de puertas y ventanas.
- Reorganización de la estructura del techo.
- Ajuste del modelo virtual y aplicación de los distintos materiales
- Creación de un video, del desempeño estructural de la casa, bajo los distintos sismos

### **13.2 Diseño experimental**

Se comenzó por crear los espectro sísmico de diseño basándose en la norma recomendada de agies NR-2 (ver Tabla 46-50) (y ver Gráfica 7, 8).

Con los espectros de diseño ya definidos, se procedió a proponer un material, que pudiera proveer las características estructurales de los paneles reales, a los paneles para nuestro análisis analítico. Esto se hizo basándose en los resultados de laboratorio, en los datos obtenidos de módulo de elasticidad, y peso específico. Con estos datos se creó el material y luego se creó un área tipo Shell-thick con este material. Luego se procedió a realizar un análisis estático, para esto se crearon paneles para el análisis virtual con las mismas dimensiones que los paneles reales y se les aplicaron las cargas últimas que soportaron estos paneles (ver Gráficas 10-18), para observar si las deformaciones se asemejaban a las observadas en laboratorio (ver Gráficas 19-27) (y ver Tablas 52, 53 y 56). Se observaron las distribuciones de esfuerzo (ver Gráficas 28, 29)

Habiéndose considerado la definición correcta del material ya que todas las deformaciones quedaban por encima de las deformaciones reales de la mayoría de los paneles, y observando que la variación entre los datos tomados en laboratorio eran tan grandes que era difícil encontrar un material que se ajustara a todas las

variaciones de paneles (ver Capítulo X). También se consideró que este material era adecuado ya que las deformaciones producidas en algunos paneles eran bastante cercanas a las de los paneles reales.

Ya habiendo definido el material a utilizar, se procedió a la creación del modelo tridimensional, el cual consistió, en la creación de una red de líneas guías, con las separaciones reales de la casa en análisis. Y se crearon todos los paneles en la forma y distribución de los planos (ver capítulo VIII) y se empotraron todos los paneles, lo más cercano entre sí que se pudieran, para simular un cimiento corrido, se tuvieron que segmentar varios paneles, ya que los elementos de área tipo Shell-Thick solo pueden ser unidos por las esquinas. Se le aplicaron las cargas y se colocaron las tijeras a espaciamientos constantes de 1.5 metros entre ellas, colocándose en total 5. Se realizó el análisis dinámico (ver detalle en Capítulo XIII, Detalle de análisis, *Metodología SAP2000 para análisis dinámico modal aplicando espectro de diseño AG IES NR-2*) con el espectro de diseño, más benigno el espectro sísmico frecuente, pero al no cumplir con los requisitos mínimos de deformación y derivas sísmicas, (principalmente por deformaciones fuera del plano de los paneles, deformaciones por flexión en los paneles mismos).

Al encontrarse estos problemas fuera del alcance, de este estudio, ya que no se posee información de laboratorio del desempeño a flexión de los paneles, se pensó en la manera de rigidizar la estructura, y mejorar el modelo de análisis.

De esta forma la primer medida tomada, fue redistribuir las tijeras en el techo, dándole un mejor soporte en flexión a las paredes. El incremento en la rigidez a la estructura se dio al colocar estas tijeras en las posiciones donde la flexión era máxima y apoyándolas de una mejor forma sobre los muros existentes, (ver Gráfica 43).

Se llevó a cabo de nuevo el análisis a la estructura, no pudiendo cumplir nuevamente con los requisitos de deformación. Esta vez se pensó en otra solución, en este caso fue el tomar en cuenta por separado la acción de los marcos de madera. Para comprobar si esta solución era factible, se procedió a realizar nuevamente los distintos ensayos estáticos a paneles individuales (ver Gráfica 10-18), pero esta vez considerando la acción por separado de los marcos de madera, (quitar una porción de material "PaneldeBambú" y sustituirla por un material "MaderaMarcos" con las características de la madera (ver Gráfico 36).

Con esta nueva mezcla de materiales se hicieron varias pruebas de calibración, en las primeras pruebas, al utilizar las características reales de la madera, se obtenían deformaciones bastante menores a las esperadas, por esta razón, se le fue reduciendo la rigidez a la madera, hasta alcanzar resultados aceptables (ver Gráficas 37 -42), con una reducción en el módulo de elasticidad de la madera de  $8000 \text{ N/mm}^2$  hasta  $4000 \text{ N/mm}^2$ .

Se integró esta mezcla de materiales al modelo tridimensional (ver Gráfica 44). Y se procedió a realizar el análisis, teniéndose por resultado deformaciones mucho menores, aceptables para los límites de la norma y los límites encontrados en laboratorio.

Del análisis, se presentan en este informe el cortante en la base, el peso de la estructura, y deformaciones máximas, adjuntándose digitalmente los demás resultados.

### 13.3 Datos

Cálculo del espectro sísmico según NR-2, tablas y fórmulas tomadas de dicho documento

**Tabla 39:** Función de amplificación sísmica. (19)

Función de amplificación dinámica	
Cuando $T < T_A$	$D(T) = 1.0 + 1.5 T / T_A$
Cuando $T_A < T < T_B$	$D(T) = 2.5$
Cuando $T = T_B$	$D(T) = 2.5 (T_B / T)^{0.67}$

**Tabla 40:** Periodos para distintos perfiles de suelos. (19)

	Perfil del suelo		
	S1	S2	S3
$T_A$	0.12	0.12	0.12
$T_B$	0.40	0.60	1.0

**Tabla 41:** Aceleraciones máximas para el sismo básico y el sismo frecuente. (19)

ZONA	$I_o$	$A_o$	$A_f$	Observaciones
2	2	0.15 g	0.015 g	Cuando sea necesario interpolar hacerlo sobre líneas norte-sur
3	3	0.15 a 0.40 g	0.015 a 0.15 g	
4.1	4	0.40 g	0.15 a 0.20 g	
4.2	4	0.40 g	0.20 g	

**Fórmula 1:** Espectro sismo básico. (19)

$$S_a(T) = A_o D(T) \dots\dots\dots (Ec. 3.1)$$

Sa(T): Representa la respuesta sísmica máxima de un oscilador elástico de un grado de libertad. Esta función está expresada como fracción de la aceleración de la gravedad.

Ao: Es una medida de la aceleración máxima efectiva del terreno correspondiente al sismo básico de diseño

T: Es el periodo de vibración del oscilador y representa al periodo fundamental de vibración de la estructura o al periodo de alguno de sus modos de vibración, según el método requerido para el análisis.

D(T): Representa la amplificación dinámica de la respuesta máxima del oscilador elástico de un grado de libertad. Es función del parámetro T

**Tabla 42:** Nivel de protección sísmica (AGIES, Nr-2)

ÍNDICE DE SISMICIDAD $I_o$	CLASIFICACIÓN DE OBRA				
	Crítica	Esencial	Importante	Ordinaria	Utilitaria
5	E	E	D	C2	C1
4	E	D	C2	C1	B
3	D	C2	C1	B	B
2	C2	C1	B	B	A

Nota: ver clasificación de obra en inciso 1.3, norma NR-1 e índice de sismicidad en inciso 3.2.1, norma NR-2

Datos para creación del modelo

**Tabla 43:** Carga para techo de lámina (AGIES, Nr-2)

Tipo de ocupación o uso	$W_v$ (kg/m <sup>2</sup> )
Cubiertas livianas (inciso 8.3.3(g)) Techos de láminas, tejas, cubiertas plásticas, lonas, etc. (aplica a la estructura que soporta la cubierta final)	50 <sup>(b)</sup>

**Peso específico madera de pino = 0.7 kg/dm<sup>3</sup>**

**Tabla 44:** Datos panel sólido

Datos panel sólido		
Módulo de elasticidad (E)	11.53	ksi
Peso específico	1535.899	kg/m <sup>3</sup>

**Tabla 45:** Cargas y deformaciones paneles

PANEL		CARGA	DEFORMACIÓN
F2	1	3675.34 Lbs.	1.1602 in
	2	7350.69 Lbs.	3.0771 in
	3	6738.13 Lbs.	1.2721 in
F3	4	3369.07 Lbs.	0.6546 in
	5	6125.57 Lbs.	1.9540 in
	6	5819.30 Lbs.	1.6039 in
D1	7	11026.03 Lbs.	2.4017 In
	8	10719.75 Lbs.	2.0761 In
	9	8575.80 Lbs.	0.9668 In

**Fórmula 2:** Combinación de cargas para diseño por resistencia (carga muerta y viva) a la cedencia (19)

Carga de gravedad:

$$1.4M + 1.7V \dots\dots\dots (Ec. 8.10)$$

**Fórmula 3:** Combinación de cargas para diseño por resistencia (carga sísmica y muerta) a la cedencia (19)

$$0.8M \pm S \dots\dots\dots (Ec. 8.18)$$

**Fórmula 4:** Límites para deformaciones sísmicas

Nivel de protección sísmica C2:

$$\Delta_N = 0.0125 h_N,$$

## 13.4 Espectro sísmico, cálculos y resultados

**Tabla 46:** Coeficientes para el cálculo del espectro sísmico

Tipo	
Índice de sismicidad	5
Índice de protección sísmica	C2
Zona sísmica	4.2
lo	4
Perfil del terreno	S3

**Tabla 47:** Aceleraciones máximas efectivas

<b>Ao</b>	0.4 g
<b>Af</b>	0.2 g

**Tabla 48:** Periodos sísmicos

<b>Ta</b>	0.12 seg
<b>Tb</b>	1 seg

**Tabla 49:** Cálculo espectro sismo básico

<b>T</b>	<b>Aceleración</b>
0	0.4
0.1	0.9
0.2	1
0.3	1
0.4	1
0.5	1
0.6	1
0.7	1
0.8	1
0.9	1
1	1
1.1	0.93813837
...	...

**Tabla 50:** Cálculo espectro sismo frecuente

<b>T</b>	<b>Aceleración</b>
0	0.2
0.1	0.45
0.2	0.5
0.3	0.5
0.4	0.5
0.5	0.5
0.6	0.5
0.7	0.5
0.8	0.5
0.9	0.5
1	0.5
1.1	0.46906919
...	...

**Tabla 51:** Propiedades de la madera

Modulo de elasticidad	6000 – 8000 N/mm <sup>2</sup>
Peso específico	400 – 600 Kg/m <sup>3</sup>

## 13.5 Análisis estructural

### 13.5.1 Índice de gráficas para análisis y descripción

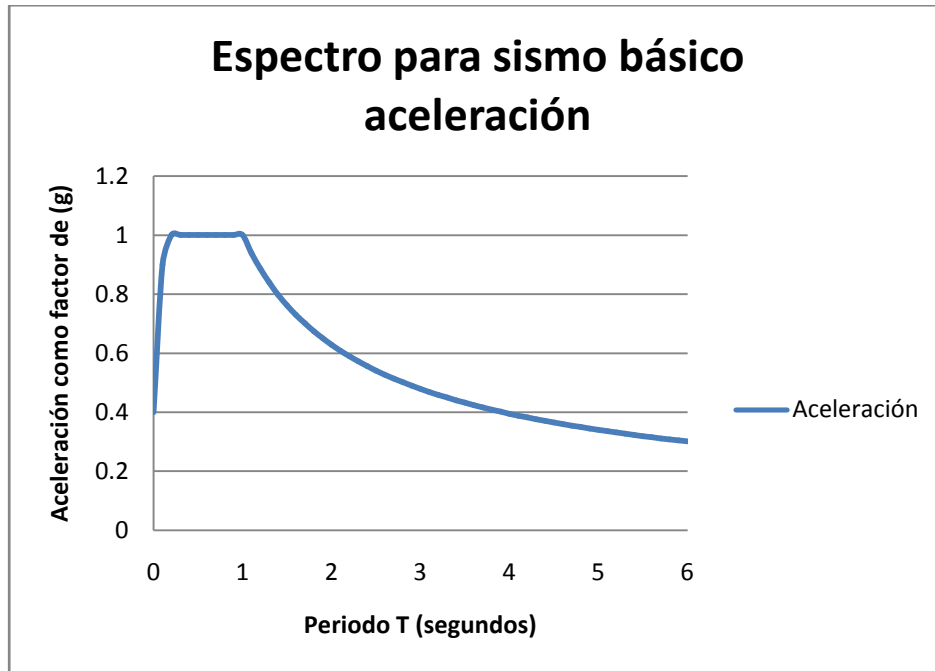
Gráfico #	Descripción
7-8	Espectros de diseño (básico y frecuente).
9	Desempeño en general de paneles, este varía según dimensiones del panel.
10-18	Casos de carga para el análisis estático de paneles individuales.
19-27	Deformaciones debidas a los distintos casos de carga.
28-29	Distribución de esfuerzos, en el análisis estático inicial.
30-33	Pasos para creación del modelo tridimensional.
34-35	Deformaciones máximas en modelo tridimensional, en modelo sin redistribución de tijeras ni consideración por separado de marcos en ventanas.
36	Ejemplo de consideración de marco de madera.
37-42	Deformaciones en paneles individuales después de considerar los marcos.
43	Redistribución de tijeras.
44	Distribución de materiales (utilización de marcos en puertas y ventanas).
45-46	Deformaciones máximas en modelo tridimensional final tomando en cuenta la redistribución de las tijeras y marcos de madera en puertas y ventanas.

A continuación se presentan las gráficas más relevantes para el análisis estructural. Estas gráficas pretenden llevar una secuencia cronológica acorde a cómo se fue desarrollando el modelo, pretendiendo de esta forma hacer más evidentes para el lector los problemas y soluciones encontrados durante el proceso de modelado.

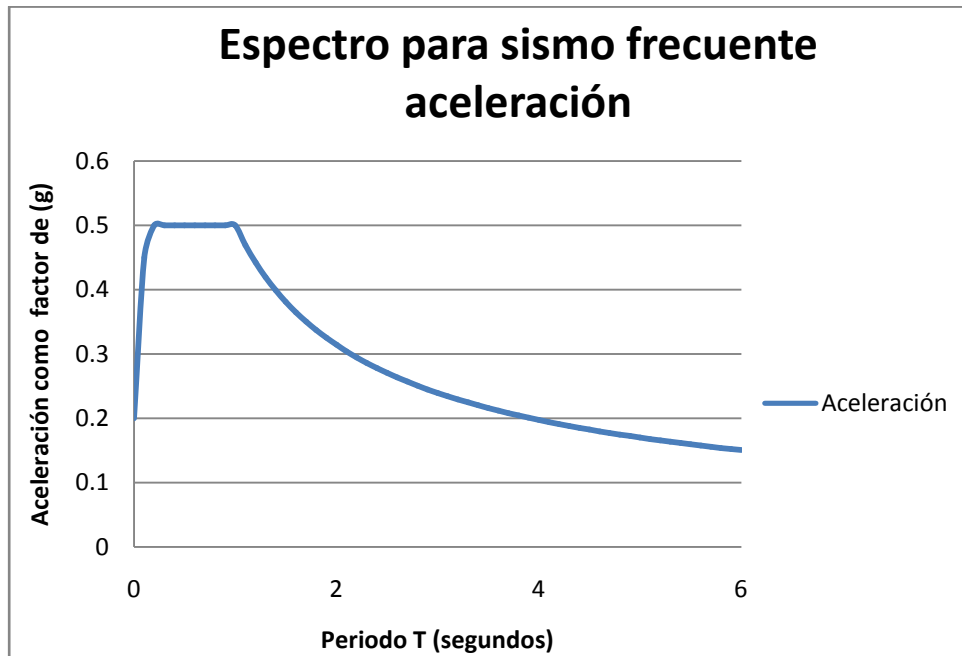
El proceso de modelado comienza con la recolección de información creación de espectros sísmicos para el diseño, creación de modelos previos y de prueba, luego se pasa a una etapa de comparación entre los datos obtenidos en laboratorio y los datos obtenidos experimentalmente (etapa de calibración), habiendo comprobado que los datos experimentales coinciden con los datos del modelo, se analizan los paneles en conjunto dentro de la estructura final. Obteniéndose deformaciones inaceptables. Por lo cual se procede a hacer mejoras a la estructura y a refinar el modelo.

### 13.5.2 Gráficas

Gráfica 7: Espectro sismo básico

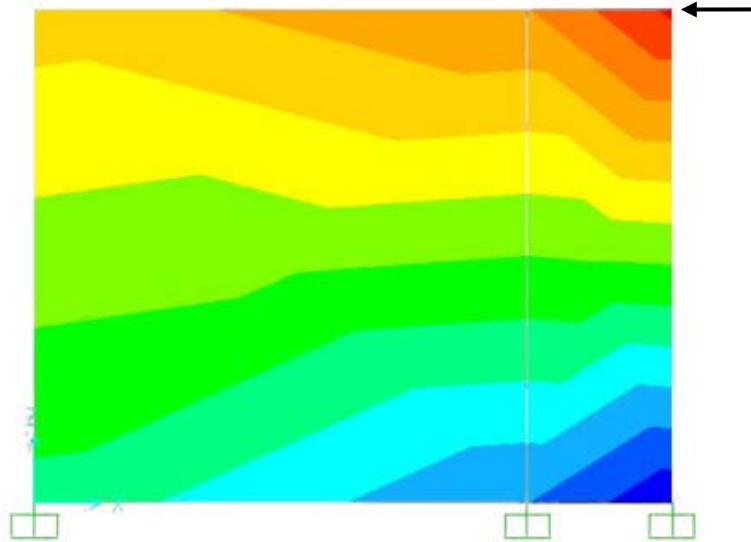


Gráfica 8: Espectro sismo frecuente



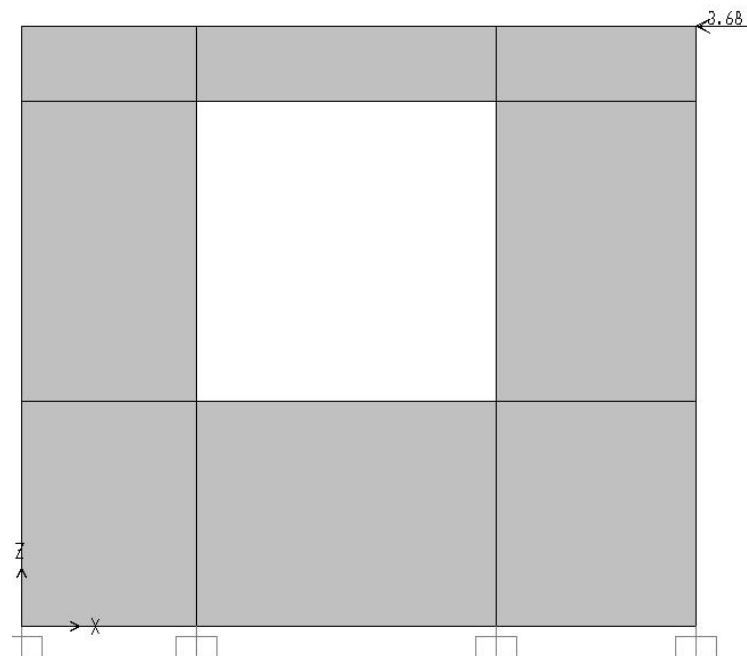
**Gráfica 9:** Distribución de esfuerzos genérica en paneles

Siendo la Parte roja en la esquina superior derecha compresión máxima variando hasta una franja aqua con esfuerzo nulo y llegando a la parte azul en la esquina inferior izquierda siendo ésta el esfuerzo a tensión máxima, este desempeño varía según las dimensiones y propiedades del panel. (No se hace referencia a los valores numéricos, ya que sólo pretende esquematizar la distribución de esfuerzos.)

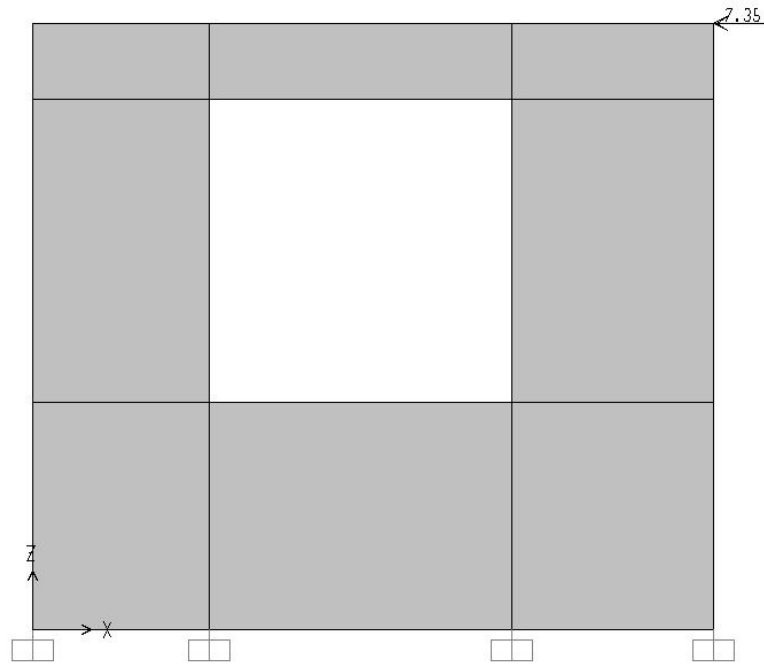


**Gráfica 10:** Caso carga 1

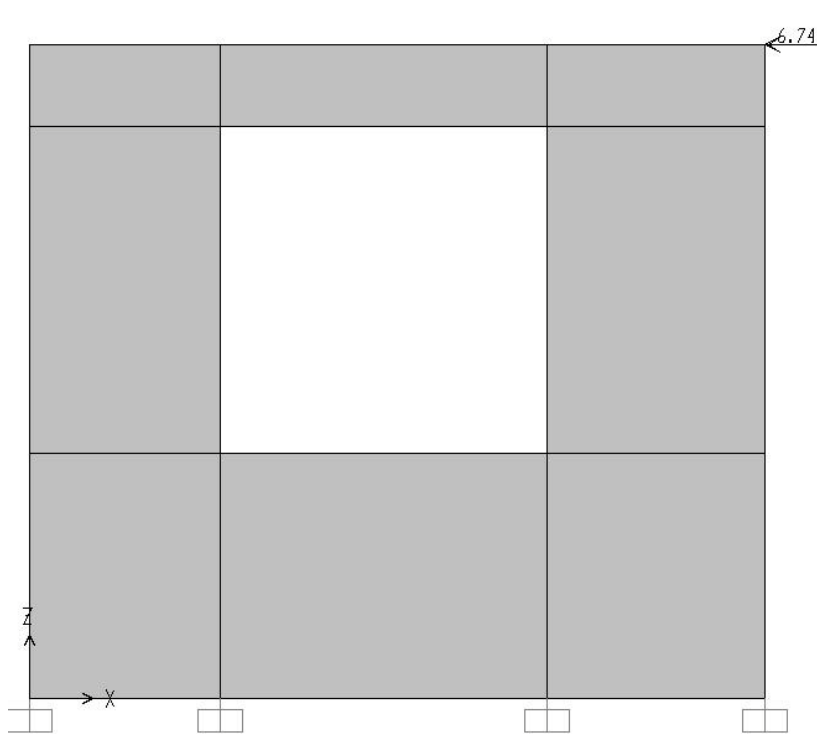
Aplicación de una carga en SAP de 3675.34 Lbs. al panel F2



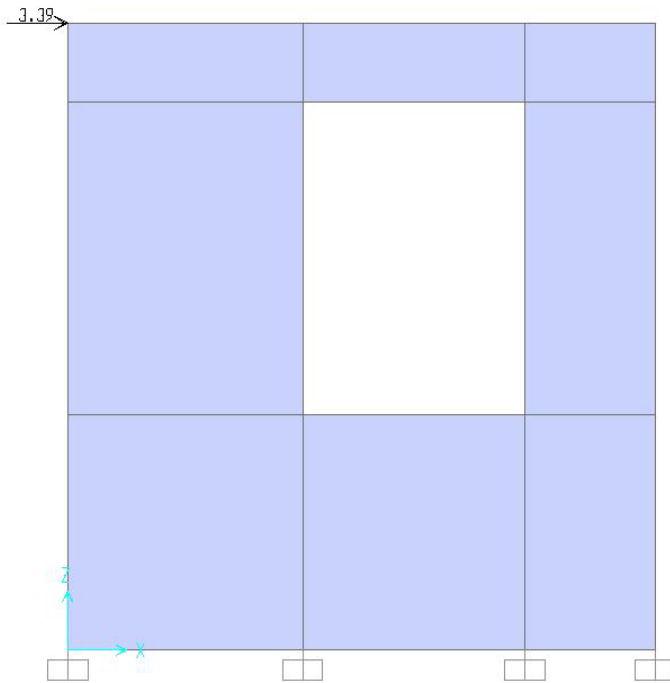
**Gráfica 11: Caso carga 2**  
Aplicación de una carga en SAP de 7350.69 Lbs. al panel F2



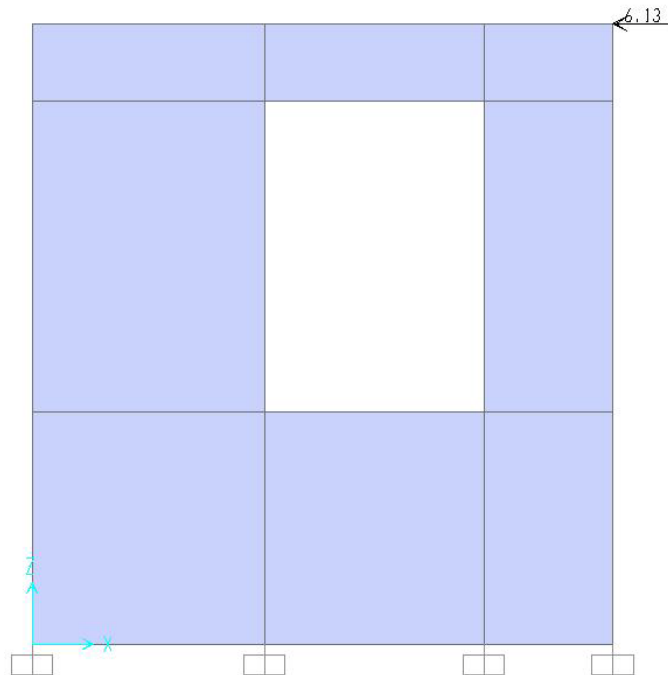
**Gráfica 12: Caso carga 3**  
Aplicación de una carga en SAP de 6738.13 Lbs. al panel F2



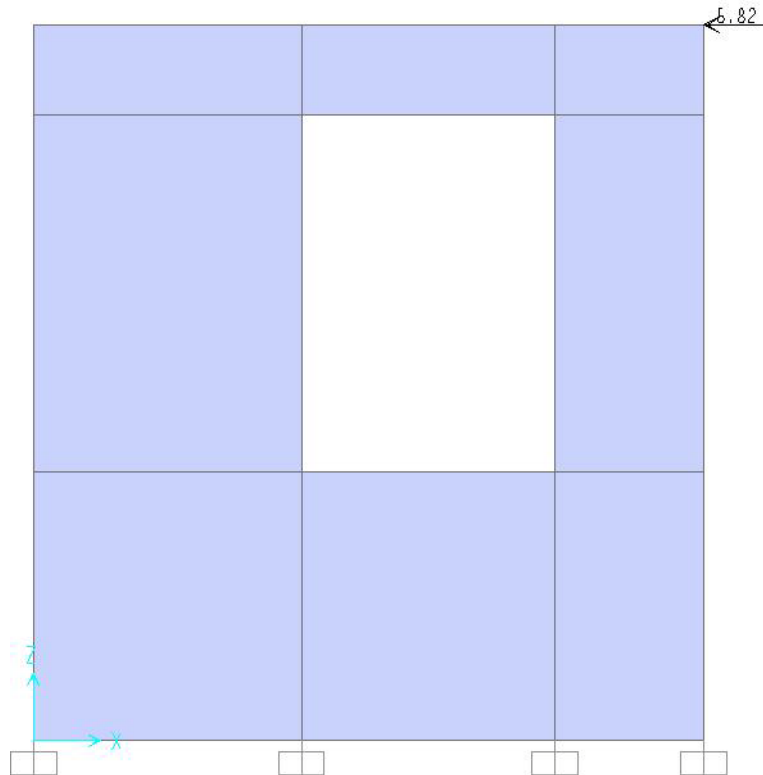
**Gráfica 13: Caso carga 4**  
Aplicación de una carga en SAP de 3369.07 Lbs. al panel F3



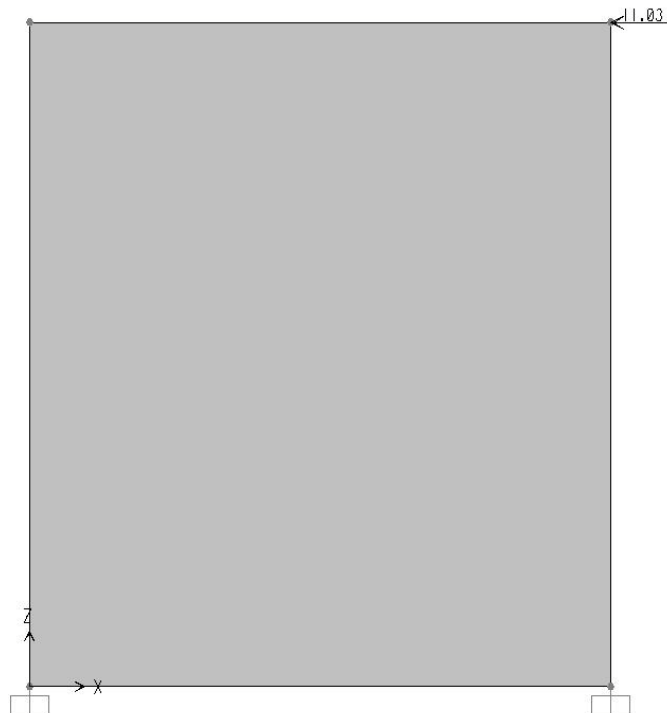
**Gráfica 14: Caso carga 5**  
Aplicación de una carga en SAP de 6125.57 Lbs. al panel F3



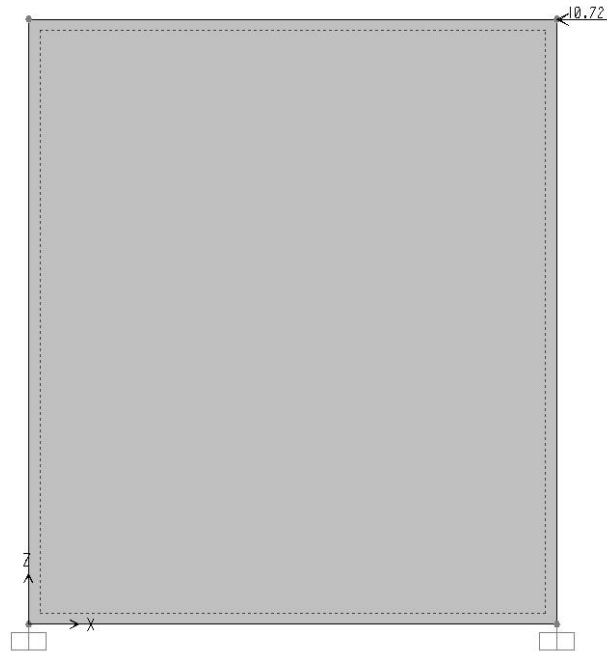
**Gráfica 15: Caso carga 6**  
Aplicación de una carga en SAP de 5819.3 Lbs. al panel F3



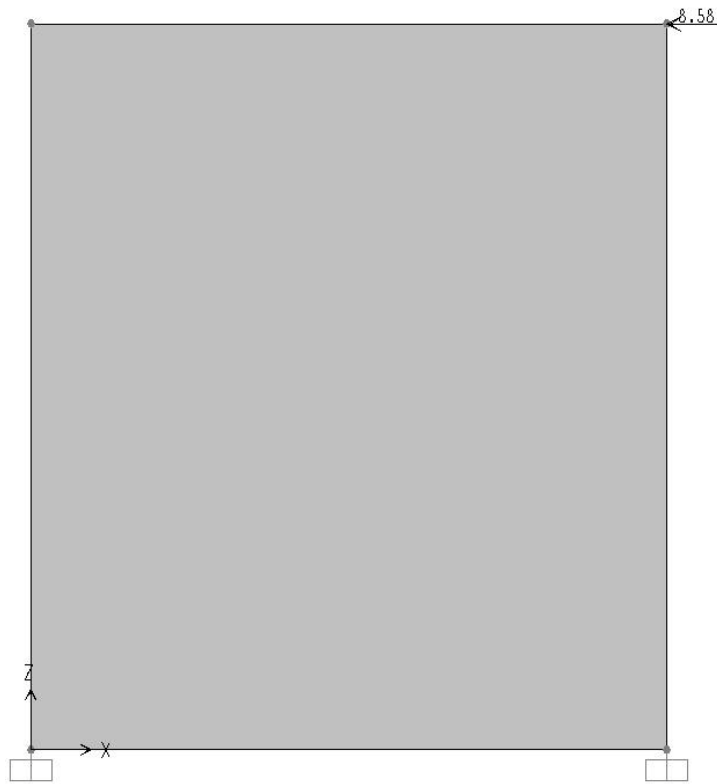
**Gráfica 16: Caso carga 7**  
Aplicación de una carga en SAP de 11026.03 Lbs. al panel D1



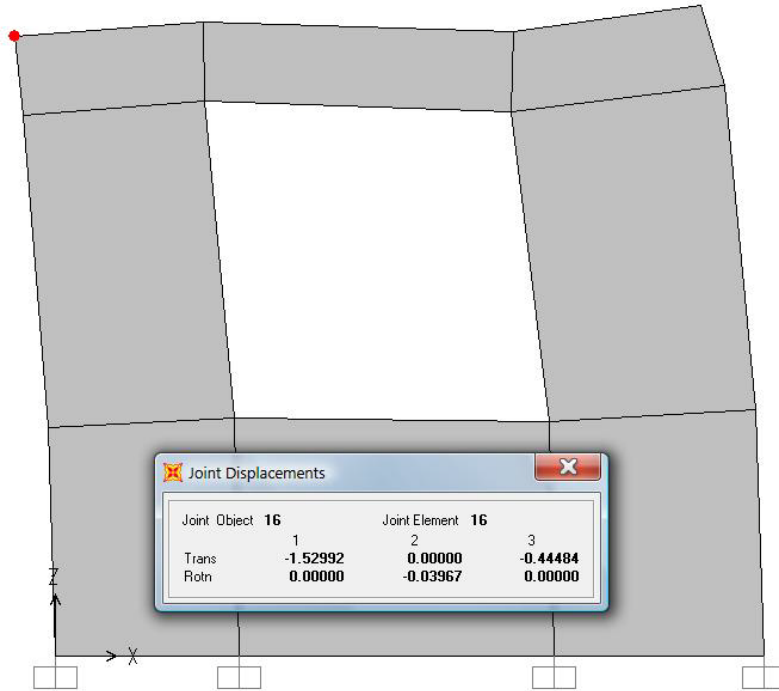
**Gráfica 17:** Caso carga 8  
Aplicación de una carga en SAP de 10719.75 Lbs. al panel D1



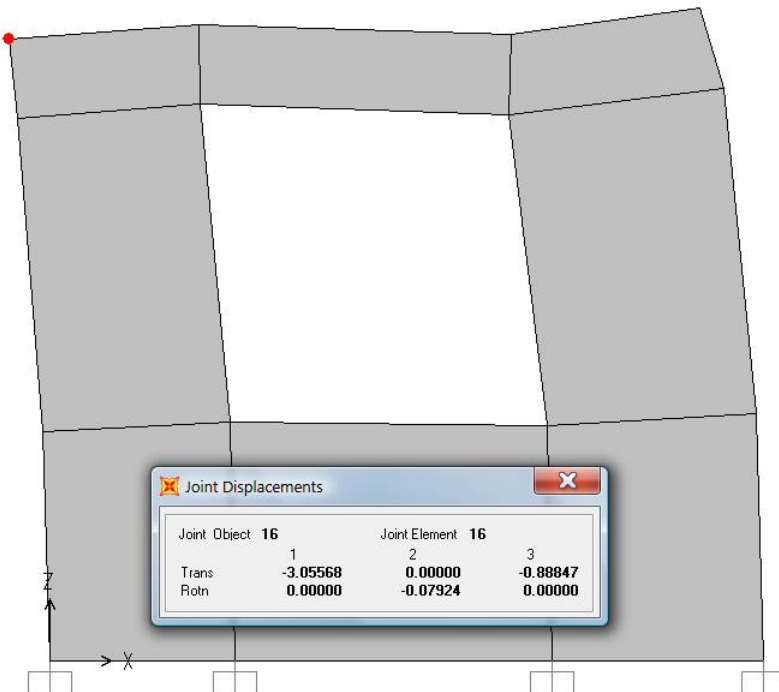
**Gráfica 18:** Caso carga 9  
Aplicación de una carga en SAP de 8575.8 Lbs. al panel D1



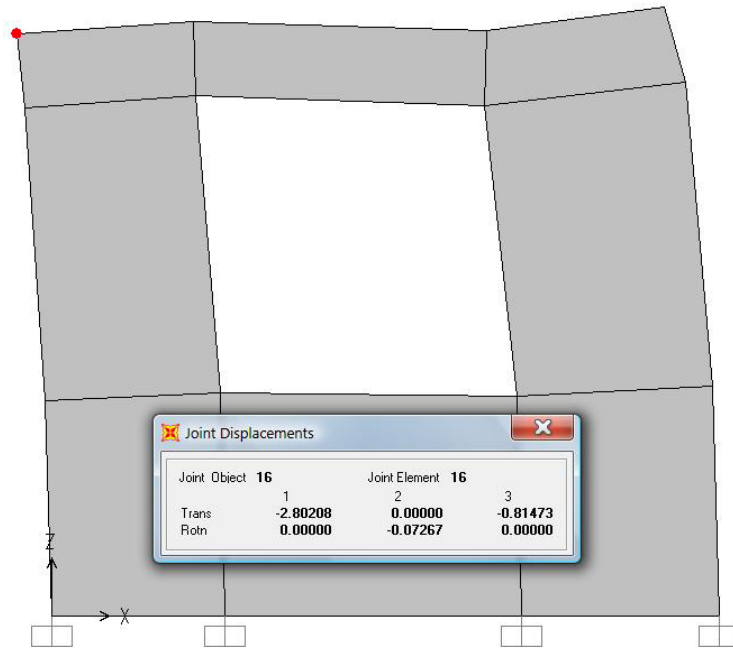
**Gráfica 19:** Desplazamiento caso 1  
Deformación provocada por una carga en SAP de 3675.34 Lbs. al panel F2



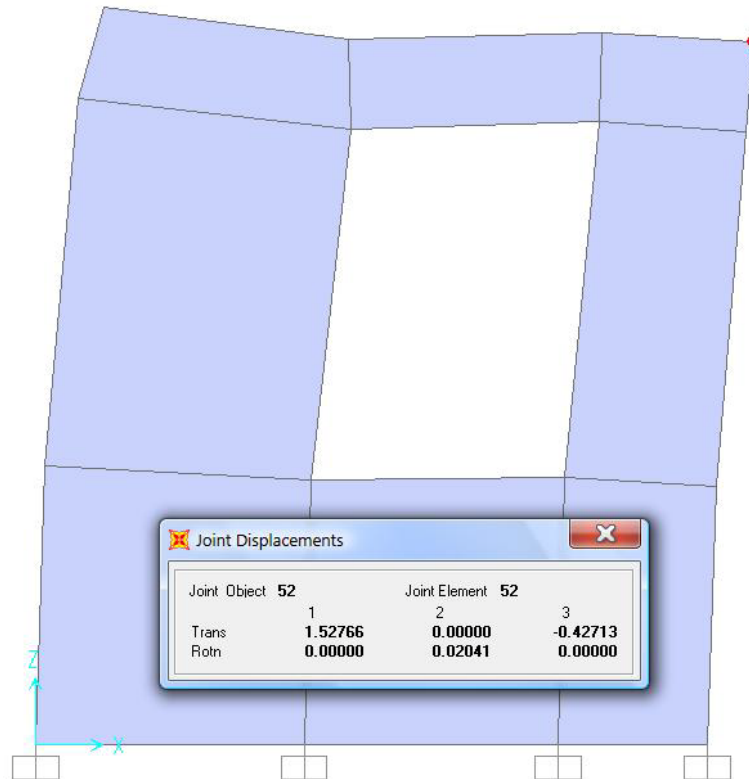
**Gráfica 20:** Desplazamiento caso 2  
Deformación provocada por una carga en SAP de 7350.69 Lbs. al panel F2



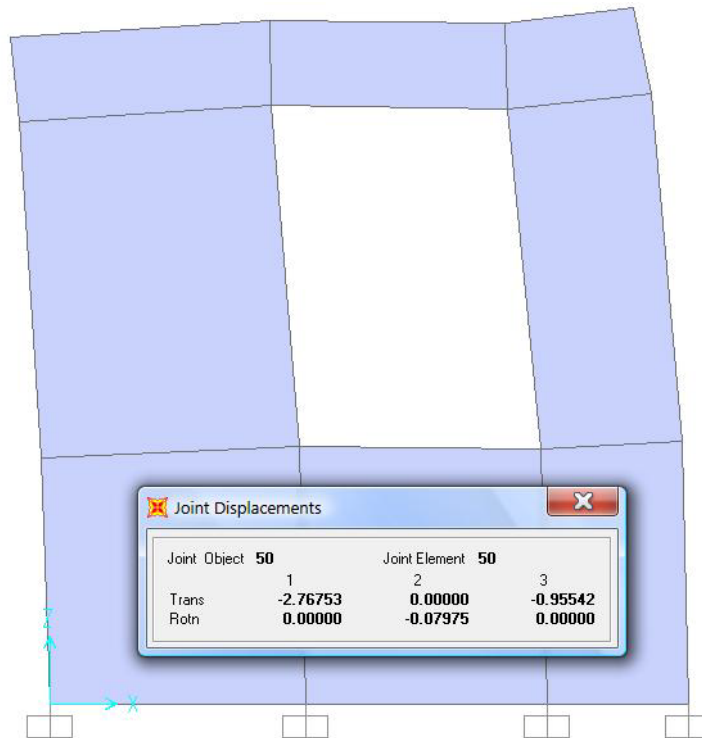
**Gráfica 21:** Desplazamiento caso 3  
Deformación provocada por una carga en SAP de 6738.13 Lbs. al panel F2



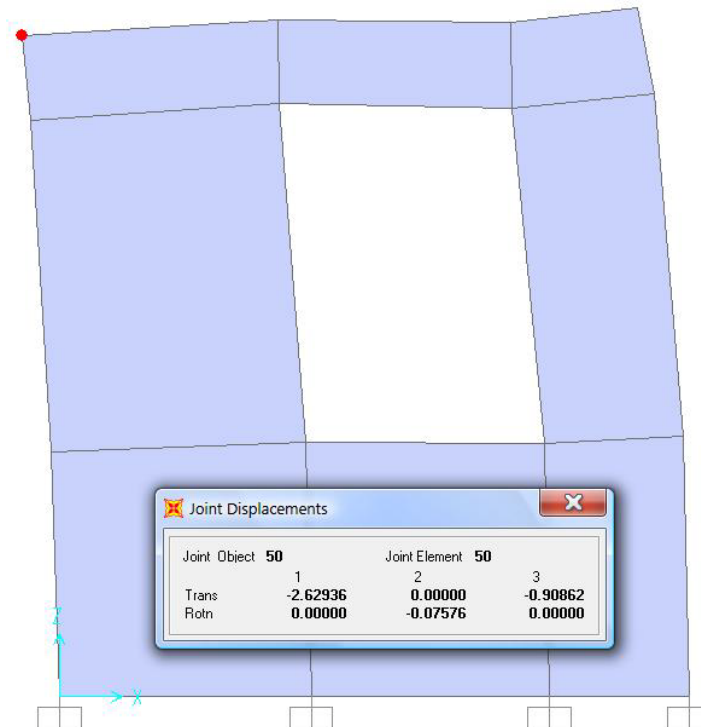
**Gráfica 22:** Desplazamiento caso 4  
Deformación provocada por una carga en SAP de 3369.07 Lbs. al panel F3



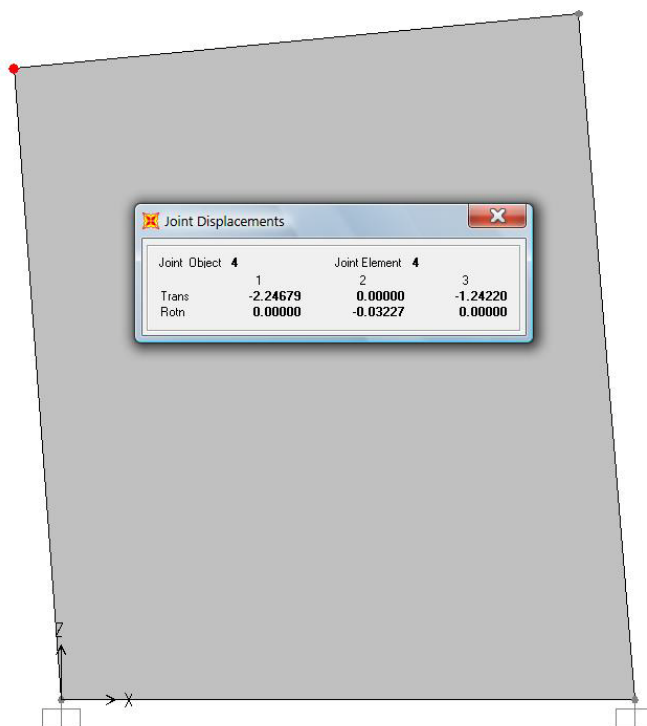
**Gráfica 23:** Desplazamiento caso 5  
Deformación provocada por una carga en SAP de 6125.57 Lbs. al panel F3



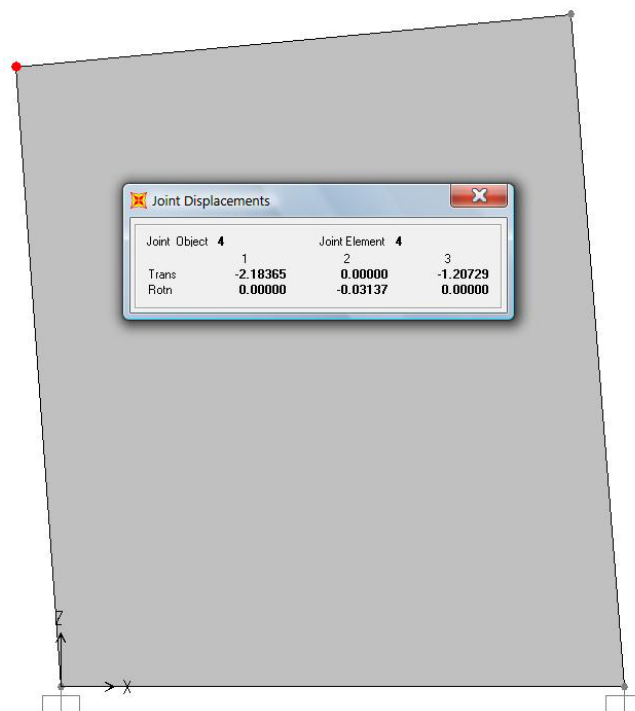
**Gráfica 24:** Desplazamiento caso 6  
Deformación provocada por una carga en SAP de 5819.30 Lbs. al panel F3



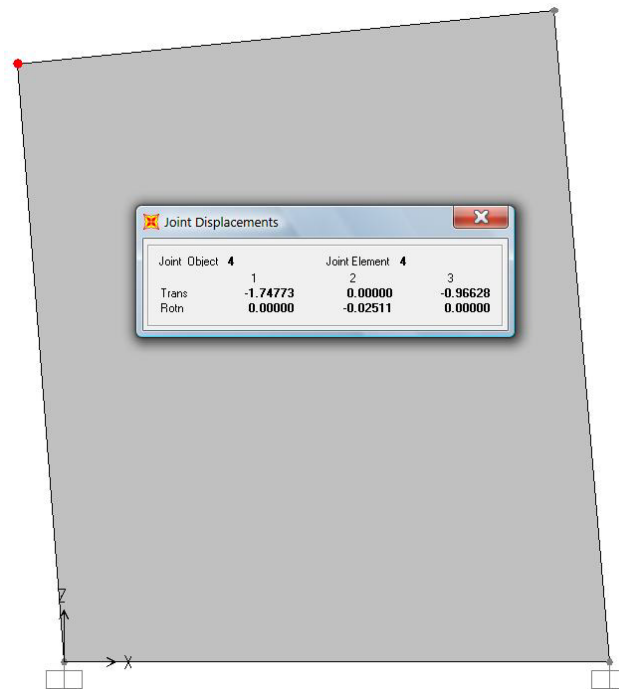
**Gráfica 25:** Desplazamiento caso 7  
Deformación provocada por una carga en SAP de 11026.03 Lbs. al panel D1



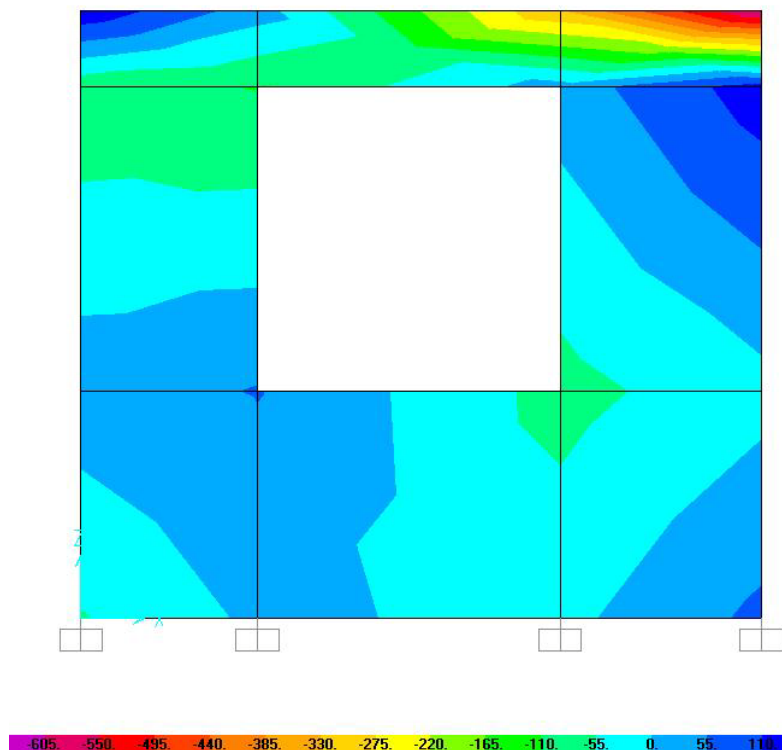
**Gráfica 26:** Desplazamiento caso 8  
Deformación provocada por una carga en SAP de 10719.75 Lbs. al panel D1



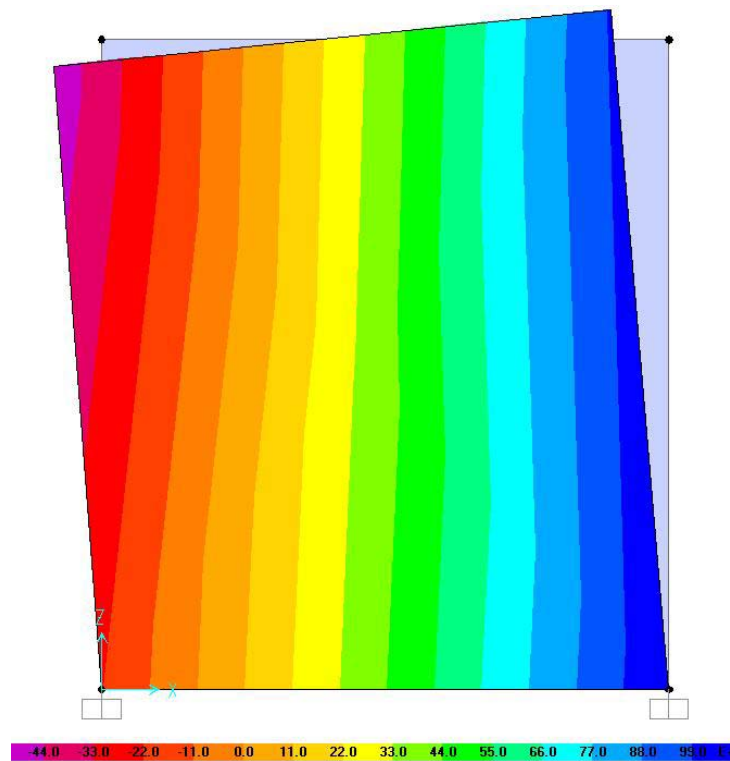
**Gráfica 27:** Desplazamiento caso 9  
Deformación provocada por una carga en SAP de 8575.8 Lbs. al panel D1



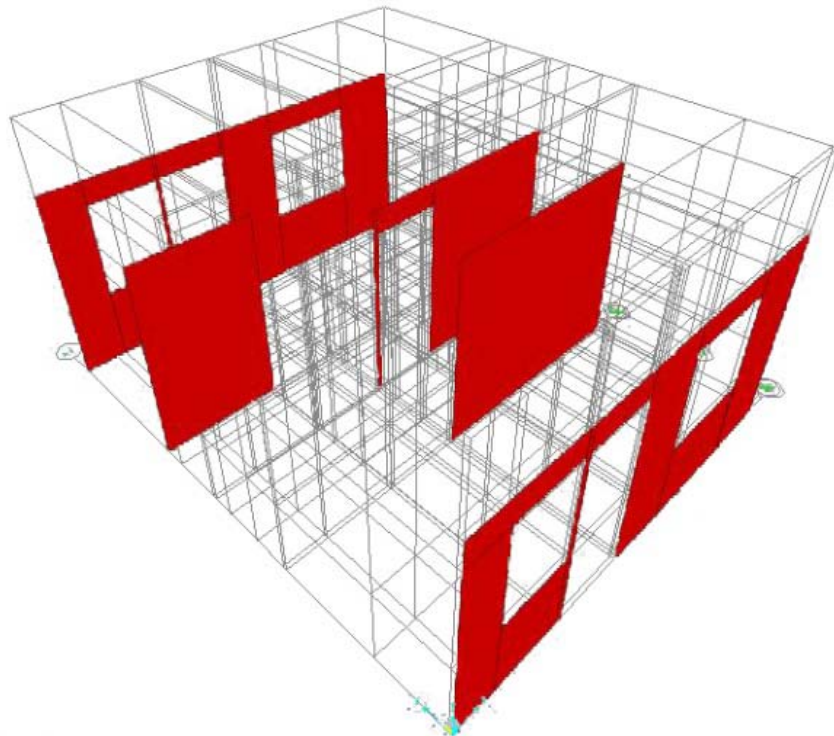
**Gráfica 28:** Distribución de esfuerzos en panel F2 (kip) siendo rojo la mayor compresión y azul la mayor tensión.



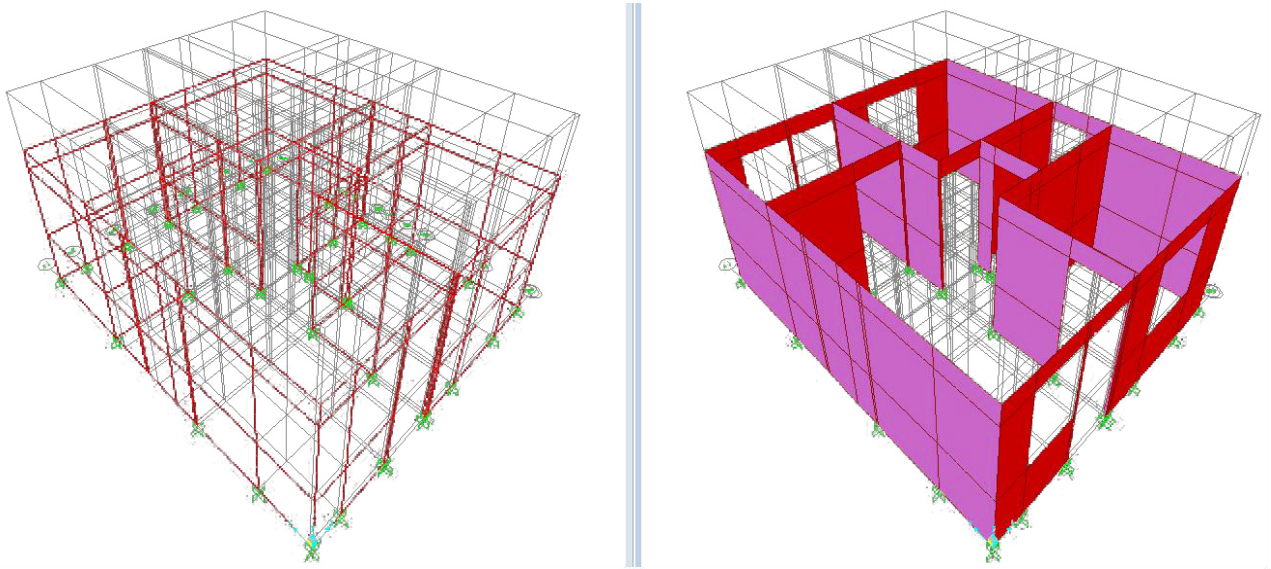
**Gráfica 29:** Distribución de esfuerzos en panel D1 (kg), siendo rojo-morado la mayor compresión y azul la mayor tensión



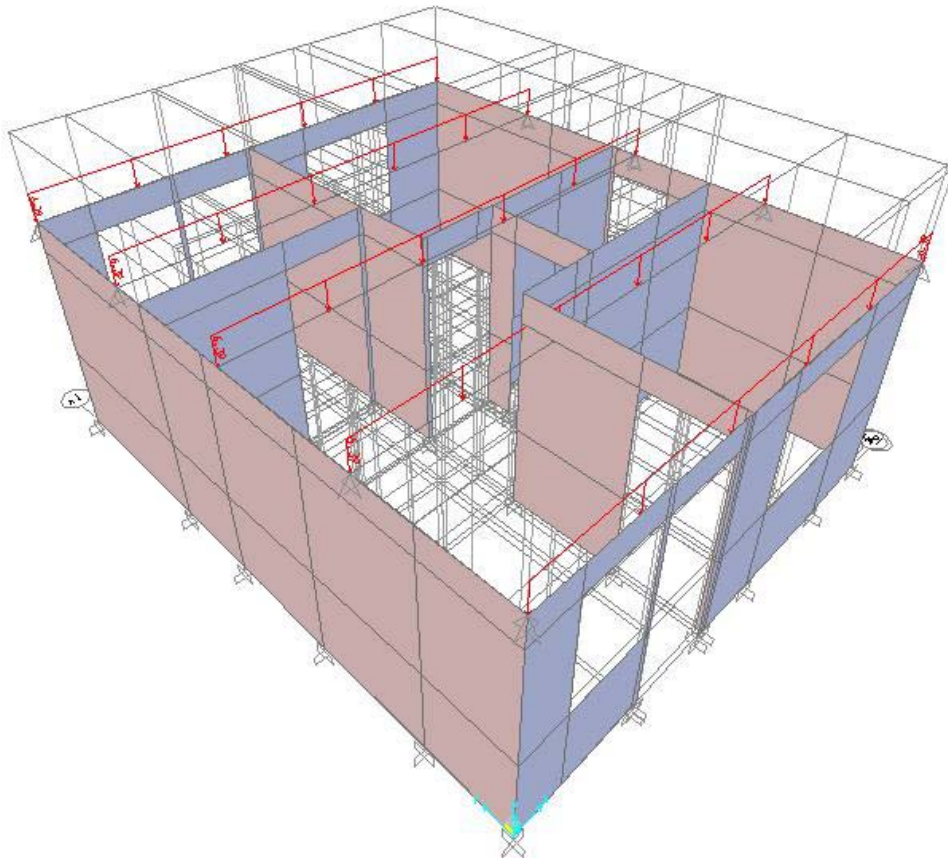
**Gráfica 30:** Primeros pasos en la creación del modelo  
Creación de las líneas guía y las primeras paredes



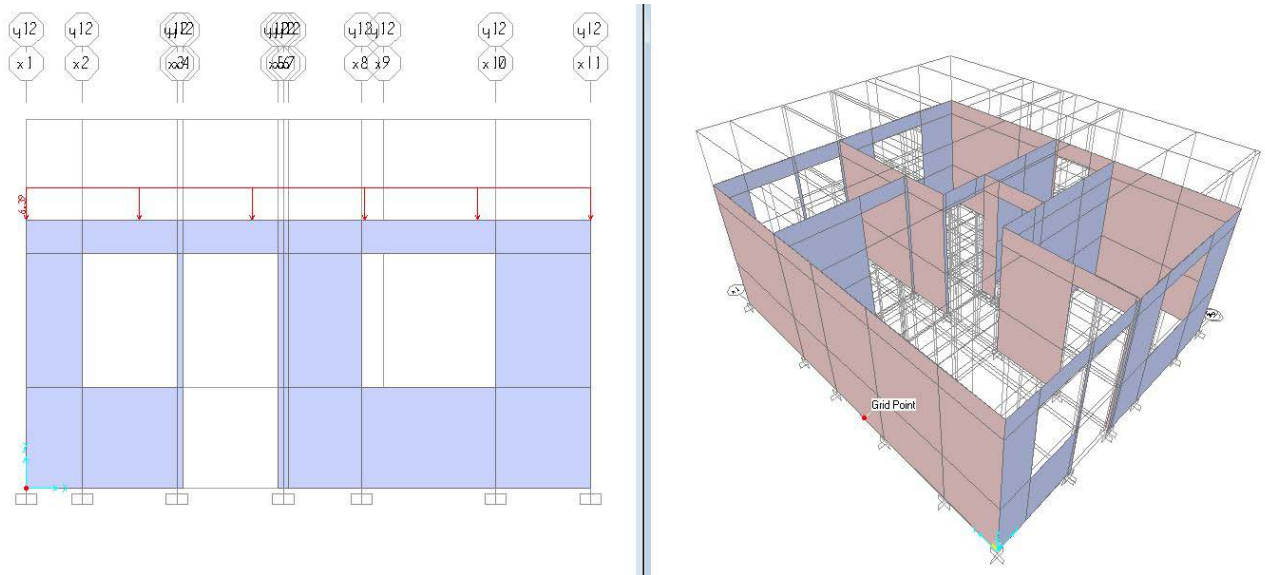
**Gráfica 31:** Modelo terminado, sin diafragma (techo de lámina)



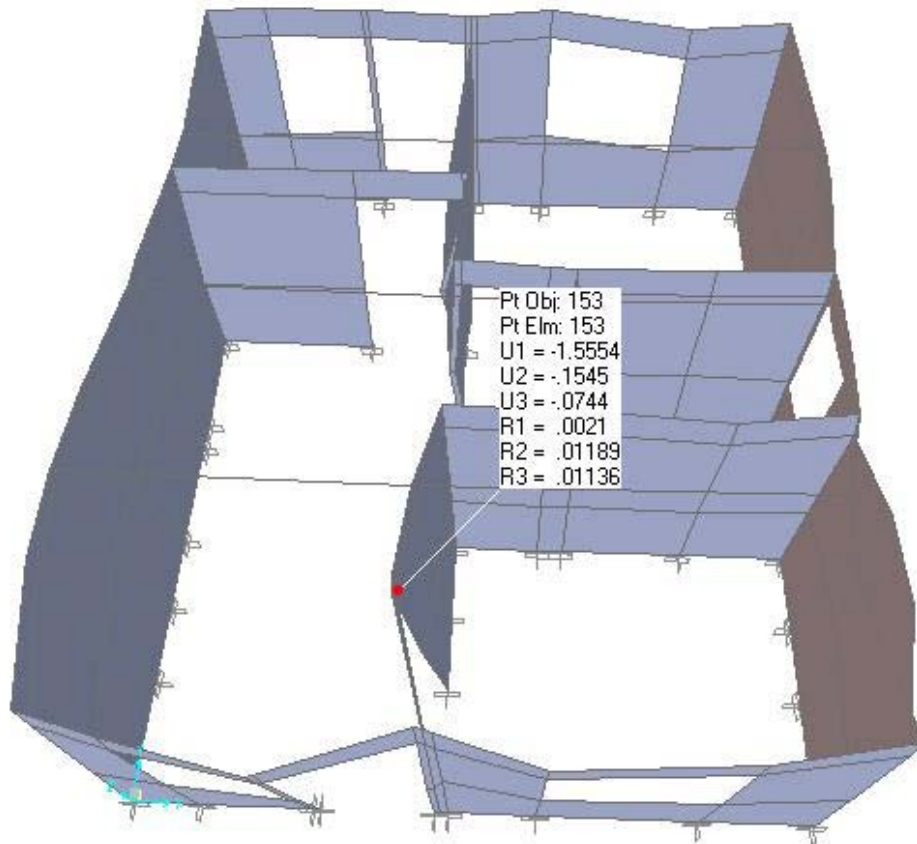
**Gráfica 32:** Cargas de techo, aplicadas con 5 elementos frame a cada 1.5 metros



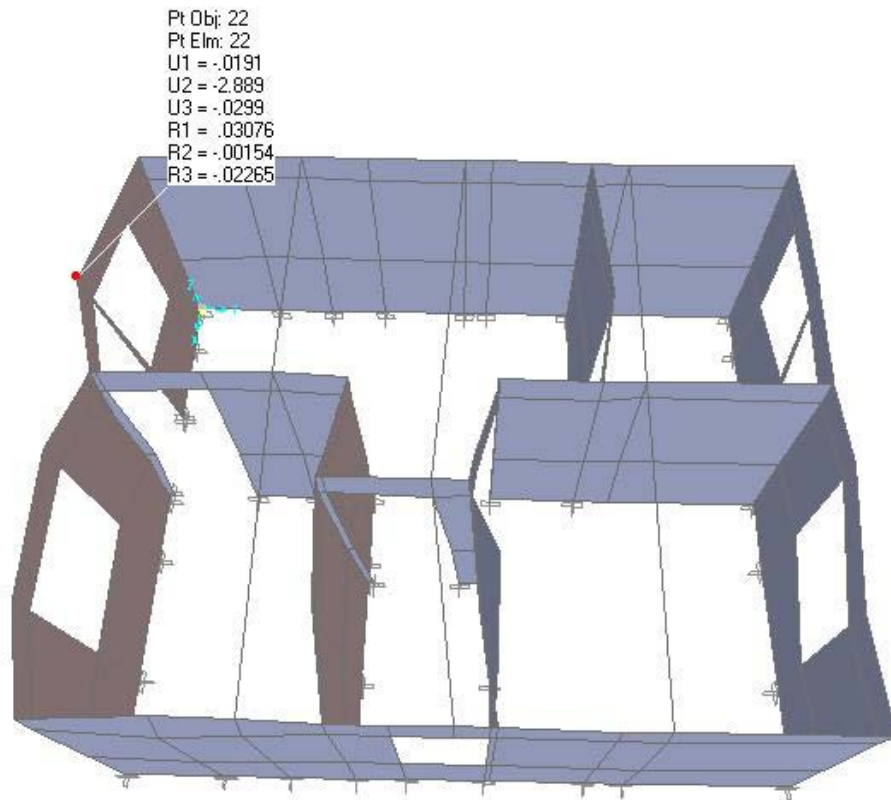
**Gráfica 33:** Aplicación de cargas de techo, y rigidizarían y aplicación del diafragma



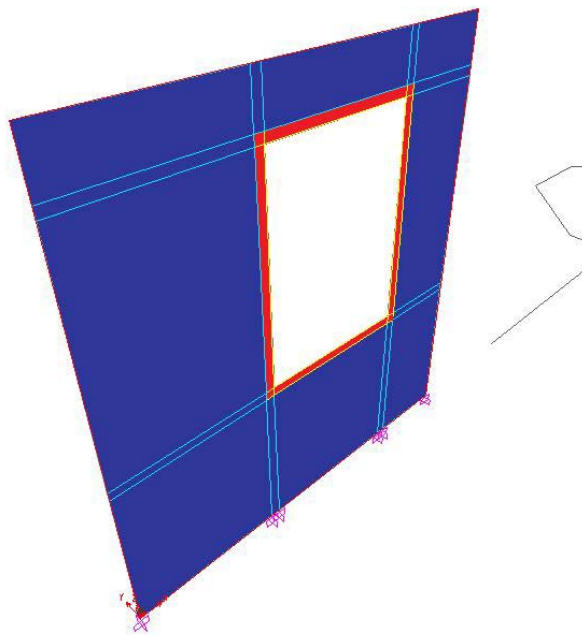
**Gráfica 34:** Deformación máxima (exagerada) para sismo en X (1.556 inch)  
Sin utilización de marcos de madera, ni redistribución de tijeras



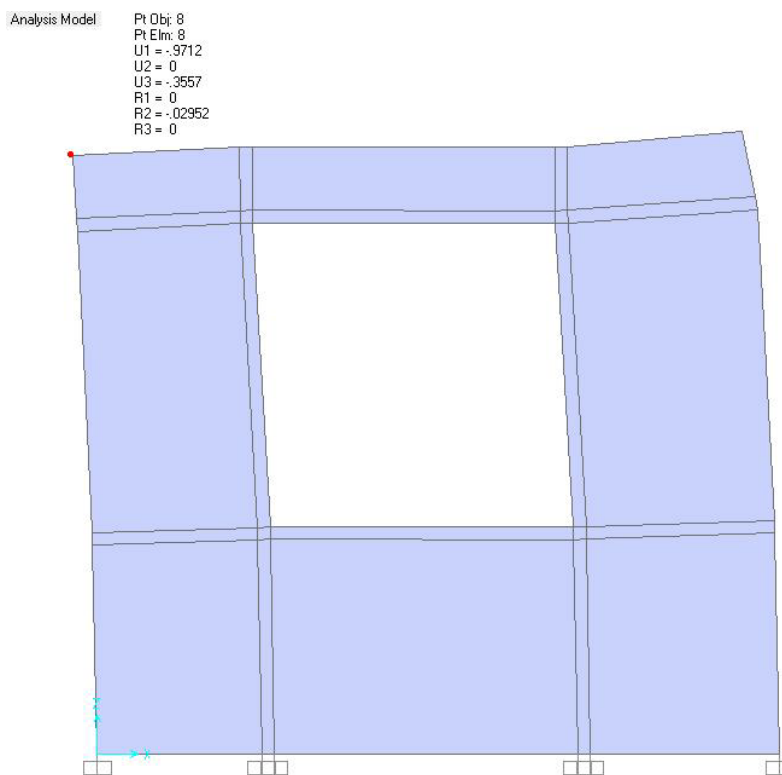
**Gráfica 35:** Deformación máxima (exagerada) para sismo en Y (2.889 inch)  
Sin utilización de marcos de madera, ni redistribución de tijeras



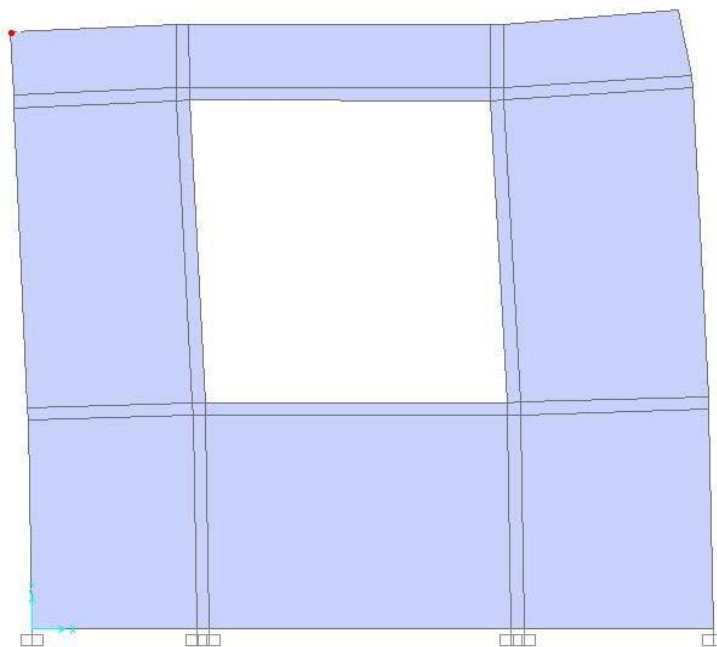
**Gráfica 36:** Ajuste con marco de madera  
Tomando por separado la acción del marco de madera



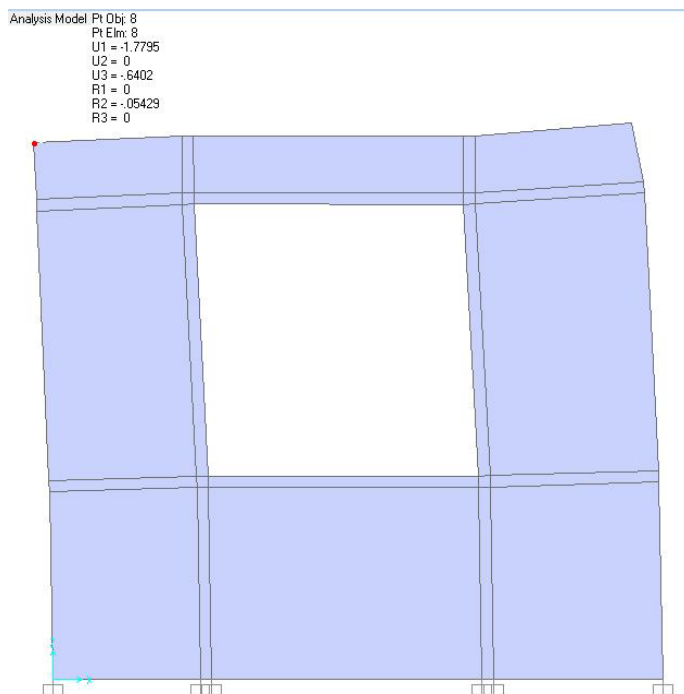
**Gráfica 37:** Desplazamiento ajustado caso 1  
Deformación provocada por una carga en SAP de 3675.34 Lbs. al panel F2 tomando en cuenta por separado la acción del marco de madera en la ventana



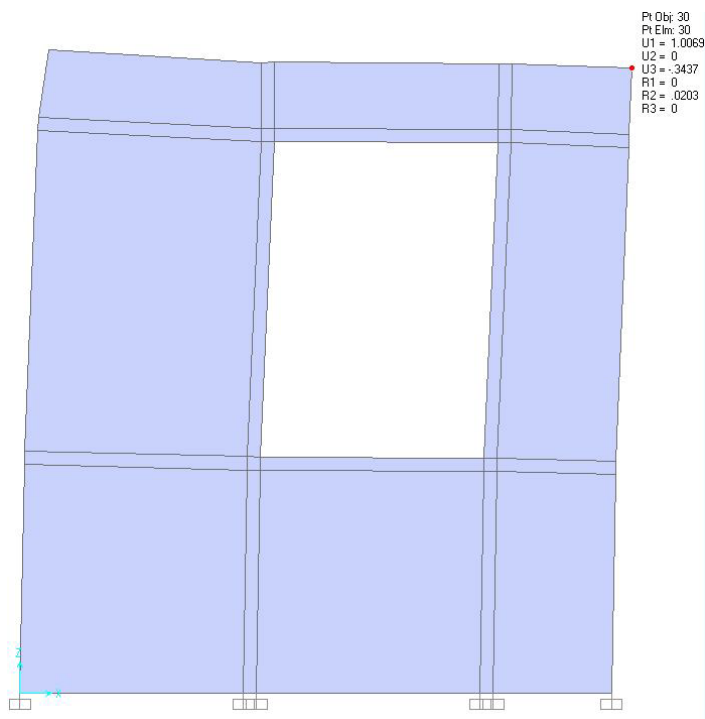
**Gráfica 38:** Desplazamiento ajustado caso 2  
Deformación provocada por una carga en SAP de 7350.69 Lbs. al panel F2 tomando en cuenta por separado la acción del marco de madera en la ventana



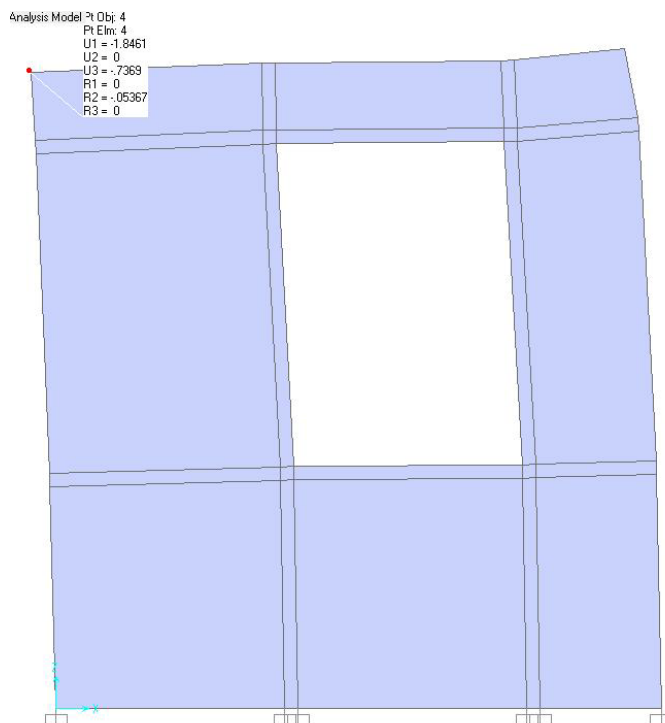
**Gráfica 39:** Desplazamiento ajustado caso 3  
Deformación provocada por una carga en SAP de 6738.13 Lbs. al panel F2 tomando en cuenta por separado la acción del marco de madera en la ventana



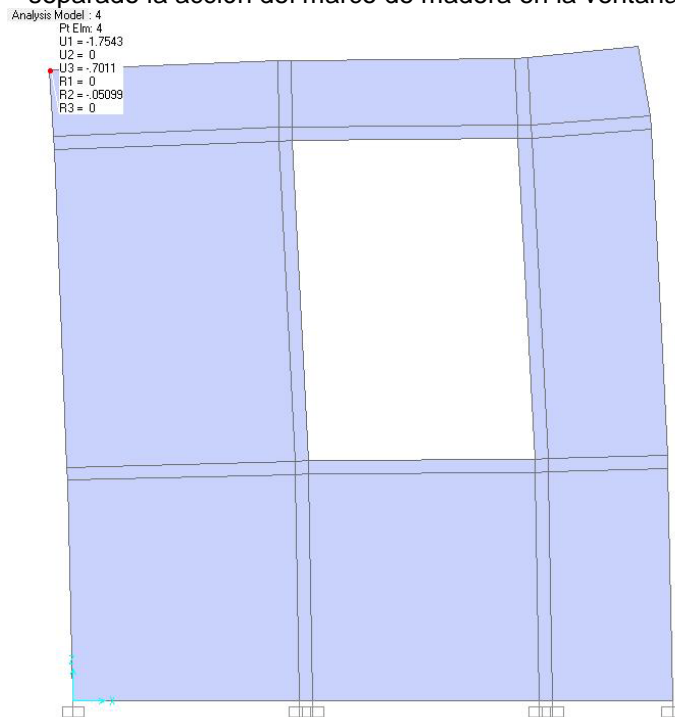
**Gráfica 40:** Desplazamiento ajustado caso 4  
Deformación provocada por una carga en SAP de 3369.07 Lbs. al panel F3 tomando en cuenta por separado la acción del marco de madera en la ventana



**Gráfica 41:** Desplazamiento ajustado caso 5  
Deformación provocada por una carga en SAP de 6125.57 Lbs. al panel F3 tomando en cuenta por separado la acción del marco de madera en la ventana

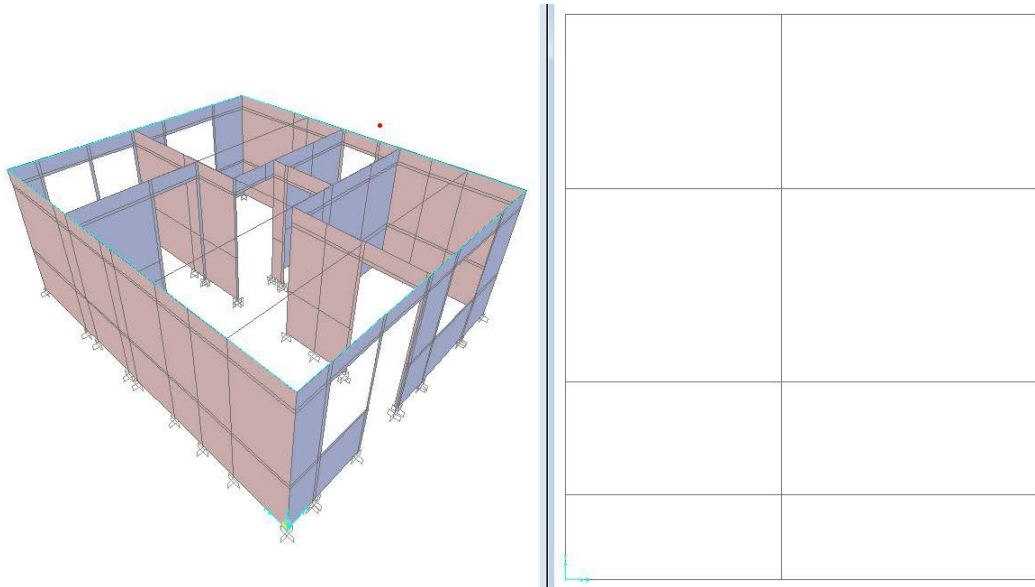


**Gráfica 42:** Desplazamiento ajustado caso 6  
Deformación provocada por una carga en SAP de 5819.3 Lbs. al panel F3 tomando en cuenta por separado la acción del marco de madera en la ventana

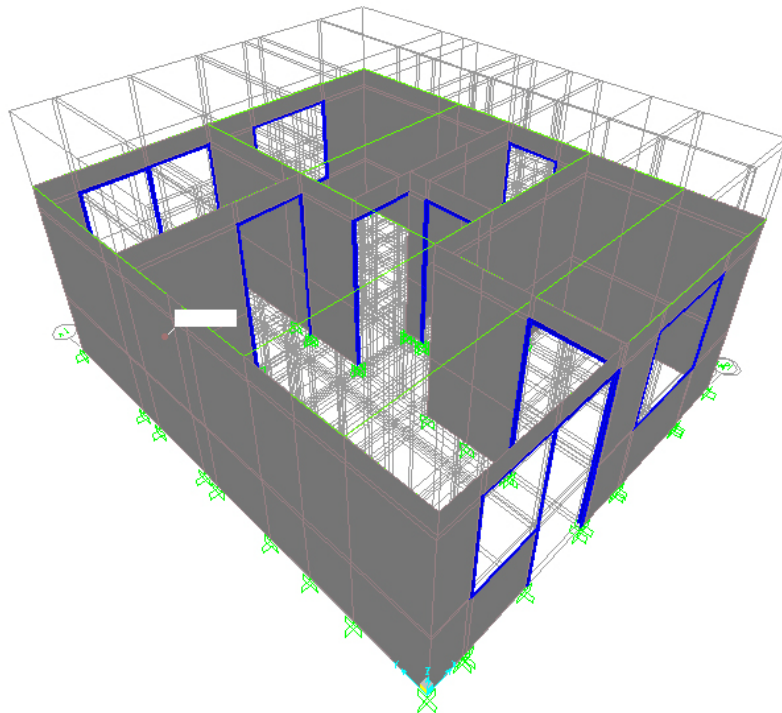


**Gráfica 43:** Redistribución de tijeras en techos

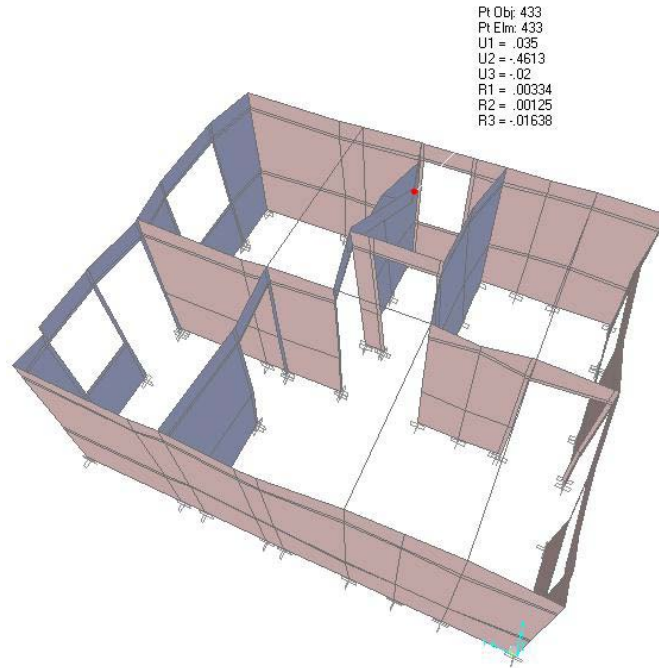
Se redistribuyeron las tijeras en el techo, para que dieran mayor rigidez a flexión a los paneles, intentando pasarlas sobre paneles ya existentes y dando así también un arriostramiento.



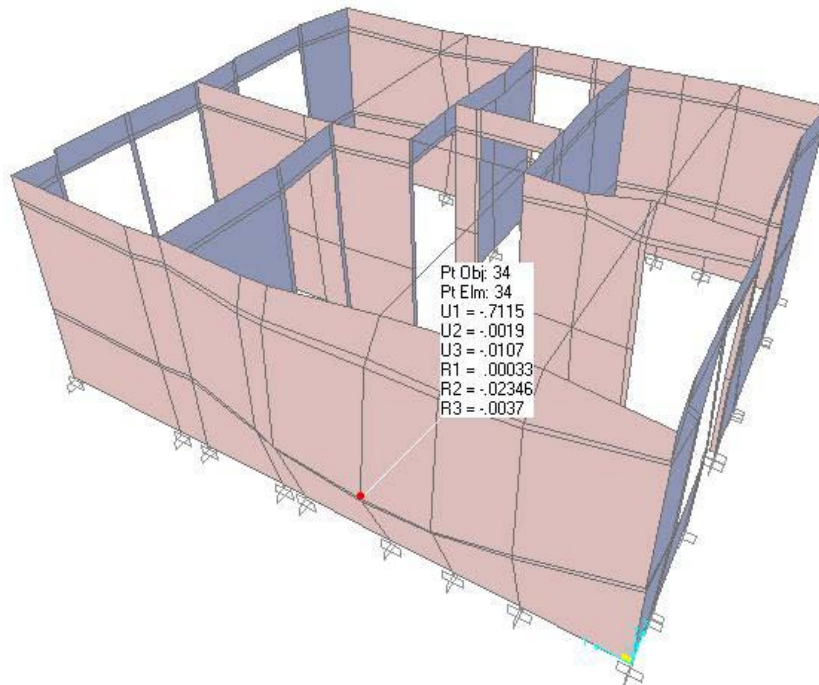
**Gráfica 44:** Distribución de materiales, para mejora del desempeño estructural de la estructura. Aquí se observan, los marcos de madera (modificada), la nueva distribución de las tijeras, con madera normal, y los paneles de material (bambú-mortero-madera).



**Gráfica 45:** Deformación máxima (exagerada) para sismo en Y (0.4513 inch)  
Utilizando una mejor distribución de techos y considerando por separado marcos de madera en  
puertas y ventanas



**Gráfica 46:** Deformación máxima (exagerada) para sismo en X (0.7115 inch)  
Utilizando una mejor distribución de techos y considerando por separado marcos de madera en  
puertas y ventanas



## 13.6 Resultados

**Tabla 52:** Deformación panel F2 análisis SAP

Sin considerar por separado la acción de los marcos de madera en ventanas

PANEL		CARGA		DEFORMACIÓN
F2	1	3675.34456	Lbs.	1.52992 in
	2	7350.68913	Lbs.	3.05568 in
	3	6738.1317	Lbs.	2.80208 in

**Tabla 53:** Deformación panel F3 análisis SAP

Sin considerar por separado la acción de los marcos de madera en ventanas

PANEL		CARGA		DEFORMACIÓN
F3	4	3369.06585	Lbs.	1.52766 in
	5	6125.57427	Lbs.	2.76753 in
	6	5819.29556	Lbs.	2.62936 in

**Tabla 54:** Deformación panel F2 análisis SAP

Considerando por separado la acción de los marcos de madera en ventanas

PANEL		CARGA		DEFORMACIÓN
F2	1	3675.34456	Lbs.	0.9712 in
	2	7350.68913	Lbs.	1.9411 in
	3	6738.1317	Lbs.	1.7795 in

**Tabla 55:** Deformación panel F3 análisis SAP

Considerando por separado la acción de los marcos de madera en ventanas

PANEL		CARGA		DEFORMACIÓN
F3	4	3369.06585	Lbs.	1.0068 in
	5	6125.57427	Lbs.	1.8461 in
	6	5819.29556	Lbs.	1.7543 in

**Tabla 56:** Deformación panel D1 análisis SAP

Panel		Carga	Deformación
D1	7	11026.0337 Lbs.	2.24679 in
	8	10719.755 Lbs.	2.18365 in
	9	8575.80398 Lbs.	1.74773 in

**Tabla 57:** Mayores desplazamientos en los nudos de la casa en X sin relocalización de tijeras ni consideración por separado de la acción de los marcos de madera (El desplazamiento crítico y el nudo están mostrados en la Gráfica 34)

Desplazamiento Máximo en X		
Nudo	Causado por	Pulgadas
153	0.8Muerta+SismoX	1.542
94	0.8Muerta+SismoX	1.467
96	0.8Muerta+SismoX	1.461
35	0.8Muerta+SismoX	1.256

**Tabla 58:** Mayores desplazamientos en los nudos de la casa en Y sin relocalización de tijeras ni consideración por separado de la acción de los marcos de madera (El desplazamiento crítico y el nudo están mostrados en la Gráfica 35)

Desplazamiento Máximo en Y		
Nudo	Causado por	pulgadas
22	0.8Muerta+SismoY	2.889
24	0.8Muerta+SismoY	2.839
21	0.8Muerta+SismoY	2.655
23	0.8Muerta+SismoY	2.610

**Tabla 59:** Mayores desplazamientos en los nudos de la casa en X habiendo relocalizado tijeras y considerando por separado de la acción de los marcos de madera (El desplazamiento crítico y el nudo están mostrados en la Gráfica 46)

Desplazamiento máximo en X		
Nudo	Causado por	pulgadas
34	0.8Muerta+SismoX	0.711511
484	0.8Muerta+SismoX	0.660968
95	0.8Muerta+SismoX	0.657866
482	0.8Muerta+SismoX	0.612261

**Tabla 60:** Mayores desplazamientos en los nudos de la casa en Y  
Habiendo relocalizado tijeras y considerando por separado de la acción de los marcos de madera  
(El desplazamiento crítico y el nudo están mostrados en la Gráfica 45)

Desplazamiento máximo en Y		
Nudo	Causado por	pulgadas
433	0.8Muerta+SismoY	0.461266
300	0.8Muerta+SismoY	0.437437
432	0.8Muerta+SismoY	0.431066
118	0.8Muerta+SismoY	0.425183

**Tabla 61:** Resultados  
Peso de la estructura y corte en la base en ambos sentidos

Reacciones en Base				
Caso	Tipo	Fuerza X Lb	Fuerza Y Lb	Fuerza Z Lb
0.8Muerta+SismoX	Max	1692.91	247.45	13118.05
0.8Muerta+SismoX	Min	-1692.61	-247.45	13064.93
0.8Muerta+SismoY	Max	247.45	1520.67	13099.35
0.8Muerta+SismoY	Min	-347.45	-2530.67	13083.64
1.4Muerta		-5.2E-11	-5.7E-11	22910.11

Peso de la estructura (lb)	
W	22910.11
Corte basal sismo en X (lb)	
Vox	1692.91
Corte basal sismo en Y (lb)	
Voy	1520.67

**Tabla 62:** Deriva máxima lateral permitida debida a sismos

$\Delta$ máx.	1.18 pulgadas
---------------	---------------

**NOTA:** Se anexan como contenido digital, los resultados completos del análisis dinámico, que por su gran volumen no se pudieron incluir, de la misma forma se incluyen los videos del desempeño sísmico en ambas direcciones de sismos y demás fotos del análisis.

**Tabla 63:** Comparación cargas y factor de seguridad

Peso panel calibración	Cortante lab	Cortante SAP	Factor de seguridad
1194.61 Lbs.	10107.2 Lbs.	1692.91 Lbs.	8.46

## 13.7 Discusión del análisis estructural

Para la realización del espectro de diseño, se tomaron los valores críticos, que proporcionarán mayores aceleraciones, para asegurar que la estructura pudiera resistir incluso en las zonas con mayor incidencia sísmica y suelos que amplificarán estas ondas sísmicas. Es por esta razón que se utilizó el índice de sismicidad más alto 5, se escogió el nivel de protección más alto para una casa de habitación, siendo éste (C2) (ver Tabla número 46). Se asumió que la estructura sería construida en una zona de sismicidad 4.2 para obtener los mayores valores de  $A_o$  y  $A_f$  (aceleraciones para sismo básico, y sismo frecuente (ver Tabla número 47). Suponiendo el peor tipo de suelo (S3) se obtuvieron los mayores periodos de vibración  $T_a$ ,  $T_b$  (ver Tabla número 48). Al obtener los 2 espectros, el básico y el espectro de sismo frecuente, se realizaron ensayos con ambos espectros (ver Gráfica 7 y 8), pero siendo las deformaciones por efectos del sismo básicos mayores a las aceptables, solamente se presentan los datos de las deformaciones y resultados del análisis con el espectro de sismo frecuente.

Para la creación del modelo analítico virtual, se comenzó por trazar las líneas guías (grids), y luego se procedió a la colocación de todos los paneles en su sitio. Un aspecto bastante importante, es la necesidad que todas las esquinas de los elementos tipo Shell (tipo de área utilizado para la representación del panel, para ser mas específico Shell-thick), deben coincidir con algún otro elemento, esto se debe a que estos elementos solamente pueden unirse entre sí a través de las esquinas. En los primeros intentos de análisis se tuvo el problema que pedazos se desprendían de la estructura, por no ser totalmente estables, al no estar sujetos a algún otro elemento y esto es el caso para todas las uniones, entre paneles perpendiculares y paralelos. También cabe mencionar, que existen varias diferencias entre los distintos tipos de Shell y membranas, principalmente en los grados de libertad, y si el elemento puede o no tomar cargas fuera de su plano, por esta razón fue que se decidió la utilización de un elemento tipo Shell-thick, ya que se ajustaba mejor al análisis que se quería realizar.

Teniendo los valores del módulo elástico, y peso específico, obtenidos previamente en el laboratorio, se propuso un material, que cumpliera con las mismas características que podría proveer la acción conjunta del marco de madera, bambú, y mortero al panel. Esto resultó ser un trabajo más difícil de lo que se esperaba. El principal problema es la variación de los resultados de laboratorio, posiblemente por diferencias constructivas entre los paneles, ya que este es un proceso en el que intervienen varios factores, como la variabilidad de materiales observada en los ensayos de laboratorio, los específicos de los materiales y el error humano que incrementa la variación en procesos más complejos. Para la comprobación de estos resultados, se hizo un análisis estático, en el cual se creaban paneles, con la misma estructura de los originales y se les aplicaba una carga, igual a la carga última aplicada a los mismos en el laboratorio y comparando las deformaciones resultantes, con las deformaciones obtenidas.

Se hicieron varios intentos, con varios módulos de elasticidad, teniendo resultados favorables en algún sentido u otro, esto significaba que al incrementar el módulo de elasticidad, disminuían las deformaciones en el análisis y en algunos casos las deformaciones quedaban por debajo de las obtenidas en el laboratorio. Por esta razón, por ser evidente el hecho que no se podía llegar a un ajuste que proporcionara un margen de error reducido, se decidió utilizar un modulo de elasticidad menor, el cual proporciona deformaciones en algunos casos mayores que las observadas en el laboratorio, pero siendo esto una decisión conservadora, la cual nos ayudará a no sobreestimar los paneles de bambú, dándonos una especie de factor de seguridad. Este módulo de elasticidad dará como resultado una aproximación bastante exacta para paneles con poca resistencia, y un resultado conservador para los paneles que poseen mayor resistencia.

Después de realizar el modelo con este material, y al comprobar que las deformaciones con el espectro sísmico más bajo, no eran aceptables (principalmente por flexión en los paneles ver Tabla 57 y 58, y Gráficas 34 y 35) se decidió tomar en cuenta por separado la acción de los marcos de puertas y ventanas, que no habían sido tomadas en cuenta en el análisis, y redistribuir las tijeras. Se llegaron a estas soluciones al observar dónde y cómo se producían las mayores deformaciones.

Es importante notar cómo se distribuyen los esfuerzos en los paneles (Gráfica 9, 28, 29), y hacer ver que en el análisis estático, se pueden encontrar áreas de esfuerzo nulo, que son áreas de transición entre compresión y tensión. Es interesante observar que en el laboratorio se produjeron las fallas justo en los lugares donde en teoría habrían grandes esfuerzos de tensión, y lugares donde se concentran esfuerzos, como esquinas, esquinas de marcos de ventanas y esto también podría llegar a indicar que algunas de las fallas observadas en los paneles durante las pruebas de laboratorio, no sean estructurales, sino solamente estéticas, y haya sido solamente el mortero el que haya cedido por su casi nula resistencia a tensión.

Después de hacer el análisis estructural con el espectro sísmico frecuente de la Norma Recomendada AGIES (NR-2) redistribuyendo las tijeras del techo y considerando la acción rigidizante de los marcos de puertas y ventanas se obtuvieron las siguientes deformaciones (ver Tabla 59 y 60), siendo menores al límite propuesto por la Norma Recomendada de AGIES (NR-2), (ver Fórmula 4), de 1.19 pulgadas.

Estas deformaciones bajas, también nos indican que las posibilidades de fallas por un sismo de servicio (llamado en las normas AGIES Nr-2 como sismo frecuente, el cual se define como un sismo que tiene una alta probabilidad de ocurrencia durante la vida útil de la estructura) son bastante bajas, debido a que los paneles requirieron mayores deformaciones y cargas en el laboratorio para generar esfuerzos de falla (ver Tabla 45).

Cabe notar también, que las mayores deflexiones y derivas sísmicas se dieron en sentido perpendicular al panel, no teniéndose información de laboratorio sobre el desempeño de los paneles a flexión. Esto nos indica que las deformaciones por corte fueron mínimas y que la estructura puede ser mucho más resistente que lo que indica este análisis, en el sentido perpendicular de los paneles (flexión), pero esto es un aspecto que requiere un análisis más profundo. El análisis puede predecir muy bien el desempeño de los paneles por cortante, debido a que se distribuyó toda la rigidez sobre el área completa del panel, sin tener elementos realmente rígidos que resistan los esfuerzos de flexión. Para haberse logrado esto, se debieron haber planteado todos los elementos por separado.

Con respecto a los esfuerzos de corte, se puede observar en las posibilidades de falla por cortante son mínimas, ya que como se puede observar en la Tabla 63, la estructura es bastante liviana, y para generar las cargas que causaron las grietas en el laboratorio se le tendrían que aplicar aproximadamente 8.5g, lo cual es mucho más que 1g producido por el espectro sísmico más severo (sismo básico), ver Gráfica 7.

También es importante notar que para este tipo de estructura liviana, puede que sean más críticas las cargas por viento, pero por el momento se posee poca información del comportamiento a flexión y pandeo de los paneles, por lo cual sería muy aventurado, analizar esta estructura por cargas de viento.

Una mejor aproximación a este análisis pudiese haber sido la obtención de mayores datos en laboratorio sobre flexión de los paneles, así como de la madera utilizada, e incorporar los datos a un modelo digital todos por separado, en vez de intentar considerar un material que proveyera las cualidades de todos los materiales al mismo tiempo, habiendo diferencias sustanciales en las proporciones de dichos materiales.

## **Capítulo XIV**

*Detalle del análisis estructural, metodología  
SAP2000 para análisis dinámico modal  
aplicando espectro de diseño AGIES NR-2*

---

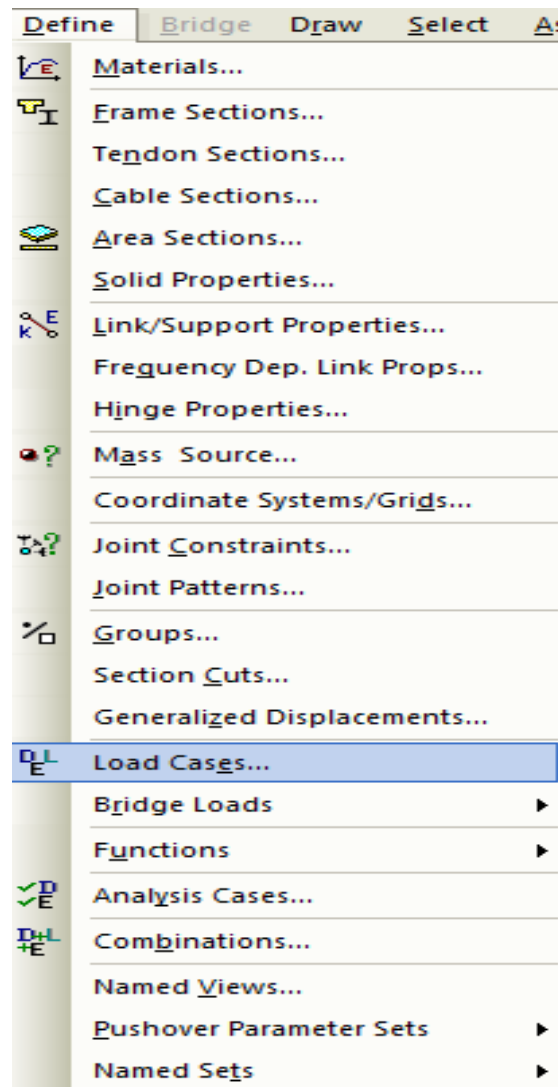
# XIV. Detalle del análisis estructural, metodología SAP2000 para análisis dinámico modal aplicando espectro de diseño AGIES NR-2

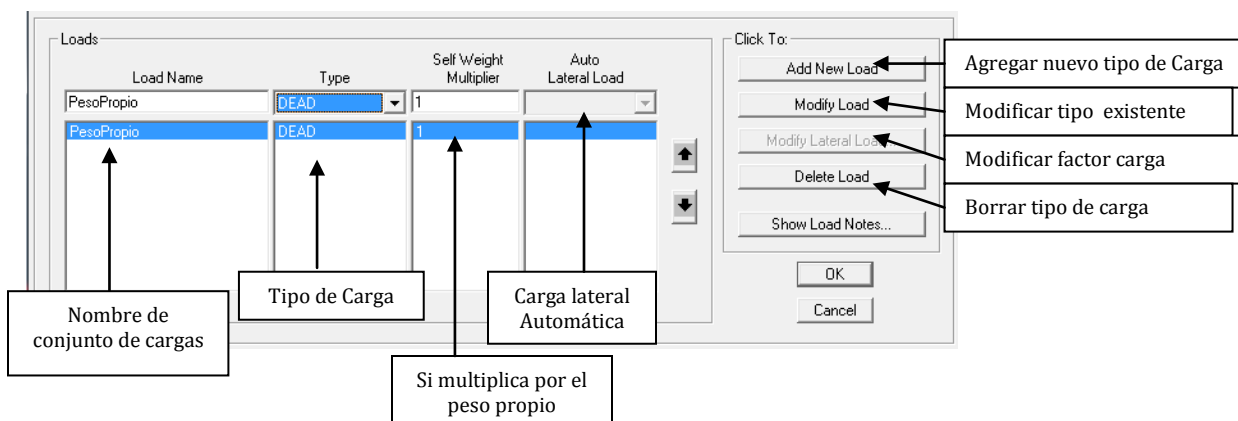
En este capítulo, se explica con detalle el proceso que se llevó a cabo para el análisis dinámico de la estructura compuesta de paneles de bambú, haciendo uso del software de análisis estructural SAP.

## 14.1 Definición de tipos de cargas

Para definir los tipos de cargas se accedió al submenú de Define, Load Cases

Figura 67: Definir tipos de cargas



**Figura 68:** Definición de tipos y conjuntos de carga.

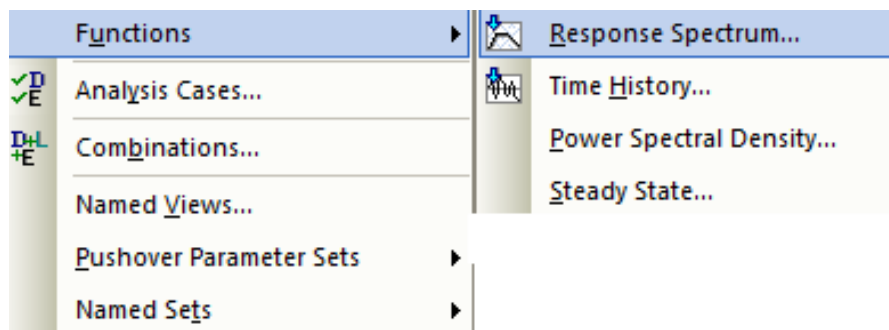
En este caso como realizaremos un análisis sísmico, basándonos solamente en el peso de la estructura, no haremos uso de ningún otro tipo de cargas. Para el conjunto de cargas “Peso propio” se utilizó el tipo Dead, y un multiplicador de peso de 1 para que tome en cuenta el peso de los materiales. En este caso también se añadirá a este conjunto de cargas el peso del diafragma (techo de lámina, junto con el peso de la estructura de madera que la sostiene).

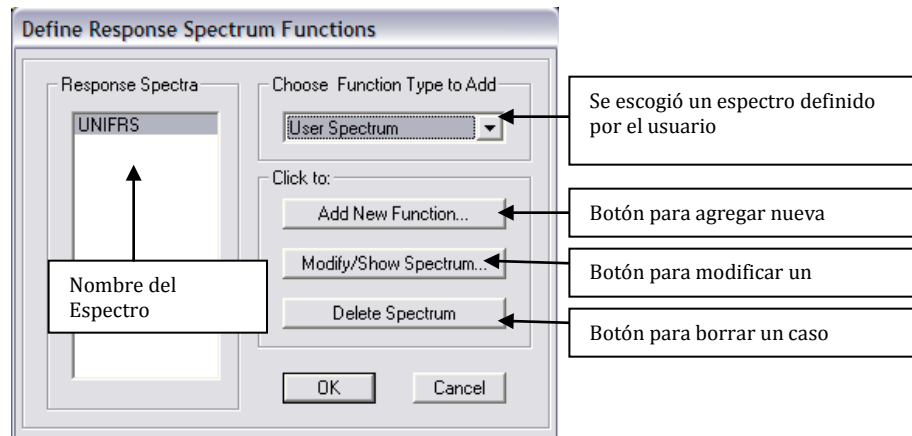
## 14.2 Ingreso de espectro de diseño

El siguiente espectro de diseño se calculó basándose en la Norma Recomendada 2 de AGIES, (Nr-2)

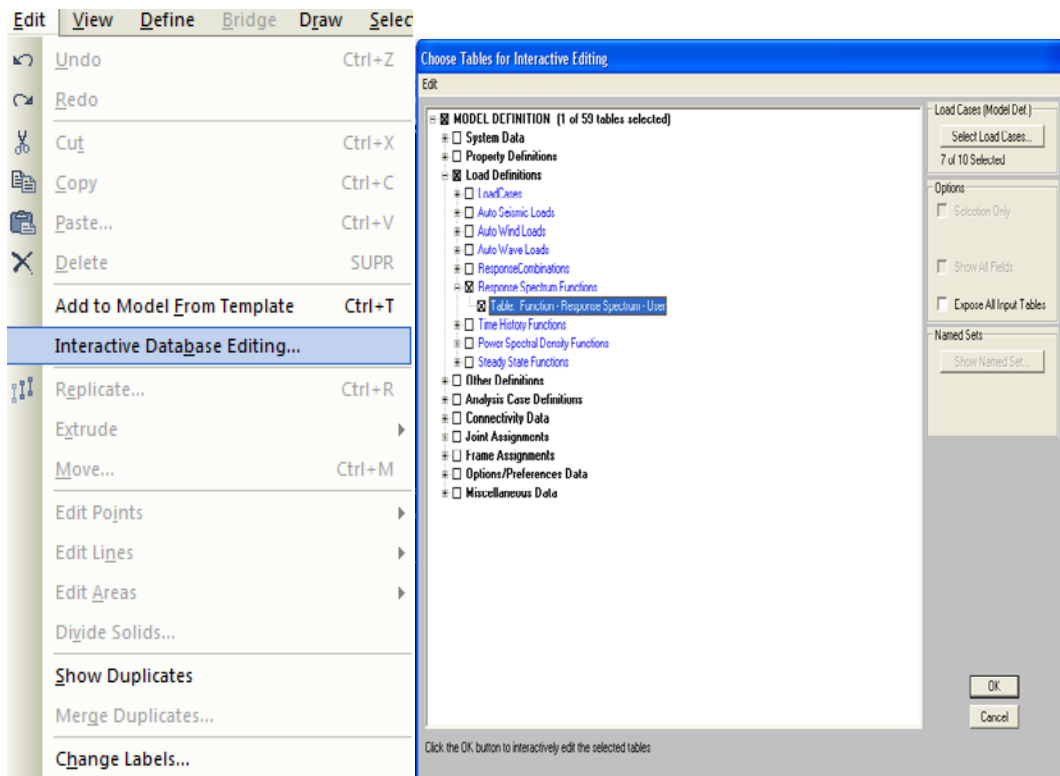
Habiéndose calculado los espectros de diseño, éste se ingresó a SAP. En este caso se usó el espectro sísmico “básico”:

Para ingresar este espectro, se accedió a través del menú, Define, Functions, Response Spectrum.

**Figura 69:** Pasos para ingreso de espectro de diseño

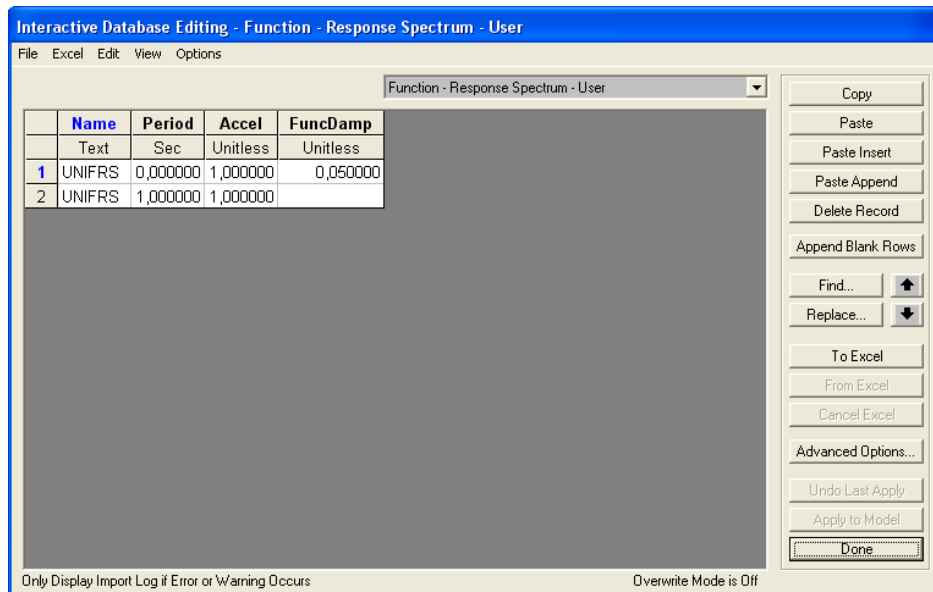
**Figura 70:** Definición del espectro de respuesta.

Para el ingreso del espectro se hizo uso del editor interactivo, el cual nos permitió exportar desde Excel, nuestro espectro previamente calculado en Excel. Esto se hace a través del menú, Edit, Interactive Database Editing.

**Figura 71:** Interactive database editing. (menús)

En esta ventana se escogió modificar el espectro de diseño definido por el usuario.

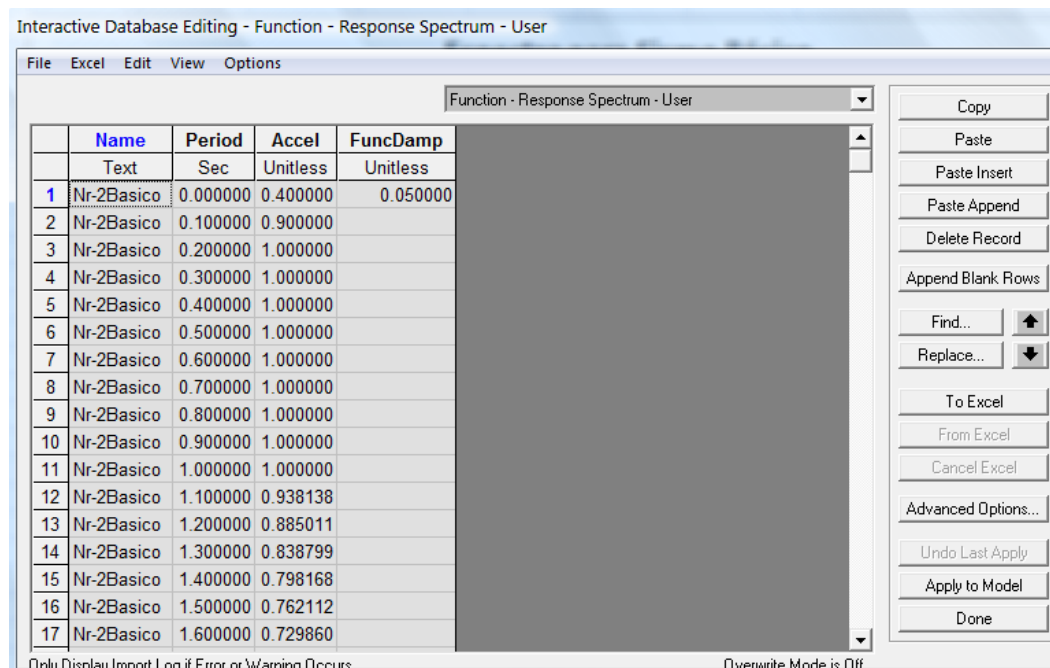
**Figura 72:** Edición interactiva de base de datos



En la Figura 70 se pueden observar los valores que trae SAP por defecto para el espectro de respuesta, con las columnas de Periodo, Aceleración y Amortiguamiento (regularmente es tomado como 0.05).

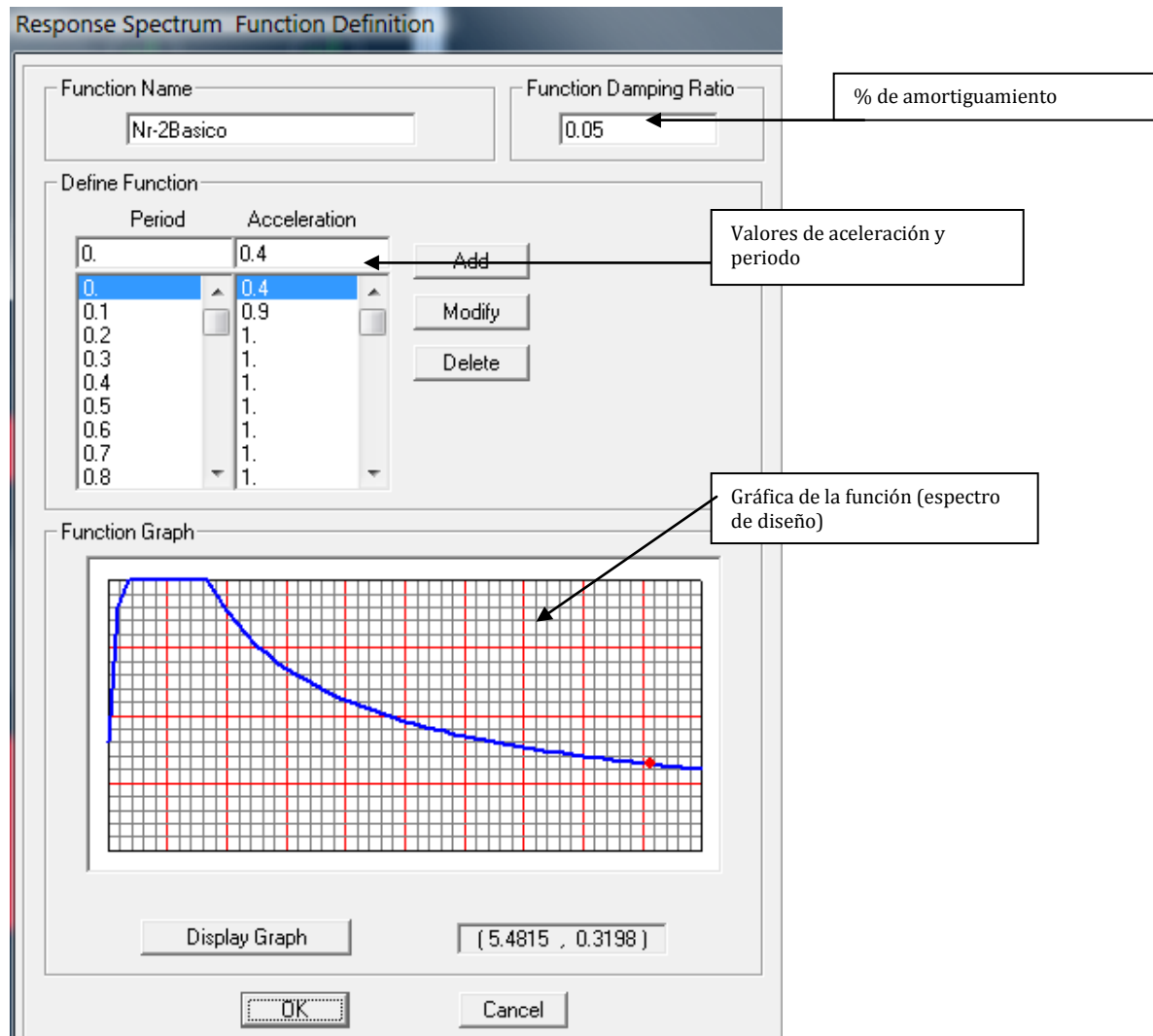
Esta tabla fue exportada a Excel donde se modificó con los datos de nuestro espectro de diseño y se ingresó nuevamente a SAP.

**Figura 73:** Edición interactiva de base de datos, ingreso de función



En la ventana de definición de espectros de respuesta, se comprobó que se encontrara definido nuestro espectro correctamente.

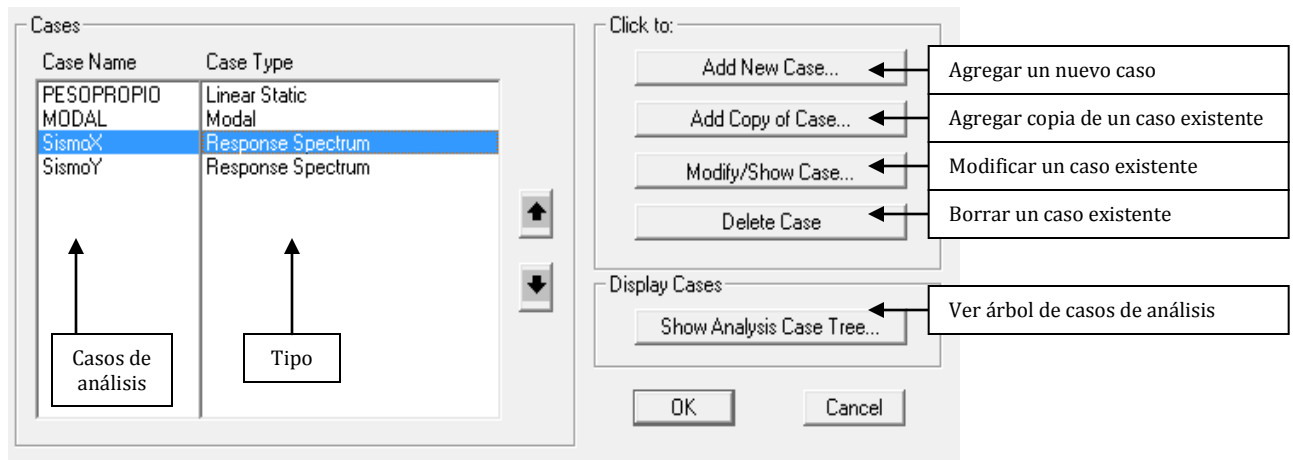
**Figura 74:** Definición de la función del espectro de respuesta



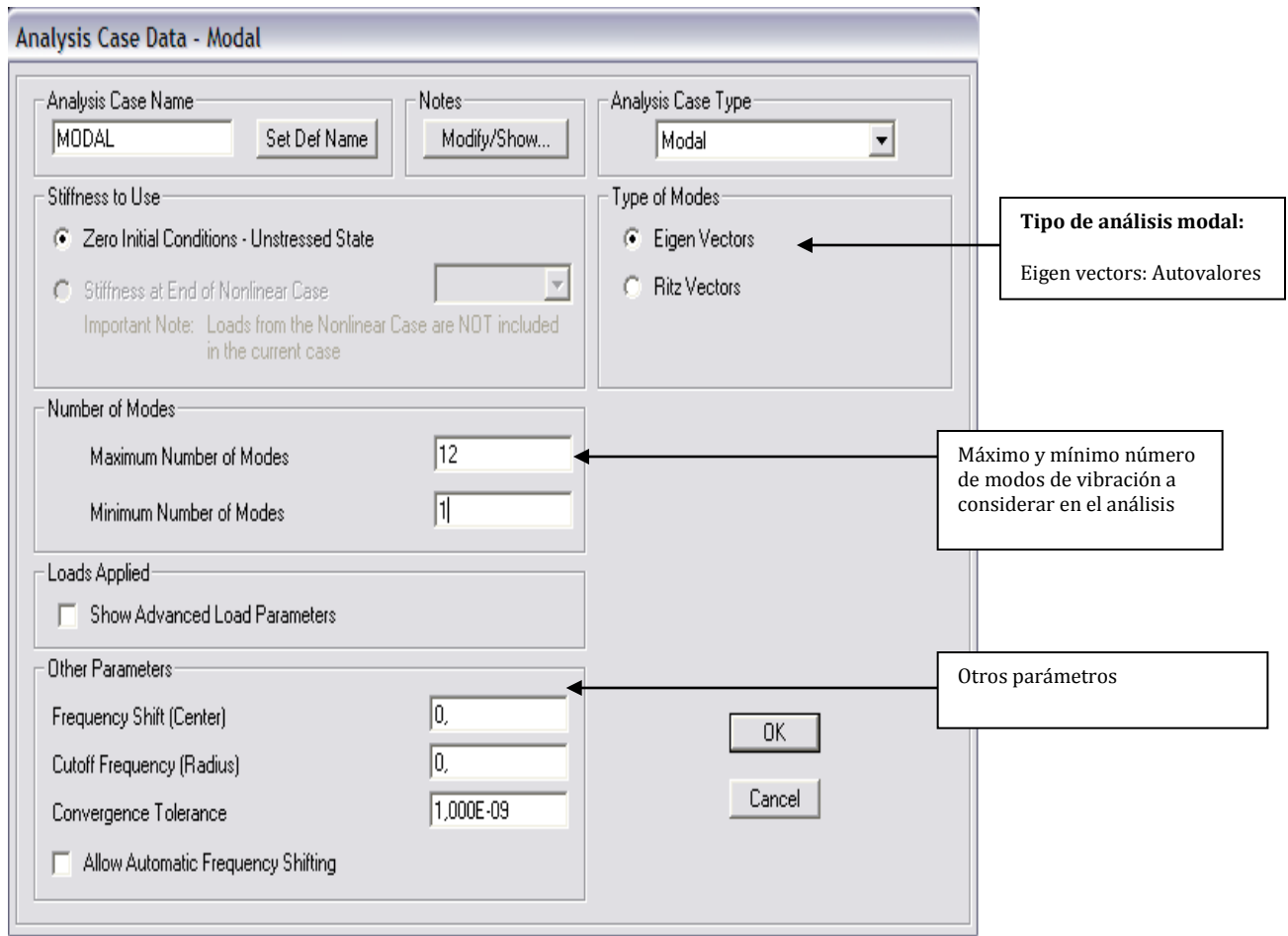
### 14.3 Casos de análisis

Se definieron cuatro casos distintos de análisis, tres que se definieron como usuario, y el cuarto como el análisis modal que ingresa automáticamente SAP para la realización del análisis dinámico junto con el análisis espectral, aquí se establecen el número de modos de vibración para que, por lo menos el 90% de la masa de la estructura tenga participación, lo cual es requisito de las Normas Recomendadas de AGIES

**Figura 75:** Casos de análisis



**Figura 76:** Datos del caso de análisis.



**Figura 77:** Caso de análisis de cargas por peso propio

Analysis Case Name: PESOPROPIO

Analysis Case Type: Static

Analysis Type:  Linear

Load Type	Load Name	Scale Factor
Load	PesoPropio	1.

Annotations:

- Tipo de análisis
- Tipo de análisis estático:
  - Linear:** Análisis lineal
  - Nonlinear:** Análisis no lineal
  - Nonlinear Staged Construction:** Análisis no lineal de secuencia de construcción.
- Tipo de carga
- Caso de análisis
- Factor de

Por último definimos los casos de análisis tipo “Response Spectrum” que definen las acciones sísmicas sobre la estructura, en la Figura 78 se muestra la definición del caso de análisis que representa el sismo en dirección X.

**Figura 78:** Definición sismo en dirección x

Analysis Case Name: SismoX

Analysis Case Type: Response Spectrum

Modal Combination:  CQC

Directional Combination:  SRSS

Diaphragm Eccentricity: Eccentricity Ratio: 0

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U1	Nr-2Basico	9.81

Modal Damping: Constant at 0.05

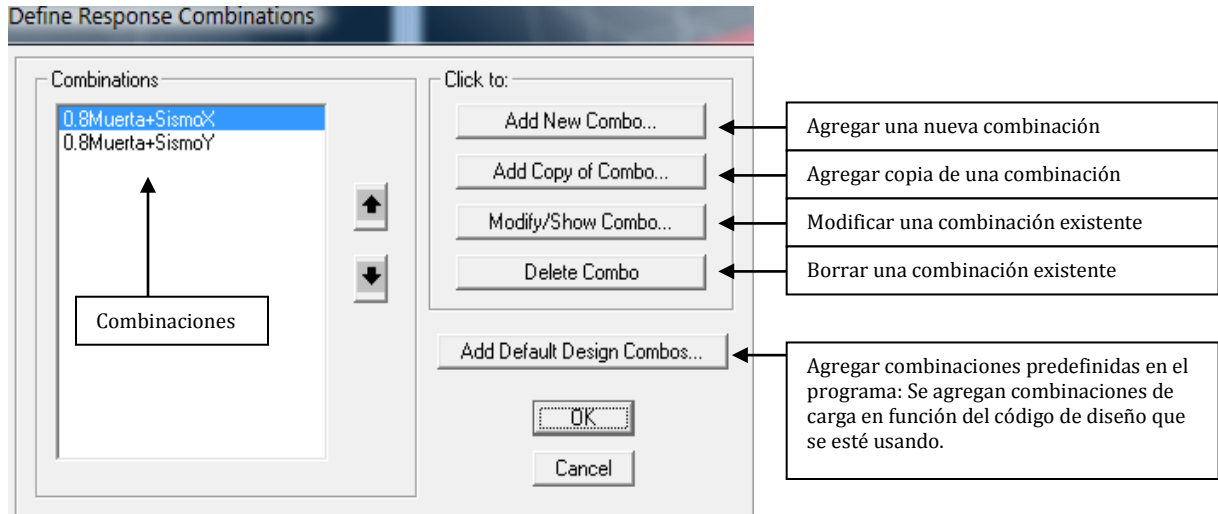
Annotations:

- Tipo de análisis
- Método de combinación direccional.
- Método de combinación modal.
- Excentricidad Planta (%)
- Forzar excentricidades
- Dirección de análisis
- Espectro
- Factor de escala (gravedad), ya que nuestro espectro está en función de la
- % de amortiguamiento

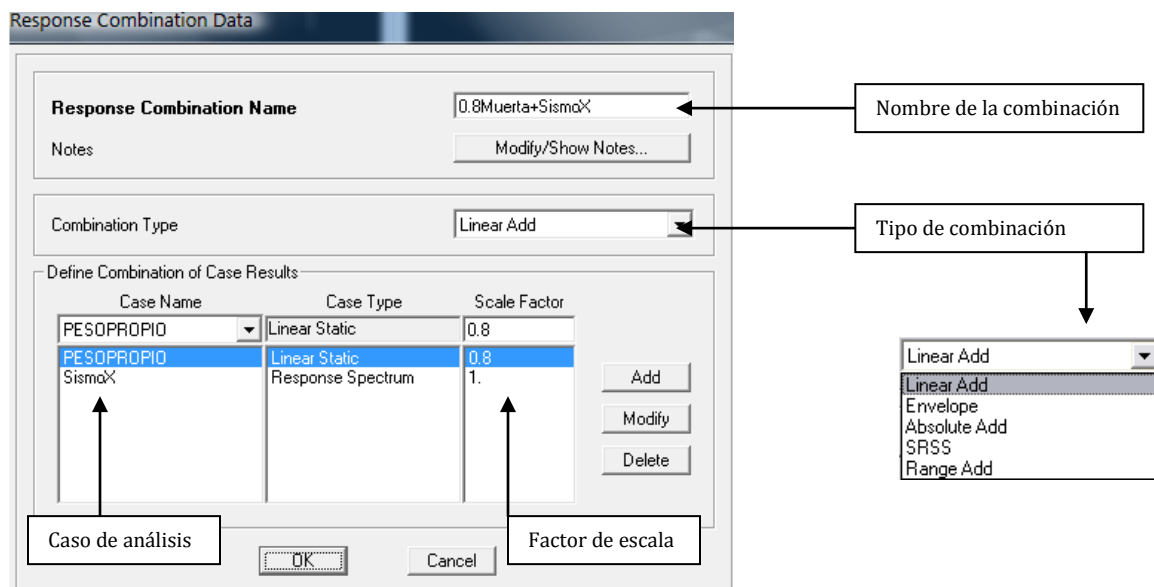
## 14.4 Combinaciones de cargas

Se definieron las combinaciones de carga basándose en la ecuación 8.10 de NR-2 donde se multiplica la carga muerta por 1.4, y la ecuación 8.18, donde se multiplica la carga muerta por un factor de 0.8 y se le suma la carga dinámica de sismo. SAP toma en cuenta automáticamente la reversibilidad de las cargas de sismo, por lo cual no es necesaria definirla dos veces con signos distintos.

**Figura 79:** Definición de las combinaciones de carga



**Figura 80:** Creación de combinaciones de cargas



## 14.5 Corte basal

De las tablas de resultados que provee SAP, se obtiene el cortante en la base, así como el peso total de la estructura y desplazamientos en los nudos.

**Tabla 64:** Resultados del análisis

Reacciones en la Base				
Caso	Tipo	Fuerza X Lb	Fuerza Y Lb	Fuerza Z Lb
0.8Muerta+SismoX	Max	1692.91	247.45	13118.05
0.8Muerta+SismoX	Min	-1692.61	-247.45	13064.93
0.8Muerta+SismoY	Max	247.45	1520.67	13099.35
0.8Muerta+SismoY	Min	-347.45	-2530.67	13083.64
1.4Muerta		-5.2E-11	-5.7E-11	22910.11

Peso de la estructura (lb)	
W	22910.11
Corte basal sismo en X (lb)	
Vox	1692.91
Corte basal sismo en Y (lb)	
Voy	1520.67

## **Capítulo XV**

### *Análisis financiero*

---

## XV. Análisis financiero

### 15.1 Vivienda de mampostería reforzada de block

En esta sección se cuantificará una casa de mampostería de block según las “NORMAS ESTRUCTURALES DE DISEÑO RECOMENDADAS PARA LA REPÚBLICA DE GUATEMALA AGIES NR-4: 2001 REQUISITOS ESPECIALES PARA VIVIENDA Y OTRASCONSTRUCCIONES MENORES.”

Debido al alza en los precios de la construcción y de la mano de obra, se presentará un detalle de las diferentes partes de una casa hecha de block de 0.14X0.19X0.39, con cemento corrido fundido y con techo de lámina.

En esta sección solamente está incluido el precio de la obra civil, sin tomar en cuenta ni acabados ni mano de obra, para que se puedan comparar con la casa actual de bambú revestida con sabieta

#### 15.1.1 Paneles actuales de bambú.

**Tabla 65:** Detalle de longitudes, alturas y áreas de los actuales paneles de bambú.  
Para poder diseñar una casa de mampostería con las mismas dimensiones.

PANEL	CANTIDAD (uni)	LONGITUD (m)	ALTURA (m)	ÁREA TOTAL (m2)	VACIOS (m2)	ÁREA EFECTIVA (m2)
F1	1	2.25	2.40	5.4	2.81	2.59
F2	2	2.70	2.40	12.96	1.44	10.08
F3	1	2.25	2.40	5.4	2.7	2.7
I1	1	2.10	2.40	5.04	0	5.04
I2	1	1.80	2.40	4.32	0	4.32
I3	1	2.10	2.40	5.04	0	5.04
D1	1	2.10	2.40	5.04	0	5.04
D2	1	1.20	2.40	2.88	0.42	2.46
D3	1	2.70	2.40	6.48	0	6.48
T1	1	2.10	2.40	5.04	0	5.04
T2	1	1.15	2.40	2.76	1.37	1.39
T3	1	2.70	2.40	6.48	0	6.48
T4	1	2.70	2.40	6.48	0	6.48
T5	1	2.70	2.40	6.48	1.79	4.69
T6	1	2.25	2.40	5.4	1.79	3.61
<b>TOTAL</b>	<b>16</b>	<b>32.8</b>		<b>85.2</b>	<b>13.76</b>	<b>71.44</b>

**15.1.2 Trabajos preliminares.** Inicialmente se debe adecuar el terreno, limpiando toda la vegetación, basuras y escombros. Se debe desplantar o eliminar la capa vegetal que generalmente es de 30cm de espesor (maleza, raíces, árboles) hasta encontrar suelo firme.

Hacer la plataforma de acuerdo con el alineamiento del lote, y pasar niveles con manguera. Es necesario nivelar o emparejar el terreno haciendo excavaciones y rellenos hasta que el terreno quede parejo.

Se debe apisonar, humedecer y golpear con un mazo de 25 cm el terreno hasta volverlo firme y duro.

El trazo, es decir el pasar las medidas del plano al lote en tamaño real, debe realizarse teniendo en cuenta que es necesario: revisar la ubicación de los linderos, marcar los cruces de los muros o sus ejes, ubicar los caballetes de replanteo, y definir el ancho de la excavación para los cimientos. Colocar hilos para que sirvan de guías, y trazar con cal en polvo las áreas para excavación.

Asegurar la verticalidad de la excavación cortando con barreta. Cuando se presenten terrenos sueltos, entibar para evitar el derrumbamiento de las paredes de la excavación. El piso de la excavación debe quedar totalmente horizontal, a nivel y compacto manualmente. De ser necesario, se mejorará el terreno con material granular (selecto) compactado y apisonado, para obtener mayor resistencia, para evitar el contacto directo y controlar la humedad. Dicho lecho no debe ser mayor de 15 cm de espesor

**15.1.3 Diseño del cimiento corrido.** Los muros deben cimentarse sobre un cimiento corrido de acuerdo al tipo de material de las paredes, el tipo de techo y número de niveles. En todo caso los cimientos o vigas de cimentación deberán estar dispuestos en cuadros cerrados cuyo lado mayor no sobrepase los 7 m. Cuando no haya muro, debe continuarse el cimiento hasta su intersección con otro.

Según norma NR-4 para ***Viviendas de bloc o ladrillo de 1 nivel con techo liviano***, La cimentación puede consistir en un cimiento corrido de concreto reforzado con un ancho de 0.35 m por 0.20 m de peralte, más una hilera de bloc "U" funcionando como solera de humedad o bien 2 hileras de ladrillo más solera de humedad fundida de 0.13 m de peralte. El refuerzo del cimiento corrido consiste en 2 varillas 3/8" corridas más eslabón 3/8" a cada 0.20 m, mientras que la solera de humedad de 2 varillas 3/8" corridas más eslabón 2/8" a cada 0.15 m.

**Tabla 66:** Detalle de integración de materiales y de costos para el cimientto corrido.

<b>Parámetros</b>			
Longitud total	35.55	Recubrimiento	0.075
Ancho	0.35	Cantidad de pines	2
Alto	0.2	No. acero pines	N/A
Espaciado de estribos	N/A	No. acero eslabones	3
Espaciado de eslabones	0.2		
Tipo de concreto	3000 PSI		

<b>Materiales</b>						
<b>Acero</b>						
Descripción	Cantidad unidades	Unidad	Var./qq	QQ	Costo unitario	Costo total
Acero de refuerzo pines	2	35.55 ML	13	0.96	Q513.00	Q492.23
Acero eslabones	177	0.429 ML	13	1	Q513.00	Q511.73
Alambre de amarre	8	0.010 Lb	1	0.08	Q513.00	Q41.04
					Subtotal	Q1,045.00

<b>Concreto</b>						
Descripción	Proporciones	Cantidad	Unidad	Cant. compra	Costo unitario	Costo total
Cemento	22%	0.55	M <sup>3</sup>	19.34	Q53.00	Q1,024.84
Arena	44%	1.09	M <sup>3</sup>	2.09	Q133.93	Q146.65
Grava	66%	1.64	M <sup>3</sup>	1.64	Q180.00	Q295.63
					Subtotal	Q1,467.12

<b>Resumen de materiales</b>	
Concreto	Q1,467.12
Acero	Q1,045.00
<b>Total</b>	<b>Q2,512.12</b>

**15.1.4 Diseño de los muros de mampostería.** En este caso se cuantificó el block de 0.14X0.19X0.39 de 35 Kg/m<sup>2</sup> el mortero de pega, sin tomar en cuenta las soleras.

**Tabla 67:** Detalle del análisis de los materiales según noma AGIES NR-4 y el costo de los mismos a la fecha

<b>Materiales</b>				
<b>Block</b>				
Descripción	Cantidad	Unidades/M2	Costo unitario	Costo total
Block rústico de 35kg	72.16 M <sup>2</sup>	12.5	Q5.16	Q4,654.32
Subtotal				Q4,654.32
<b>Mortero de pegablock</b>				
Descripción	Cantidad	U. compra	Costo unitario	Costo total
Pegablock	16 Sacos	Sacos	Q52.08	Q833.28
Arena	2.9 M <sup>3</sup>	M <sup>3</sup>	Q133.93	Q388.40
Subtotal				Q1,221.68
<b>Resúmen materiales</b>				
Block	Q4,654.32			
Mortero de pega	Q1,221.68			
Total	Q5,876.00			

**15.1.5 Solera tipo “U”.** Esta solera se encuentra a la altura del sillar de las ventanas (1.20) por el largo de los muros de mampostería.

**Tabla 68:** Detalle del análisis de los materiales según noma AGIES NR-4 y el costo de los mismos a la fecha

Longitud unitaria	32.8	No. de soleras	1				
longitud total	32.8	Espesor de block	0.025				
Lado 1	0.2	Cantidad de pines	2				
Lado 2	0.15	No. acero pines	3				
Espaciado de estribos	N/A	No. Acero estribos	N/A				
Espaciado de eslabones	0.2	No. acero eslabones	2				
Tipo de concreto	3000 PSI	M2 de solera	6.56				
<b>Materiales</b>							
<b>Acero</b>							
Descripción	Cantidad de unidades	Long.	Unidad	Var./qq	Lon. Var.	Costo unitario	Costo total
Acero de refuerzo pines	1	32.8	Ml	13	5.7	Q513.00	Q454.15
Acero de eslabones	163	0.15	Ml	30	6	Q513.00	Q69.68
Alambre de amarre	5	0.01	Lb	1	1	Q513.00	Q25.65
						Subtotal	Q549.49
<b>Concreto</b>							
Descripción	Proporciones	Cantidad	Unidad	Cant. compra	Costo unitario	Costo total	
Cemento	22%	0.19	M <sup>3</sup>	6.69 Sacos	Q53.00	Q354.59	
Arena	44%	0.38	M <sup>3</sup>	0.38 M <sup>3</sup>	Q133.93	Q50.74	
Grava	66%	0.57	M <sup>3</sup>	0.57 M <sup>3</sup>	Q180.00	Q102.29	
						Subtotal	Q507.61
<b>Block</b>							
Descripción	Unidades	Costo unitario	Costo total				
Block tipo U	82	Q5.39	Q441.98				
			Subtotal				Q441.98
<b>Mortero pega</b>							
Descripción	Cantidad	U. compra	Costo unitario	Costo total			
Pegablock	1.1 Sacos	Sacos	Q52.08	Q58.30			
Arena	0.3 M <sup>3</sup>	M <sup>3</sup>	Q110.00	Q33.00			
			Subtotal	Q91.30			
<b>Resumen de materiales</b>							
Concreto	Q507.61						
Acero	Q549.49						
Block U14x19x39	Q441.98						
Mortero de pegablock	Q91.30						
<b>Total de materiales</b>	<b>Q1,590.38</b>						

### 15.1.6 Soleras

Para esta casa de 30 m<sup>2</sup> se utilizarán tres soleras fundidas. Estas son:

- Solera de humedad
- Solera de corona
- Solera intermedia

**Tabla 69:** Cuantificación de éstas de acuerdo a las especificaciones generales para la construcción AGIES NR-4. Repello de paredes

Longitud unitaria	32.8	No. de soleras	3
longitud total	98.4	Espesor de block	0.025
Lado 1	0.2	Cantidad de pines	2
Lado 2	0.15	No. acero pines	3
Espaciado de estribos	N/A	No. Acero estribos	2
Espaciado de eslabones	0.2	No. acero eslabones	N/A
Tipo de concreto	3000 PSI	M2 de solera	19.68

**Materiales**

**Acero**

Descripción	Cantidad de unidades	Long.	Unidad	Var./qq	Lon. Var.	QQ	Costo unitario	Costo total
Acero de refuerzo pines	2	98.4	MI	13	5.7	2.66	Q513.00	Q1,362.46
Acero de estribos	491	0.23	MI	30	6	0.63	Q513.00	Q321.85
Alambre de amarre	16	0.01	Lb	1	1	0.16	Q4.5	Q0.72

Subtotal Q1,685.03

**Concreto**

Descripción	Proporciones	Cantidad	Unidad	Cant. compra	Costo unitario	Costo total
Cemento	22%	0.65	M <sup>3</sup>	22.94 Sacos	Q53.00	Q1,215.73
Grava	44%	1.3	M <sup>3</sup>	1.30 M <sup>3</sup>	Q180.00	Q233.80
Arena	66%	1.95	M <sup>3</sup>	1.95 M <sup>3</sup>	Q133.93	Q260.94

Subtotal Q1,710.46

**Formaleta**

Descripción	Lados	Lado	Cantidad	Unidad	Usos	Costo unitario	Costo total
Formaleta para columnas	2	2	29.52	M <sup>2</sup>	4	Q5.30	Q890.40

**Resumen de materiales**

Concreto	Q1,710.46
Acero	Q1,685.03
Formaleta	Q890.40
<b>Total de materiales</b>	<b>Q4,282.89</b>

Éste será el único acabado que se realizará a los muros interiores y exteriores ya que de igual manera éste se llevó a cabo con los paneles actuales de bambú, revestidos de Sabieta.

Al igual que la integración de la casa de mampostería ésta solo incluirá los materiales y no incluye mano de obra, herramientas ni otro gasto adicional a la aplicación del repello

**Tabla 70:** Materiales para el repello + cernido en muros interiores y exteriores  
Cantidad total 157 m2

Descripción	Unidad	Q. Unitario	Cantidad	Q. Total
Cemento Pegablock	Saco	53.00	20.00	1,060.00
Arena de río	M <sup>3</sup>	133.93	3.10	415.18
Agua	Lt	0.05	450.00	22.50
Cantidad materiales			Q.	1,497.68

### 15.1.7 Integración de materiales, y el costo

**Tabla 71:** Techo de lámina, casa de mampostería

Descripción	Cantidad	Unidad	Desperdicio	Cantidad real	Precio unitario	Precio total
Tijeras	6	uni	0%	6	Q 300.72	Q1,804.32
Costaneras	10	uni	0%	10	Q 106.69	Q1,066.90
Lámina cal 28 leg.	20	uni	0%	20	Q 109.5	Q2,190.00
Clavo de lámina	7	lb	5%	8	Q 9.25	Q74.00
Clavo de 2"	50	lb	5%	53	Q 6.44	Q341.32
Capote	6	uni	0%	6	Q 33.5	Q201.00
Sikaflex	3	uni	0%	3	Q 56.5	Q169.50
Total						Q5,847.04

### 15.1.8 Resumen costos casa de block

**Tabla 72:** Resumen del costo de la casa de mampostería.

Resumen de costos casa de Mampostería	
DESCRIPCIÓN	COSTO
Cimiento corrido	Q 2,512.13
Levantado block 14*19*39	Q 5,876.00
Soleras fundidas	Q 4,285.89
Soleras "U"	Q 1,590.38
Techo de lámina	Q 5,849.74
Repello de paredes	Q 1,497.68
<b>TOTAL</b>	<b>Q 21,611.82</b>

Tabla 73: Resumen total de los materiales de cuantificación

Resumen de materiales	Costo total
Arena	Q1,294.90
Cemento	Q4,546.73
Grava	Q631.72
Agua	Q22.50
Block U	Q441.98
Acero pines	Q2,308.85
Acero eslabones	Q581.42
Acero estribos	Q321.85
Tijeras	Q1,804.32
Costaneras	Q1,069.60
Sikaflex	Q169.50
Clavo 2"	Q341.32
Clavo de lámina	Q74.00
Tablas	Q890.40
Block 14X19X39	Q4,654.32
Lamina cal.28	Q2,190.00
Capote	Q201.00
Alambre de amarre	Q67.41
<b>Total</b>	<b>Q21,611.82</b>

## 15.2 Integración de costos de casa de bambú

### 15.2.1 Cimiento corrido

Tabla 74: Cuantificación cimiento

<b>EXCAVACIÓN</b>				
<b>Cantidad</b>	<b>Un.</b>	<b>C.E.</b>	<b>Volumen</b>	<b>Un.</b>
8.952	M3	1.4	12.5328	M3
<b>CONCRETO CICLOPEO</b>				
<b>Descripción</b>	<b>%</b>	<b>Desp.</b>	<b>Cantidad</b>	
Arena de río	50%	10%	1.54	
Piedra bola	100%	10%	3.08	
Cemento UGC	10%	5%	10.38	

**RELLENO**

Cantidad	Un.	C.C.	Volumen	Un.
5.968	M3	1.4	8.3552	M3

**15.2.2 Mortero para repello**

Tabla 75: Cuantificación repello

**MORTERO PARA RECUBRIMIENTO**

Descripción	%	Desp	Cantidad	Un.
Arena de río	100%	30%	2.78382	M <sup>3</sup>
Cemento pegablock	25%	20%	22.69	Sacos

**15.2.3 Integración de áreas en paneles**

Tabla 76: Integración de áreas en paneles

CÓDIGO	CANT	DESCRIPCIÓN	MEDIDAS		Área Ventanas	Área Puertas	Área a Repellar
			LARGO	ALTO			
D3, T4	2	Panel D3,T4	2.7	2.4			6.48
F2	2	Panel F2	2.7	2.4	1.44		5.04
T3	1	Panel T3	2.7	2.4			6.48
T5	1	Panel T5	2.7	2.4		1.79	4.70
F3	1	Panel F3	2.25	2.4	1.44	1.79	2.18
F1	1	Panel F1	2.25	2.4	1.44	1.79	2.18
T6	2	Panel T6	2.25	2.4		1.79	3.62
I1	1	Panel I1	2.1	2.4			5.04
T1	1	Panel T1	2.1	2.4			5.04
D1	1	Panel D1	2.1	2.4			5.04
I2	1	Panel I2	1.8	2.4			4.32
D2	1	Panel D2	1.2	2.4	0.42		2.46
T2	1	Panel T2	1.15	2.4		1.79	0.98
<b>TOTAL</b>							<b>53.54</b>

### 15.2.4 Integración de costos por panel

Tabla 77: Paneles terminados de proveedor

CÓDIGO	CANT	DESCRIPCIÓN	MEDIDAS		PRECIO	IVA	COSTO UN.	TOTAL
			LARGO	ALTO				
	880	Esterilla	2.7	0.025	Q4.20	Q0.50	Q4.70	Q4,139.52
D3, T4	2	Panel D3,T4	2.7	2.4	Q481.50	Q57.78	Q539.28	Q1,078.56
F2	2	Panel F2	2.7	2.4	Q434.50	Q52.14	Q486.64	Q973.28
T3	1	Panel T3	2.7	2.4	Q499.00	Q59.88	Q558.88	Q558.88
T5	1	Panel T5	2.7	2.4	Q423.00	Q50.76	Q473.76	Q473.76
F3	1	Panel F3	2.25	2.4	Q335.50	Q40.26	Q375.76	Q375.76
F1	1	Panel F1	2.25	2.4	Q335.50	Q40.26	Q375.76	Q375.76
T6	2	Panel T6	2.25	2.4	Q400.00	Q48.00	Q448.00	Q896.00
I1	1	Panel I1	2.1	2.4	Q446.50	Q53.58	Q500.08	Q500.08
T1	1	Panel T1	2.1	2.4	Q405.00	Q48.60	Q453.60	Q453.60
D1	1	Panel D1	2.1	2.4	Q444.00	Q53.28	Q497.28	Q497.28
I2	1	Panel I2	1.8	2.4	Q385.00	Q46.20	Q431.20	Q431.20
D2	1	Panel D2	1.2	2.4	Q329.50	Q39.54	Q369.04	Q369.04
T2	1	Panel T2	1.15	2.4	Q260.00	Q31.20	Q291.20	Q291.20
Tijeras	7	Tijeras	6.1		Q268.50	Q32.22	Q300.72	Q2,105.04
Costanera	10	Costaneras	0.6096		Q95.50	Q11.46	Q106.96	Q1,069.60
		<b>TOTAL</b>						<b>Q14,588.56</b>

Debido al costo del proveedor y la dificultad en el transporte de los paneles se trabajara bajo un modelo de integración unitaria de costo, pues el costo de mano de obra del proveedor es contemplado en el ahorro del flete.

Tabla 78: Costo panel D-1

### PARALES

<i>Pie tablar sección</i>	<i>P.T. total</i>	<i>C. Unitario</i>	<i>Costo total</i>
0.3	10.7	Q 9.00	Q 96.00

### TENDALES

<i>Pie tablar sección</i>	<i>P.T. total</i>	<i>C. Unitario</i>	<i>Costo total</i>
0.3	4.7	Q 9.00	Q 42.00

### SILLARES Y DINTELES

<i>Pie tablar sección</i>	<i>P.T. total</i>	<i>C. Unitario</i>	<i>Costo total</i>
0.3		Q 9.00	

### ESTEARILLA

<i>Unidades</i>	<i>C. Unitario</i>	<i>Costo total</i>
49	Q 4.70	Q 230.30

### CLAVOS

<i>Unidades</i>	<i>C. Unitario</i>	<i>Costo total</i>	<i>L.</i>
196	Q 0.05	Q 9.80	1 1/2"
18	Q 0.10	Q 1.80	3"

### PEGAMENTO

<i>Unidades</i>	<i>C. Unitario</i>	<i>Costo total</i>
18	Q 0.50	Q 9.00

### RESUMEN

<i>Descripción</i>	<i>Formato</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Un.</i>
Parales	2X2X8		4 U
Tendales	2X2X7		2 U
Sillar y dintel	2X2X3		U
Estearilla	2.70mX1in		49 U
Clavos	1 1/2"		1.96 Lb.
Clavos	3"		0.36 Lb.
Cola blanca	1/16 Gal		0.9 U

**Tabla 79:** Costo panel D-2

PARALES					
<i>Pie tablar sección</i>	<i>P.T. total</i>	<i>C. Unitario</i>		<i>Costo total</i>	
0.3	8.0	Q	9.00	Q	72.00

TENDALES					
<i>Pie tablar sección</i>	<i>P.T. total</i>	<i>C. Unitario</i>		<i>Costo total</i>	
0.3	2.7	Q	9.00	Q	24.00

SILLARES Y DINTELES					
<i>Pie tablar sección</i>	<i>P.T. total</i>	<i>C. Unitario</i>		<i>Costo total</i>	
0.3	2	Q	9.00		\$18.00

ESTEARILLA					
<i>Unidades</i>		<i>C. Unitario</i>		<i>Costo total</i>	
25	Q	4.70	Q	117.50	

CLAVOS					
<i>Unidades</i>		<i>C. Unitario</i>	<i>Costo total</i>	<i>L.</i>	
75	Q	0.05	Q	3.75	1 1/2"
21	Q	0.10	Q	2.10	3"

PEGAMENTO					
<i>Unidades</i>		<i>C. Unitario</i>		<i>Costo total</i>	
21	Q	0.50	Q	10.50	

RESUMEN					
<i>Descripción</i>	<i>Formato</i>	<i>Cantidad</i>		<i>Un.</i>	
Parales	2X2X8			3	U
Tendales	2X2X4			2	U
Sillar y dintel	2X2X3			2	U
Estearilla	2.70mX1in			25	U
Clavos	1 1/2"			0.75	Lb.
Clavos	3"			0.42	Lb.
Cola blanca	1/16 Gal			1.05	U

Tabla 80: Costo panel D-3

PARALES			
<i>Pie tablar sección</i>	<i>P.T. total</i>	<i>C. Unitario</i>	<i>Costo total</i>
0.3	10.7	Q9.00	Q96.00

TENDALES			
<i>Pie tablar sección</i>	<i>P.T. total</i>	<i>C. Unitario</i>	<i>Costo total</i>
0.3	6	Q9.00	Q54.00

ESTEARILLA			
<i>Unidades</i>	<i>C. Unitario</i>	<i>Costo total</i>	
49	Q4.70	Q230.30	

CLAVOS DE 1 1/2"			
<i>Unidades</i>	<i>C. Unitario</i>	<i>Costo total</i>	<i>L.</i>
196	Q0.05	Q9.80	1 1/2"
18	Q0.10	Q1.80	3"

PEGAMENTO			
<i>Unidades</i>	<i>C. Unitario</i>	<i>Costo total</i>	
18	Q0.50	Q9.00	

RESUMEN			
<i>Descripción</i>	<i>Formato</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Un.</i>
Parales	2X2X8	4	U
Tendales	2X2X9	2	U
Estearilla	2.70mX1in	49	U
Clavos	1 1/2"	1.96	Lb.
Clavos	3"	0.36	Lb.
Cola blanca	1/16 Gal	0.9	U

**Tabla 81:** Costo panel F-1

PARALES					
<i>Pie tablar sección</i>	<i>P.T. total</i>	<i>C. Unitario</i>		<i>Costo total</i>	
0.3	10.7	Q	9.00	Q	96.00

TENDALES					
<i>Pie tablar sección</i>	<i>P.T. total</i>	<i>C. Unitario</i>		<i>Costo total</i>	
0.3	8.0	Q	9.00	Q	72.00

SILLARES Y DINTELES					
<i>Pie tablar sección</i>	<i>P.T. total</i>	<i>C. Unitario</i>		<i>Costo total</i>	
0.3	1	Q	9.00	Q9.00	

ESTEARILLA					
<i>Unidades</i>	<i>C. Unitario</i>		<i>Costo total</i>		
49	Q	4.70	Q	230.30	

CLAVOS					
<i>Unidades</i>	<i>C. Unitario</i>		<i>Costo total</i>	<i>L.</i>	
196	Q	0.05	Q	9.80	1 1/2"
24	Q	0.10	Q	2.40	3"

PEGAMENTO					
<i>Unidades</i>	<i>C. Unitario</i>		<i>Costo total</i>		
24	Q	0.50	Q	12.00	

RESUMEN					
<i>Descripción</i>	<i>Formato</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Un.</i>		
Parales	2X2X8		4 U		
Tendales	2X2X8		3 U		
Sillar y dintel	2X2X3		1 U		
Estearilla	2.70mX1in		49 U		
Clavos	1 1/2"		1.96 Lb.		
Clavos	3"		0.48 Lb.		
Cola blanca	1/16 Gal		1.2 U		

**Tabla 82:** Costo panel F-2

PARALES					
<i>Pie tablar sección</i>	<i>P.T. total</i>	<i>C. Unitario</i>			<i>Costo total</i>
0.3	10.7	Q 9.00			Q 96.00

TENDALES					
<i>Pie tablar sección</i>	<i>P.T. total</i>	<i>C. Unitario</i>			<i>Costo total</i>
0.3	6.0	Q 9.00			Q 54.00

SILLARES Y DINTELES					
<i>Pie tablar sección</i>	<i>P.T. total</i>	<i>C. Unitario</i>			<i>Costo total</i>
0.3	2.67	Q 9.00			Q 24.00

ESTEARILLA					
<i>Unidades</i>	<i>C. Unitario</i>	<i>Costo total</i>			
49	Q 4.70	Q 230.30			

CLAVOS					
<i>Unidades</i>	<i>C. Unitario</i>	<i>Costo total</i>	<i>L.</i>		
196	Q 0.05	Q 9.80	1 1/2"		
24	Q 0.10	Q 2.40	3"		

PEGAMENTO					
<i>Unidades</i>	<i>C. Unitario</i>	<i>Costo total</i>			
24	Q 0.50	Q 12.00			

RESUMEN					
<i>Descripción</i>	<i>Formato</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Un.</i>		
Parales	2X2X8		4 U		
Tendales	2X2X9		2 U		
Sillar y dintel	2X2X4		2 U		
Estearilla	2.70mX1in		49 U		
Clavos	1 1/2"		1.96 Lb.		
Clavos	3"		0.48 Lb.		
Cola blanca	1/16 Gal		1.2 U		

**Tabla 83:** Costo panel F-3

PARALES					
<i>Pie tablar sección</i>	<i>P.T. total</i>	<i>C. Unitario</i>		<i>Costo total</i>	
0.3	10.7	Q	9.00	Q	96.00

TENDALES					
<i>Pie tablar sección</i>	<i>P.T. total</i>	<i>C. Unitario</i>		<i>Costo total</i>	
0.3	5.3	Q	9.00	Q	48.00

SILLARES Y DINTELES					
<i>Pie tablar sección</i>	<i>P.T. total</i>	<i>C. Unitario</i>		<i>Costo total</i>	
0.3	1	Q	9.00	Q	9.00

ESTEARILLA					
<i>Unidades</i>	<i>C. Unitario</i>	<i>Costo total</i>			
49	Q	4.70	Q	230.30	

CLAVOS					
<i>Unidades</i>	<i>C. Unitario</i>	<i>Costo total</i>	<i>L.</i>		
196	Q	0.05	Q	9.80	1 1/2"
21	Q	0.10	Q	2.10	3"

PEGAMENTO					
<i>Unidades</i>	<i>C. Unitario</i>	<i>Costo total</i>			
21	Q	0.50	Q	10.50	

RESUMEN					
<i>Descripción</i>	<i>Formato</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Un.</i>		
Parales	2X2X8		4	U	
Tendales	2X2X8		2	U	
Sillar y dintel	2X2X3		1	U	
Estearilla	2.70mX1in		49	U	
Clavos	1 1/2"		1.96	Lb.	
Clavos	3"		0.42	Lb.	
Cola blanca	1/16 Gal		1.05	U	

**Tabla 84:** Costo panel I-1

PARALES					
<i>Pie tablar sección</i>	<i>P.T. total</i>	<i>C. Unitario</i>	<i>Costo total</i>		
0.3	10.7 Q	9.00	Q	96.00	

TENDALES					
<i>Pie tablar sección</i>	<i>P.T. total</i>	<i>C. Unitario</i>	<i>Costo total</i>		
0.3	4.7 Q	9.00	Q	42.00	

SILLARES Y DINTELES					
<i>Pie tablar sección</i>	<i>P.T. total</i>	<i>C. Unitario</i>	<i>Costo total</i>		
0.3		Q 9.00			

ESTEARILLA					
<i>Unidades</i>	<i>C. Unitario</i>	<i>Costo total</i>			
49 Q	4.70 Q	230.30			

CLAVOS					
<i>Unidades</i>	<i>C. Unitario</i>	<i>Costo total</i>	<i>L.</i>		
196 Q	0.05 Q	9.80	1 1/2"		
18 Q	0.10 Q	1.80	3"		

PEGAMENTO					
<i>Unidades</i>	<i>C. Unitario</i>	<i>Costo total</i>			
18 Q	0.50 Q	9.00			

RESUMEN					
<i>Descripción</i>	<i>Formato</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Un.</i>		
Parales	2X2X8		4	U	
Tendales	2X2X7		2	U	
Sillar y dintel	2X2X3			U	
Estearilla	2.70mX1in		49	U	
Clavos	1 1/2"		1.96	Lb.	
Clavos	3"		0.36	Lb.	
Cola blanca	1/16 Gal		0.9	U	

Tabla 85: Costo panel I-2

PARALES			
<i>Pie tablar sección</i>	<i>P.T. total</i>	<i>C. Unitario</i>	<i>Costo total</i>
0.3	8.0 Q	9.00	Q 72.00

TENDALES			
<i>Pie tablar sección</i>	<i>P.T. total</i>	<i>C. Unitario</i>	<i>Costo total</i>
0.3	4.0 Q	9.00	Q 36.00

SILLARES Y DINTELES			
<i>Pie tablar sección</i>	<i>P.T. total</i>	<i>C. Unitario</i>	<i>Costo total</i>
0.3		Q 9.00	

ESTEARILLA			
<i>Unidades</i>	<i>C. Unitario</i>	<i>Costo total</i>	
49 Q	4.70 Q	230.30	

CLAVOS			
<i>Unidades</i>	<i>C. Unitario</i>	<i>Costo total</i>	<i>L.</i>
147 Q	0.05 Q	7.35	1 1/2"
15 Q	0.10 Q	1.50	3"

PEGAMENTO			
<i>Unidades</i>	<i>C. Unitario</i>	<i>Costo total</i>	
15 Q	0.50 Q	7.50	

RESUMEN			
<i>Descripción</i>	<i>Formato</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Un.</i>
Parales	2X2X8		3 U
Tendales	2X2X6		2 U
Sillar y dintel	2X2X3		U
Estearilla	2.70mX1in		49 U
Clavos	1 1/2"		1.47 Lb.
Clavos	3"		0.3 Lb.
Cola blanca	1/16 Gal		0.75 U

**Tabla 86:** Costo panel T-1

PARALES					
<i>Pie tablar sección</i>	<i>P.T. total</i>	<i>C. Unitario</i>			<i>Costo total</i>
0.3	10.7	Q	9.00		Q 96.00

TENDALES					
<i>Pie tablar sección</i>	<i>P.T. total</i>	<i>C. Unitario</i>			<i>Costo total</i>
0.3	4.7	Q	9.00		Q 42.00

SILLARES Y DINTELES					
<i>Pie tablar sección</i>	<i>P.T. total</i>	<i>C. Unitario</i>			<i>Costo total</i>
0.3		Q	9.00		

ESTEARILLA					
<i>Unidades</i>	<i>C. Unitario</i>	<i>Costo total</i>			
49	Q	4.70	Q	230.30	

CLAVOS					
<i>Unidades</i>	<i>C. Unitario</i>	<i>Costo total</i>	<i>L.</i>		
196	Q	0.05	Q	9.80	1 1/2"
18	Q	0.10	Q	1.80	3"

PEGAMENTO					
<i>Unidades</i>	<i>C. Unitario</i>	<i>Costo total</i>			
18	Q	0.50	Q	9.00	

RESUMEN					
<i>Descripción</i>	<i>Formato</i>	<i>Cantidad</i>			<i>Un.</i>
Parales	2X2X8				4 U
Tendales	2X2X7				2 U
Sillar y dintel	2X2X3				U
Estearilla	2.70mX1in				49 U
Clavos	1 1/2"				1.96 Lb.
Clavos	3"				0.36 Lb.
Cola blanca	1/16 Gal				0.9 U

**Tabla 87:** Costo panel T-2

PARALES					
<i>Pie tablar sección</i>	<i>P.T. total</i>	<i>C. Unitario</i>			<i>Costo total</i>
0.3	8.0 Q	9.00	Q		72.00
TENDALES					
<i>Pie tablar sección</i>	<i>P.T. total</i>	<i>C. Unitario</i>			<i>Costo total</i>
0.3	2.7 Q	9.00	Q		24.00
SILLARES Y DINTELES					
<i>Pie tablar sección</i>	<i>P.T. total</i>	<i>C. Unitario</i>			<i>Costo total</i>
0.3	0.67 Q	9.00	Q		6.00
ESTEARILLA					
<i>Unidades</i>	<i>C. Unitario</i>	<i>Costo total</i>			
25 Q	4.70 Q	Q	117.50		
CLAVOS					
<i>Unidades</i>	<i>C. Unitario</i>	<i>Costo total</i>	<i>L.</i>		
75 Q	0.05 Q	3.75 Q	1 1/2"		
18 Q	0.10 Q	1.80 Q	3"		
PEGAMENTO					
<i>Unidades</i>	<i>C. Unitario</i>	<i>Costo total</i>			
18 Q	0.50 Q	Q	9.00		
RESUMEN					
<i>Descripción</i>	<i>Formato</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Un.</i>		
Parales	2X2X8		3 U		
Tendales	2X2X4		2 U		
Sillar y dintel	2X2X2		1 U		
Estearilla	2.70mX1in		25 U		
Clavos	1 1/2"		0.75 Lb.		
Clavos	3"		0.36 Lb.		
Cola blanca	1/16 Gal		0.9 U		

**Tabla 88:** Costo panel T-3

PARALES					
<i>Pie tablar sección</i>	<i>P.T. total</i>	<i>C. Unitario</i>			<i>Costo total</i>
0.3	13.3	Q	9.00	Q	120.00

TENDALES					
<i>Pie tablar sección</i>	<i>P.T. total</i>	<i>C. Unitario</i>			<i>Costo total</i>
0.3	6.0	Q	9.00	Q	54.00

SILLARES Y DINTELES					
<i>Pie tablar sección</i>	<i>P.T. total</i>	<i>C. Unitario</i>			<i>Costo total</i>
0.3	2.7	Q	9.00	Q	24.00

ESTEARILLA					
<i>Unidades</i>	<i>C. Unitario</i>	<i>Costo total</i>			
49	Q	4.70	Q	230.30	

CLAVOS					
<i>Unidades</i>	<i>C. Unitario</i>	<i>Costo total</i>	<i>L.</i>		
245	Q	0.05	Q	12.25	1 1/2"
27	Q	0.10	Q	2.70	3"

PEGAMENTO					
<i>Unidades</i>	<i>C. Unitario</i>	<i>Costo total</i>			
27	Q	0.50	Q	13.50	

RESUMEN					
<i>Descripción</i>	<i>Formato</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Un.</i>		
Parales	2X2X8		5	U	
Tendales	2X2X9		2	U	
Sillar y dintel	2X2X4		2	U	
Estearilla	2.70mX1in		49	U	
Clavos	1 1/2"		2.45	Lb.	
Clavos	3"		0.54	Lb.	
Cola blanca	1/16 Gal		1.35	U	

Tabla 89: Costo panel T-4

PARALES			
Pie tablar sección	P.T. total	C. Unitario	Costo total
0.3	10.7	Q9.00	Q96.00

TENDALES			
Pie tablar sección	P.T. total	C. Unitario	Costo total
0.3	6	Q9.00	Q54.00

ESTEARILLA		
Unidades	C. Unitario	Costo total
49	Q4.70	Q230.30

CLAVOS DE 1 1/2"			
Unidades	C. Unitario	Costo total	L.
196	Q0.05	Q9.80	1 1/2"
18	Q0.10	Q1.80	3"

PEGAMENTO		
Unidades	C. Unitario	Costo total
18	Q0.50	Q9.00

RESUMEN			
Descripción	Formato	Cantidad	Un.
Parales	2X2X8	4	U
Tendales	2X2X9	2	U
Estearilla	2.70mX1in	49	U
Clavos	1 1/2"	1.96	Lb.
Clavos	3"	0.36	Lb.
Cola blanca	1/16 Gal	0.9	U

**Tabla 90:** Costo panel T-5**PARALES**

<i>Pie tablar sección</i>	<i>P.T. total</i>	<i>C. Unitario</i>	<i>Costo total</i>
0.3	10.7 Q	9.00	Q 96.00

**TENDALES**

<i>Pie tablar sección</i>	<i>P.T. total</i>	<i>C. Unitario</i>	<i>Costo total</i>
0.3	6.0 Q	9.00	Q 54.00

**SILLARES Y DINTELES**

<i>Pie tablar sección</i>	<i>P.T. total</i>	<i>C. Unitario</i>	<i>Costo total</i>
0.3	1 Q	9.00	Q 9.00

**ESTEARILLA**

<i>Unidades</i>	<i>C. Unitario</i>	<i>Costo total</i>
49 Q	4.70 Q	230.30

**CLAVOS**

<i>Unidades</i>	<i>C. Unitario</i>	<i>Costo total</i>	<i>L.</i>
196 Q	0.05 Q	9.80	1 1/2"
21 Q	0.10 Q	2.10	3"

**PEGAMENTO**

<i>Unidades</i>	<i>C. Unitario</i>	<i>Costo total</i>
21 Q	0.50 Q	10.50

**RESUMEN**

<i>Descripción</i>	<i>Formato</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Un.</i>
Parales	2X2X8	4	U
Tendales	2X2X9	2	U
Sillar y dintel	2X2X3	1	U
Estearilla	2.70mX1in	49	U
Clavos	1 1/2"	1.96	Lb.
Clavos	3"	0.42	Lb.
Cola blanca	1/16 Gal	1.05	U

**Tabla 91:** Costo panel T-6**PARALES**

<i>Pie tablar sección</i>	<i>P.T. total</i>	<i>C. Unitario</i>	<i>Costo total</i>
0.3	10.7 Q	9.00	Q 96.00

**TENDALES**

<i>Pie tablar sección</i>	<i>P.T. total</i>	<i>C. Unitario</i>	<i>Costo total</i>
0.3	5.3 Q	9.00	Q 48.00

**SILLARES Y DINTELES**

<i>Pie tablar sección</i>	<i>P.T. total</i>	<i>C. Unitario</i>	<i>Costo total</i>
0.3	1 Q	9.00	Q 9.00

**ESTEARILLA**

<i>Unidades</i>	<i>C. Unitario</i>	<i>Costo total</i>
49 Q	4.70 Q	230.30

**CLAVOS**

<i>Unidades</i>	<i>C. Unitario</i>	<i>Costo total</i>	<i>L.</i>
196 Q	0.05 Q	9.80	1 1/2"
21 Q	0.10 Q	2.10	3"

**PEGAMENTO**

<i>Unidades</i>	<i>C. Unitario</i>	<i>Costo total</i>
21 Q	0.50 Q	10.50

**RESUMEN**

<i>Descripción</i>	<i>Formato</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Un.</i>
Parales	2X2X8		4 U
Tendales	2X2X8		2 U
Sillar y dintel	2X2X3		1 U
Estearilla	2.70mX1in		49 U
Clavos	1 1/2"		1.96 Lb.
Clavos	3"		0.42 Lb.
Cola blanca	1/16 Gal		1.05 U

Tabla 92: Tijeras para techo

<i>Código</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Unidad</i>	<i>Sección</i>	<i>Longitud</i>
E 1-2	2	U	12	11
E 3	2	U	12	9
E 4-5	2	U	12	3
E 6	1	U	12	3

## ELEMENTOS

<i>Código</i>	<i>Pie tablar sección</i>	<i>P.T. Total</i>	<i>C. Unitario</i>	<i>Costo total</i>
E 1-2	1.0	22	Q5.00	Q110.00
E 3	1.0	18	Q5.00	Q90.00
E 4-5	1.0	6	Q5.00	Q30.00
E 6	1.0	3	Q5.00	Q15.00

## CLAVOS

<i>Unidades</i>	<i>C. Unitario</i>	<i>Costo total</i>	<i>L.</i>
21	Q0.10	Q2.10	3"

## PEGAMENTO

<i>Unidades</i>	<i>C. Unitario</i>	<i>Costo total</i>
21	Q0.50	Q10.50

## RESUMEN

<i>Descripción</i>	<i>Formato</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Un.</i>
Parales	3X4X11	2	U
Parales	3X4X9	2	U
Parales	3X4X3	2	U
Parales	3X4X3	1	U
Clavos	3"	0.42	Lb.
Cola blanca	1/16 Gal	1.05	U

Tabla 93: Costaneras

<i>Código</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Unidad</i>	<i>Sección</i>	<i>Longitud</i>
E 1-2	2	U	6	11

## ELEMENTOS

<i>Código</i>	<i>Pie tablar sección</i>	<i>P.T. Total</i>	<i>C. Unitario</i>	<i>Costo total</i>
E 1-2	0.5	11	Q5.00	Q55.00

## CLAVOS

<i>Unidades</i>	<i>C. Unitario</i>	<i>Costo total</i>	<i>L.</i>
6	Q0.20	Q1.20	4"

## RESUMEN

<i>Descripción</i>	<i>Formato</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Un.</i>
Parales	3X4X11	2	U
Clavos	4"	0.12	Lb.

**15.2.5 Costos unitarios para integración.** Para el cálculo del precio total de la casa de bambú se procedió a cotizar en distintas empresas de venta de materiales de construcción, de las cuales se escogieron aquellas con mejores precios de mercado y disponibilidad para despacho inmediato.

Para la integración del costo de la casa de adobe se investigó por medio de trabajadores de la construcción, tales como maestro de obras o albañiles con conocimientos arriba de la media, los cuales pudieron proporcionar un estimado del costo del adobe, sobretodo en el área de Chimaltenango.

**Tabla 94:** Costo de materiales

<i>Proveedor</i>	<i>Material</i>	<i>Costo 2008</i>
Monolit	Block de concreto de 35Kg/cm2 con dimensiones de 19X19X39	Q3.71
Monolit	Block U de concreto de 35Kg/cm2 con dimensiones de 19X19X39	Q3.90
Lignum	Pie tablar de pino rústico	Q4.50
Lignum	Pie tablar de pino tratado	Q9.00
Ferrominera	Quintal de clavo	Q650.00
Ferrominera	Quintal de acero	Q600.00
DIDISA	Quintal de clavo de lámina	Q700.00
Cementos Progreso	Saco cemento	Q54.50
Cementos Progreso	Saco pegablock	Q43.60
AGREGUA	Metro cúbico arena	Q110.00
AGREGUA	Metro cúbico de piedrín	Q170.00
DIDISA	Pie de lamina calibre 28 legitima	Q9.50
DIDISA	Pie de capote	Q33.50
Sika	Sikaflex	Q50.00
Ferrominera	Malla de gallinero común	Q12.00
Derick Calderón	Estearilla	Q4.70

## 15.2.6 Integración de costo casa de bambú

Tabla 95: Integración de costo casa de bambú, proveedor de paneles

### INTEGRACIÓN DE COSTO CASA DE BAMBÚ

Con precios del Proveedor de Paneles



DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	DESPERDICIO	ORDEN	COSTO UN	COSTO TOT
Block	188.00	5%	198.00	Q 3.81	Q 753.39
Pegablock	34.73	5%	37.00	Q 43.60	Q 1,613.20
Arena	3.93	5%	4.20	Q 110.00	Q 462.00
Grava 3/8"	0.57	0%	0.60	Q 170.00	Q 102.00
Cemento UGC	7.00	0%	7.00	Q 54.50	Q 381.50
Pernos	38.00	0%	38.00	Q 20.00	Q 760.00
Panel I1	2.00	0%	2.00	Q 500.08	Q 1,000.16
Panel I2	1.00	0%	1.00	Q 491.20	Q 491.20
Panel F1	1.00	0%	1.00	Q 375.76	Q 375.76
Panel F2	2.00	0%	2.00	Q 539.38	Q 1,078.76
Panel F3	1.00	0%	1.00	Q 448.70	Q 448.70
Panel D1	1.00	0%	1.00	Q 500.08	Q 500.08
Panel D2	1.00	0%	1.00	Q 369.04	Q 369.04
Panel D3	1.00	0%	1.00	Q 473.76	Q 473.76
Panel T1	1.00	0%	1.00	Q 500.08	Q 500.08
Panel T2	1.00	0%	1.00	Q 291.20	Q 291.20
Panel T3	1.00	0%	1.00	Q 558.00	Q 558.00
Panel T4	1.00	0%	1.00	Q 473.76	Q 473.76
Panel T5	1.00	0%	1.00	Q 486.64	Q 486.64
Panel T6	1.00	0%	1.00	Q 375.76	Q 375.76
Estearilla	880.00	0%	880.00	Q 4.70	Q 4,136.00
Tijeras	7.00	0%	7.00	Q 300.72	Q 2,105.04
Costaneras	10.00	0%	10.00	Q 106.96	Q 1,069.60
Lámina cal 28 leg.	18.00	0%	18.00	Q 114.00	Q 2,052.00
Clavo de lámina	6.00	5%	7.00	Q 7.00	Q 49.00
Clavo de 2"	45.00	5%	48.00	Q 6.50	Q 312.00
Capote	6.00	0%	6.00	Q 33.50	Q 201.00
Sikaflex	2.00	0%	2.00	Q 50.00	Q 100.00
<b>TOTAL</b>				<b>Q 21,519.63</b>	

**Tabla 96:** Integración de costo casa de bambú, precios integrados**INTEGRACIÓN DE COSTO CASA DE BAMBÚ**

Con Precios Integrados



DESCRIPCION	CANTIDAD		COSTO UNITARIO		COSTO TOTAL
Pegablock	23.00	Q	43.60	Q	1,002.80
Arena	4.32	Q	110.00	Q	475.62
Piedra bola	3.08	Q	170.00	Q	523.60
Cemento UGC	11.00	Q	54.50	Q	599.50
Pernos	38.00	Q	20.00	Q	760.00
Panel I1	2.00	Q	388.90	Q	777.80
Panel I2	1.00	Q	354.65	Q	354.65
Panel F1	1.00	Q	431.50	Q	431.50
Panel F2	2.00	Q	428.50	Q	857.00
Panel F3	1.00	Q	405.70	Q	405.70
Panel D1	1.00	Q	388.90	Q	388.90
Panel D2	1.00	Q	247.85	Q	247.85
Panel D3	1.00	Q	400.90	Q	400.90
Panel T1	1.00	Q	388.90	Q	388.90
Panel T2	1.00	Q	234.05	Q	234.05
Panel T3	1.00	Q	456.75	Q	456.75
Panel T4	1.00	Q	400.90	Q	400.90
Panel T5	1.00	Q	411.70	Q	411.70
Panel T6	1.00	Q	405.70	Q	405.70
Tijeras	5.00	Q	257.60	Q	1,288.00
Costaneras	10.00	Q	56.20	Q	562.00
Lámina cal 28 leg.	18.00	Q	114.00	Q	2,052.00
Clavo de lámina	6.00	Q	7.00	Q	42.00
Clavo de 2"	45.00	Q	6.50	Q	292.50
Capote	6.00	Q	33.50	Q	201.00
Sikaflex	2.00	Q	50.00	Q	100.00
<b>TOTAL</b>					<b>Q 14,061.32</b>

### 15.3 Integración de costo casa de adobe reforzado con malla y mortero

Tabla 97: Costo casa de adobe reforzado con malla y mortero


#### COSTO CASA DE ADOBE REFORZADO CON MALLA Y MORTERO



DESCRIPCION	CANTIDAD	DESPERDICIO	ORDEN	COSTO UN	COSTO TOT
Adobes	1228.00	10%	1351.00	Q 1.20	Q 1,621.20
Barro	31.00	5%	33.00	Q 5.00	Q 165.00
Malla de gallinero	143.00	5%	151.00	Q 12.00	Q 1,812.00
Grapas	3575.00	10%	3933.00	Q 0.10	Q 393.30
Savieta	5.89	10%	6.49	Q 655.00	Q 4,250.95
Madera dintel	9.00		9.00	Q 25.00	Q 225.00
Tijeras	5.00		5.00	Q 257.60	Q 1,288.00
Costaneras	10.00		10.00	Q 56.20	Q 562.00
Lámina cal 28 leg.	18.00		18.00	Q 114.00	Q 2,052.00
Clavo de lámina	6.00	5%	7.00	Q 7.00	Q 49.00
Clavo de 2"	45.00	5%	48.00	Q 6.50	Q 312.00
Capote	6.00		6.00	Q 33.50	Q 201.00
Sikaflex	2.00		2.00	Q 50.00	Q 100.00
<b>TOTAL</b>					<b>Q 13,031.45</b>


### 15.4 Costos registrados por el banco de Guatemala

Tabla 98: Costos registrados por el banco de Guatemala

COSTOS REGISTRADOS POR EL BANCO DE GUATEMALA							
 BANCO DE GUATEMALA							
EN EL PERÍODO	ANGULAR LAMINADO EN FRÍO DE 20' X 1/8	LÁMINA GALVANIZADA DE 3' X 8' CALIBRE 20	MADERA DE PINO CEPILLADA	BLOCK DE POMEZ DE 15 X 20 X 40 CMS	LADRILLO TAYUYO DE 6.5 X 11 X 23 CMS	ARENA DE RÍO	CEMENTO
2000	Q562.15	Q660.24	Q833.33	Q554.76	Q1,180.14	Q1,117.87	Q758.29
2001	Q648.59	Q713.33	Q933.33	Q571.73	Q1,288.00	Q1,162.21	Q875.61
2002	Q669.92	Q788.33	Q985.71	Q583.23	Q1,329.57	Q1,306.00	Q882.93
2003	Q873.59	Q835.36	Q1,319.05	Q719.42	Q1,492.00	Q1,335.47	Q863.17
2004	Q1,186.86	Q1,426.79	Q1,102.38	Q763.34	Q1,848.00	Q1,642.56	Q956.10
2005	Q1,186.86	Q1,833.33	Q1,147.62	Q810.32	Q1,920.00	Q1,757.57	Q1,033.66
2006	Q1,280.93	Q1,837.92	Q1,250.00	Q871.47	Q1,920.00	Q1,759.89	Q1,150.49
2007	Q1,385.59	Q2,217.56	Q1,392.86	Q1,046.32	Q3,207.43	Q1,415.01	Q1,392.20

## 15.5 Incremento anual de costos

Tabla 99: Incremento anual de costos

INCREMENTO ANUAL DE COSTOS								 BANCO DE GUATEMALA
EN EL PERÍODO	ANGULAR LAMINADO EN FRÍO DE 20' X 1/8	LÁMINA GALVANIZADA DE 3' X 8' CALIBRE 20	MADERA DE PINO CEPILLADA	BLOCK DE POMEZ DE 15 X 20 X 40 CMS	LADRILLO TAYUYO DE 6.5 X 11 X 23 CMS	ARENA DE RÍO	CEMENTO	
2001	15.38%	8.04%	12.00%	3.06%	9.14%	3.97%	15.47%	
2002	3.29%	10.51%	5.61%	2.01%	3.23%	12.37%	0.84%	
2003	30.40%	5.97%	33.82%	23.35%	12.22%	2.26%	-2.24%	
2004	35.86%	70.80%	-16.43%	6.10%	23.86%	22.99%	10.77%	
2005	0.00%	28.49%	4.10%	6.15%	3.90%	7.00%	8.11%	
2006	7.93%	0.25%	8.92%	7.55%	0.00%	0.13%	11.30%	
2007	8.17%	20.66%	11.43%	20.06%	67.05%	-19.60%	21.01%	
Incremento Medio	14.43%	20.67%	8.49%	9.76%	17.06%	4.16%	9.32%	

(<http://www.banguat.gob.gt/>)

Si bien estos valores, en su descripción, no coinciden totalmente con cada uno de los renglones descritos en la integración de las casas, si abarcan el material de cada uno de los ellos.

Se hizo un promedio durante los últimos ocho años para tener un grado de precisión mayor en los valores proyectados de la vivienda de Bambú, pues ésta se verá afectada al alza de los precios de materiales. El año 2008 no se considera pues es un año con muchas alzas y bajas en los precios que desviarían el valor proyectado dando como resultado un costo erróneo.

## 15.6 Proyección de costo de casa de bambú

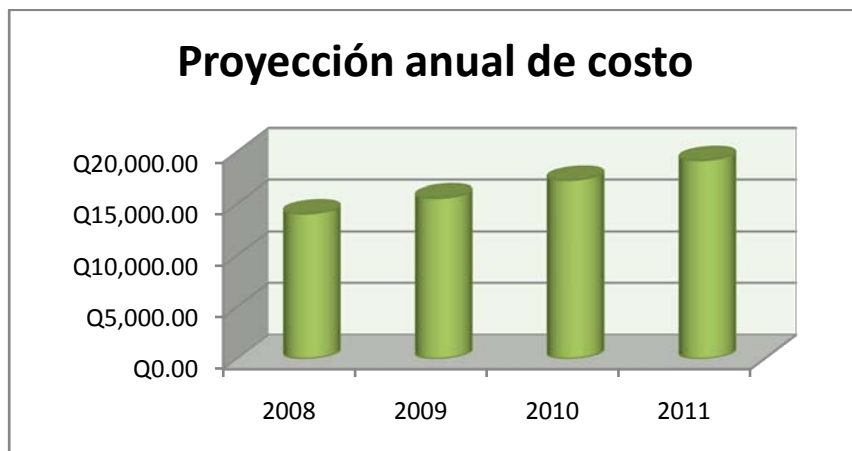
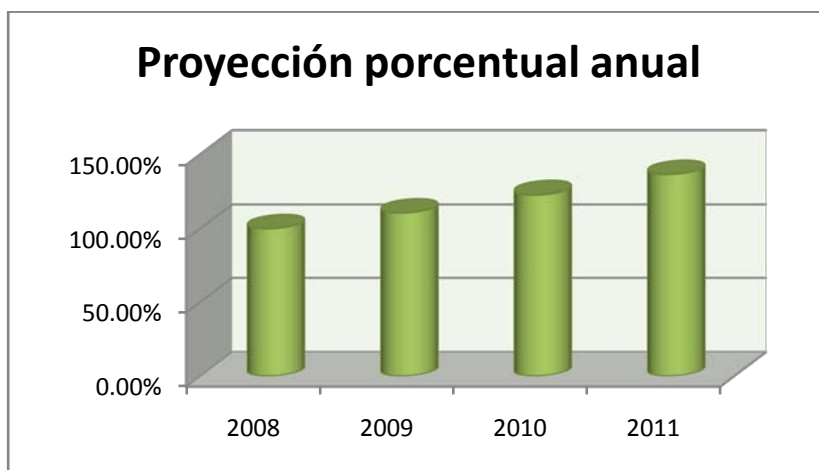
Tabla 100: Proyección de costo de casa de bambú de paneles integrados

MATERIAL	2008	2009	2010	2011
Agregados	Q 999.22	Q 1,040.80	Q 1,084.11	Q 1,129.22
Cementantes	Q 1,602.30	Q 1,751.68	Q 1,914.99	Q 2,093.52
Madera & bambu	Q 8,012.30	Q 8,692.85	Q 9,431.21	Q 10,232.28
Clavos & pernos	Q 1,094.50	Q 1,252.46	Q 1,433.21	Q 1,640.06
Lámina y capote	Q 2,253.00	Q 2,718.79	Q 3,280.88	Q 3,959.18
Otros	Q 100.00	Q 111.99	Q 125.41	Q 140.44
<b>TOTAL</b>	<b>Q 14,061.32</b>	<b>Q 15,568.57</b>	<b>Q 17,269.80</b>	<b>Q 19,194.69</b>

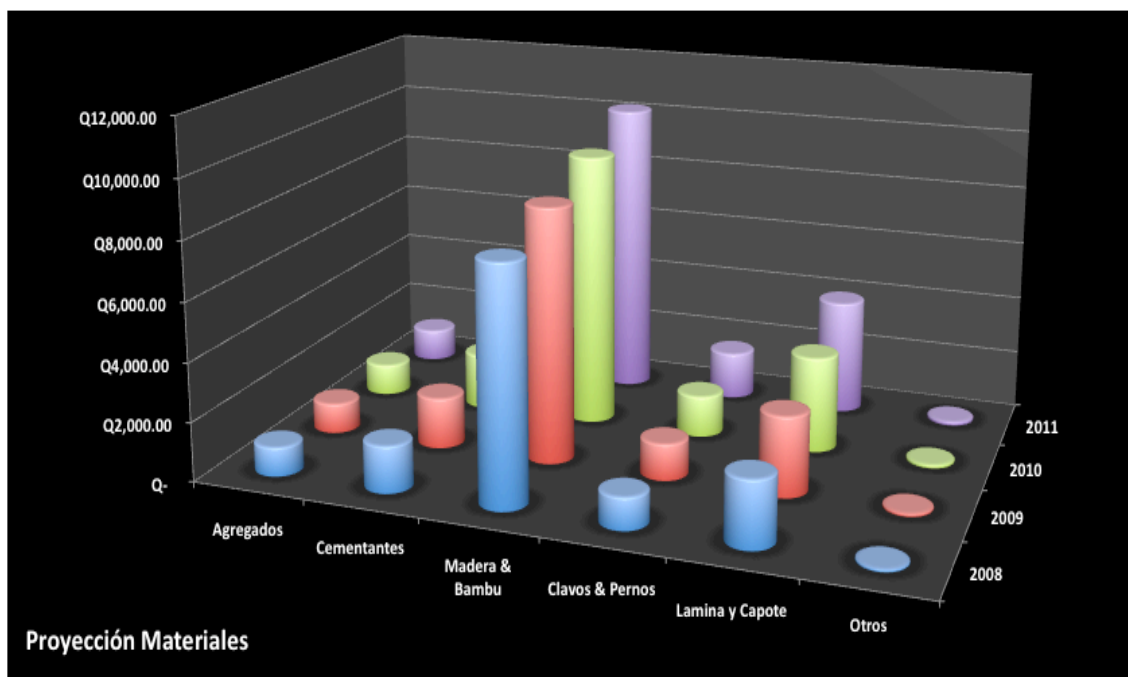
**Tabla 101:** Proyección de costo de casa de bambú de paneles integrados por material

MATERIAL	Monto Total	Inflación	Costo Proyectado		
		Annual	2009	2010	2011
Pegablock	Q 1,002.80	9.32%	Q 1,096.29	Q 1,198.49	Q 1,310.23
Arena	Q 475.62	4.16%	Q 495.41	Q 516.03	Q 537.50
Grava 3/8"	Q 523.60	4.16%	Q 545.39	Q 568.08	Q 591.72
Cemento UGC	Q 599.50	9.32%	Q 655.39	Q 716.49	Q 783.29
Paneles	Q 8,012.30	8.49%	Q 8,692.85	Q 9,431.21	Q 10,232.28
Clavos	Q 1,094.50	14.43%	Q 1,252.46	Q 1,433.21	Q 1,640.06
Lámina y capote	Q 2,253.00	20.67%	Q 2,718.79	Q 3,280.88	Q 3,959.18
Sika	Q 100.00	11.99%	Q 111.99	Q 125.41	Q 140.44
<b>TOTAL</b>	<b>Q 14,061.32</b>		<b>Q 15,568.57</b>	<b>Q 17,269.80</b>	<b>Q 19,194.69</b>

### 15.6.1 Gráficos de proyección de costos bambú

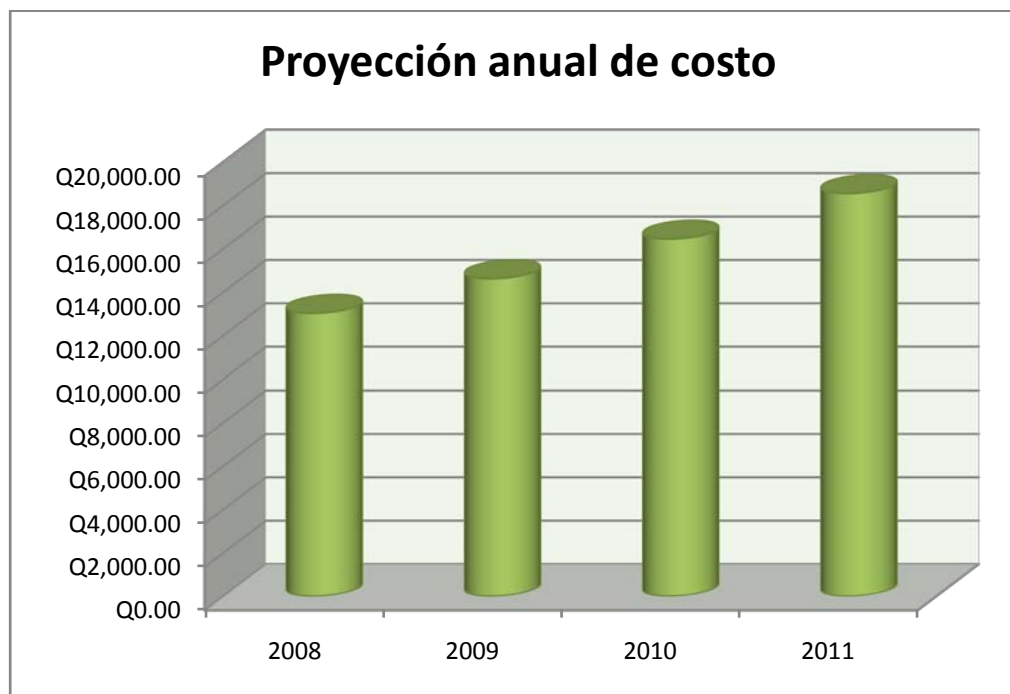
**Gráfica 47:** Proyección anual de costo bambú**Gráfica 48:** Proyección porcentual de costo bambú

**Gráfica 49:** Proyección por costos de materiales bambú.



## 15.6.2 Gráficos de proyección de costos adobe

**Gráfica 50:** Proyección anual de costo adobe.



Gráfica 51: Proyección porcentual de costo adobe.

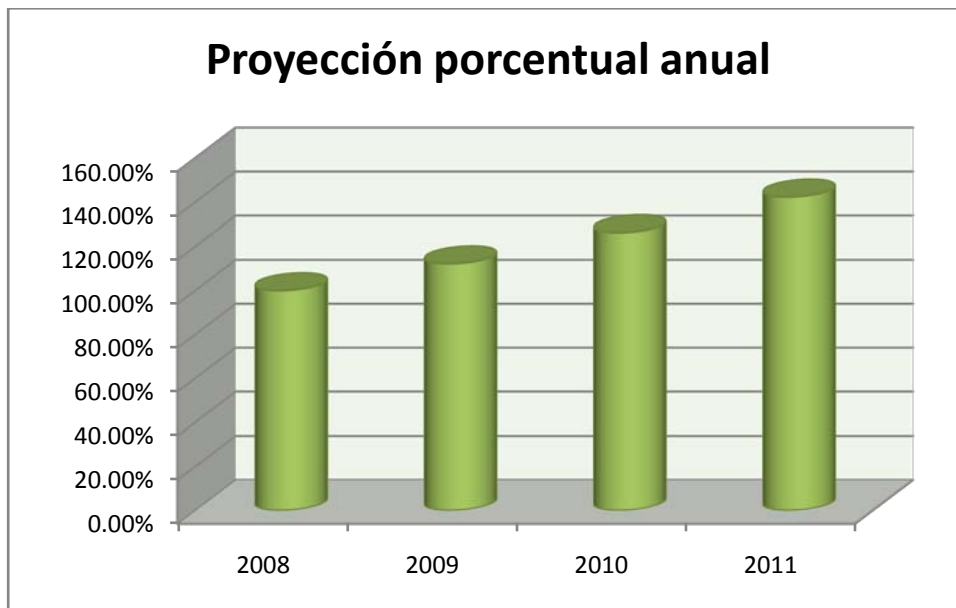
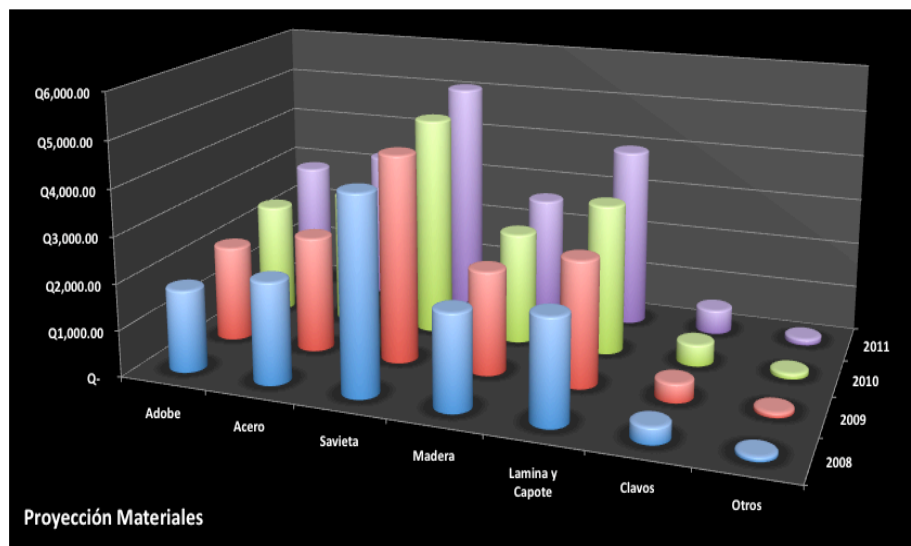


Gráfico 52: Proyección por costos de materiales adobe.



## 15.7 Análisis comparativo

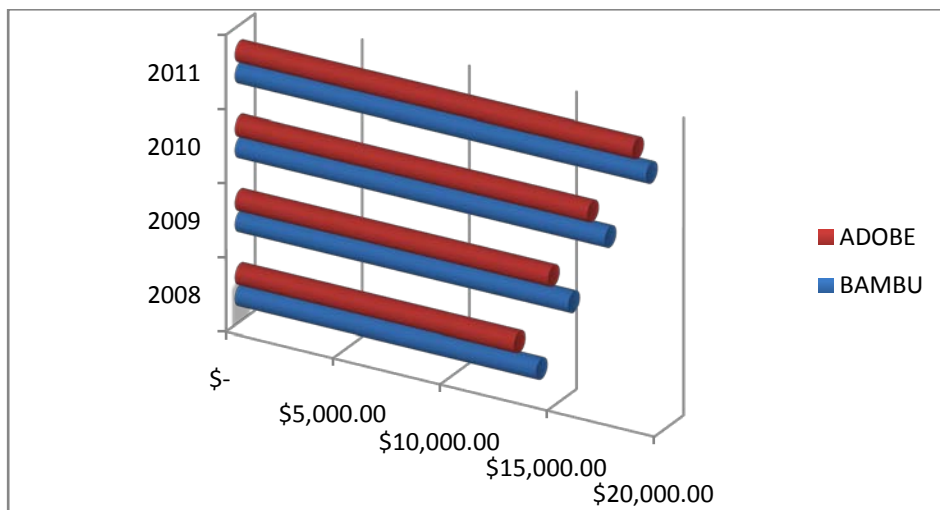
Tabla 102: Comparativo de costos bambú vs. adobe.

AÑO	BAMBU	ADOBE	DIFERENCIAL
2008	Q 14,061.32	Q 13,031.45	7.90%
2009	Q 15,568.57	Q 14,625.16	6.45%
2010	Q 17,269.80	Q 16,453.46	4.96%
2011	Q 19,194.69	Q 18,555.32	3.45%

**Tabla 103:** Comparativo incremento de costo bambú vs. adobe

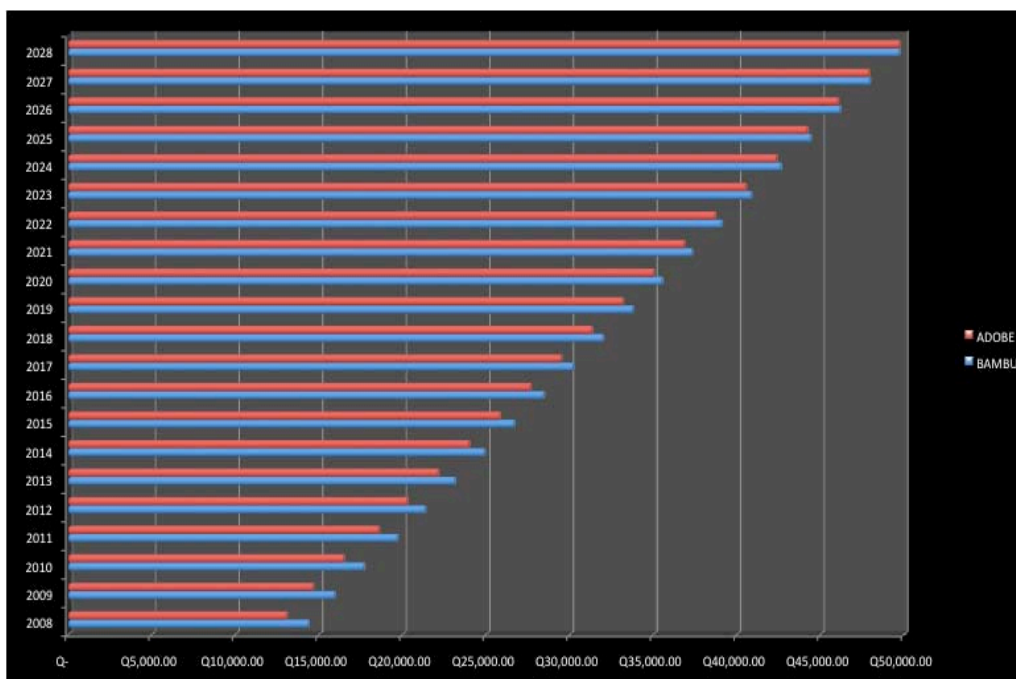
AÑO	BAMBU	ADOBE	DIFERENCIAL
2009	10.72%	12.23%	-12.35%
2010	10.93%	12.50%	-12.59%
2011	11.15%	12.77%	-12.75%

**Gráfica 53:** Proyección de costo bambú vs. adobe



Si la tendencia presentada en los últimos años es constante en 20 años el costo de la casa de bambú sea inferior a la vivienda de adobe.

**Gráfica 54:** Proyección de costo bambú vs. adobe igualados en 2028



## **Capítulo XVI**

### *Estudio del sitio para la construcción de una vivienda*

---

## **XVI. Estudio del sitio para la construcción de una vivienda**

Se decidió construir una vivienda como tercera y última fase de este trabajo. Por el hecho que este proyecto se llevó con una dirección social, se decidió donarle la vivienda al Señor Edwin Ronquillo, voluntario/operador del equipo de radiocomunicación instalado por la SE-CONRED. Así mismo, se optó por involucrar a una institución humanitaria externa para proporcionarnos con los fondos para cubrir el costo total de la construcción.

El sector en donde actualmente se encuentra ubicada la estación/vivienda del Señor Ronquillo es en la aldea El Socorro, Municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa, Departamento de Escuintla. Es un área cercana al río Pantaléon y por los impactos climáticos de este año su vivienda actual hecha de lámina ha sufrido y es por esta razón por la cual se decidió donarles una vivienda más digna y de mejor calidad.

La institución en mención es Pro-Hábitat, dirigida por el Lic. Marcelo Ochoa quién después de platicar con él sobre el tema aceptó la responsabilidad de proporcionarnos con los fondos necesarios para cubrir los costos de compra de material y construcción. Sin embargo, una de las principales reglas a las cuales se deben abogar instituciones como ésta es que no pueden financiar proyectos que serán construidos en áreas de alto riesgo.

Como se mencionó con anterioridad, la localización de la vivienda del Señor Ronquillo es cercana al Río Pantaléon y esto generó un poco de desconcierto; por ello se decidió realizar un análisis de vulnerabilidad del sector en mención para comprobar que se encuentra fuera de riesgo. Este análisis fue realizado por el personal de CONRED dirigido por el Señor Luís Farfán, técnico de análisis de riesgo quién me acompañó a ver el terreno así tomando fotos, medidas y demás información relevante.

### **16.1 Estudio de riesgo aldea El Socorro**

Se entrevistó al señor Edwin Ronquillo voluntario/operador de radio de la SE-CONRED y a otras personas de la comunidad quienes indican que en los últimos 10 años, no han sufrido de inundaciones debido a que sus viviendas se encuentran construidas en la parte alta de un terreno con topografía irregular. (En este periodo se incluyen los desastres provocados por el huracán Mitch (1998) y Stan (2005)).

**Figura 81:** Terreno disponible para construir la vivienda.

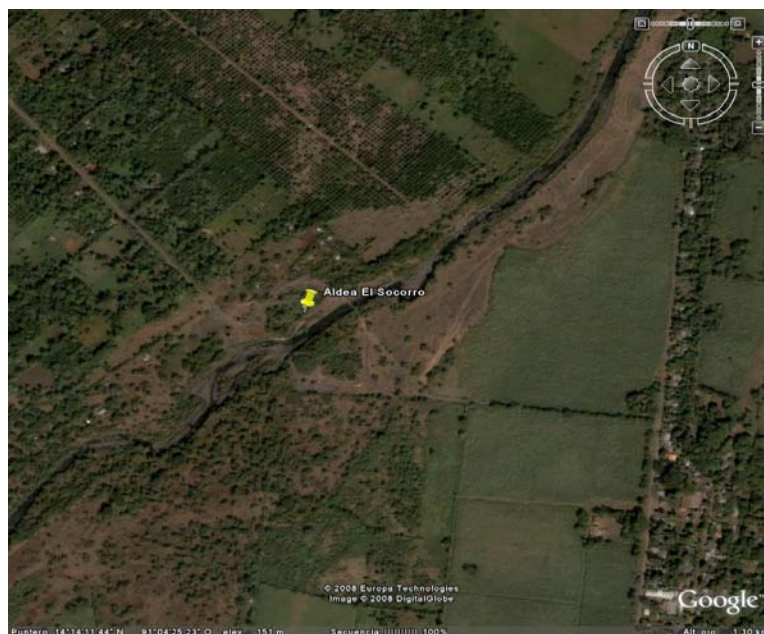


**Figura 82:** Terreno disponible para construir la vivienda otra vista.



### Ubicación del terreno

**Figura 83:** Fotografía aérea con coordenadas geográficas: N. 14°14'13.29" O. 91°04'23.55"



**Figura 84:** La vivienda siendo evaluada se localiza a 40 metros de distancia de la orilla del río Pantaleón lo cual presenta un riesgo reducido de inundación.



Vista al río pantaleón

**Figura 85:** Vista al río Pantaleón desde el camino frente a la vivienda evaluada.



**Figura 86:** Vista de la topografía irregular de la orilla del cauce del río Pantaleón al plano de la vivienda evaluada.



En la vivienda evaluada se identificó que el sistema constructivo utilizado es informal. (Combinación de materiales como lámina y madera, por lo que presenta un alta vulnerabilidad estructural). Esto denota un factor importante ya que es de suma importancia que exista un control técnico sobre construcciones realizadas sobre cualquier tipo de terreno. Es por eso que se planea construir la casa de bambú de la cual se ha corroborado su resistencia antisísmica y proporciona una mayor seguridad en comparación de la vivienda actual.

**Figura 87:** Construcción informal de la vivienda actual.



**16.1.1 Conclusión del estudio.** Se determina que el terreno evaluado en la aldea El Socorro se encuentra fuera del área de riesgo a inundaciones debido a su ubicación en la parte alta de terreno con topografía irregular, así mismo tomando en cuenta los antecedentes que no han sufrido de inundaciones. (En este periodo se incluyen los desastres provocados por el huracán Mitch (1998) y Stan (2005)).

### **16.1.2 Recomendaciones**

- Promover a nivel municipal trabajos de mantenimiento en taludes.
- Solicitar apoyo a la delegación correspondiente del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN) en conjunto con la Municipalidad de Nueva Concepción para promover la educación ambiental en el sector (evitando basureros clandestinos) y en la reforestación del área.
- Evitar que las aguas servidas y pluviales sean canalizadas a flor de tierra para evitar la erosión del terreno y contaminación ambiental severa en el sector.
- Las obras civiles tiene que resolver o disminuir la amenaza existente y deben ser presentadas a la Municipalidad de Nueva Concepción, para ser evaluadas y autorizadas.

## **16.2 Propuesta de sitio para realizar la construcción de una vivienda de bambú**

El señor Mardoqueo Orellana, alcalde de la Nueva Concepción mostró un gran interés en la realización de este proyecto y por ello escribió una carta personalmente dirigida al director de Pro-hábitat, el Lic. Marcelo Ochoa. La siguiente es una copia de la carta enviada:

23 de Septiembre, 2008

Luego de la presentación de este análisis de riesgo, Pro-Hábitat aún mantuvo su posición con respecto a que este lugar era uno de alto riesgo por el hecho de que el río se encontrara tan cerca. Sin embargo aceptó colaborar con este proyecto y proporcionarnos el financiamiento necesario para cubrir los gastos de construcción sí se encontrara otro lugar más seguro y más visible para las poblaciones.

Por ello junto con el Señor Luís Farfán, técnico de riesgo, platicamos con el Alcalde de La Nueva Concepción el Señor Mardoqueo Orellana para presentarle el proyecto y ver si él nos permitiera construir en el terreno donde se encuentra ubicada la municipalidad. En este sitio la vivienda pasaría a ser propiedad de la municipalidad y quedaría a la vista de las personas para así despertar su interés sobre este método de construcción.

Parte del acuerdo al que se llegó con el señor Orellana fue que, como se mencionó con anterioridad, la vivienda pertenecerá a la municipalidad, pero ellos se comprometieron a divulgar este método constructivo junto con la ayuda de material didáctico que se le será proporcionado por parte nuestra.

Lo siguiente es una copia del documento que se le envió al Lic. Marcelo Ochoa, director de pro-hábitat con la nueva propuesta del sitio para realizar la construcción:

Se llevó a cabo una investigación del sitio en la Municipalidad de la Nueva Concepción en el Departamento de Escuintla como parte del proyecto *El bambú como elemento estructural* que se está realizando junto con la Universidad del Valle de Guatemala. Como tercera y última fase del proyecto se desea construir una vivienda utilizando el método constructivo en mención en un lugar visible y accesible para que así este método se dé a conocer y se divulguen sus beneficios.

Por razones expresadas por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) el sitio en donde se permitiría la construcción de esta vivienda debe ser seguro, visible, accesible y ante todo fuera de riesgo de inundación. Es por eso que nos comunicamos con el alcalde de la Nueva Concepción, el señor Mardoqueo Orellana Ruano a quién se le presentó la propuesta de esta fase del

proyecto y nos permitiría utilizar parte del terreno municipal para realizar esta construcción; como lo menciona la carta adjunta.

Se llegó a un acuerdo en donde se comprendió por parte del alcalde municipal que la vivienda construida sería donada para que ellos la utilizaran como oficinas. Así mismo acordamos que por parte nuestra les proporcionaríamos el material informativo necesario para divulgar el método constructivo, sus beneficios y facilidades.

A continuación se presenta una foto aérea del sector en donde se encuentra situada la municipalidad. Aquí se demuestra que el área queda retirada (aproximadamente a 3 km) del río Madre Vieja

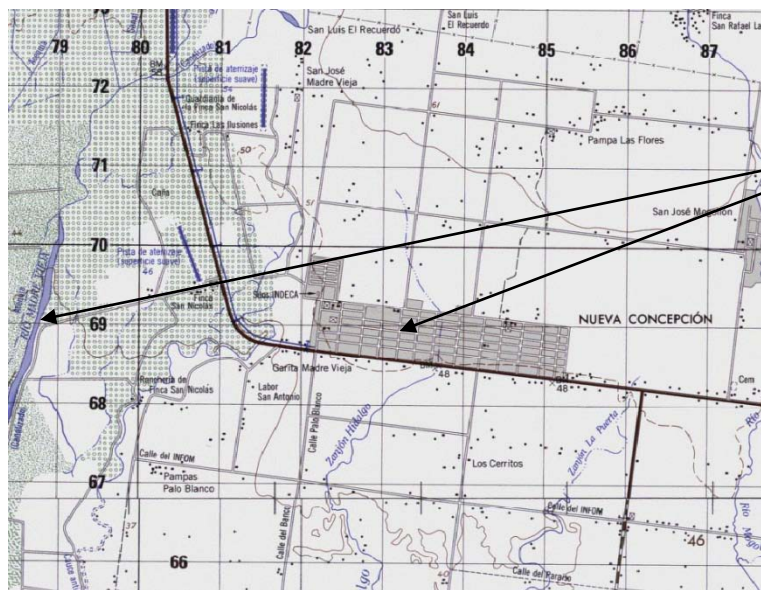
**Figura 88:** Fotografía aérea localizando la Nueva Concepción.



**Figura 89.** Localización de la municipalidad de La Nueva Concepción.



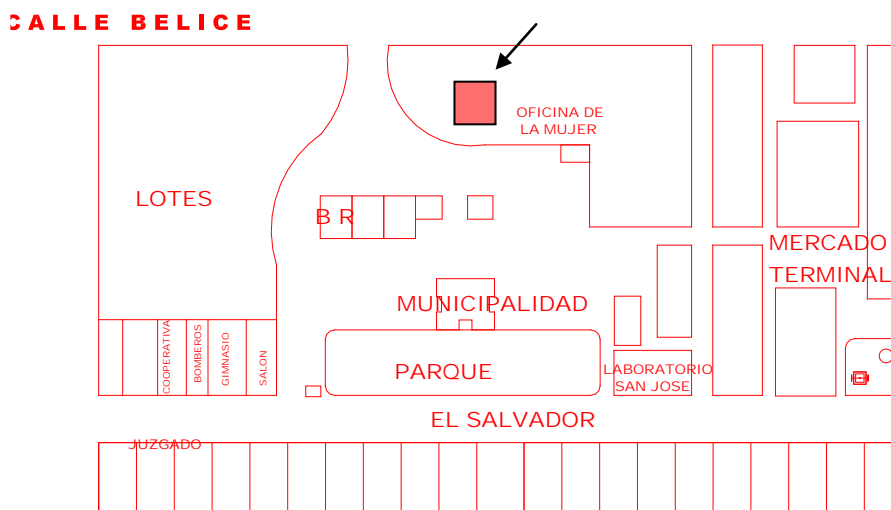
**Figura 90:** Distancia desde el río Madre Vieja a la Nueva Concepción: 3km



En la municipalidad se nos mostró el terreno en donde nos permitirían construir la vivienda. Este terreno es apto para una construcción ya que está aplanado, limpio de vegetación y cuenta con las dimensiones necesarias para la construcción (>30m2).

A continuación se muestra un croquis de la distribución del terreno de la municipalidad y el terreno disponible para la construcción. Como lo muestra la distribución de las áreas, la construcción se llevaría a cabo a la par de la oficina de la mujer, siendo este un lugar fuera de cualquier amenaza y a su vez quedando visible y ser apreciada por la población.

**Figura 91:** Ubicación del terreno disponible para la construcción de la vivienda.



**Figura 92:** Fotografía del terreno disponible.



## **Capítulo XVII**

### *Divulgación del proyecto a las comunidades*

---

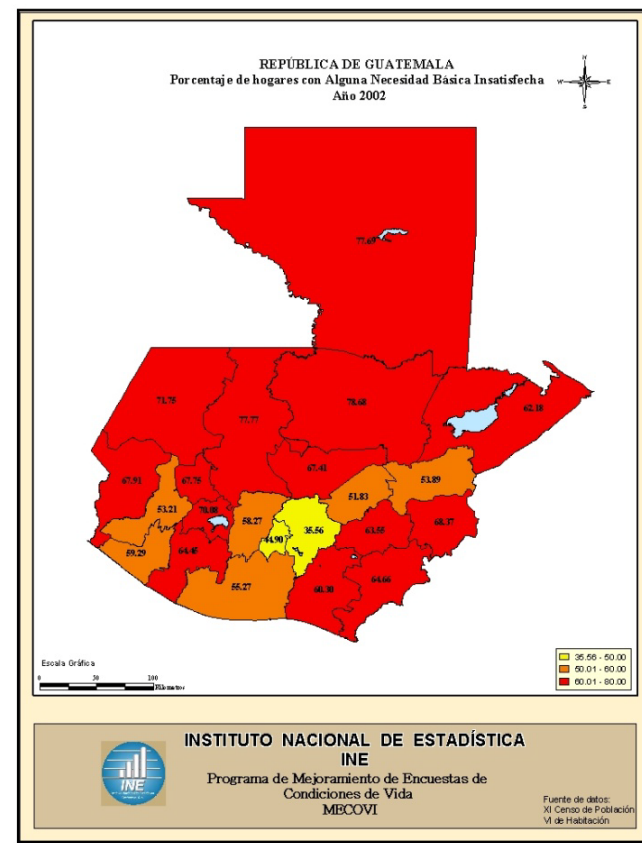
# XVII. Divulgación del proyecto a las comunidades

## 17.1 Problemática actual de vivienda

La situación actual de Guatemala como país de gran amenaza sísmica, con sistemas de alta vulnerabilidad estructural, como lo es el adobe y el bahareque así como los problemas de pobreza extrema; obligan a la búsqueda de soluciones utilizando materiales locales renovables y accesibles por medio de la autoconstrucción dirigida. Por esto mismo es de suma importancia analizar los distintos sistemas constructivos que sean económicamente accesibles, seguros y socialmente aceptados por la población.

La situación de pobreza influye directamente en el déficit de vivienda y según las estadísticas de NBI, Necesidades Básicas Insatisfechas, el porcentaje de hogares con una o más necesidades insatisfechas se muestra en el siguiente mapa. Se define como hogar pobre aquel que al menos tiene una necesidad básica insatisfecha.

**Figura 93:** Mapa de porcentaje de hogares con una o más necesidades insatisfechas según INE.



Dirigentes de la construcción de Guatemala advirtieron en abril del presente año, que el déficit habitacional en los próximos siete años puede llegar a 1,9 millones de viviendas, el más elevado de Centroamérica, si no se amplían las inversiones en ese sector.

La situación es preocupante especialmente cuando inicia el invierno, porque la existencia de cientos de asentamientos humanos ubicados en áreas de riesgo, sin condiciones para ser habitables los vuelve vulnerables al clima y otras amenazas que les pueden costar hasta la vida. La historia se repite cada año, los deslaves arrastran viviendas a los barrancos donde mueren muchos inocentes, el resto esperando la ayuda del gobierno, sin embargo no se impulsan políticas orientadas a resolver este problema.

Según datos del Instituto Guatemalteco de Seguridad Social, actualmente existen 600,000 casas no reúnen las condiciones mínimas para ser habitables, conviviendo 4.8 personas por habitación. Todo empieza cuando se forman nuevas familias, estas se van a vivir con algunos de sus progenitores o algún cuarto de bajo costo, que generalmente se encuentran en áreas marginales o lugares de alto riesgo, es para lo único que les alcanza su ingreso.

## 17.2 Sistemas de construcción

Entre los sistemas más utilizados en la sociedad guatemalteca se pueden mencionar; las viviendas de bahareque, mampostería no reforzada, adobe y la vivienda de bambú. Entre estos, el análisis del sistema de bambú resulta una opción factible ya que entre sus características están; su rápido crecimiento, solidez, fácil manejo y acceso local. Todo ello resulta en una alternativa auto sostenible de construcción a bajo costo.

**Figura 94:** Vivienda de mampostería



[http://www.ineter.gob.ni/geofisica/boletin/2007/09/sismos-honduras0709\\_archivos/image007.jpg](http://www.ineter.gob.ni/geofisica/boletin/2007/09/sismos-honduras0709_archivos/image007.jpg)

**Figura 95:** Vivienda de bahareque

[http://www.ineter.gob.ni/geofisica/boletin/2007/09/sismos-honduras0709\\_archivos/image007.jpg](http://www.ineter.gob.ni/geofisica/boletin/2007/09/sismos-honduras0709_archivos/image007.jpg)

**Figura 96:** Construcción de vivienda de bambú

Fotografía de la Conred

### 17.3 El bambú como elemento estructural

Por lo mencionado anteriormente, se ha llevado a cabo el presente proyecto llamado *El bambú como elemento estructural* en el cual, se han estudiado las propiedades de este material, su cosecha y además se han realizado pruebas para evaluar la resistencia de los paneles de bambú con concreto, las cuales demostraron que la combinación de estos materiales resulta en un sistema de alta resistencia ante fuerzas laterales, es decir para soportar sismos o cualquier circunstancia similar.

El bambú no es un árbol, es una gramínea, crece como grama y no necesita fertilizantes, su cultivo es sencillo y madura rápidamente. Existen más de 1200 especies de bambú en el mundo, en América se encuentran 600 de ellas y en Guatemala existen 29 variedades. Éstas no han sido explotadas comercialmente como en otros países latinoamericanos en donde se fabrican andamios, artesanías, muebles, viviendas y otros.

Específicamente en Costa Rica se han obtenido buenos resultados. Con el Proyecto Nacional de Bambú inaugurado en el año 1986 se construyeron 700 viviendas experimentales, las cuales sobrevivieron sin sufrir ningún daño el terremoto de 7.6 grados en escala de Richter en el año 1992. Actualmente un 10% de la vivienda de ese país se construye con bambú.

El bambú ofrece varias ventajas como material de construcción ante otros materiales, la mejor propiedad es su resistencia a tensión paralela a la fibra, además posee una estructura física que proporciona alta resistencia en relación a su peso su superficie dura, lisa y sin corteza minimiza el desperdicio. El periodo de producción de tres años resulta bastante favorable al compararlo con el de otros materiales como la madera, y puede además trabajarse con herramientas simples. Por lo expuesto anteriormente, y añadiéndole que el cultivo del mismo previene la erosión, el bambú resulta en una excelente opción para cultivarlo y utilizarlo en la construcción de vivienda popular.

Sin embargo se debe mencionar que también existen factores desventajosos del bambú entre los cuales están: sus dimensiones son variables debido a que es un material natural, altamente inflamable, posee gran hendibilidad (se raja), con excepción algunas especies requiere inmunización de lo contrario tendrá una vida corta y por último la Asociación General del Bambú con condiciones de pobreza y escasez del país de personal calificado para la utilización del mismo.

Luego de conocer estas desventajas, se hizo un análisis para escoger entre las diferentes especies que existen en Guatemala, entre ellas la guadua o “Acero Vegetal” como lo llaman en Colombia, es una especie privilegiada, originaria de América del Sur, sus propiedades lo convierten en el bambú más recomendado para la construcción, ya que puede ser clavado sin rajarse, posee alta resistencia a hongos e insectos lo que facilita y economiza su inmunización.

#### **17.4 Propuesta de vivienda para Guatemala**

De acuerdo a la Asociación Nacional del Bambú ASOBAMBU, Guatemala posee características agroecológicas que favorecen su cultivo, de hecho existen ya cultivos de Guadua en la costa sur con capacidad de producir suficiente material como para construir 2000 viviendas al año, lo cual asegura la sostenibilidad del proyecto.

La relación que la población, en general, hace del bambú con pobreza y su condición de inflamable, indicaron la necesidad de que la estructura de la casa estuviera cubierta con repello.

El diseño de la vivienda de bambú propuesta tiene un área total de 30 metros cuadrados, dividida en 5 ambientes, una sala comedor, una cocina, dos dormitorios y un baño. Esta compuesta de 16 paneles prefabricados, 3 tijeras, 10 costaneras y techo de lamina. Debido a que no existen tratamientos que protejan la guadua de la humedad que le producirá el contacto con la tierra, el cimiento de la vivienda es una cimentación corrida de dos hiladas de bloque, refuerzo lateral de acero, pines con rosca y turca fundidos y una solera de madera.

**Figura 97:** Construcción de vivienda en la SE-CONRED



Los 16 paneles prefabricados conforman las paredes de la vivienda y funcionan como muros de carga. Según experiencias colombianas, para utilizar el guadua en estructura deben escogerse canas de diámetros uniformes, eliminar las partes altas de las mimas ya que deben buscarse los máximo espesores en las paredes de las canas, las uniones luego se realizan por medio de amarres especiales con tiras de bejuco. En Guatemala no se posee una cultura de construcción con guadua, lo cual hace que no exista personal capacitado para realizar los amarres, razón por la cual se optó por utilizar uniones rígidas, esto se logró al fabricar los paneles con marcos de madera de pino, a la cual se clava estaría de guadua, los paneles luego se unen por medio de dos uniones de tornillos. Utilizar madera de pino para marco también se escogió debido a que posee mayor prestigio que el bambú en nuestro medio. Los 16 paneles se colocan sobre la solera de madera por medio de los pines con rosca y tuerca.

En lo que refiere a la cubierta, ésta debe ser lo más liviana posible, por lo que al hacerla de guadua se presentaban de nuevo problemas de amarre y por ello se escogió una estructura de techo de madera. El techo de la vivienda es de dos aguas, se compone de 20 láminas calibre 28, tres armaduras de madera de pino y 10 costaneras, el esfuerzo máximo calculado se comparó con el esfuerzo máximo permitido del pino de 57.23 kip/pulg<sup>2</sup>. Finalmente se presentó la inquietud referente a la aplicación del repello y un cernido sobre la estaría de los paneles, la estaría debe colocarse del lado rugoso y del lado liso intercaladas para asegurar la adherencia del repello.

**Figura 98:** Construcción de vivienda en SE-CONRED



**Figura 99:** Construcción de vivienda en SE-CONRED



El piso de la vivienda debía cumplir también con el concepto de una vivienda económica y de fácil ejecución, por lo cual se colocó una capa de suelo cemento de 10 cm, la cual fue compactada manualmente.

El tiempo estimado de construcción de la vivienda es de 24 días hábiles, con un grupo de trabajo de 4 personas que no tengan conocimientos de construcción.

De hecho en CONRED se construyó en el año 2001, una vivienda experimental de bambú, la cual fue fabricada enteramente, desde el cimiento hasta el repello con personal de mantenimiento de la institución, no teniendo ellos experiencia previa en construcción lo cual revela la viabilidad de la ejecución de la vivienda por autoconstrucción.

La vivienda actualmente tiene un costo aproximado de Q14,000.00 sin incluir mano de obra, pero el mismo está por debajo del costo de una vivienda de igual tamaño construida con mampostería la cual está aproximadamente en Q21,000.00

Aún queda bastante por investigar referente a la guadua y su interacción con el concreto, lo cual mejoraría el diseño de este proyecto, sin embargo aún en inicios es definitivo la viabilidad tanto segura como económica de la vivienda de guadua. El impulso de su cultivo acompañado de la divulgación de sus propiedades puede ser la solución no sólo sismorresistente sino de déficit de la vivienda del país.

## **17.5 Divulgación del proyecto**

Proyectos como éste deben impulsarse y darse a conocer alrededor de la República, con el fin de llegar a las diferentes comunidades e informar acerca de las ventajas del mismo y de esta forma, se pretende generar confianza en las personas para que lo tengan como una opción accesible, económica y segura. Este proyecto impulsado debidamente podría contribuir a reducir en gran escala los daños causados por el derrumbamiento de viviendas a causa de terremotos.

Con el propósito de llegar a las comunidades y dar a conocer el proyecto; se ha realizado un video audiovisual, que presenta un resumen de lo que es el proyecto, las pruebas realizadas y los resultados obtenidos. Así también, se ha elaborado un trifoliar con fotografías y los datos sobresalientes, tales como la situación actual del país y las ventajas de la vivienda de bambú. Se espera que con la circulación de ambos, se dé a conocer el proyecto y de esta forma las personas se familiaricen con este método constructivo, y con el tiempo se vuelva un estilo de vida, es decir desde la cosecha del bambú hasta la construcción de vivienda y fabricación de artesanías con el mismo.

También con propósitos de divulgación se colocara una copia del video audiovisual y del trifoliar informativo en las bibliotecas de las Universidades de Guatemala, en el Colegio de Ingenieros y la Cámara de la Construcción, con el fin que si hay personas interesadas en el proyecto, tengan acceso a él y ayuden a la publicidad del mismo.

## **Capítulo XVIII**

### *Conclusiones*

---

## XVIII. Conclusiones

- Los resultados obtenidos cumplieron el objetivo principal del proyecto, la creación de una vivienda segura, confiable, económica y fácil de construir.

### La guadua

- La guadua posee propiedades estructurales sobresalientes, que no sólo superan a las de la mayoría de las maderas sino que además pueden ser comparadas con las del acero y algunas fibras de alta tecnología.
- La siembra y cosecha de la guadua está beneficiada por condiciones que la hacen ideal para distintos campos de aprovechamiento.
- El bambú está disponible en cantidades comerciales si se utiliza un buen sistema de suministro. Es una planta renovable con un período corto de la rotación. El bambú crece a su tamaño lleno en aproximadamente un año. Otro dos o tres años son requeridos para que la planta gane más resistencia.
- El comportamiento del bambú demostró ser satisfactorio ante el paso del tiempo así como su resistencia a los cambios climáticos y movimientos sísmicos ya que el albergue localizado en La Nueva Concepción fue construido hace siete años.

### Proceso constructivo

- El método de armado de los paneles es fácil ya que pueden ser armados por personas sin conocimiento de construcción y de cualquier sexo porque los paneles de bambú son considerados ligeros pesando 1,100 libras por 7m<sup>2</sup>.
- El método de armado de los paneles es rápido ya que un panel se construye en aproximadamente 1 día más 1 día para colocar el cernido lo que da un total de tiempo de 2 días para 7m<sup>2</sup> de muro terminado; en comparación con aproximadamente 10 m<sup>2</sup> de levantado de block por día de muro sin repello.
- El método constructivo de los paneles es uno que cuando se ve sometido a fuertes esfuerzos como lo son los sismos, descascara el repello y puede causar la fluencia del bambú sin llegar al colapso; esto permite que las personas salgan de la vivienda a salvo.
- La construcción de este modelo de casa se adapta a ser prefabricado o de montaje in-situ, como se explicó en este documento.

### Pruebas de laboratorio

- Los resultados obtenidos de las pruebas de laboratorio realizadas a los paneles corresponden a la asunción de que el material combinado de los paneles es homogéneo e isotrópico.
- El peso específico promedio de los paneles resultó de 1540.59 kg/m<sup>3</sup>, que equivale al 64% del peso específico del concreto, lo cual reduce la rigidez y

- el peso total de los paneles y ayuda a que el efecto del sismo en la estructura sea menor.
- El módulo de elasticidad de los paneles se presentó entre 11 y 12 klb/pulg<sup>2</sup> (Tabla 18), esto considerando que las muestras más representativas son las del panel D1 ya que son los únicos totalmente sólidos.
  - El módulo de elasticidad en cortante se presentó en el rango de 1503 a 1848 lb/pulg<sup>2</sup>.
  - Existe variabilidad en la resistencia de los paneles dependiendo la proporción de madera, bambú y posiblemente mortero que haya en él, así como variabilidad en los paneles del mismo tipo, debido a los materiales y aspectos constructivos, por lo cual es imposible encontrar un material que se comporte como todas las clases de paneles.
  - Para la obtención de resultados confiables es necesario aumentar el número de muestras y analizar la resistencia de los paneles con carga vertical, carga de viento, entre otros.

### Análisis estructural

- La estructura cumplió satisfactoriamente con las restricciones de deformación sísmica recomendada por la Nr-2 de AGIES, soportando un sismo frecuente con aceleraciones pico de 0.5g en los 2 sentidos.
- La estructura no llegaría a falla por cortante con el sismo básico, con aceleraciones pico de 1g (el más severo), ya que la estructura logró resistir en laboratorio cargas equivalentes a 8.5g, necesitándose por consiguiente un sismo 8.5 veces más severo para causar la falla en los paneles.
- La estructura no rebasó las deformaciones que produjeron esfuerzos suficientes para llevar los paneles a falla en el laboratorio, por lo cual es poco probable que se llegue a falla por un sismo como el analizado.
- La estructura es apta, para resistir cualquier sismo un sismo frecuente extremo (con las peores condiciones de suelo e ubicación), pero se deben tener en cuenta los peligros derivados de los sismos, como derrumbes o deslaves, los cuales no podrá resistir.
- Se desconocen varios aspectos de los paneles de bambú, como su resistencia a flexión, y que tanta variabilidad puede llegarse a tener en la práctica con lo que respecta a resistencia.
- El desempeño a flexión de los paneles de bambú son muy importantes para este análisis, ya que las mayores deformaciones se dan en el sentido perpendicular a los paneles, siendo estos sometidos a flexión.
- Las deformaciones por cortante fueron mínimas.
- La estructura tiene un muy buen desempeño en este sentido, pudiendo soportar cargas bastante grandes en comparación a su peso.
- Es posible que su desempeño estructural sea mejor al expuesto en este trabajo, ya que no se poseían datos sobre su comportamiento a flexión.
- Es muy importante la configuración del techo, para proveer a la estructura un mejor arriostramiento, en las paredes que son muy largas y no están acunadas con paredes en sentido perpendicular.

- Las deformaciones por flexión fueron máximas, ya que no se poseían suficientes datos para mejorar el diseño en este sentido.
- Existe variabilidad en la resistencia de los paneles dependiendo la proporción de madera, bambú y posiblemente mortero que haya en el, así como variabilidad en los paneles del mismo tipo, debido a los materiales y aspectos constructivos, por lo cual es imposible encontrar un material que se comporte como todas las clases de paneles.
- Una opción es utilizar el panel más débil como guía, y subestimar los demás paneles, o plantear un sistema mixto con las propiedades reales de cada material, lo cual sería la opción óptima de análisis.

### Análisis financiero

- El costo actual de la vivienda de bambú propuesta en nuestro mega proyecto es de Q14,344.80.
- El costo de la vivienda de bambú en 2008 es 10,08% mayor que la vivienda de adobe reforzado.
- La vivienda de bambú se ve afectada por el incremento de los materiales de construcción en 11,00% de su costo (en promedio).
- En el año 2028 el costo de la vivienda de adobe igualará al costo de la vivienda de bambú.
- En una muestra de 26,764 viviendas donadas por organismos y fundaciones, la vivienda de bambú podría reducir en 1,53% el déficit de vivienda en Guatemala.

## **Capítulo XIX**

### *Recomendaciones*

---

## **XIX. Recomendaciones**

### Proceso constructivo y localización de la vivienda

- La calidad de los materiales de construcción debe ser óptima, considerando el tratamiento apropiado de la madera, de la estería y la proporción y resistencia del mortero.
- El lugar de construcción es mejor que esté alejado de fallas sísmicas, laderas o barrancos.
- Utilizar concreto fresco que no haya estado expuesto a la intemperie ni se haya endurecido o lleve mucho tiempo de haberse fabricado.
- Se debe evitar la porosidad en el mortero para mantener las propiedades lo más apegadas posible a la proyección estructural y al módulo de elasticidad y al peso específico obtenidos.
  - La proporción del mortero debe mantenerse como 4 partes de arena y 1 de cemento de baja resistencia (comúnmente denominado pegablock).
  - La madera debe estar protegida de la humedad mientras se está colocando.
  - La arena debe estar libre de impurezas.
  - La estería debe contar con el tratamiento apropiado.
- La estería de bambú debe estar totalmente recubierta por mortero para que no pierda sus propiedades estando expuesta a humedad, animales y demás agentes externos.
- Evitar construir viviendas en los lugares cerca de los cauces de los ríos o planicies inundables, para no verse expuesto a un fenómeno meteorológico, o sismo que podría causar un deslizamiento aguas arriba y dar origen a avalanchas.
- Se debe evitar localizar vivienda cercana a canales de riego o drenaje que pueda rebalsarse, o en zonas costeras deben escogerse aquellas donde existan malecones y/o dunas de arena.
- Elaborar un diseño de panel que no involucre la utilización de madera de pino sino que solamente se utilice el bambú.
- Los marcos de madera deben ser estables, contando con los clavos y pernos considerados en el diseño.
- El cimientado de los paneles es de vital importancia y éstos deben tener un empotramiento real al suelo, por lo que se recomienda que éste sea rígido y cumpla con las especificaciones de diseño establecida.
- En caso que la vivienda tenga algún tipo de amenaza meteorológico es recomendable aumentar el alto de cimientado para prevenir inundaciones dentro de ésta. Además de elevar el terreno sobre el cual se construirá.

## Pruebas de laboratorio

- Se recomienda incrementar el número de muestras para que los resultados sean más representativos y confiables. El número de muestras utilizado en estas pruebas fue muy limitado, así como la variedad de las pruebas realizadas a los paneles, dichos paneles deben ser probados ante la aplicación de otras cargas, como lo son la carga de viento, la resistencia a la compresión, entre otros.
- Al parecer el principal enemigo de estas estructuras no son solamente los sismos, sino cualquier agente externo que actúe sobre el área de los paneles en forma perpendicular, por lo cual debería hacerse un análisis más profundo sobre el desempeño de los paneles a flexión, y de esta forma se podrá crear un modelo más apegado a la realidad.
- Es importante notar que hay varios aspectos que deben estudiarse a mayor detalle como durabilidad, desgaste, efectos de la humedad, efectos por cargas de vientos y muchos otros aspectos que puedan afectar de mayor forma a la estructura.
- Es necesario indicar que esta estructura es resistente a un sismo frecuente, y posiblemente a un sismo básico, (se necesitan mayores datos para las deformaciones por flexión, pero las deformaciones observadas con su resistencia a corte indican un muy buen desempeño sísmico, y una capacidad de resistir cargas por cortante 8.5 veces mayor a la carga provista por el sismo básico), pero no es inmune a una localización inadecuada donde se encuentre expuesta a amenazas derivadas de sismos y fuertes lluvias, como son los derrumbes y deslaves.

## Estructural

Al parecer el principal enemigo de estas estructuras no son solamente los sismos, sino cualquier agente externo que actúe sobre el área de los paneles en forma perpendicular, por lo cual debería hacerse un análisis más profundo sobre el desempeño de los paneles a flexión, y de esta forma se podrá crear un modelo más apegado a la realidad.

Es importante notar que hay varios aspectos que deben estudiarse a mayor detalle como durabilidad, desgaste, efectos de la humedad, efectos por cargas de vientos y muchos otros aspectos que puedan afectar de mayor forma a la estructura. Es necesario indicar que esta estructura es resistente a un sismo frecuente, y posiblemente a un sismo básico, (se necesitan mayores datos para las deformaciones por flexión, pero las deformaciones observadas con su resistencia a corte indican un muy buen desempeño sísmico, y una capacidad de resistir cargas por cortante 8.5 veces mayor a la carga provista por el sismo básico), pero no es inmune a una localización inadecuada donde se encuentre expuesta a amenazas derivadas de sismos y fuertes lluvias, como son los derrumbes y deslaves.

## Vivienda y autosostenibilidad

- Se recomienda impulsar proyectos como “El bambú como elemento estructural” para reducir el déficit de vivienda en el país.
- Estudiar y conocer los distintos usos de la Guadua ya que su siembra y cosecha son sencillas y se puede utilizar para fabricar desde artesanías hasta viviendas, lo cual representa un ciclo autosostenible.
- Se aconseja que el uso de materiales como cemento o acero, sean minimizados; ya que eso aumentaría el costo de la vivienda, además de que uno de los objetivos es que la adopción del bambú para la construcción de la casa ayude a preservar el ambiente.

## **Capítulo XX**

### *Bibliografía*

---

## XX. Bibliografía

1. Alvarez Urueña, *Plantemos Bambu - Guadua para cosechar Casas*; Escuela de Ingeniería de Antioquia, Colombia. Ibagué, Colombia, Diciembre, 2001.  
Disponible en:  
[http://www.arquitectura.com/arquitectura/monografias/tubos\\_de\\_papel/tubos\\_2.asp](http://www.arquitectura.com/arquitectura/monografias/tubos_de_papel/tubos_2.asp)
2. Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica – AIS *Manual de Construcción Sismo Resistente de Viviendas de Bahareque Encementado*.  
Disponible en:  
[http://www.desenredando.org/public/libros/2001/csrve/guadua\\_lared.pdf](http://www.desenredando.org/public/libros/2001/csrve/guadua_lared.pdf)
3. Benito et al, *Metodología para Estudio de Amenaza Sísmica en Guatemala, Aplicación al diseño Sismo resistente*, AECl, IGME, INSIVUMEH, 2003
4. Blanco Andrés; *Siembre y cosecha de Guadua*; Agencia Aupec – Universidad del Valle; Cali, Colombia, 2001.  
Disponible en: <http://aupec.univalle.edu.co/informes/marzo01/guadua.html>
5. Dreher, Douglas ; *Construcción de casa con Caña Guadua en Guayaquil*; Ecuador, 2004.  
Disponible en: <http://www.douglasdreher.com/proyectos/canaguadua/>
6. F.W. Taylor, "Fabricación y ensayo de los cementos y hormigones"  
Miguel Guerrero Editor, Barcelona, 1910  
Fragmento en:  
<http://www.xtec.net/~cgarci38/ceta/tecnologia/ensayos.htm>
7. Gere James M., *Mecánica de Materiales. De flexiones de vigas*. Ediciones Thomson Learning. Quinta Edición. Capítulo 9. Páginas 610 y 646.
8. Gere James M., *Mecánica de Materiales. Tensión, Compresión y Cortante*. Ediciones Thomson Learning. Quinta Edición. Capítulo 1. Página 23, 24, 25 y 34.
9. Glosario de términos para ensayos de materiales, INSTRON  
Disponible en:  
<http://www.instron.com.ar/wa/resourcecenter/glossaryterm.aspx?ID=72>
10. Gutiérrez Brenda; *La vivienda en Guatemala, un problema que urge resolver*. Guatemala 2004.  
Disponible en: <http://www.derechos.org/nizkor/guatemala/doc/vivgtm.html>
11. Hidalgo, O. *BAMBÚ. Su cultivo y aplicaciones en: fabricación de papel, arquitectura, ingeniería y artesanía*. Estudios Técnicos Colombianos LTDA, 1974.
12. Kahler, Carlos; (Director de Proyectos Bosques e Industrias Forestales, Fundación Chile) *Uso del Bambú como Elemento Estructural de Viviendas*; Tecnología & Construcción Webmagazine, Edición No. 5, Marzo 2007
13. Mansilla; *Proyecto habitacional de mitigación de riesgo sísmico "Vivienda Experimental de Bambú"*; Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres –CONRED, 2001.
14. Martínez Patricia, *Medición del módulo de elasticidad de Young*. Laboratorio IV – Dpto. de Física – UBA 1997.

15. McClure, F.A. *El bambú como material de construcción*; 1era. Edición en Español, Colombia, 1966. Disponible en: [www.ebf-bamboo.org](http://www.ebf-bamboo.org)
16. Monzón-Despang, J., *La construcción y el uso del terreno en Guatemala, -SU VULNERABILIDAD SISMICA-*, AGIES, 1996
17. Morales, H. 1993. *Propiedades mecánicas físico-mecánicas del bambú ( 6 especies recolectadas en los 19 departamentos de Guatemala, Santa Rosa y Jutiapa)*. Tesis Universidad de San Carlos de Guatemala
18. Normas Estructurales de Diseño Recomendadas para la República de Guatemala; *AGIES NR-4: 2001*.
19. Normas Estructurales de Diseño Recomendadas para la República de Guatemala; *AGIES, Norma Recomendada 2*, AGIES, 2002
20. Revista MM edición 34, *Guadua*, visitada en agosto 2008, <http://www.revista-mm.com/rev34/guadua.html>
21. Trudeau, J. and Sands, D. AIA, MA and and Nguyen, Quy. *Building Codes and Bamboo Construction*; Bamboo Technologies and Bamboo Hardwoods. Disponible en: <http://www.bambootechnologies.com/researchtest.htm>

## **Capítulo XIX**

### *Anexo planos*

---