

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO

Colegio de Ciencias e Ingeniería

Evaluación de una vivienda de emergencia de la fundación *Techo* Ecuador usando la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2013 (NEC-13), Capítulo 7, Construcción con Madera y elaboración de una propuesta de mejora

Felipe Sandoval Maldonado

Fabricio Yépez, Ph.D., Director de Tesis

Tesis de grado presentada como requisito
para la obtención del título de Ingeniero Civil

Quito, diciembre de 2013

Universidad San Francisco de Quito

Colegio de Ciencias e Ingeniería

HOJA DE APROBACIÓN DE TESIS

Evaluación de una vivienda de emergencia de la fundación *Techo* Ecuador usando la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2013 (NEC-13), Capítulo 7, Construcción con Madera y elaboración de una propuesta de mejora

Felipe Sandoval Maldonado

Fabricio Yépez, Ph.D.
Director de la tesis

Miguel Andrés Guerra, MS
Miembro del Comité de Tesis

Fernando Romo, MS
Director de Ingeniería Civil
Miembro del Comité de Tesis

Ximena Córdova, Ph.D.
Decana de la Escuela de Ingeniería
Colegio de Ciencias e Ingeniería

Quito, diciembre 2013

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído la Política de Propiedad Intelectual de la Universidad San Francisco de Quito y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo de investigación quedan sujetos a lo dispuesto en la Política.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo de investigación en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma: _____

Nombre: Felipe Sandoval Maldonado

C. I.: 1720432952

Fecha: Quito, diciembre 2013

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a todos los que alguna vez fueron, a los que son y a los que serán voluntarios de la fundación *Techo*. Que la voluntad y la fuerza de sus corazones nunca deje de crecer. Porque el voluntariado mueve al mundo. ¡Voluntad, Voluntarios!

AGRADECIMIENTOS

Agradezco infinitamente a mi familia. A mi mamá, por darme toda la formación espiritual y emocional. A mi papá por compartirme su experiencia intelectual y moral. A mi hermano por ser mi amigo y compañero durante estos 25 años.

Agradezco al doctor Fabricio Yépez por brindarme su experiencia y sus conocimientos para realizar este trabajo.

Agradezco a mis compañeros, sin los cuales estos años universitarios no hubieran sido lo mismo.

Agradezco a Daniela Pardo por su apoyo incondicional y su cariño a lo largo de todo este proceso. Sin su motivación no lo hubiera logrado.

Agradezco a Fernando Balseca por las correcciones de forma y estilo y por su buen humor y buena voluntad.

Agradezco a la gente de la fundación *Techo*, por facilitarme todo el material y la información necesaria para la realización de este trabajo.

RESUMEN

En esta investigación se revisará el cumplimiento del capítulo 7 de la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2013 de las viviendas de emergencia que construye la fundación *Techo* Ecuador para familias que viven situación de pobreza, pobreza extrema o indigencia. El capítulo 7 hace referencia a la construcción en madera. Las viviendas que construye *Techo* son viviendas prefabricadas con paneles de madera y cubierta de acero galvanizado. Se revisará uno por uno los temas propuestos en el capítulo 7 y se los comparará con lo que viene realizando la fundación hasta la actualidad. Una vez realizado el análisis se revisarán los resultados y se propondrán mejoras al modelo actual con el fin del lograr el cumplimiento absoluto de la Norma. Los cambios propuestos deben mantener las características de vivienda de emergencia iniciales y no puede aumentar significativamente el precio de la vivienda.

ABSTRACT

This investigation will check the fulfillment of the chapter 7 of the 2013 Ecuadorean Construction Norm of the houses built by the organization *Techo* Ecuador. These houses are built for families that live in extreme poverty situation or homeless families. Chapter 7 regulates the use of wood as a construction material. The houses that *Techo* build are prefabricated house made with wood panels; they also have a light steel roof. The topics proposed in chapter 7 are going to be revised one by one and are going to be compared with the current characteristics of the *Techo* houses. After the results are obtained modifications for improvement are going to be suggested. These modifications should not change the emergency houses characteristics nor should they increase the cost of the house significantly.

TABLA DE CONTENIDO

Resumen	7
Abstract	8
Tablas y figuras	10
INTRODUCCIÓN (Capítulo 1 de la tesis)	11
Descripción de la vivienda de emergencia	12
Norma Ecuatoriana de la Construcción	21
REVISIÓN NEC-13 (Capítulo 2 de la tesis)	23
Introducción.....	23
De las condiciones del uso de la madera	24;Error! Marcador no definido.
Procedencia del material.....	24
Establecimientos autorizados	24
De los proveedores de madera estructural	25
Diseño arquitectónico	27
Criterios generales de diseño.....	27
Protección por diseño	30
Protección contra humedad	30
Protección contra hongos.....	33
Protección contra insectos	33
Protección contra el fuego	34
Mantenimiento.....	36
Otras consideraciones	38
Consideraciones generales para el diseño estructural.....	40
La madera como material de construcción	40
Cargas	41
Esfuerzos admisibles	42
Módulo de elasticidad o Módulo de Young	43
ANÁLISIS DE RESULTADOS (Capítulo 3 de la tesis)	45
Presupuesto.....	45
De las condiciones del uso de la madera	46
Diseño arquitectónico.....	51
Condiciones generales para el diseño estructural	55
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES (Capítulo 4 de la tesis)	66
REFERENCIAS	70
ANEXO A: Ficha Técnica del Pino Patula	71
ANEXO B: Manual Clasificación Visual Por Defectos	73
ANEXO C: Ficha Técnica del MDP Tropical	86
ANEXO D: Ficha técnica del Kubimil Plus	87
ANEXO E: Memoria de cálculo	88

FIGURAS

1. Estructura de piso
2. Distribución de pilotes
3. Estructura de piso
4. Planos paneles de piso
5. Planos paneles laterales
6. Planos paneles posteriores
7. Planos paneles frontales
8. Viga maestra
9. Estructura de techo
10. Colocación de cubierta
11. Vivienda completa
12. Protección de humedad en pilotes
13. Aislante térmico, Thermolon
14. Alabeo de la madera
15. Arista faltante y grieta
16. Grieta
17. Mala escuadría
18. Mancha por hongo
19. Nudo
20. Nudo 2
21. Pudrición de la madera
22. Quebradura por pudrición
23. Rajadura
24. Modelo en SAP2000 vivienda *Techo*
25. Viga con esfuerzo a flexión máximo
26. Viga con esfuerzo a corte máximo
27. Columna con esfuerzo axial máximo
28. Deformación máxima en modelo original
29. Paneles frontales originales y mejorados
30. Paneles laterales originales y mejorados
31. Modelo en SAP2000 vivienda mejorada

TABLAS

1. Esfuerzos admisibles y modulo de elasticidad para maderas A, B y C
2. Costo desglosado de la vivienda
3. Factores de reducción de esfuerzos

INTRODUCCIÓN Capítulo 1

La fundación *Un Techo Para Mi País*, actualmente *Techo*, se fundó en Chile en el año 1997. Un grupo de jóvenes universitarios, estudiantes de arquitectura, de la Universidad Católica de Chile, y un sacerdote de la orden jesuita fueron a realizar misiones en áreas rurales del país. Al ver la realidad de la pobreza y el déficit habitacional que sufría la gente de la comunidad, los jóvenes estudiantes tuvieron la idea de proporcionar viviendas de emergencia, de fácil armado y transportación, y de bajo costo, pero de gran utilidad para la comunidad. Así se crea la Fundación, y, a partir de ahí, el sueño se expandió a toda Latinoamérica y el Caribe. “Luego de 15 años de trabajo, *Techo* mantiene operación en 19 países de Latinoamérica y el Caribe: Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, Ecuador, El Salvador, Guatemala, Haití, Honduras, México, Nicaragua, Panamá, Paraguay, Perú, República Dominicana, Uruguay y Venezuela. Además, cuenta con una oficina en Estados Unidos” (Techo, 2013). Hasta la fecha se han construido 85.900 viviendas de emergencia y se han movilizado 530.000 voluntarios a nivel de Latinoamérica y el Caribe.

En el Ecuador la Fundación abrió sus puertas en junio del 2008. Dos implementadores uruguayos fueron los encargados de empezar las operaciones de la fundación en Ecuador. Actualmente la fundación está liderada por jóvenes ecuatorianos, se han construido 1.680 viviendas de emergencia y se han movilizado más de 15.000 voluntarios en nuestro país. Se ha trabajado en 12 provincias del Ecuador y se está trabajando en zonas rurales y urbanas como los barrios periféricos de la ciudad de Quito.

Los indicadores de pobreza en el Ecuador son alarmantes. Según cifras del INEC, a finales del año 2011 el 28,9% de la población del país vivía bajo la línea de la pobreza; para

obtener este dato se utilizaron indicadores de vivienda, ingresos, servicios básicos y acceso a la educación (INEC, 2012). El método de intervención de la fundación consiste en tres etapas: la vivienda de emergencia, las mesas de trabajo y la vivienda definitiva.

La primera etapa, y en la que se va a enfocar la investigación, es *la vivienda de emergencia*. *Techo* busca solucionar un problema puntual en una comunidad: la falta de vivienda; una vez solucionada esta necesidad, la fundación realiza la intervención en la comunidad y para ello establece una relación con la misma.

La segunda etapa consiste en *mesas de trabajo*. Una vez que se ha creado una relación con la comunidad y la necesidad habitacional se encuentra satisfecha, se crean mesas de trabajo en la comunidad, donde se ponen en marcha diversos proyectos con el fin de buscar el avance de la comunidad. Se desarrollan capacitaciones profesionales con el fin de crear empleos, se crean programas de salud en conjunto con otras fundaciones y programas de educación para niños y jóvenes.

Una vez que se han puesto en marcha todos estos programas para el crecimiento económico de las familias y de la comunidad, ello hace posible pasar a la tercera etapa que consiste en *la vivienda definitiva*. Con el trabajo de las mismas familias y con la capacitación y la guía de *Techo*, la familia puede acceder a una vivienda definitiva.

Descripción de la vivienda de emergencia

La vivienda de emergencia usada por la Fundación tiene muchas características que la definen. Como su nombre lo indica, es una vivienda usada en casos de emergencia; la vivienda

tiene que ser simple y fácil de armar en caso de que sea urgente su construcción. Las características principales y más importantes con las cuales *Techo* Ecuador define sus viviendas de emergencia son las siguientes:

- La vivienda debe poder armarse en dos días máximo.
- La vivienda debe poder armarse por mano de obra no calificada, siguiendo pasos de un manual escrito.
- Tiene que ser posible el desmantelamiento de la vivienda para su movilización y construcción en otro lugar, de ser necesario.
- La vivienda no puede exceder los 18 m².
- Sus piezas tienen que ser fáciles de transportar y se debe poder transportar 6 o más viviendas al mismo tiempo en una plataforma mediana.
- El costo de la vivienda, incluyendo todos los materiales, no debe exceder los USD \$2.000; la mano de obra siempre es voluntaria.
- La vivienda debe tener una vida útil entre 5 y 8 años.

El cumplimiento de estas características es muy importante para la realización del proyecto y es una condición fundamental para que la fundación tome en cuenta o no el diseño de una vivienda.

El diseño actual de la vivienda de *Techo* Ecuador está basado en el diseño original creado en Chile y en un diseño usado en las viviendas uruguayas. El material usado para las paredes,

pisos y cimientos es madera, el techo es de acero galvanizado con una protección de aluminio y zinc, y todas las conexiones se realizan con clavos de 3 y 4 pulgadas¹.

Cimientos y piso: La vivienda se apoya en 12 pilotes de madera de 10 cm x 10 cm x 105 cm, distribuidos en una proporción de 3 x 4. Estos pilotes deben estar enterrados mínimo un 60% de su altura (es decir, 60 cm aproximadamente), de modo que el pilote que se encuentre en el lugar más bajo del terreno puede sobresalir de la tierra máximo 40 cm. Sobre estos pilotes se apoyan nueve vigas de madera de 10 cm x 5 cm x 200 cm; las vigas se colocan de aquella forma en la que se logre la mayor rigidez a la flexión, es decir, se asientan sobre la cara de 5 cm. Sobre estas vigas se colocan tres paneles que conforman el piso; los paneles están conformados por una estructura hecha con vigas de madera de 5 cm x 5 cm de sección, y, a su vez, esta estructura está recubierta con una plancha de MDP Tropical de 1.5 cm de espesor. La función de los pilotes, además de cumplir aquella de cimentación y evitar el volcamiento de la vivienda, es nivelarla, ya que en los terrenos en los que se construye no se ha realizado topografía ni una nivelación con máquina; a lo sumo se niveló el terreno con herramientas manuales. Los pilotes se nivelan con una manguera plástica y agua. Las vigas se conectan a los pilotes y entre sí con clavos de acero para madera de 4 pulgadas.

¹ 1 pulgada = 2.54 centímetros



Figura 1: Estructura de piso

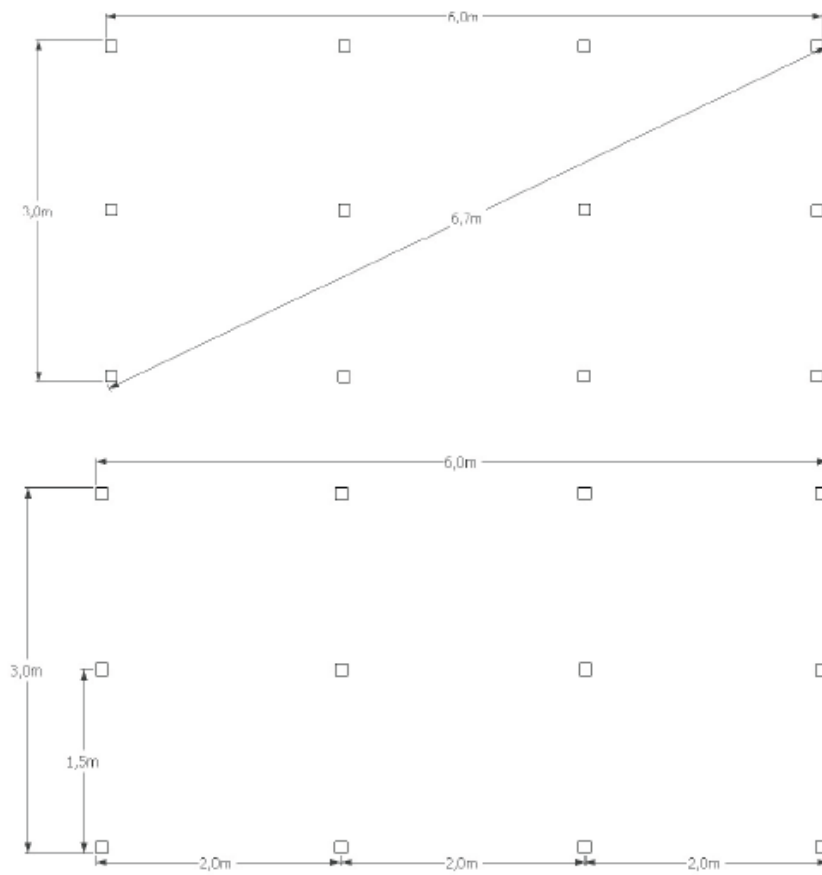


Figura 2: Distribución de pilotes

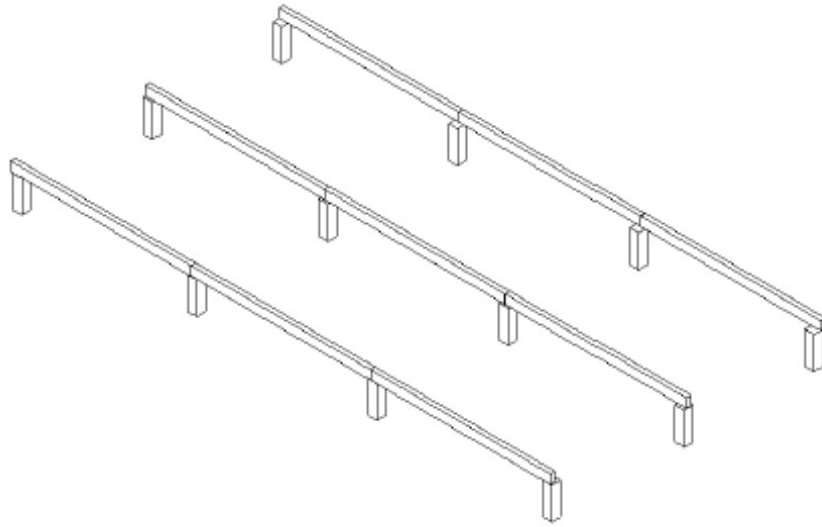


Figura 3: Cimientos de la vivienda de *Techo* actual

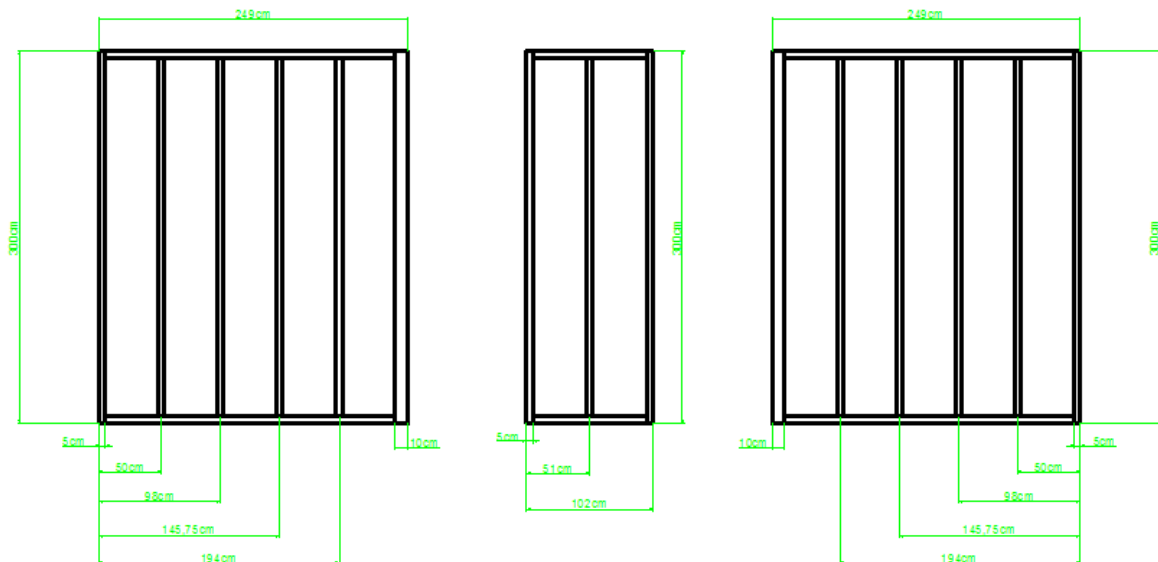


Figura 4: Planos paneles de piso

Paredes: Las paredes constan de seis paneles: dos frontales, dos posteriores y dos laterales. Los paneles frontales y posteriores dan la caída de agua de la casa. Los dos paneles posteriores

son iguales; los frontales son diferentes, ya que en uno de ellos se abre un espacio para la puerta. Los paneles laterales son iguales. Los paneles de pared están compuestos de una armazón fabricada con vigas de madera de sección 5 cm x 5 cm y planchas de aglomerado MDP Tropical de 1.5 cm de espesor.

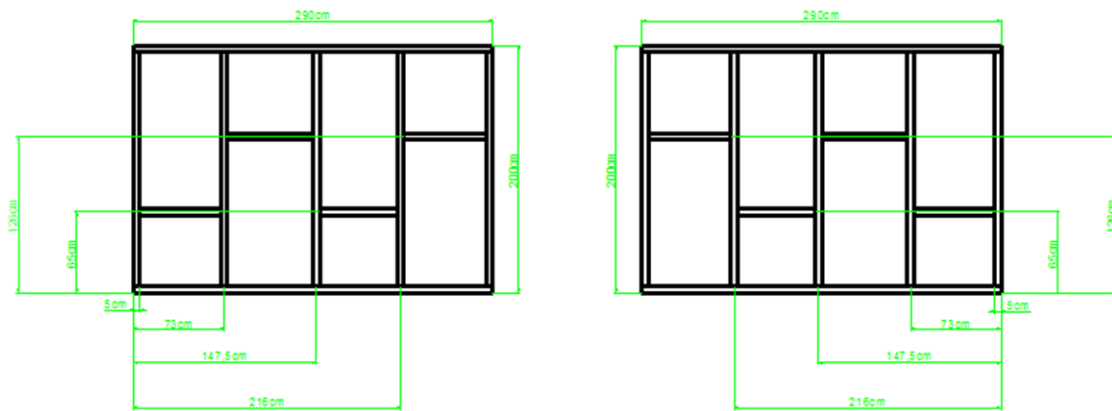


Figura 5: Planos paneles laterales

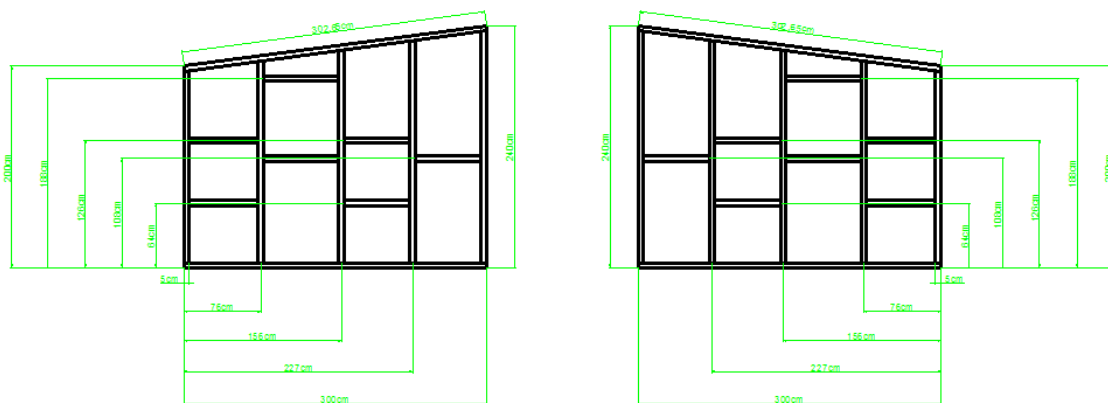


Figura 6: Planos paneles posteriores

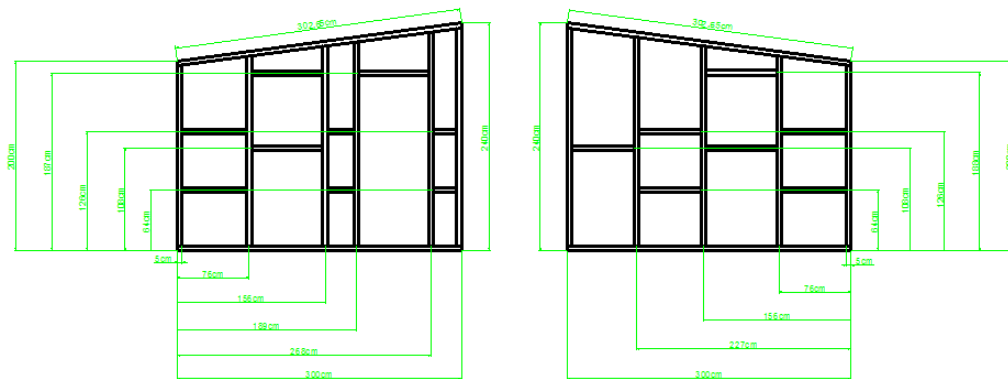


Figura 7: Planos paneles frontales

Cubierta: El techo consiste en ocho planchas de acero galvanizado, cuatro por lado, colocadas de forma intercalada y un aislante térmico que permite la retención del calor en caso de frío dentro de la vivienda y, si hace mucho calor, evita que el calor pase de la cubierta a la habitación. Las láminas de techo son proporcionadas por la empresa *Kubiec-Conduit*, el nombre del producto es Kubimil Plus de 0.35 mm de espesor. La estructura del techo está formada por una viga maestra que cruza a la vivienda desde la mitad de los paneles frontales hasta la mitad de los paneles posteriores. Esta viga maestra consiste en dos vigas de 2.5 cm x 10 cm x 300 cm, unidas en tres puntos; las dos vigas están paralelas y mantienen entre sí una separación de 10 cm.



Figura 8: Viga maestra

Unas vigas secundarias (en número de seis: tres hacia cada lado) se apoyan desde la viga maestra hasta los paneles laterales. Sobre estas vigas secundarias se apoyan perpendicularmente seis vigas costaneras que van desde los paneles frontales a los paneles posteriores: tres vigas por lado. Todas las conexiones en la estructura del techo se realizan con clavos de acero para madera, de 3 pulgadas.



Figura 9: Estructura del techo

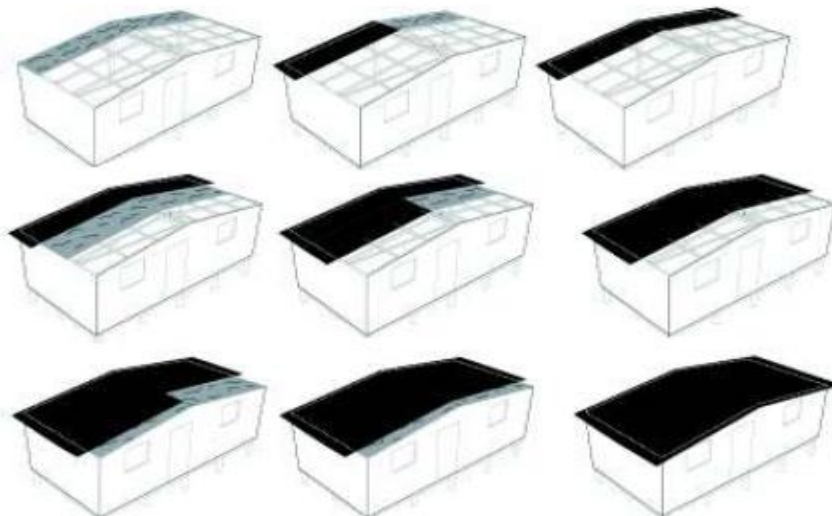


Figura 10: Colocación de cubierta

Extras: Las viviendas no cuentan con instalaciones de servicios básicos; es decir, la fundación no proporciona instalaciones eléctricas, de agua potable o de teléfono.



Figura 11: Vivienda completa

La vivienda de emergencia usada por *Techo* en Ecuador nunca ha sido evaluada desde un punto de vista ingenieril. En Chile se han realizado unos trabajos para comprobar la resistencia de la vivienda contra cargas de huracanes, pero nunca un análisis completo de la vivienda. Nunca se ha realizado un análisis estructural de la vivienda y nunca se han realizado pruebas mecánicas de esfuerzo en los materiales usados. La única excepción es la del MDP Tropical, el cual lo provee la empresa Novopan del Ecuador y tiene especificaciones técnicas para todos los productos que vende, incluyendo el MDP Tropical.

Norma Ecuatoriana de la Construcción

En el Ecuador, el documento encargado de normar, controlar y asegurar los correctos procesos en la construcción es la NEC 2013, Norma Ecuatoriana de la Construcción. Este documento, aprobado por el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, MIDUVI, cuenta con 18 capítulos, cada uno dedicado a un área específica de la construcción, como por ejemplo: construcciones en hormigón pretensado, riesgo sísmico, construcción en acero, cimentación y geotecnia, etc. El capítulo 7 está dedicado específicamente a la utilización de la madera como material de construcción, las especificaciones de la misma y las cargas a usarse para el diseño. El capítulo 7 de la NEC-13 basa la mayoría de su contenido en otro documento, el *Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino de la Junta del Acuerdo de Cartagena*. Este es un manual creado en conjunto por varios países de la zona andina. Es un manual muy detallado que trata todos los aspectos de la construcción en madera, como cimentaciones, conexiones, madera estructural, tratamiento de la madera, etc.

El problema con las viviendas de Techo Ecuador es que no se rigen a la NEC-13 y, por lo tanto, tampoco se rigen al Manual del Grupo Andino. La Fundación jamás ha sentido la necesidad de seguir las normas propuestas por la NEC-13, ya que nunca han sido controlados o auditados por el MIDUVI o por algún ente controlador del Estado en el tema del diseño de la vivienda. Sin embargo, en el capítulo 7 de la NEC-13, números 7.1.4.1 y 7.1.4.2, se estipula lo siguiente:

“7.1.4.1.: La Norma Ecuatoriana de Construcción es de aplicación obligatoria en todo el territorio nacional, en todo lo que se relaciona con la construcción de edificaciones en las que se utilice la madera escuadrada como material estructural.

7.1.4.2.: Las disposiciones constantes en esta Norma se las aplicarán a todas las personas naturales y jurídicas dedicadas a la construcción de edificaciones que utilicen estructuras de madera, así como los proveedores de madera estructural que dispongan la Patente de Proveedores de madera estructural” (Comité Ejecutivo de la Norma Ecuatoria de la Construcción, 2013).

La Fundación tampoco ha visto como una prioridad pagar una consultoría para que sus diseños sean revisados de una forma científica, para asegurar que el diseño sea bueno y que se estén aprovechando los materiales de la mejor manera. *La propuesta de este trabajo es comparar el diseño actual de Techo con las normas propuestas en el capítulo 7 de la NEC-13 y revisar punto por punto qué se cumple y qué no se está cumpliendo.*

Para esto se realizará un análisis estructural de la vivienda, sometiéndola a las cargas de diseño que dicta la norma; de igual manera se realizarán pruebas mecánicas en los materiales con el fin de comprobar si la madera cumple con la resistencia mínima establecida y si el tratamiento que recibe el material es el adecuado.

Una vez hecho el análisis, se propondrán cambios en la vivienda de emergencia actual de Techo para que ésta cumpla con todas las normas que sean competentes, sin modificar las condiciones de vivienda de emergencia que tiene la fundación, y sin aumentar significativamente el precio. Finalmente, se realizará un manual de construcción de la nueva vivienda que sea claro y fácil de seguir, y se propondrá un presupuesto de la misma, incluyendo todos los materiales usados.

REVISIÓN NEC-13 Capítulo 2

Introducción

Si bien el capítulo 7 de la NEC-13 regula todas las construcciones realizadas con madera, no todos los artículos del capítulo se aplican a las viviendas de la fundación *Techo*, ya que existen regulaciones que aplican a viviendas de varios pisos o que prestan servicios especiales.

A continuación se presentará cada literal de la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2013, capítulo 7, en letra cursiva, seguido de la contraparte en el caso de las viviendas de *Techo*. Es importante mencionar que ningún juicio en temas de cumplimiento o no de la norma se lo hará en este capítulo; solamente se mencionarán los puntos. En el siguiente capítulo se realizara el respectivo análisis.

Actualmente los paneles son fabricados en una pequeña planta improvisada que está ubicada en el sector de Llano Chico al norte de la ciudad de Quito. El contacto de la planta ensambladora es la señora Rocío Guevara López. La madera actualmente es proporcionada por dos proveedores. El primero de ellos, quien ha prestado ese servicio desde hace más de un año, es el señor Simón Reascos, que es el dueño de un aserradero ubicado en el km 2 de la vía a Marianas, en el sector de Calderón, al norte de la ciudad de Quito. Este proveedor se encarga de toda la madera usada en la estructura de los paneles. Con el señor Reascos se mantuvo algunas conversaciones telefónicas para obtener la información necesaria, ya que se negó a compartir la información necesitada por un medio escrito, en este caso un correo electrónico. El segundo proveedor es la empresa *Ricateak*, cuya planta se encuentra en el km 24 de la vía a Daule en la ciudad de Guayaquil. El contacto es la señora Gina Ambrosi, quien ha facilitado, muy amablemente, toda la información requerida para la realización de este trabajo a través

del correo electrónico. *Ricateak* provee al momento actual toda la madera para la estructura del piso, pilotes y vigas de piso, y todo el material para la estructura del techo. *Techo* viene trabajando con *Ricateak* desde hace tres meses, ya que están buscando y probando nuevos proveedores.

A continuación, los literales pertinentes de la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2013 y los respectivos comentarios:

De las Condiciones del uso de la madera

Procedencia del Material

La Autoridad Forestal del Ecuador deberá controlar, en los depósitos e industrias de la madera en todo el país, la procedencia legal de la madera a utilizarse en la construcción de viviendas y otras edificaciones, que utilicen la madera como material estructural.

Establecimientos Autorizados

La Autoridad Forestal Nacional, extenderá la correspondiente Patente de Proveedor de Madera Estructural, a los interesados que cumplan con los requisitos siguientes:

- a) Se abastezcan de madera proveniente de Programas de aprovechamiento y de corta, autorizados por el Ministerio del Ambiente, es decir de procedencia legal.*
- b) Poseer una infraestructura de secado al horno y preservación a presión o inmersión.*
- c) Estar dispuestos a asumir las responsabilidades civiles y penales que se deriven del uso de materiales defectuosos.*

Toda persona natural o jurídica, responsable de la construcción de edificaciones con material estructural de madera, deberá proveerse del material, en los establecimientos de comercio de

madera estructural, autorizados por la Autoridad Nacional Forestal.

Las dos empresas proveedoras de madera que utiliza la fundación *Techo* cuentan con los permisos necesarios emitidos por el Ministerio de Ambiente del Ecuador. Las guías de remisión son siempre entregadas a la señora Rocío Guevara, cuando el cargamento de material es entregado en la planta de fabricación de los paneles. La madera “proviene de nuestras plantaciones que han sido cultivadas y taladas legalmente y se encuentran registradas en el Ministerio de Ambiente de Ecuador y contamos con todos los permisos de extracción y movilización de madera requeridos por el MAE. Adicionalmente, nuestra empresa está registrada en el MAE para realizar este tipo de trabajos de aserrado y comercialización de madera” (G. Ambrosi, comunicación personal, 9 de julio de 2013). La fundación nunca ha tenido problemas con temas de tala ilegal de madera o similares, salvo en un caso en el que el chofer olvidó la guía de remisión y las autoridades tuvieron que detener el cargamento de madera; sin embargo, este problema se solucionó rápidamente.

Ambas empresas poseen hornos de secado. De igual manera, ambas empresas le dan tratamiento a la madera contra plagas. En el caso de existir piezas defectuosas entregadas en la planta de fabricación de paneles, la señora Guevara rechaza las piezas devolviéndolas a los proveedores los cuales asumen los costos de las mismas.

De los Proveedores de Madera Estructural

Los proveedores de madera estructural, deberán entregar a los compradores, una lista de las piezas con sus dimensiones y la certificación de sus productos estructurales, con la siguiente información:

- *Identificación de la madera (nombre común, nombre científico).*

- *Contenido de humedad de la madera secada al horno.*
- *Densidad específica básica promedio (a un contenido de humedad del 12%) y grupo estructural.*
- *Retención y Penetración, y nombre del preservante utilizado, para el caso de maderas que requieran de preservación.*
- *Cumplimiento de la Norma de Clasificación Visual para Madera Estructural.*

En el caso del señor Reascos, la especie de madera que provee es variada, no se sabe con exactitud la especie ya que no provee una especie específicamente; en las conversaciones telefónicas que se tuvo, él mencionó varias especies de árboles, entre esas: colorado, eucalipto y algunos otros. Por otro lado *Ricateak* usa una sola especie, la cual es talada en plantaciones de propiedad de la misma empresa. La especie que se usa es el *pino Patula*. Adicionalmente, la empresa proporcionó la ficha técnica de la especie, en donde se especificó la densidad, el contenido de humedad y propiedades mecánicas. La misma ficha se presentará al final como el Anexo A.

Si bien ambas empresas poseen horno de secado, ninguno de los dos proveedores seca la madera que se proporciona a *Techo*. El único secado que se le da a la madera es al ambiente, también llamado “oreado”; dependiendo del tamaño de la pieza se la seca durante 3 o 4 semanas.

En lo que respecta al cumplimiento de la *Norma de Clasificación Visual para Madera Estructural*, hacemos referencia al *Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino*, compilado y editado por la Junta del Acuerdo de Cartagena en el año 1984. La sección de *Clasificación Visual para madera Estructural* se encuentra en el literal 3.4 del *Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino* y se presenta como el Anexo B.

En el caso del aserradero del señor Reascos, aparentemente no hay conocimiento alguno de esta última *Norma*, y, debido al estado de las piezas que se han proporcionado durante el último año por parte del señor, se puede concluir que la clasificación visual de defectos no se realiza de una manera correcta, ya que es muy frecuente la recepción de piezas en mal estado y que a simple vista no son aceptables para su uso en la construcción. No se ha realizado mucho control por parte de la señora Guevara, dueña de la planta de fabricación de los paneles, en la revisión de las piezas, ya que ha despachado mucho material en malas condiciones que ha presentado muchos problemas para los voluntarios al momento de la construcción de las viviendas.

Al no tener respuestas concretas por parte de la empresa *Ricateak*, se asume que no se tiene un conocimiento claro de la *Norma de Clasificación Visual para Madera Estructural*. Se menciona brevemente que las maderas son inspeccionadas y que se descartan las que tienen defectos pero no se dice a partir de qué se clasifican estos defectos y tampoco se menciona una medida o una tolerancia para definir si un defecto es aceptable o no.

Diseño Arquitectónico

Criterios Generales de Diseño

Se debe pensar a las estructuras como un sistema desde la preparación hasta el montaje, considerando cada pieza y cada tarea como parte integrante del conjunto.

Las pautas de diseño arquitectónico propuestas tienen en cuenta las limitaciones del material y aseguran estabilidad, seguridad y durabilidad de las construcciones en madera. Las normas aquí propuestas no tienen carácter restrictivo del diseño y su criterio consiste en asegurar el buen comportamiento de aquellas.

Los requisitos establecidos en este numeral deben aplicarse a las edificaciones en las cuales la estructura está hecha totalmente de madera. Estos requisitos son igualmente aplicables a los elementos de madera de las edificaciones mixtas, aquella donde la estructura está hecha parcialmente con madera, complementada con otros materiales como hormigón, acero o mampostería.

Características físicas. *En los diseños de madera estructural se deben tener en cuenta las limitaciones impuestas por el origen orgánico del material: variabilidad natural y defectos, higroscopicidad y su influencia en la estabilidad dimensional, combustibilidad y deterioro por hongos, insectos y agentes atmosféricos, baja densidad y poco peso de las piezas.*

Las viviendas de *Techo* están diseñadas específicamente para ser construidas en madera. Sacan provecho al hecho de que la madera tiene un peso bajo; por tanto es fácil de transportar, y, en el caso de que sea necesario, puede ser cargada manualmente por los voluntarios. Si bien el bajo peso y la densidad de la madera puede ser una ventaja, también puede ser una desventaja en temas de resistencia; por esto, es muy bajo tanto el peso de las viviendas como el peso que deben soportar los elementos.

En asuntos de deterioro por plagas o elementos atmosféricos, la madera interna, es decir la estructural, recibe tratamientos con insecticidas y fungicidas; mientras que las planchas externas de aglomerado están fabricadas para trabajar en exteriores, es decir, a la intemperie. Sin embargo, toda la madera que queda expuesta al ambiente se cubre con pinturas especiales para exteriores, a fin de darles un cuidado extra.

Con respecto a la combustibilidad del material, se recomienda a los usuarios de las viviendas no realizar actividades de cocina dentro las viviendas. Aparte de esto, el material en sí no recibe ningún tipo de tratamiento o recubrimiento contra el fuego.

Características mecánicas. Los diseñadores deben tener en cuenta en sus diseños las características propias del material en cuanto a resistencia y rigidez, lo que necesariamente impone restricciones de luz, excepto en vigas laminadas, carga y esfuerzos admisibles, que los hace diferentes de los diseñadores en otros materiales como el hormigón y el acero.

Al ser prefabricadas, las viviendas son todas iguales. No existen cambios de diseño entre viviendas. No existen luces mayores a 3 metros. El diseño de la vivienda es sencillo pero eficaz. La carga muerta que resiste la vivienda es mínima.

Limitaciones estructurales. La dimensión limitada de las piezas de madera conduce al diseño de estructuras en las cuales la dificultad, inherente a la madera, de ejecutar uniones totalmente rígidas, no comprometa su estabilidad

Todas las conexiones en las estructuras internas de cada panel se realizan con tornillos. Las conexiones entre paneles y entre elementos estructurales del piso o del techo se realizan con clavos. Las conexiones realizadas con tornillos normalmente no se podrían tomar como rígidas, pero en el caso de las viviendas de *Techo* se tomarán como tales, ya que la estructura está cubierta por planchas de MDP Tropical, lo que aumenta la estabilidad de las piezas. Las conexiones realizadas con clavos se consideran *articulaciones*, ya que se sabe que estas conexiones no son muy eficientes. El diseño de la vivienda está realizado para que las conexiones tengan que soportar la menor cantidad de carga y sean meramente elementos de unión. Sin embargo, algunas mejoras se pueden realizar en este aspecto.

Protección por Diseño

Protección Contra Humedad

Por ser higroscópica y porosa la madera absorbe agua en forma líquida o de vapor. Si la humedad se acumula en la madera, afecta sus propiedades mecánicas, se convierte en conductora de electricidad y sobre todo, queda propensa a la putrefacción por el ataque de hongos.

La madera puede humedecerse por capilaridad, por lluvia o por condensación, por lo que debe protegerse como se indica a continuación:

a) La madera por contacto con el suelo o con alto riesgo de humedad debe ser preservada de acuerdo a la norma establecida².

“La madera debe ser aislada del contacto con los cimientos por medio de una barrera de humedad que puede consistir en una capa de cartón asfáltico de 3 mm de espesor como mínimo, o en su defecto otros productos como polietileno pesado y betún o brea aplicada en caliente” (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).

“Sobre el suelo de tierra, debajo de un piso de madera elevado, debe colocarse una capa de polietileno de 0.15 mm con traslapes de 100 mm” (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).

“La madera que tenga que estar enterrada en el suelo, generalmente húmedo, debe ser de durabilidad reconocida, preservada a presión o cubierta por una capa aislante, tal como brea o alquitrán” (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).

² La “norma establecida” hace referencia al Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino de la JUNAC. Sección 6.1: Protección ante la humedad y hongos.

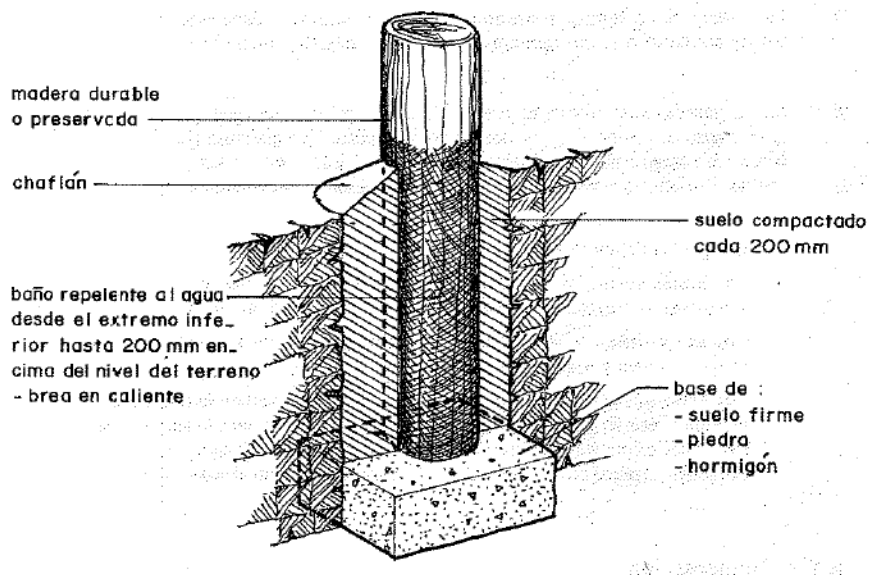


Figura 12: Protección de humedad en pilotes

Los pilotes usados por la fundación van enterrados en el terreno donde se construyen las viviendas. Actualmente las viviendas de *Techo* no están usando ningún tipo de repelente para el agua en los pilotes y los pilotes están en contacto directo con el suelo. Hace un año, más o menos, se usaron en contadas ocasiones pilotes cubiertos de brea, los cuales funcionaron muy bien. La compactación del suelo se la realiza correctamente, según lo estipula la norma. La base, normalmente, es de suelo firme, aunque hay pocos casos en los que no se encuentra suelo firme para asentar los pilotes; en esos casos se usan rocas. Es importante recalcar que el peso de las viviendas es muy bajo, por lo cual el problema de asentamientos no se da. Las vigas de piso y las bases de los paneles de piso no se cubren con ningún tipo de aislante de humedad; estas piezas se encuentran normalmente a 30 cm del suelo.

b) El diseño mismo puede evitar la exposición directa de la madera a la lluvia; si esto no se logra, debe protegerse con sustancias hidrófugas o con superficies impermeables.

El volado que queda en las láminas de la cubierta es de aproximadamente 25 cm por

lado en la caída del agua, es decir, en los paneles laterales. En los paneles frontales y traseros, el volado que se obtiene es de 20 cm. Si bien estos volados no son suficientes para cubrir los paneles de MDP Tropical de la lluvia, esta madera está fabricada específicamente para su uso en exteriores, tiene aislantes de humedad; adicionalmente, todas las paredes se cubren con pintura para exteriores, justamente para darles una protección extra contra las inclemencias del clima.

c) Todo elemento estructural expuesto a la intemperie debe apoyarse, con aislante, sobre zócalos o pedestales de hormigón, metálicos o madera, de tal forma que no permanezcan en contacto con el agua estancada y debe ser protegido, lo mismo que los elementos de madera de recubrimiento de muros exteriores, por medio de aleros y deflectores.

Las vigas de piso quedan expuestas al ambiente. Estas se apoyan sobre los pilotes, sin ningún tipo de aislante, y los pilotes tampoco se encuentran cubiertos de ningún tipo de aislante.

d) Para prevenir la condensación es necesario evitar los espacios sin ventilación, especialmente en climas húmedos. En aquellos ambientes que por su uso estén expuestos al vapor, como baños y cocinas, además de suficiente ventilación, deben protegerse las superficies expuestas con recubrimientos impermeables.

Las viviendas no están diseñadas para ser usadas como baño o cocina, y se les advierte a los beneficiarios que la estructura debe ser usada solamente con fines habitacionales. No existen espacios cerrados expuestos a humedad.

Protección Contra Hongos

Los hongos que atacan la madera son organismos parásitos de origen vegetal que se alimentan de las células que la componen, desintegrándola. Se reproducen sobre la madera húmeda bajo ciertas condiciones de temperatura, por esporas traídas a través del aire o por el contacto directo con otros hongos. La protección de la madera debe comenzar, desde que se corta. Sin embargo, en la obra debe tenerse en cuenta lo siguiente:

- *Debe desecharse la madera con muestras de putrefacción y hongos, según se establece en la Tabla 7.5.*

Como ya se mencionó previamente, existe una deficiencia notable en el cumplimiento de la *Norma de Clasificación Visual de Defectos*; por lo tanto, la aceptación o descarte de piezas que muestran señales de putrefacción no se realiza adecuadamente.

- *Debe evitarse el uso de clavos y otros elementos metálicos que atraviesen la madera en las caras expuestas a la lluvia, salvo que se sellen las aberturas. Se recomienda el uso de clavos galvanizados.*

En vigas de piso y en uniones entre paneles, los clavos atraviesan la madera en las caras expuestas a la lluvia. Estas uniones no se sellan con nada, las cabezas de los clavos quedan expuestas. Se usan clavos de acero galvanizado para madera.

Protección Contra Insectos

La madera puede ser atacada, especialmente en climas húmedos y cálidos, por insectos que perforan su estructura en busca de nutrientes. Entre estos insectos están las termitas aladas, las termitas subterráneas y los gorgojos.

- a) *En zonas donde existan termitas subterráneas, deben eliminarse los restos orgánicos alrededor de la construcción y establecerse barreras de tierra tratada con insecticidas hasta la profundidad de la cimentación.*

No se realiza y nunca se ha realizado un análisis del sitio con el fin de descubrir la existencia de termitas subterráneas. Muchas veces las construcciones se realizan en terreno formados por medio de rellenos o botaderos, nunca se ha realizado el cambio de suelo y la eliminación de material orgánico del perímetro donde se construye.

- b) *Donde existan termitas subterráneas y aladas, deben colocarse barreras o escudos metálicos sobre las superficies de la cimentación en forma completamente continua.*

Nunca se ha realizado un estudio para saber si existen o no termitas en la zona. Nunca se han colocado barreras metálicas en los pilotes.

- c) *Donde el riesgo de ataque de insectos sea alto, debe tratarse la madera de la construcción con los métodos adecuados.*

Según lo hablado con los proveedores de madera, ésta recibe el tratamiento adecuado contra el ataque de insectos: “El tratamiento químico para plagas es por inmersión con material a base de boro” (G. Ambrosi, comunicación personal, 9 de julio de 2013).

Protección Contra el Fuego

Para el diseño debe tenerse en cuenta que la madera es un elemento combustible que se inflama a una temperatura aproximada de 270 °C, aunque algunas sustancias impregnantes o de recubrimiento pueden acelerar o retardar el proceso.

- a) *No deben utilizarse elementos de calefacción que aumenten la temperatura de los ambientes peligrosamente.*

A los usuarios se les advierte que el uso de las viviendas es puramente habitacional. En el caso de que una de las familias use un sistema de calefacción, lo cual es muy poco probable debido al nivel económico de las familias con las que se trabaja, las temperaturas no sobrepasarán los 100 °C.

- b) *Las paredes próximas a fuentes de calor deben aislarse con materiales incombustibles.*

Debido a que las viviendas se construyen solamente con un fin habitacional, ninguna fuente de calor debe existir dentro de la vivienda. Se toma en cuenta que la vivienda no esté cerca de fuentes de calor previa su construcción.

- c) *Las edificaciones adyacentes construidas con madera, deben separarse como mínimo 1.20 m entre sus partes salientes. Si la distancia es menor, los muros no deben tener aberturas y su superficie debe estar recubierta de materiales incombustibles con una resistencia mínima de 1h de exposición. Si están unidas, el paramento común debe separarse con un muro cortafuego de material incombustible. Este muro debe sobresalir en la parte superior por lo menos 0.50 m y en los extremos por lo menos 1.00 m medidos a partir de los sitios que más sobresalgan de las construcciones colindantes. La estabilidad de este muro no debe sufrir con el colapso de la construcción incendiada.*

Debido a problemas de espacio, muchas veces es imposible respetar la distancia de 1.20 m entre viviendas. En el caso de que las viviendas se construyan a menos de 1.20 m o se construyan adosadas, nunca se ha usado ningún tipo de aislante o material incombustible.

d) Las piezas estructurales básicas deben sobredimensionarse 5 mm en su espesor. En sus caras expuestas.

Nunca se ha realizado un análisis estructural de la vivienda y mucho menos un diseño basado en las cargas estipuladas en la NEC-13; por lo tanto, no se podría decir si están bien o mal dimensionadas las piezas.

e) Deben evitarse acabados que aceleren el desarrollo del fuego, tales como lacas y barnices óleo soluble.

La Fundación no usa ningún acabado de este tipo en las viviendas. Sólo se usa pintura de agua para exteriores para pintar los paneles.

Mantenimiento

Toda edificación de madera aunque está bien construida requiere de revisiones, ajustes y reparaciones durante su existencia.

Al poco tiempo de construida probablemente debe ser necesario arreglar fisuras en las uniones de las maderas, desajustes de puertas y ventanas y apretar tornillos o tuercas de pernos para corregir los desajustes debidos al asentamiento del terreno y a la acomodación de la madera a la humedad del ambiente.

Posteriormente debe ser necesario efectuar revisiones periódicas y ejecutar los arreglos necesarios.

a) Reclavar los elementos que por la contracción de la madera, por vibraciones o por cualquier otra razón, se hayan desajustado; y, apretar las tuercas en uniones hechas con

pernos y tornillos.

Normalmente, voluntarios de la Fundación visitan las viviendas construidas entre uno o dos meses después de la construcción para revisarlas. El arreglo más común que se necesita es el reclavado entre paneles, ya que muchas veces, debido al cambio de humedad en el sitio o por asentamientos del terreno, aparecen pequeñas aberturas en las uniones entre paneles, sobre todo en las esquinas. En teoría estas visitas se deben seguir haciendo cada mes o cada dos meses; sin embargo, hay comunidades que no han sido visitadas en casi un año, y en muchas de estas comunidades las viviendas necesitan reparaciones importantes.

b) Si se encuentran roturas, deformaciones o podredumbres en las piezas estructurales, se debe dar aviso al constructor.

En las visitas que realiza la Fundación a las comunidades en las que se ha intervenido, normalmente los beneficiarios dan aviso a los voluntarios de la Fundación sobre fallas en el material de la vivienda. En el mejor de los casos el problema se soluciona dentro de uno o dos meses. La Fundación regresa con material nuevo y voluntarios para realizar el trabajo. No obstante, hay casos en los que los materiales defectuosos no han sido cambiados ni arreglados durante años.

c) Repintar las superficies deterioradas por efectos del viento, de la humedad y del sol.

Las viviendas de la Fundación se pintan luego de ser construidas. En algunas comunidades se ha entregado nueva pintura para que las viviendas sean repintadas.

g) Mantener las ventilaciones de áticos y sobre cimientos sin obstrucciones.

No hay áticos en las viviendas de *Techo*; sobre la cimentación siempre queda un espacio de aproximadamente 25 cm por donde circula libremente el aire.

h) Inspeccionar posibles humedades que puedan propiciar el crecimiento de hongos y eliminar las causas.

Cuando se realizan las visitas se revisa cuidadosamente el estado de la madera, y, en caso de encontrar elementos atacados por humedad, se la reemplaza.

i) En caso de construcciones sobre pilotes, se deben revisar el apoyo homogéneo de la estructura, su nivelación y el estado de ella.

Se han presentado casos en los que la vivienda ha sufrido un asentamiento en sólo unos pilotes. Si el asentamiento es muy grande, se desarma la vivienda y se la vuelve a construir, teniendo más cuidado con el asentamiento de los pilotes. Si el asentamiento no es muy evidente, se lo soluciona levantando la casa y volviéndola a nivelar con nuevos elementos de madera.

Otras consideraciones

Es evidente que la construcción en madera demanda un gran trabajo en el detalle, para conseguir la seguridad que debe brindar el diseño y la construcción de una edificación. Se exponen algunos criterios de diseño que se encuentran detallados en el “Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino”:

a) PROTECCIÓN ANTE EL CALOR. Diseñar la vivienda con circulación de aire y evitando

la acumulación de calor. La transmisión de calor debe preverse en la cubierta para salida de aire y en la parte baja para ingreso de aire fresco. Debe procurarse la utilización de Aislantes de Calor.

Las viviendas cuentan con dos ventanas, en el caso ser construidas en la Sierra, y con cuatro ventanas, si son construidas en la Costa. Entre la cubierta de acero galvanizado y la estructura que sostiene la cubierta, se coloca un aislante térmico de 3 mm de espesor. Este aislante es de *thermolon*.



Figura 13: Aislante térmico, thermolon

b) PROTECCIÓN ANTE LOS RUIDOS. Los niveles de ruido deben ser corregidos con aislantes acústicos.

Techo no usa ningún tipo de aislante acústico en sus viviendas.

c) PROTECCIÓN CONTRA LOS SISMOS. La flexibilidad del material, determina un mejor comportamiento estructural en los sismos, fundamentado además en el poco peso y su ductilidad.

El peso de las viviendas es mínimo; por lo tanto, el factor sísmico no presenta una amenaza considerable. Sin embargo, las planchas de MDP Tropical son muy flexibles y la madera, al no ser extremadamente seca, también tiene ductilidad.

Consideraciones Generales para el Diseño Estructural

La Madera Como Material de Construcción

La madera es un material ANISOTRÓPICO, y más propiamente ORTOTRÓPICO, lo cual obliga a tener presente la orientación de las solicitaciones con relación al material: paralela y perpendicular a la fibra.

El comportamiento de la madera a la aplicación de los esfuerzos no sigue, en general, la Ley de Hooke, sin embargo para los niveles de sollicitación a los que normalmente se la utiliza se puede asumir un comportamiento elástico-lineal. Por lo que se recomienda que el diseño en Madera se lo efectúe con la clásica Teoría Elástica, ya que se cuenta con información, respaldada con investigaciones, de las propiedades Físico-Mecánicas.

No se recomienda, al estado actual del conocimiento del material, el diseño al Estado Límite, por no contar con información confiable que permita una razonable seguridad de las estructuras, debido a la gran cantidad de especies latifoliadas de nuestro medio. De manera general, que el diseño en madera se lo haga con madera aserrada. El diseño con madera rolliza debe intentarse si se dispone de información de laboratorio que respalde el diseño en ese estado del material. Los resultados de los ensayos de Laboratorio, en probetas pequeñas libres de defectos son compatibles con la madera aserrada, no así con la rolliza porque en ésta se incluyen partes del árbol, que no forman parte de las probetas pequeñas libres de defectos, según expresamente se indican en las normas generalmente aceptadas. De otro lado

se pueden usar piezas estructurales de madera laminada, a condición de disponer información consistente de los adhesivos y de la técnica para la elaboración de las piezas: vigas, columnas, pórticos etc. Debe ponerse énfasis en las uniones de las láminas que conformarán la pieza, a fin de garantizar la continuidad de su resistencia.

El diseño Elástico se sustenta en la adopción de ESFUERZOS ADMISIBLES. Por lo que los elementos estructurales deben diseñarse para que los esfuerzos resultantes de la aplicación de las cargas de servicio sean menores, o a lo más iguales, a los esfuerzos admisibles del material.

Paralelamente se deben calcular (evaluar) las deformaciones en los elementos con la aplicación de las cargas de servicio, estas deformaciones deben ser menores, o a lo mas igual, a las deformaciones admisibles. Sin embargo debe tomarse en cuenta las deformaciones diferidas debido a cargas permanentes, para que la deformación total sea adecuada como se verá en el subcapítulo de flexión.

Esfuerzos y deformaciones admisibles para las maderas del Grupo Andino constan en investigaciones sobre el tema, los valores de esfuerzos admisibles, de deformaciones admisibles y otras propiedades constan en el “MANUAL DE DISEÑO PARA MADERAS DEL GRUPO ANDINO” editado por la Junta del Acuerdo de Cartagena. No obstante, se puede usar información de otras fuentes como resultado de investigaciones.

Igualmente se recomienda usar la información sobre esfuerzos y deformaciones que constan en la bibliografía especializada y/o de la experiencia de estructuras de madera en servicio.

Cargas

Las estructuras de madera, al igual que con otros materiales, deben diseñarse para resistir las cargas muertas, vivas y por sismo que según el tipo de estructura y su ocupación se

presentan en el subcapítulo 7.1.

Esfuerzos Admisibles

Para el diseño estructural deberá usarse los esfuerzos admisibles que constan en el MANUAL DE DISEÑO PARA MADERAS DEL GRUPO ANDINO, porque son consecuencia de un proceso de ensayos con maderas de la Subregión. Los valores indicados están respaldados por un número grande de repeticiones lo cual le da confiabilidad.

Debe tenerse presente que los valores referidos son válidos para madera ESTRUCTURAL, que cumple en su totalidad con la “Norma de Clasificación Visual”, que se encuentra en el capítulo 13 del Manual mencionado. Es responsabilidad del calculista especificar madera que cumpla con la Norma de clasificación visual; igualmente se supervisará que la madera que se está usando en la obra cumple con la mencionada norma. Véase el MANUAL DE CLASIFICACIÓN VISUAL, publicado por la JUNAC.

De numerosas investigaciones se tiene establecido que hay una estrecha relación entre la densidad (densidad básica) y la resistencia a los diferentes esfuerzos del material, es así que en el Manual de Diseño indicado constan tres grupos para madera estructural “A”, “B” y “C”, que corresponden a las densidades: Alta, Mediana y Baja según se indica:

“A” densidad básica comprendida entre 0.71 a 0.90.

“B” densidad básica comprendida entre 0.56 a 0.70; y,

“C” densidad básica comprendida entre 0.40 a 0.55.

Nuevas especies de madera cuyas densidades básicas se conozcan, se pueden incluir en uno de los grupos estructurales que corresponda.

Módulo de Elasticidad o Módulo de Young

Los valores del módulo de elasticidad para los tres grupos estructurales, que constan en el Manual, serán los que se usarán para el dimensionamiento de elementos en flexión, y para elementos en compresión y tracción paralelos a las fibras.

Se incluyen dos valores para “E”: el valor mínimo y el valor promedio; el valor mínimo será válido para el cálculo de elementos individuales tales como vigas o columnas, el valor promedio es adecuado para el diseño de elementos en los que exista una acción de conjunto, por ejemplo en viguetas para entablados y pies derechos en tabiques y/o entramados.

Grupo	Flexión		Tracción Paralela		Compresión Paralela		Compresión Perpendicular		Corte Paralelo	
	fm		ft		fc		fc ₁		fv	
	M Pa	Kg/cm ²	M Pa	Kg/cm ²	M Pa	Kg/cm ²	M Pa	Kg/cm ²	M Pa	Kg/cm ²
A	21	(210)	14.5	(145)	14.5	(145)	4.0	(40)	1.5	(15)
B	15	(150)	10.5	(105)	11.0	(110)	2.8	(28)	1.2	(12)
C	10	(100)	7.5	(75)	8.0	(80)	1.5	(15)	0.8	(8)

(*) Estos esfuerzos son para madera húmeda, y pueden ser usados para madera seca.

Grupo	E mín		E promedio	
	M Pa	Kg/cm ²	M Pa	Kg/cm ²
A	9500	95,000	13000	130,000
B	7500	75,000	10000	100,000
C	5500	55,000	9000	90,000

(*) Estos esfuerzos son para madera húmeda, y pueden ser usados para madera seca.

Tabla 1: Esfuerzos admisibles y módulo de elasticidad para maderas “A”, “B” y “C”

La fundación *Techo* no ha realizado nunca un cálculo estructural de la vivienda que se

usa actualmente. El diseño de la vivienda es una mezcla de aquellas usadas en Uruguay y Chile, y se tiene muy poca información acerca de cálculos estructurales realizados en estos países. En el siguiente capítulo se realizará un análisis estructural de la vivienda actual de *Techo Ecuador*, usando los criterios propuestos por la Norma mencionados previamente.

ANÁLISIS DE RESULTADOS Capítulo 3

En el capítulo anterior se presentaron todos los puntos relevantes de la vivienda de emergencia de *Techo* en relación con el capítulo 7 de la NEC-13 y se presentó, a su vez, cómo se comportan las viviendas de la Fundación en cada uno de estos puntos. En este capítulo se revisarán y se analizarán cuáles de las características de la vivienda, mencionadas previamente, cumplen totalmente, parcialmente o no cumplen con la NEC-13. En el caso de que se cumpla parcialmente se evaluará cuán grave es la falta y se revisará si es necesario realizar una modificación para lograr el cumplimiento total o si se puede mantener como estaba. En el caso de los puntos que incumplen totalmente con la NEC-13 se presentaran modificaciones y cambios para que los puntos mencionados cumplan con la Norma.

Presupuesto

Hay que tomar en cuenta que todas las modificaciones que se propongan no pueden cambiar la esencia de vivienda de emergencia que tiene como condiciones básicas las ya mencionadas en el capítulo 1 de este trabajo. Las modificaciones tampoco pueden incrementar significativamente el costo de la vivienda ya que *Techo* es una fundación con recursos limitados y cualquier ahorro de dinero es significativo. A continuación se presenta el costo desglosado de la vivienda actual de *Techo*. Los costos presentados en este documento están actualizados hasta septiembre de 2013. Una vez propuestos los cambios, se realizará un nuevo presupuesto de la vivienda en el que se incluyan los cambios sugeridos y se realizará un análisis del cambio del costo de la vivienda. La señorita Gabriela Arrastúa, directora de construcciones de *Techo* Ecuador, proporcionó la información acerca del costo de la vivienda.

Material	Proveedor	Unidad	Precio Unit	Iva	Descuent	Precio Fi	Cantidad	Precio To	Comentarios
Estructuras	For Kids	panel	68.67	0	0	68.67	9	618.03	518 son de madera, 100 mano de obra.
MDP Tropical 15mm	Novopan	tablero 8x10 pies	63.72	0.12	8.921	62.45	7	437.12	
Kubimil Plus 0.025mm espes	Kubiec	m2	3.9	0.12	0	4.37	23	100.46	
Aislante Thermolon	Polylon	rollo 100 m	291.65	0.12	0.2	326.45	0.18	58.76	
Pintura	Condor	Caneca 5 galones	72	0.12	1	79.64	0.5	39.82	Las pinturas son donadas, no se tomaran en cuenta
Vidrios	Covinhar	Plancha 180x260x3m	20.89	0.12	0	23.40	2	46.79	
Clavos 3"	Ideal Alambrec	caja 25 kg	48.13	0.12	0.45	53.46	0.04	2.14	
Clavos 4"	Ideal Alambrec	caja 25 kg	48.13	0.12	0.45	53.46	0.08	4.28	
Clavos Techo	Ideal Alambrec	caja 20 kg	59.41	0.12	0.45	66.09	0.06	3.97	
Tornillos	Linpro	x100	0.67	0.12	0	0.75	1	0.75	
Bisagra ventana	Linpro	unidad	0.1	0.12	0	0.11	4	0.45	
Bisagra Puerta	Linpro	unidad	0.4	0.12	0	0.45	3	1.34	
Picaportes	Linpro	unidad	0.42	0.12	0	0.47	3	1.41	
Aldaba	Linpro	unidad	0.46	0.12	0	0.52	1	0.52	
Candado	Linpro	unidad	0.8	0.12	0	0.90	1	0.90	
Capuchones	Linpro	x100	2.45	0.12	0	2.74	1.5	4.12	
Podillo	Linpro	unidad	1.38	0.12	0	1.55	2	3.09	
Hilo	Linpro	unidad	0.78	0.12	0	0.87	1	0.87	
Flexos	Linpro	unidad	2.83	0.12	0	3.17	2	6.34	
Barra	Linpro	unidad	18.45	0.12	0	20.66	3	61.99	
Manguera	Linpro	100 metros	29.05	0.12	0	32.54	0.1	3.25	Estos materiales se reusan por lo que no se tomaran en cuenta en el costo total por vivienda.
Pocera	Linpro	unidad	20.89	0.12	0	23.40	2	46.79	
Masilla epóxica	Linpro	unidad	1.72	0.12	0	1.93	0.5	0.96	
TOTAL								1284.99	

Tabla 2: Costo desglosado de la vivienda

Para realizar el análisis del cumplimiento de la NEC-13 se tratarán los cuatro puntos principales que se encuentran divididos de la siguiente forma.

- 7.1.5. DE LAS CONDICIONES DE USO DE LA MADERA
- 7.2. DISEÑO ARQUITECTÓNICO
- 7.3. CONSIDERACIONES GENERALES PARA EL DISEÑO ESTRUCTURAL

De las Condiciones de Uso de la Madera

En cuanto a permisos legales y autorizaciones emitidos por el Ministerio de Ambiente del Ecuador y de las autoridades competentes, ambos proveedores tienen los papeles en regla. La Fundación nunca ha tenido problemas legales por contrabando o uso de madera ilegal.

En temas del estado del material, la empresa *Ricateak* proporciona a la fundación una ficha técnica, con todas las especificaciones requeridas por la NEC-13. La ficha técnica es muy completa y proporciona inclusive fotos del proceso de aserrado. La historia es diferente con el señor Reasco: al proveer madera de distintas especies, sin una distribución uniforme,

es decir que no se tiene conocimiento cuándo se recibirá una especie específica, es casi imposible tener un control sobre el material. Evidentemente, la Fundación nunca ha recibido información técnica sobre el material que entrega el señor Reascos.

Finalmente, el cumplimiento de la *Norma de clasificación visual para madera estructural* es inexistente en ambos casos. Ninguno de los proveedores explica sus parámetros para aceptar o rechazar una pieza. La señora Guevara tampoco tiene conocimiento de la norma y sus técnicas de aceptación y rechazo son muy ambiguas y poco técnicas. El cumplimiento de la misma asegura y garantiza el material que usa la Fundación. Actualmente la Fundación no tiene ninguna garantía del material por parte de los proveedores. En caso de existir un accidente por causas de materiales defectuosos, la responsabilidad recaerá directamente en *Techo*. A continuación se presentan unas imágenes en las que se demuestra el pobre estado de la madera usada en las viviendas de la Fundación.



Figura 14: Alabeo de la madera



Figura 15: Arista faltante y grieta



Figura 16: Grieta



Figura 17: Mala escuadría



Figura 18: Mancha por hongo



Figura 19: Nudo



Figura 20: Nudo 2

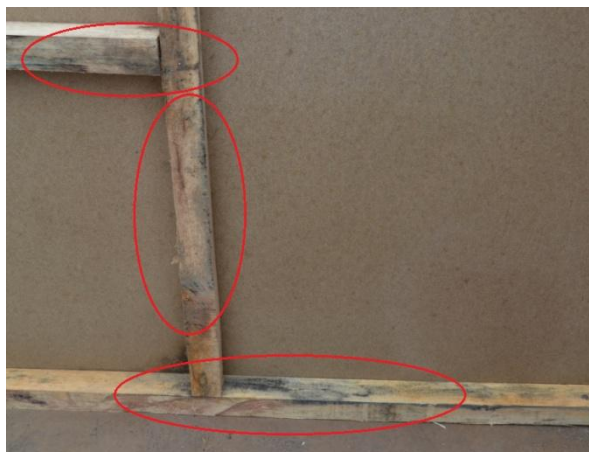


Figura 21: Pudrición de la Madera



Figura 22: Quebradura por pudrición



Figura 23: Rajadura

Se puede concluir un cumplimiento parcial de la norma por parte de la empresa *Ricateak*. El único punto que se debería revisar, y en el cual se deberían capacitar, es en el cumplimiento de la *Norma de clasificación visual para madera*. Se sugiere que la Fundación

mantenga sus relaciones laborales con esta empresa siempre y cuando se cumpla lo mencionado anteriormente. Es responsabilidad de *Techo* exigir que sus proveedores cumplan con las normas establecidas en la NEC-13 ya que cualquier problema con el material puede provocar repercusiones legales para la Fundación.

En el caso del señor Reascos, se sugiere a la Fundación que termine sus relaciones laborales con él y busque nuevos proveedores que cumplan con todas las normas mencionadas anteriormente. El cumplimiento de la NEC-13 por parte del mencionado señor es casi nulo. De igual manera se sugiere una evaluación por parte de *Techo* a la señora Guevara en temas de aceptación de material y de fabricación y ensamble de los paneles. Se sugieren capacitaciones tanto a los empleados de la señora Guevara como al personal de la Fundación en lo que respecta a la NEC-13 y a la *Norma de Clasificación Visual para Madera*.

Diseño arquitectónico

En temas de características físicas y mecánicas del material, el diseño está tomado en cuenta justamente considerando que la madera es un material no uniforme, que puede contar con defectos en sus piezas. En cuanto a los esfuerzos admisibles, eso se comprobará más adelante cuando se revisen los criterios de diseño estructural. Las limitaciones estructurales, sobre todo las conexiones, se han tomado en cuenta para el análisis estructural que se realizó de la vivienda actual de *Techo* y que se presentará más adelante en la sección de diseño estructural.

En cuanto a la protección contra la humedad, los pilotes son los únicos elementos estructurales que van en contacto directo con el suelo. La NEC estipula que estos elementos deben ir con cierta protección, ya sea cartón asfáltico, brea o betún. Actualmente estos

elementos no se están protegiendo con nada y se colocan directamente en el suelo sin ninguna barrera contra la humedad. Se recomienda a *Techo*, muy enérgicamente, empezar con el proceso de protección para los pilotes contra la humedad. Como ya se ha usado antes, se recomienda retomar el uso del alquitrán para recubrir los pilotes antes de ser enterrados. De igual manera se menciona en la Norma a los pisos que se encuentren elevados sobre el suelo. Al igual que en el caso de los pilotes, se menciona una protección o una barrera contra la humedad. En el caso de las viviendas de la Fundación, se recomienda usar el mismo alquitrán que se debería usar para los pilotes. Se recomienda la aplicación de una capa del material en la cara que se encuentra en contacto con el suelo antes de que el panel de piso sea instalado. Se considera de alta importancia realizar estos cambios, ya que los pilotes son los cimientos de la estructura y es de vital importancia que su resistencia sea la mayor posible. De igual manera los paneles de piso son los que resisten toda la carga viva aplicada en la estructura y, por lo tanto, es muy importante cuidarlos de la humedad para poder preservar su resistencia.

El diseño arquitectónico en sí no protege al material contra la exposición de la lluvia; sin embargo, el MDP está fabricado específicamente para el uso en exteriores. En adición, los tableros de MDP se cubren con pintura para exteriores con el fin de darles un cuidado extra a los paneles. Se recomienda que cada 3 años, más o menos, se vuelvan a pintar las viviendas con el fin de mantener al ciento por ciento el nivel de protección contra la lluvia.

Las vigas de piso y los pilotes son los elementos estructurales expuestos directamente a la lluvia. Se recomienda recubrir las vigas de piso con alquitrán al igual que los pilotes y los paneles de piso ya que se encuentran en constante contacto con la humedad del suelo y, en este caso, con la lluvia directa. Para evitar el estancamiento del agua en el suelo se recomienda la creación de canales recogedores de agua en el suelo. Es una forma económica y simple de

solucionar el problema del agua estancada, que puede dañar a los pilotes.

La protección contra la humedad mencionada en los párrafos anteriores es también efectiva para proteger la madera contra los hongos. Sin embargo, el material puede que haya sido ya afectado por hongos antes de la construcción de la vivienda o de la fabricación de los paneles. Esto se puede detectar siguiendo los pasos de la *Norma de Clasificación Visual de Defectos* que, se mencionó, debe ser de conocimiento de los fabricantes y de los proveedores para la aceptación o el descarte adecuado de material defectuoso. En la norma se menciona la protección del material usando clavos galvanizados y cubriendo la cabeza del clavo expuesta a la intemperie. Los clavos usados por *Techo* son de acero galvanizado pero no se recubren las cabezas de los mismos, que quedan expuestas a la intemperie. La recomendación que se hace para que se cumpla la Norma en su totalidad es recubrir la cabeza de los clavos con masilla epóxica. La masilla ya se usa para cubrir posibles goteras en las cubiertas; por lo tanto, sería sencillo usar el mismo material para cubrir las cabezas de los clavos expuestos.

El material es previamente tratado contra el ataque de insectos. Se bañan las piezas en químicos insecticidas para asegurar su protección contra termitas y otros insectos. A pesar de esto, en la NEC se estipula que la construcción de la vivienda no debe darse en lugares donde hayan desechos orgánicos enterrados. Es muy común que las viviendas de *Techo* se construyan en barrios periféricos de las grandes ciudades; en varias ocasiones los terrenos en los que se han construido las viviendas son rellenos de basura y desechos. Se recomienda a la Fundación evitar construir sus viviendas en terrenos donde se encuentre enterrada basura y, sobre todo, desechos orgánicos, ya que aquí es donde proliferan las termitas subterráneas.

El fuego siempre es un problema en las viviendas de madera. Las casas de *Techo* son estrictamente para vivienda, por lo que se recomienda a las familias no tener cocinas ni nada

que produzca calor en la vivienda. Muchas veces los beneficiarios realizan instalaciones eléctricas no profesionales dentro de las viviendas. En cuanto a la protección del material de la vivienda contra el fuego, no se realizará ninguna recomendación ya que el propósito de las viviendas es que no existan fuentes de calor peligrosas dentro de las mismas; de todas formas se recomienda a la Fundación que se realice una pequeña capacitación o un pequeño manual para que los usuarios de las viviendas sepan cómo realizar conexiones eléctricas seguras. En cuanto a los acabados que puedan ser materiales combustibles, la Fundación no usa ninguno por lo que el cumplimiento de la Norma es adecuado en ese campo.

En lo que respecta al mantenimiento de las viviendas transicionales la sugerencia que se hace a *Techo* es la frecuencia con la que se realizan las visitas y las revisiones. Las revisiones, cuando se las realiza, son muy efectivas y normalmente se solucionan todos los inconvenientes que se puedan encontrar de manera efectiva y rápida; sin embargo, existen comunidades que no han sido visitadas en más de un año, lo que hace que el deterioro de las viviendas sea muy grande. Si se corrigen las fallas pronto, el deterioro de las viviendas es mínimo, pero si las fallas no se arreglan rápidamente el deterioro puede acelerarse mucho y la vida útil de la vivienda puede disminuir notablemente.

La norma presenta unas consideraciones adicionales. La primera concierne al control de la temperatura dentro de la vivienda. En las viviendas de la Fundación se usa un aislante térmico en la cubierta para evitar la transmisión excesiva de calor, ya que las láminas de Kubimil Plus pueden llegar a calentarse mucho; esto, sumado a las amplias ventanas, permite obtener una temperatura adecuada para la vivienda. La segunda controla la cantidad de ruido, en las viviendas de *Techo* no se usan aislantes acústicos ya que no son necesarios, las viviendas no experimentan ningún ruido fuera del normal. Finalmente, la protección sísmica y

la carga muerta de las viviendas son pequeñas, ya que la madera en sí no tiene un peso específico muy alto, por lo que el riesgo sísmico no es muy alto. El MDP es bastante flexible y eso disminuye aún más el riesgo que pueda causar un sismo.

Consideraciones Generales para el Diseño Estructural

Como ya se mencionó previamente, la fundación *Techo* nunca ha realizado un análisis estructural ni mucho menos un diseño estructural de la vivienda. A continuación se realizará el análisis estructural de la vivienda actual de *Techo* y se la contrastará con las NEC-13, con el objetivo de comprobar si el diseño actual de la vivienda cumple o no con el criterio estipulado en la NEC. El análisis estructural se realizó usando una combinación de cargas para diseño por el método por esfuerzos de trabajo, como lo dicta el Capítulo 7 de la NEC-13.

Para poder realizar el análisis estructural es necesario definir ciertas condiciones. Si bien la resistencia a flexión de los tableros de MDP es muy baja, su aporte se enfoca más en la rigidez que aportan al sistema; se los considerará en el modelo de SAP2000 como elementos *Shell* en la estructura de los paneles. Los tableros se encuentran atornillados a todos los elementos, por lo que el aporte a la rigidez es completa; por esto se colocarán los elementos *Shell* en todos los marcos formados por la estructura del panel con excepción de lugares donde hayan ventanas o puertas. Las conexiones entre los elementos estructurales se realizan con clavos y con tornillos. A las conexiones de la estructura de los paneles se las considerará como articulaciones ya que los vanos formados por las vigas no son continuos. “Los momentos de flexión de las barras de un solo vano se determinan bajo la hipótesis de que sus extremos están articulados. Los momentos de flexión de aquellas barras de dos o más vanos, que mantienen su continuidad (por ejemplo cordones) se determinan considerando que la pieza (cordón) es

una viga con un apoyo en cada nudo (viga continua). La influencia de los desplazamientos en los nudos y de la rigidez parcial en las conexiones puede considerarse reduciendo en un 10% los momentos en los apoyos interiores” (Madrid, 2007). Por lo tanto, se consideran como articulaciones puras para el cálculo, ya que en diseño de la vivienda no existen cordones o barras de dos o más vanos.

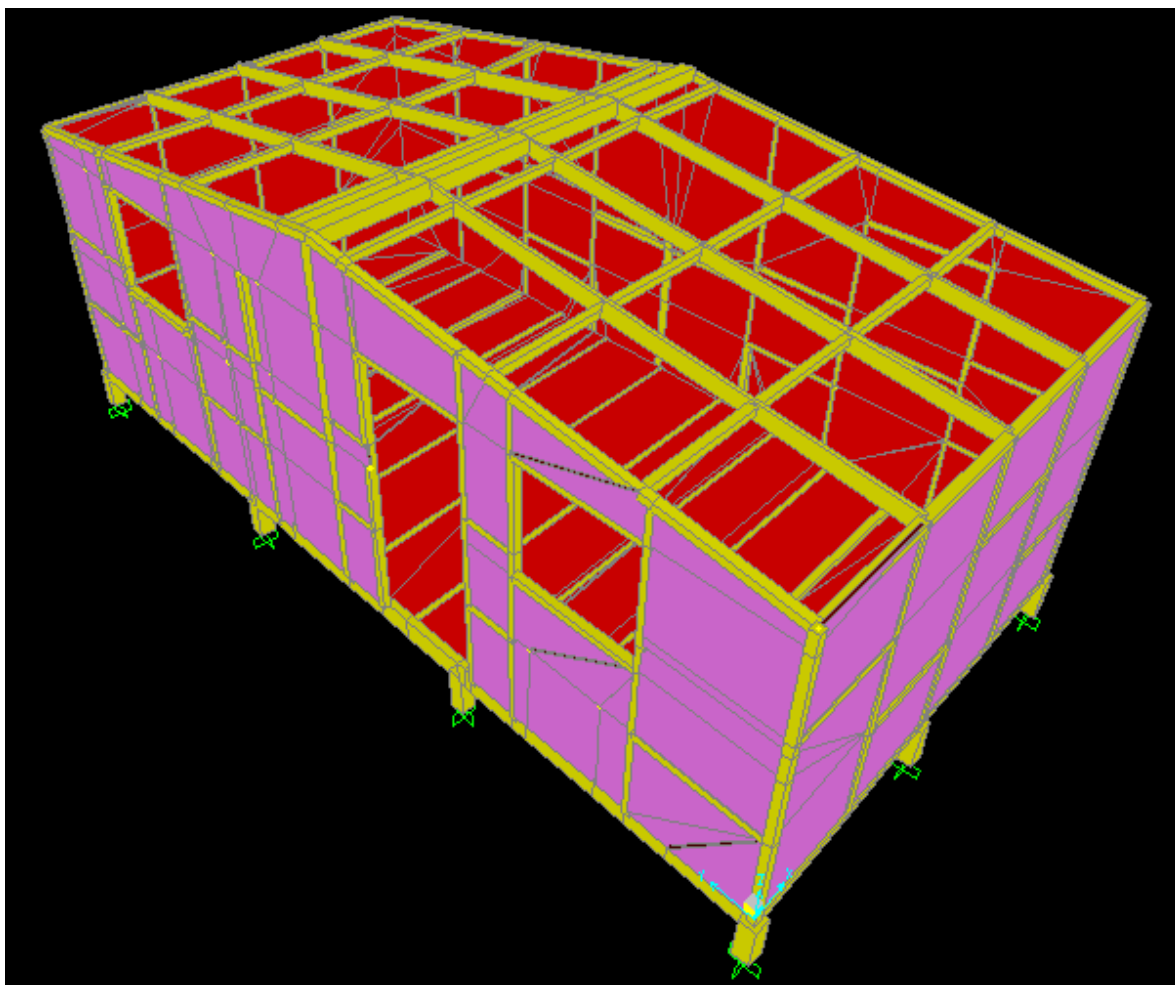


Figura 24: Modelo en SAP2000 vivienda *Techo*

Las cargas que se usarán para el cálculo son las estipuladas en el Capítulo 1 de la NEC-13, *Cargas y Materiales*. Como carga viva o sobrecarga, como se llama en la Norma, se tomó 200 kg/m^2 referente a la categoría de residencias. Las cargas de cubierta por razón de ceniza o

granizo no se las tomó en cuenta debido a que son viviendas de naturaleza transicional o temporales, los beneficiarios son instruidos con que cualquier objeto que caiga o se acumule en la cubierta de la vivienda tiene que ser retirado lo más pronto posible. La carga muerta o peso propio de la vivienda se calculó con la densidad de la madera estructural, la cual se encontró en la ficha técnica del Pino Patula, proporcionada por la empresa *Ricateak*; el peso específico del MDP y las cubiertas de Kubimil Plus fueron proporcionados por las empresas *Novopan del Ecuador* y *Kubiec-Conduit*, respectivamente (Anexo C y Anexo D). Con el peso propio se realizó una repartición ponderada entre los elementos estructurales dependiendo de su tamaño y su aportación a la resistencia de cada elemento. Las cargas de viento se calcularon de acuerdo a la NEC-13, lo mismo que las cargas sísmicas. La memoria de cálculo con todos los procesos detallados se presenta como el Anexo E. Se usó la envolvente de todas combinaciones de cargas estipuladas en la Norma para encontrar el casi más crítico posible.

Los momentos, cortantes y axiales admisibles de la madera usada para la construcción de las viviendas está dado por la siguiente ecuación obtenida en el *Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino* de la JUNAC.

$$Esfuerzos\ admisibles = \frac{FC \times FT}{FS \times FDC} \times Esfuerzo\ ultimo$$

Donde:

- FC: factor de reducción por calidad.
- FT: factor de reducción por tamaño
- FS: factor de servicio y seguridad
- FDC: factor de duración de carga

Los valores de FC, FT, FS, FDC están dados por la siguiente tabla:

	Flexión	Compresión Paralela	Corte Paralelo	Compresión Perpendicular
F.C.	0.80	—	—	—
F.T.	0.90	—	—	—
F.S.	2.00	1.60	4.00*	1.60
F.D.C.	1.15	1.25	—	—

Tabla 3: Factores de reducción de esfuerzos

Con estos factores los esfuerzos admisibles obtenidos fueron:

- Flexión

$$\text{Esfuerzo último} = 759 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Esfuerzo admisible} = 182.16 \text{ kg/cm}^2$$

- Compresión paralela

$$\text{Esfuerzo último} = 372 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Esfuerzo admisible} = 186 \text{ kg/cm}^2$$

- Corte Perpendicular

$$\text{Esfuerzo último} = 99 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Esfuerzo admisible} = 61.88 \text{ kg/cm}^2$$

A continuación se presentan los resultados en cuanto a momentos, cortantes y axiales del análisis estructural realizado en la vivienda actual de *Techo*. El esfuerzo máximo a flexión se lo encontró en la viga de piso central en el vano lateral. Se encontró un esfuerzo de 78.87 kg/cm², el esfuerzo admisible es de 182.16 kg/cm², es decir, cumple con el esfuerzo admisible con mucha diferencia, lo cual es algo positivo. El esfuerzo máximo a corte se lo encontró en la viga, en el mismo vano; se obtuvo un esfuerzo de 3.22 kg/cm²; el admisible a corte es de 61.88 kg/cm²; por lo tanto, el margen por el cual se cumple la Norma es muy amplio. Es importante recalcar que los cálculos de esfuerzos a corte se realizaron con las áreas completas de las

secciones, no con las áreas efectivas, y debido a que el margen es muy amplio esto no afecta en nada a los cálculos. El máximo esfuerzo axial a compresión se lo encontró en uno de los pilotes centrales y es de 7.96 kg/cm^2 ; el esfuerzo admisible para fuerzas axiales en madera es de 186 kg/cm^2 , es decir, es menos del 5% del esfuerzo admisible.

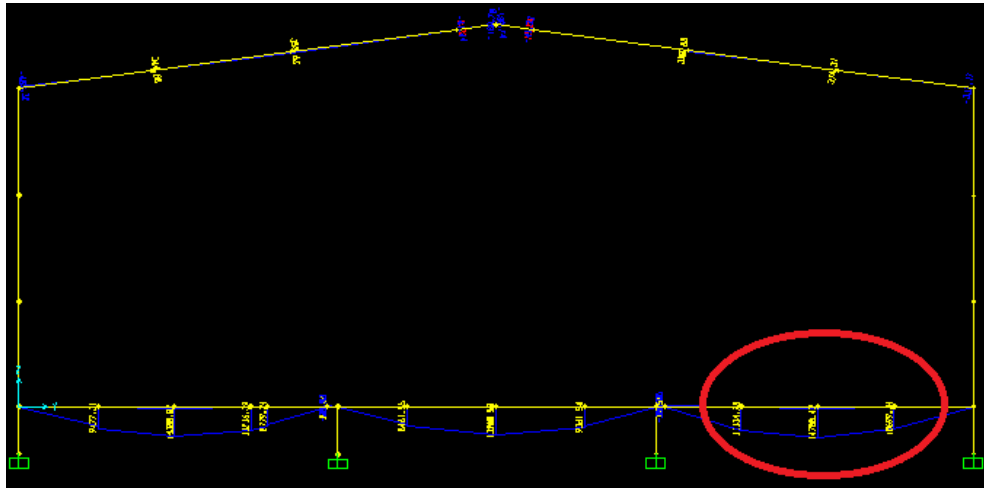


Figura 25: Viga con esfuerzo a flexión máximo

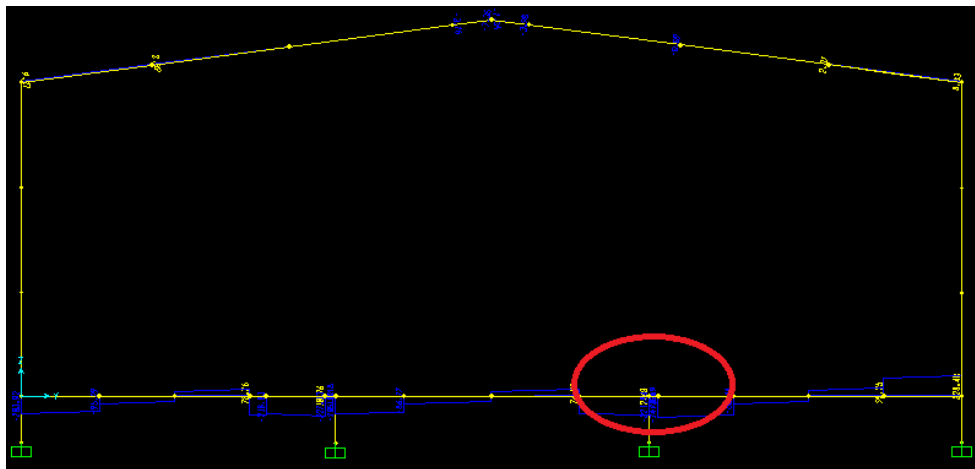


Figura 26: Viga con esfuerzo a corte máximo

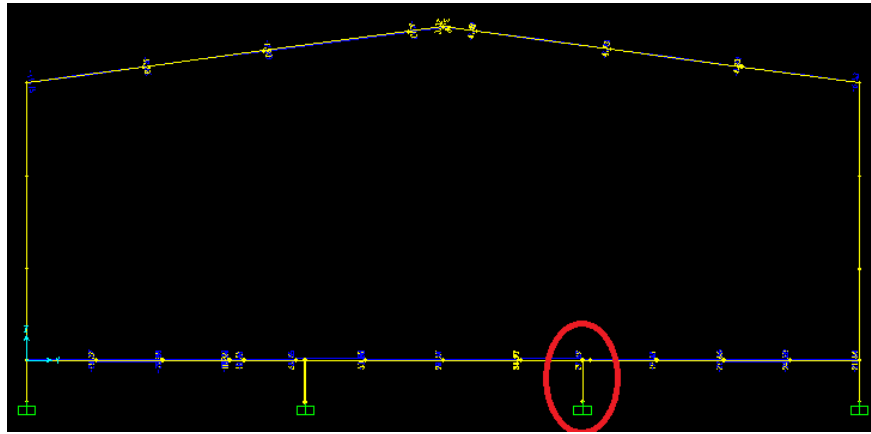


Figura 27: Columna con esfuerzo axial máximo

De igual forma se tomaron las deformaciones máximas en ambas direcciones. En el caso de la dirección del Eje X, la deformación máxima se dio en la parte más alta de la vivienda a la altura de la viga maestra. Esta deformación es de 14.54 mm. En el Eje Y la mayor deformación se encontró en el centro del panel lateral en la parte más alta del mismo. La deformación encontrada es de 2.04 mm. Según el Capítulo 2 de la NEC-13, el cálculo de la deriva, o en este caso de la deformación máxima de piso, multiplicada por 0.75 y por el factor de reducción de resistencia sísmica que no debe ser mayor a 0.02. En este caso la deformación de 14.52 será la más crítica.

$$\frac{\Delta}{h} \times 0.75 \times R \leq 0.02$$

Donde:

Δ : Deformación máxima

h: Altura máxima

R: Factor de reducción de resistencia sísmica

$$\frac{14.54}{2400} \times 0.75 \times 3 \leq 0.02$$

$$0.013 \leq 0.020$$

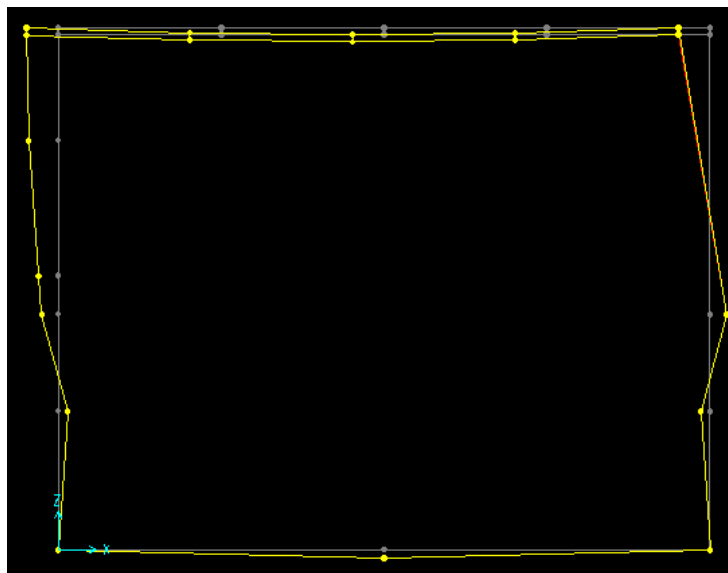


Figura 28: Deformación máxima en modelo original

Gracias a los resultados del análisis se puede concluir que no sólo que sí se está cumpliendo la Norma, sino que se está usando demasiada madera, y la vivienda no está siendo lo más eficiente posible. Aparte de los esfuerzos admisibles se identificaron problemas en cuanto al diseño y la ubicación de los elementos estructurales. Los problemas principales fueron la falta de continuidad en los elementos estructurales, es decir, la existencia de columnas y vigas discontinuas y la distribución de las cargas de la estructura del techo a las columnas. Esto provoca la mala distribución de esfuerzos de carga vertical en columnas y la mala distribución de fuerzas sísmicas y viento en vigas. Se realizó un nuevo modelo respetando las medidas principales de la vivienda con el fin de corregir estas fallas. Se decidió no disminuir la medida de las secciones de los elementos estructurales ya que de por sí son bastante pequeños y una disminución causaría dificultad en la estabilidad y en la construcción de las viviendas.

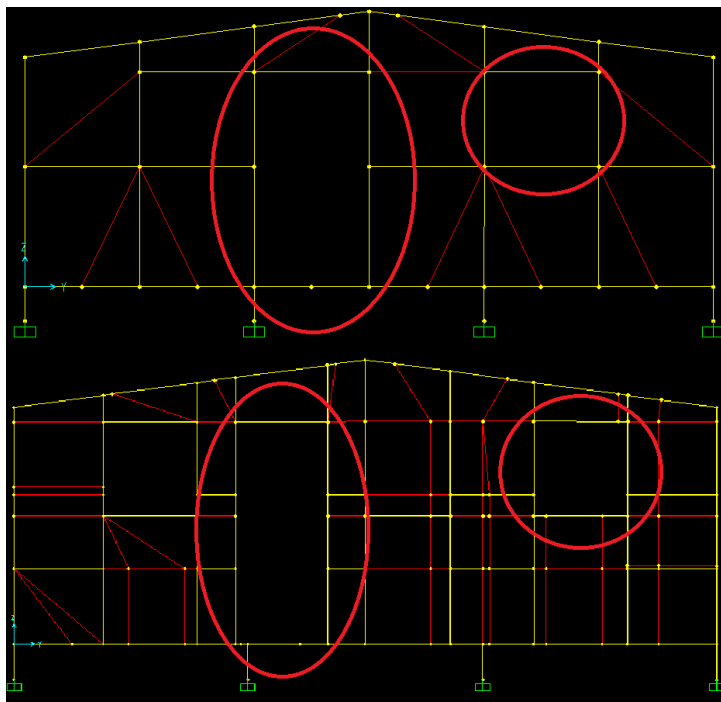


Figura 29: Paneles frontales originales (parte inferior) y mejorados (parte superior).

Como se puede observar en la figura, el nuevo diseño, que se encuentra en la parte de arriba del gráfico, recibe las cargas de la estructura de techo en la columnas, las cuales continúan de una forma continua hasta los pilotes que continúan hasta el apoyo. En el diseño original las cargas de la estructura de techo descansaban en las vigas superiores y no en las columnas, y, si bien las columnas tienen continuidad, no descansan en los pilotes creando concentraciones de esfuerzos. De igual forma las vigas se han colocado para que mantengan la continuidad y, de esa forma, no sólo transmitir mejor las cargas laterales de sismo y de viento, sino también poder hacer uso de la disminución del 10% del momento en vanos continuos o cordones como lo estipula el documento publicado por la Oficina de Vivienda de la Comunidad (Madrid, 2007). Cabe recalcar que, en el gráfico, las líneas rojas representan los bordes de los elementos *Shell* y las líneas amarillas representan los elementos estructurales como vigas y columnas. Para realizar un diseño más eficiente en el que los elementos sean

continuos fue necesario modificar ligeramente la medida de la puerta y de las ventanas. Las ventanas pasaron de medir 80 cm x 80 cm a medir 80 cm de altura x 100 cm de ancho y la puerta pasó de medir 80 cm x 185 cm a medir 100 cm x 185 cm. Se entiende que en temas de costo esta modificación no afectaría significativamente ya que el aumento del material MDP en la puerta se descontaría del ahorro en MDP en el panel. De igual manera se tuvo que modificar la medida a la cual se clavan las vigas costaneras de la estructura de techo, la primera sigue siendo a 25 cm de la cresta del panel y las siguientes dos deben clavarse a la altura de las columnas, o lo que es igual a 101 cm de la cresta y a 202 cm de la cresta. Los paneles posteriores mejorados son iguales al frontal mejorado con ventana, es decir, a diferencia de los posteriores originales estos tienen la estructura mejorada que se ha presentado en la imagen y además tienen la adición de tener ventanas también para mejorar la cantidad de luz natural que ingresa a la vivienda.

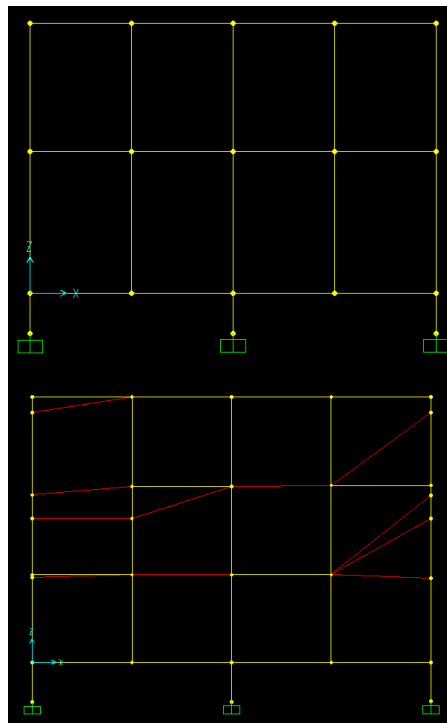


Figura 30: Paneles laterales originales (parte inferior) y mejorados (parte superior)

La mejoría en los paneles laterales consistió en colocar la viga de una forma continua. Esto mejora la transmisión de la carga sísmica y del viento a lo largo de todo el panel, además de que evita la creación del efecto de columna corta que puede ser problemático en caso de sismos. De igual manera se puede usar la teoría de la reducción de momentos debido a las rigideces parciales en vanos continuos o cordones.

Se realizó el análisis estructural con las mejoras propuestas y se tomaron los datos en los mismos lugares donde ocurrían los mayores esfuerzos en el modelo original. La mayoría de esfuerzos se mantuvieron similares con la excepción del esfuerzo a flexión que bajó de 78.87 kg/cm² a 60.41 kg/cm², lo que significa una reducción del 23% del momento en esa viga. De igual manera la deflexión de esta viga bajó de 4.18 mm a 1.47 mm, es decir, una reducción de casi el 65%. Con respecto al desplazamiento en el Eje X la deformación aumentó en 2 mm y en el caso del Eje Y la deformación disminuyó en un 4%. A más de estas mejoras en resultados, la cantidad de madera ha sido reducida, es decir, el costo y el peso de la vivienda han sido reducidos también. En el modelo original se usan 109.5 metros lineales de sección 5 cm x 5 cm mientras que en el modelo mejorado se usan 94.1 metros lineales de la misma sección, en las otras secciones se usa la misma cantidad de madera. Tomando la densidad de la madera como 530 kg/m³ la diferencia de peso entre la vivienda original y la vivienda mejorada se calcula de la siguiente forma:

$$diferencia\ volumen = (109.5m - 94.1m) \times (0.05m \times 0.05m) = 0.039m^3$$

$$peso\ de\ diferencia = 0.039m^3 \times 530 \frac{kg}{m^3} = 20.67\ kg$$

20.76 kg menos de madera por vivienda multiplicado por un promedio de 100 viviendas que se construyen al año equivale a 2067 kg menos de madera estructural aproximadamente, lo cual representa un ahorro económico considerable. La medida comercial de la madera que se

maneja en la Sierra es de 2.40 metros; en este caso en particular el ahorro de madera significaría 6.37 piezas menos, es decir, 6 piezas de madera menos por vivienda o 600 listones menos al año.

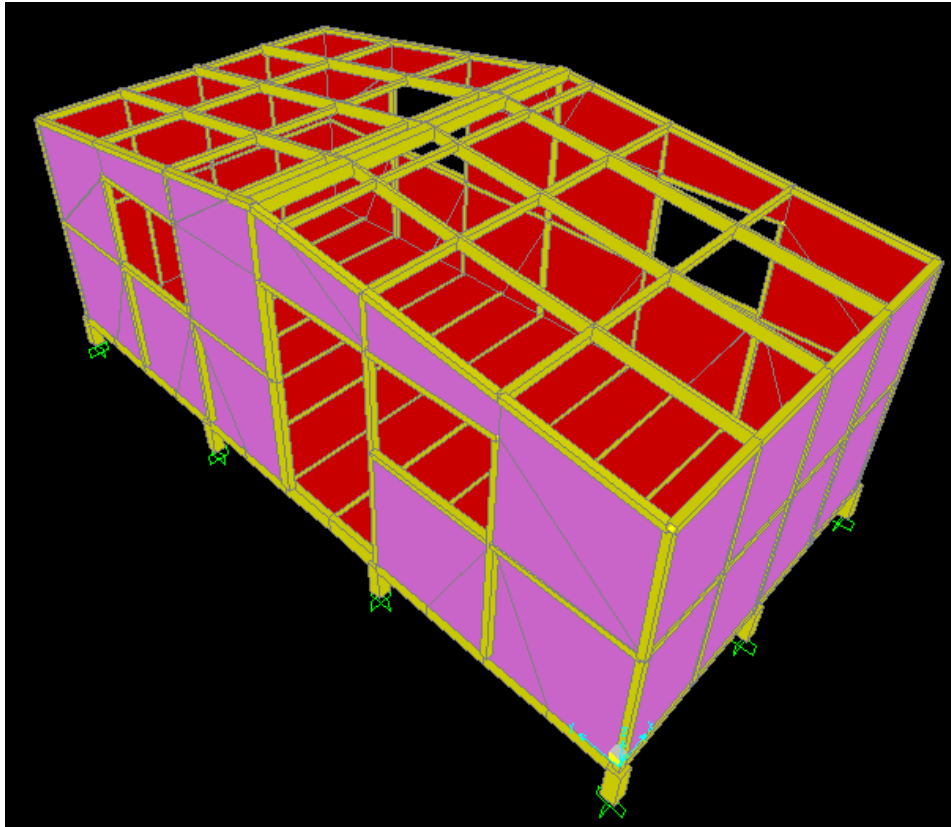


Figura 31: Modelo en SAP2000 vivienda mejorada

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES Capítulo 4

Después de haber realizado el análisis completo de la vivienda en temas de material, diseño arquitectónico y estructural se puede concluir que el gran problema que tienen las viviendas de *Techo* es la calidad del material que están usando. La madera con la que se están construyendo las viviendas tiene un gran porcentaje de piezas defectuosas que deberían ser rechazadas por los proveedores, en primera instancia, y, si no, debería ser rechazada por el ente que manufactura los paneles, en este caso la empresa *For Kids* de la señora Rocío Guevara. La recomendación que se realiza a *Techo* es comenzar una búsqueda de nuevos proveedores que manejen altos estándares de calidad y que tengan un pleno conocimiento tanto de la NEC como de los manuales de diseño y de clasificación visual de la JUNAC. Si bien el cambio de proveedor puede significar un aumento del costo de la vivienda, es un gasto que se tiene que asumir ya que se trata de la vida de personas. Un accidente por la falla del material puede traer graves consecuencias legales y morales a la Fundación que pueden llevar a repercusiones serias, sin mencionar el cierre de la Fundación.

En temas de diseño se pide a *Techo* revisar dos aspectos esenciales. El primero es el control de la humedad en elementos estructurales que se encuentren cerca del suelo. La humedad de la madera es una característica determinante para su densidad y sus esfuerzos últimos; un aumento en la humedad puede causar una disminución significativa en cuanto a la resistencia de la madera y, de igual manera, un aumento significativo al peso de la misma. La recomendación que se hace es la utilización de un agente protector de humedad en los elementos estructurales cercanos al suelo, en este caso serían pilotes, vigas de piso y paneles de piso. El material que se menciona como ejemplo y que se ha usado ya previamente con resultados positivos es el alquitrán líquido. Con aproximadamente 2.5 galones de alquitrán se

puede cubrir efectivamente los elementos mencionados previamente. El valor del alquitrán líquido se encuentra alrededor de USD \$20 por galón, dependiendo de la marca y de la cantidad que se compre.

El segundo aspecto es el mantenimiento de las viviendas. Un tema fundamental para garantizar la calidad de las viviendas es la realización de un seguimiento y un mantenimiento adecuado. Renovar la pintura cada 3 años aproximadamente, dependiendo del desgaste, es básico para asegurar la calidad del MDP de los paneles. Reclavar las uniones que han cedido por el aumento de la humedad en la madera cerciora la calidad de las conexiones y su capacidad de carga. En las visitas se pueden detectar problemas de asentamientos del terreno por el peso de la vivienda que pueden causar concentraciones de esfuerzos fatales para la estructura. De igual forma se pueden reemplazar elementos dañados o gastados para garantizar la efectividad de la estructura. Se recomienda realizar visitas más seguidas a los barrios en que se ha intervenido con el fin de llevar un control de la calidad de las viviendas. Existen barrios y comunidades a los cuales la Fundación no ha visitado en más de año, y más aún en lugares lejanos donde los recursos para los beneficiarios son reducidos y probablemente no puedan solucionar ellos mismos los inconvenientes.

En cuanto a la estructura se probó que la estructura actual de la vivienda, si bien es efectiva, no es muy eficiente. Con la creación del modelo mejorado se comprobó que con el uso de menos madera, con una mejor distribución y un mejor diseño se pueden obtener mejores resultados. Se recomienda enfáticamente que *Techo* acepte y ponga en práctica las modificaciones del modelo estructural; se recomienda realizar unos modelos de prueba en primera instancia para revisar el método constructivo de los nuevos paneles y para despejar de cualquier duda a los miembros de la Fundación en cuanto al nuevo modelo. Con relación al

tema de la calidad de la madera y su efecto en la estructura se espera que los esfuerzos últimos del material, provistos por el proveedor en la ficha técnica del Pino Patula, no sean los esfuerzos reales. Debido a la baja calidad del producto se puede creer que estos esfuerzos podrían ser reducidos hasta en un 50%; si los elementos estructurales estuvieran al borde de los esfuerzos admisibles proporcionados por el proveedor podrían existir problemas ya que la calidad y el estado del material hace que la resistencia de la madera baje considerablemente.

El cálculo sísmico dio como resultado que en el caso de las viviendas de *Techo* las fuerzas sísmicas no rigen el diseño. Esto se debe al período de la estructura, pero, por sobre todo, al bajo peso de la estructura, el cual es menos de una tonelada. Convenientemente el diseño sísmico no rige el diseño ya que la estructura no cuenta con conexiones muy buenas. Se puede concluir que la utilización de conexiones especiales antisísmicas no es necesaria para la construcción de las viviendas de *Techo*.

Finalmente, el incremento del costo de la vivienda por uso del alquitrán se puede ver contrarrestado parcialmente por el ahorro de madera en el nuevo modelo. Según el precio proporcionado por *Techo*, la vivienda actual está costando, sólo en material no reusable, USD \$1284.99, asumiendo que el costo del alquitrán líquido es de USD \$20 por galón y se necesitan 2.5 galones por vivienda, lo que significa un aumento de USD \$50 por vivienda, es decir, un costo de USD \$1.334.99. Los seis listones de madera de sección 5 cm x 5 cm y de 2.4 m de largo están costando actualmente cerca de USD \$30. Si se resta este ahorro de dinero del costo total la vivienda quedaría con un costo de USD \$1.304.99. En cuanto al cambio de proveedor y el costo que implicaría hacerlo, se necesita un análisis más profundo que es tema de otro trabajo ya que se necesitan ver varias opciones y se requerirían hacer pruebas para comprobar la calidad de los nuevos proveedores; sin embargo, se recomienda enérgicamente

realizar este trabajo para mejorar el material.

En general la vivienda se puede considerar como buena; sin embargo, queda mucho trabajo por realizar con relación a las mejoras que se pueden hacer. Se espera que este documento sea de ayuda para *Techo* y que pueda poner en práctica todas las recomendaciones sugeridas en el trabajo. Todo esta tarea se ha realizado con el fin de mejorar las características de la vivienda y, así, elevar la calidad de vida de los beneficiarios de la Fundación, sin mencionar la necesidad del cumplimiento de la Ley ecuatoriana y la Norma de la Construcción Ecuatoriana.

REFERENCIAS

Comité Ejecutivo de la Norma Ecuatoriana de la Construcción. (2013). *Norma Ecuatoriana de la Construcción 2013, Capítulo 7*. Quito.

Comité Ejecutivo de la Norma Ecuatoriana de la Construcción. (2013). *Norma Ecuatoriana de la Construcción 2013, Capítulo 1*. Quito.

Comité Ejecutivo de la Norma Ecuatoriana de la Construcción. (2013). *Norma Ecuatoriana de la Construcción 2013, Capítulo 2*. Quito.

INEC. (2012). *Estadísticas Sociales, Pobreza*. Obtenido de www.inec.gob.ec

Junta del Acuerdo de Cartagena. (1984). *Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino*. Lima.

Madrid, O. d. (2007). *Código Técnico de la Edificación. Documento Básico SE-M Seguridad Estructural: Madera*. Madrid.

Techo. (2013). *Qué es Techo: Techo*. Obtenido de www.techo.org

ANEXO A: Ficha técnica del pino Patula



FICHA TECNICA

- **Especie - nombre científico:**
Pino Patula – Pinus Patula
- **Familia:**
Pinaceae
- **Nombres comunes:**
Pino, Pino Llorón, Pino Candelabro, Pino Colorado
- **Edad promedio:**
24 años
- **Origen:**
Plantaciones legalmente cultivadas y taladas en el Azuay-Ecuador.
- **Permisos de explotación:**
Otorizados por el Ministerio de Ambiente Ecuador.
- **Usos:**
Madera estructural, construcción de módulos prefabricados, encofrados, cajonería e interiores de muebles, puntales, en carpintería, pallets, baja lenguas, palillos, mangos de herramientas, objetos torneados. Recomendada especialmente para encofrados (según AIA).

Clasificación en grupo estructural: C que es el recomendado para la construcción de encofrado/formaletas.

Propiedad	Unidad	Grupo Estructural		
		A	B	C
Densidad	g/cm ³	1.4 -0.71	0.56 -0.70	0.40-0.55
Flexión	Kg/cm ²	150 - 210	110 - 150	60 – 110
Compresión paralela	Kg/cm ²	120 - 145	85 - 120	50 – 85
Compresión perpendicular	Kg/cm ²	40 - 60	23 - 45	15 - 30
Tracción paralela	KG/cm ²	125 - 145	90 - 105	60 – 75
Cizalladura	Kg/cm ²	15	12	8 - 10
Elasticidad mínima	Kg/cm ² x10 ³	95	75	55
Elasticidad promedio	Kg/cm ² x10 ³	130	100	90

Fuente: Junta del Acuerdo de Cartagena, y de la norma NTC 2500, Uso de la madera en construcción

- Propiedades mecánicas Pino Patula:**

CONDICIÓN	FLEXIÓN ESTÁTICA			COMPRESIÓN				
				PARALELA			PERPENDICULAR	
	ELP (Kg/cm ²)	MOR (Kg/cm ²)	MOEx10 ³ (Kg/cm ²)	ELP (Kg/cm ²)	MOR (Kg/cm ²)	MOEx10 ³ (Kg/cm ²)	ELP (Kg/cm ²)	-----
VERDE + 30%	242	413	85.9	139	175	137.56	25	-----
SECO AL AIRE 12 %	467	759	99.6	255	372	-----	51	-----

CONDICIÓN CH%	DUREZA Kg				EXTRAC.CLAVOS Kg.				CIZALLA DURA Kg/cm ²	TENACIDAD Kg m
	Radial	Tang.	Later	Extrem	Later	Extern	Radial	Tang.		
VERDE +30%	207	218	213	176	59	28	57	61	54	0.8
SECO AL AIRE 12%	327	350	339	449	-----	1.88	-----	70.17	99	0.6

ELP: Esfuerzo en el límite proporcional

MOR: Módulo de ruptura

MOE: Módulo de elasticidad

- Propiedades físicas Pino Patula:**

DENSIDAD (g/cm ³)	VERDE	SECA AL AIRE	ANHIDRA	BÁSICA
	0.96	0.53	0.49	0.43
CONTRACCIÓN NORMAL (%)	TANGENCIAL	RADIAL	VOLUMÉTRICA	T/R
	3.74	1.80	5.54	2.07
CONTRACCIÓN TOTAL (%)	7.60	4.28	11.88	1.77

ANEXO B: Manual de Clasificación Visual por Defectos



LA MADERA COMO MATERIAL DE CONSTRUCCION

- Los elementos de unión estén protegidos contra el ataque corrosivo de la madera húmeda.
- Los detalles constructivos permitan a la madera contraerse libremente a medida que se seca (Ver Cap. 5 y 6).

3.3.3 Durabilidad Natural y Preservación

La madera para estructuras debe tener buena durabilidad natural o estar adecuadamente preservada. Adicionalmente deben aplicarse en el diseño aquellos detalles constructivos destinados a proteger la edificación contra agentes dañinos a la madera. Factores externos —como la humedad por ejemplo— mal controlados pueden deteriorar el material, o propiciar el crecimiento de hongos e insectos que atacan la madera. El Cap. 6 presenta recomendaciones y detalles para proteger la edificación mediante un diseño adecuado.

3.4 CLASIFICACION VISUAL POR DEFECTOS PARA MADERA ESTRUCTURAL

Cualquier irregularidad o imperfección que afecta las propiedades físicas, químicas y mecánicas de una pieza de madera puede considerarse como un **defecto**. La finalidad de la clasificación por defectos es limitar la presencia, tipo, forma, tamaño y ubicación de los mismos con la finalidad de obtener piezas de madera con características mínimas garantizadas. Variando las tolerancias pueden definirse un sinnúmero de clases, sin embargo a continuación se propone una sola regla o norma para la clasificación de madera para uso estructural.

La clasificación mencionada es del tipo “visual” lo que implica una selección o verificación de las tolerancias por personal humano entrenado y eventualmente certificado oficialmente siguiendo una comprobación visual. La aplicación de la norma se limita a madera aserrada y escuadrada.

Para facilitar la aplicación de la norma se presentan conjuntamente con las tolerancias algunas recomendaciones para el reconocimiento de defectos. Se dispone también de un “Manual de Clasificación Visual para Madera Estructural” (2) editado por el PADT-REFORT de la Junta del Acuerdo de Cartagena.

Se espera que de la producción de un aserradero que funcione con criterios mínimos de eficiencia, del 40 al 45 por ciento de la producción se clasificaría como MADERA ESTRUCTURAL, es decir piezas que satisfacen los límites de defectos establecidos en la norma que aquí se presenta.

La calidad de la madera es afectada por diversos agentes o factores. A continuación se presentan definiciones para los diferentes tipos de defectos agrupados según su origen. En la Fig. 3.6 se ilustran algunos de los términos más usados en esta sección.

3.4.1 Defectos Relativos a la Constitución Anatómica

Albura. Es la parte del leño que sigue a la corteza que en el árbol en pie contiene células vivas y materiales de reserva. Generalmente es de color claro y es más susceptible al ataque de hongos e insectos que el duramen. En general, sus propiedades mecánicas no son diferentes a las del duramen.

Se considera como defecto cuando ha sido atacada y presenta pudrición y cuando no está preservada. Por lo general la albura en casi todas las especies es atacable.

LA MADERA COMO
MATERIAL DE CONSTRUCCION

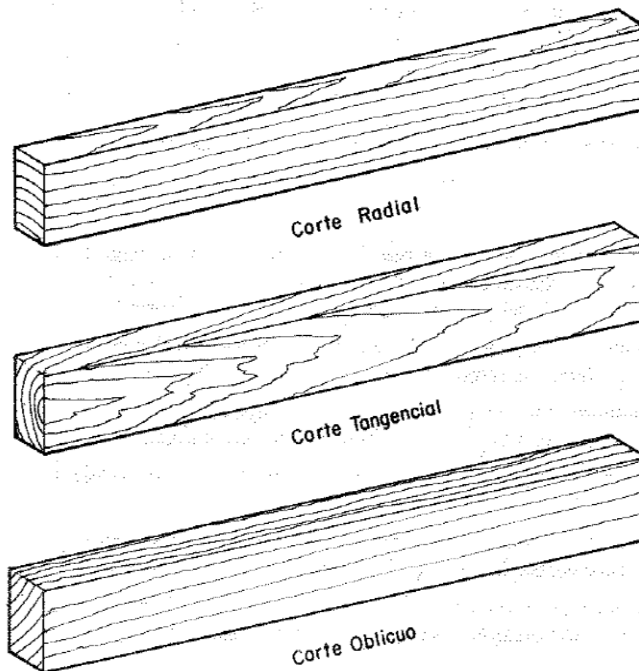
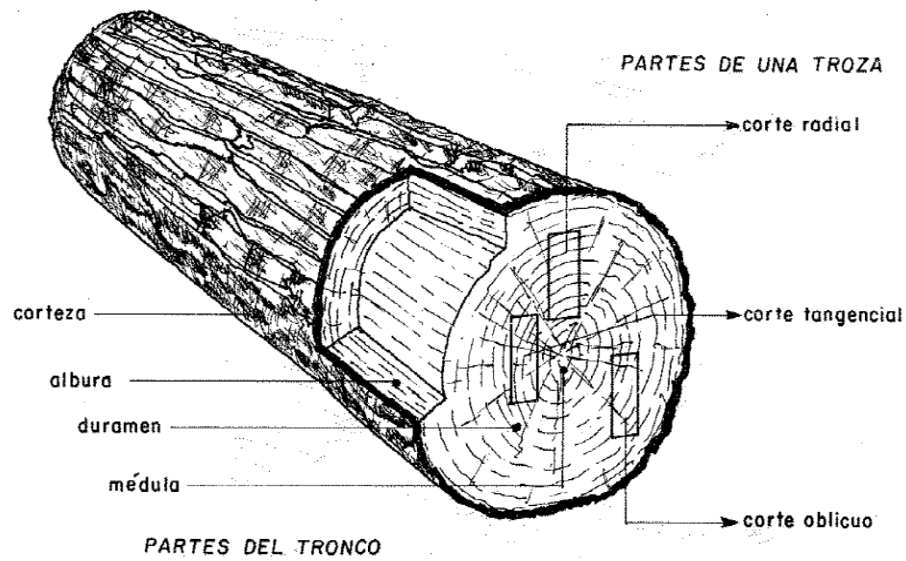


Figura 3.6 Términos usados en la definición de defectos y presentación de la norma de clasificación visual



LA MADERA COMO MATERIAL DE CONSTRUCCION

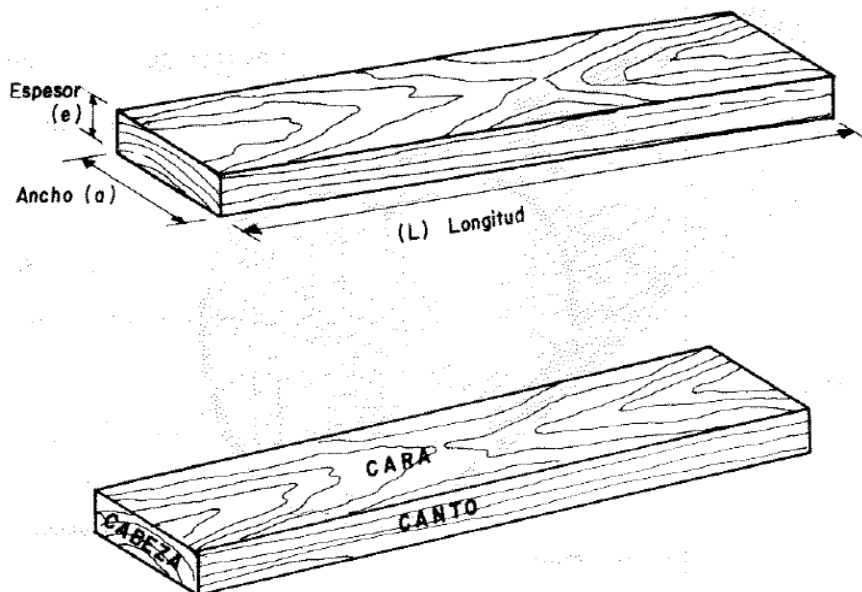


Figura 3.6 Términos usados en la definición de defectos y presentación de la norma de clasificación visual (cont.)

Bolsa.- Es la presencia de una cavidad bien delimitada, que contiene resina, goma o tanino.

Corteza incluida.- Es la presencia de una masa de corteza total o parcialmente comprendida en el leño.

Duramen quebradizo o madera de reacción.- Es la madera anormal formada típicamente en algunas zonas limitadas de ramas o fustes, caracterizada por su color, consistencia y propiedades distintas al resto del leño, es esencialmente de la zona central del tronco.

Grano inclinado.- Es la desviación angular que presentan los elementos constitutivos longitudinales de la madera, con respecto al eje longitudinal del fuste o canto de una pieza.

Madera de compresión.- Es la madera de reacción que se forma típicamente en las coníferas. Generalmente es más dura y oscura que la madera normal.

Madera de tensión.- Es la madera de reacción que se forma típicamente en las latifoliadas, generalmente es más clara que la madera normal.

Médula.- Es la parte central del duramen, constituida esencialmente por células de parénquima o células muertas. Es susceptible al ataque de hongos e insectos.

Nudo.- Es el área de tejido leñoso resultante del rastro dejado por el desarrollo de una rama, cuyas características organolépticas y demás propiedades son diferentes a las de la madera circundante.

Parénquima en bandas anchas.- Son células de paredes delgadas que presentan mayor cavidad, las que almacenan sustancias de reserva. Dichas células, agrupadas en bandas de 6 o más series, forman zonas débiles del leño.



3.4.2 Defectos Relativos al Ataque de Agentes Biológicos

Acañonado.- Es el orificio aproximadamente cilíndrico en el interior de una troza como consecuencia del atabacado.

Atabacado.- Es el proceso de pudrición castaña de la madera que se caracteriza, en la etapa avanzada, por la desintegración del leño en un polvo de color parduzco.

Mancha.- Es el cambio de color de la madera producido por hongos que descomponen la estructura leñosa.

Perforaciones grandes.- Son agujeros con diámetros mayores a 3 mm producidos por insectos o larvas perforadoras. Ej. Bostrychidae "brocas de los domicilios".

Perforaciones pequeñas.- Son agujeros con diámetros iguales o menores a 3 mm producidos por insectos o larvas perforadoras. Ej. Lyctus.

Pudrición avanzada.- Es la etapa de descomposición en que la madera presenta cambios evidentes en su apariencia, peso específico, composición, dureza y otras características mecánicas.

Pudrición castaña.- Es aquella que se caracteriza por una coloración castaña de la madera como consecuencia de la descomposición de la celulosa.

Pudrición clara.- Es aquella que se caracteriza por la coloración clara de la madera como consecuencia de la descomposición preponderante de la lignina además de las holocelulosas.

Pudrición incipiente.- Es la etapa inicial de la descomposición en la cual la madera pierde parte de sus propiedades mecánicas y puede sufrir cambios de color debido al ataque de hongos.

3.4.3 Defectos Originados durante el Apeo, Transporte y Almacenamiento

Desgarramiento.- Es el rompimiento que se produce en la base del tronco al ser cortado o talado el árbol.

Fractura o falla de compresión.- Es la deformación o rompimiento de las fibras de la madera como resultado de compresión o flexión excesivas ocasionadas en árboles en pie por la acción del viento, nieve o proceso de crecimiento, y en árboles apeados como resultado de esfuerzos durante las operaciones de explotación y aprovechamiento.

Rajadura.- Es la separación de los elementos constitutivos de la madera que se extiende en la dirección del eje de la pieza afectando totalmente el espesor de la misma o dos puntos opuestos de una madera rolliza.

3.4.4 Defectos Originados durante el Secado

Alabeo.- Es la deformación que puede experimentar una pieza de madera por la curvatura de sus ejes longitudinal o transversal o de ambos.

Abarquillado.- Es el alabeo de las caras en la dirección transversal.

Arqueadura o combado.- Es el alabeo de las caras en la dirección longitudinal.

Colapso.- Es la reducción de dimensiones de la madera que ocurre durante un proceso de secado por encima del punto de saturación de la fibra y que se debe a un aplastamiento de sus cavidades celulares. A menudo se observa como un corrugado de la superficie.



LA MADERA COMO MATERIAL DE CONSTRUCCION

Encorvadura.- Es el alabeo de los cantos en sentido longitudinal.

Endurecimiento superficial.- Es el estado de tensiones en una pieza caracterizado por compresión en las capas externas y tensión en la parte interna, como resultado de inadecuadas condiciones de secado.

Grieta.- Es la separación de los elementos constitutivos de la madera cuyo desarrollo no alcanza a afectar dos caras de una pieza aserrada o dos puntos opuestos de la periferia de una madera rolliza.

Rajadura.- Es la separación de los elementos constitutivos de la madera que se extiende en la dirección del eje longitudinal de la pieza y afecta totalmente el espesor de la misma o dos puntos opuestos de una madera rolliza.

Torcedura.- Es el alabeo simultáneo en las direcciones longitudinal y transversal.

3.4.5 Defectos Originados Durante el Aserrío

Arista faltante.- Es la falta de madera en una o más aristas de una pieza.

Mala escuadría.- Se denomina así a la sección transversal de una pieza de madera que está mal labrada a escuadra.

Picada.- Es la depresión en la superficie de una pieza producida por un corte anormal.

3.4.6 Control de Defectos

Constitución Anatómica.- Los defectos relativos a la constitución anatómica de una pieza de madera no son controlables debido a que son características propias de la especie. Propiamente no constituyen defectos sino **características de crecimiento** que al habilitar las piezas de madera aserrada quedan incorporadas en éstas alterando su comportamiento estructural. Solamente se evitarían, seleccionando y analizando las características generales de la especie antes de cortar el árbol o aserrar la pieza de madera, seleccionando especies que presenten el tipo de grano, parénquima o volumen de albura, etc., que se encuentren dentro del rango de tolerancia de la clasificación; o habilitando teniendo en mente la producción de madera para estructuras orientando debidamente los planos de corte.

Ataques Biológicos.- Los defectos relativos al ataque de los agentes biológicos son controlables a su debido tiempo como cualquier tipo de infección. En la actualidad se cuenta con la ayuda de los preservantes hidrosolubles y oleosolubles en el mercado, para controlar los ataques. Si se considera conveniente no usar preservantes es recomendable elegir una especie que presente buena o alta durabilidad natural.

Apeo, Transporte y Aserrío.- Los defectos originados durante el apeo, transporte, almacenamiento y aserrío, son ocasionados por lo general por deficiencias manuales o mecánicas durante dichas operaciones.

Se controlan fácilmente teniendo en cuenta la mano de obra calificada y el buen mantenimiento de la maquinaria y equipo, durante las operaciones de extracción, transporte, aserrío y apilado.

Secado de la Madera.- Los defectos originados durante el secado, son ocasionados por las deficiencias en el sistema de apilado y almacenamiento de las piezas al secarse, o por un mal programa de secado al horno.

Se controlan tomando en cuenta la constitución anatómica de la madera y considerando especialmente el plano de corte durante el aserrío de determinadas especies. Para ello es necesario contar con mano de obra calificada conocedora de los conceptos propios del secado de la madera (ver Cap. 2).



3.4.7 Norma de Clasificación Visual

La Norma de Clasificación Visual por Defectos PADT-REFORT que se presenta a continuación está destinada a la clasificación de madera aserrada para uso estructural. Todas las piezas que satisfagan la mencionada regla clasifican como Madera Estructural y todas las propiedades resistentes y elásticas asignadas a las especies agrupadas en grupos resistentes son aplicables sin otras restricciones que las tolerancias en dimensiones para la habilitación y fabricación de componentes.

En el desarrollo de la Norma de Clasificación Visual se han tenido como referencia los documentos (3, 4, 5, 6) de la lista de referencias del capítulo que aparece al final del Manual.

ALABEO

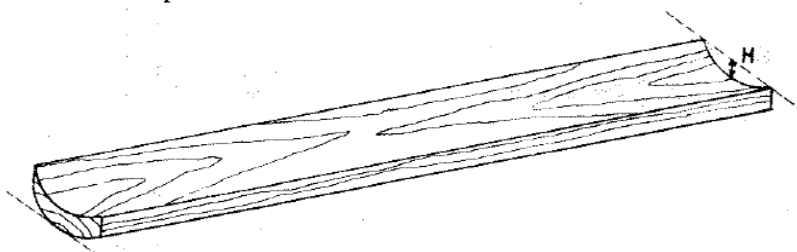
Es la deformación que puede experimentar una pieza de madera por la curvatura de sus ejes longitudinal, transversal o de ambos.

Se consideran:

- a. Abarquillado
- b. Arqueadura
- c. Encorvadura
- d. Torcedura

a. Abarquillado

Es el alabeo de las piezas cuando las aristas o bordes longitudinales no se encuentran al mismo nivel que la zona central.

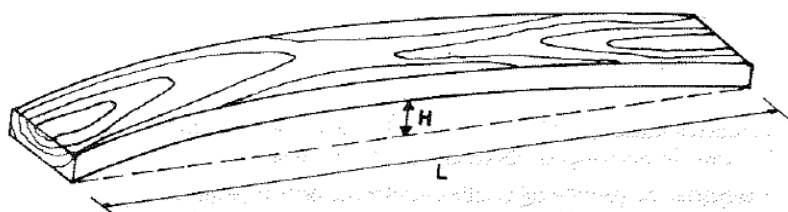


Reconocimiento.- Al colocar la pieza de madera sobre una superficie plana apoyará la parte central de la cara quedando levantados, presentando un aspecto cóncavo o de barquillo.

Tolerancia.- Se permiten en forma leve, no mayor de 1 por ciento del ancho de la pieza.

b. Arqueadura

Es el alabeo o curvatura a lo largo de la cara de la pieza.





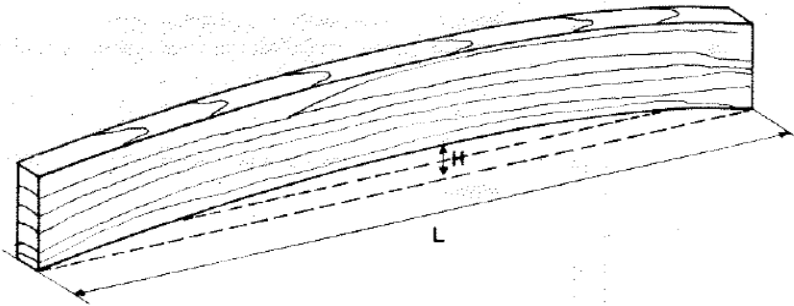
LA MADERA COMO MATERIAL DE CONSTRUCCION

Reconocimiento.- Al colocar la pieza sobre una superficie plana se observará una luz o separación entre la cara de la pieza de madera y la superficie de apoyo.

Tolerancia.- Se permite 1 cm por cada 300 cm de longitud o su equivalencia: $\frac{H}{L} < 0.33\%$

c. Encorvadura

Es el alabeo o curvatura a lo largo del canto de la pieza.

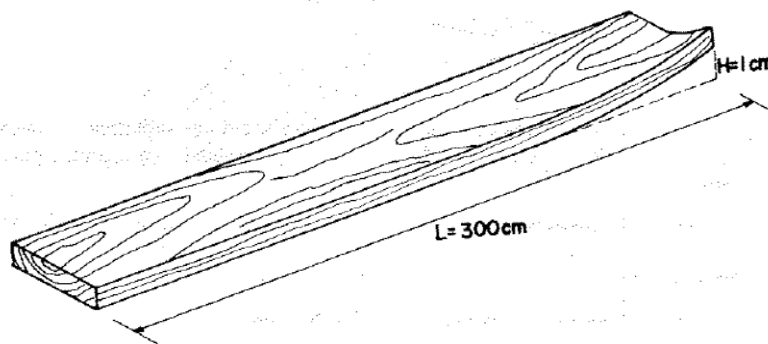


Reconocimiento.- Al colocar la pieza sobre una superficie plana se observará una luz o separación entre el canto de la pieza de madera y la superficie de apoyo. Se ubicará el lugar de mayor distanciamiento para ser medido.

Tolerancia.- Se permite 1 cm por cada 300 cm de longitud o su equivalente: $\frac{H}{L} < 0.33\%$

d. Torcedura

Es el alabeo que se presenta cuando las esquinas de una pieza de madera no se encuentran en el mismo plano.

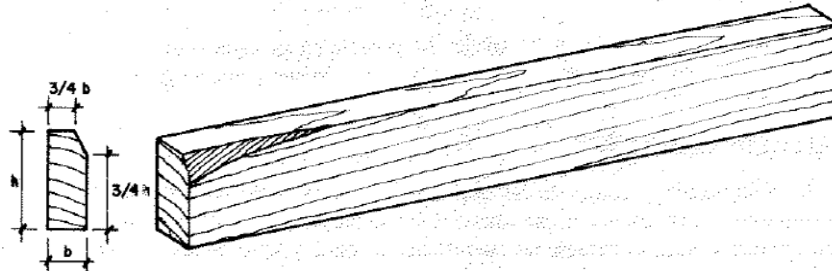


Reconocimiento.- Al colocar la pieza sobre una superficie plana se observará el levantamiento de una o más aristas en diferentes direcciones.

Tolerancia.- Se permite solamente cuando este defecto se presenta en forma muy leve y en una sola arista. Se permite 1 cm de alabeo para una pieza de 3 m de longitud.



ARISTA FALTANTE



Reconocimiento.- Es la falta de madera en una o más aristas de la pieza.

Tolerancia.- Se permite en una sola arista. Las dimensiones de la cara y el canto donde falta la arista deberán ser por lo menos los tres cuartos de las respectivas dimensiones de la sección completa.

DURAMEN QUEBRADIZO

Es la parte más interior del leño, generalmente de color más oscuro y de mayor durabilidad que la albura, aunque no está siempre nítidamente diferenciado de ella. Constituye normalmente la mayor proporción del centro del tronco.



Reconocimiento.- Porción de madera en una zona de aprox. 10 cm de diámetro adyacente a la médula caracterizada por una fragilidad anormal. Se presenta en forma de grietas de media luna. Es más frecuente en árboles viejos y puede presentar deterioro.

Tolerancia.- Ninguna. No se permite.

ESCAMADURA O ACEBOLLADURA

Es la separación del leño entre dos anillos de crecimiento consecutivos.





LA MADERA COMO MATERIAL DE CONSTRUCCION

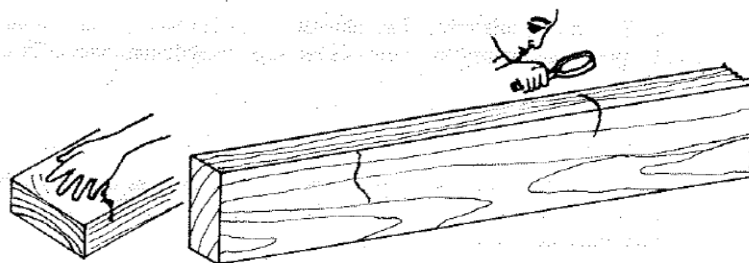
Reconocimiento.- Se observan como escamas superficiales en las caras tangenciales de una pieza de madera.

Tolerancia.- No se permite en las aristas. Se permite en las caras si es paralela al eje de la pieza, de una profundidad menor de un décimo del espesor y una longitud no mayor de un cuarto de la longitud total.

FALLAS DE COMPRESION

Es la deformación y rotura de las fibras de la madera como resultado de compresión o flexión excesiva en árboles en pie causados por su propio peso, o por acción del viento. Pueden producirse además durante las operaciones de corte y apeo de los árboles o por un mal apilado de la madera aserrada.

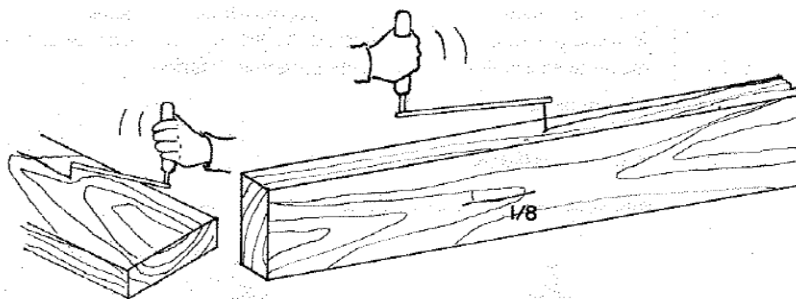
Reconocimiento.- Se observan en las superficies bien cepilladas de una pieza como arrugas finas perpendiculares al grano. Estas fallas originan zonas con muy poca o ninguna capacidad mecánica, por lo que su correcta identificación es fundamental para la seguridad de la estructura. Se presenta en árboles que tienen el tallo y fuste muy ahusado o cónico.



Tolerancia.- Ninguna. No se permiten.

GRANO INCLINADO

Es la desviación angular de las fibras de la madera en relación al eje longitudinal de la pieza.



Reconocimiento.- Es la desviación angular que presenta el grano con respecto al eje longitudinal de la pieza. Es necesario hacer uso repetido del detector del grano sobre las caras y cantos de la pieza.

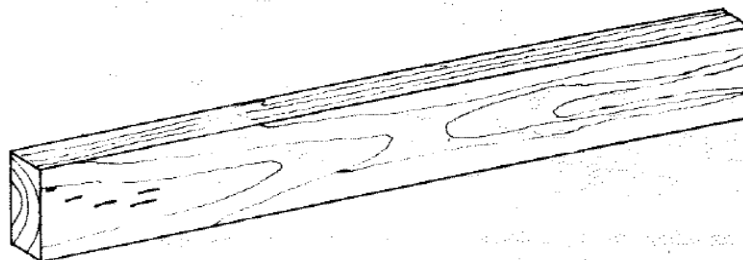
Tolerancia.- Se permite en cara o canto hasta un máximo de 1/8 de inclinación.

LA MADERA COMO MATERIAL DE CONSTRUCCION



GRIETA

Es la separación de los elementos de la madera en dirección radial y longitudinal que no alcanza a afectar dos caras de una pieza, o dos puntos opuestos de la superficie de una madera rolliza.

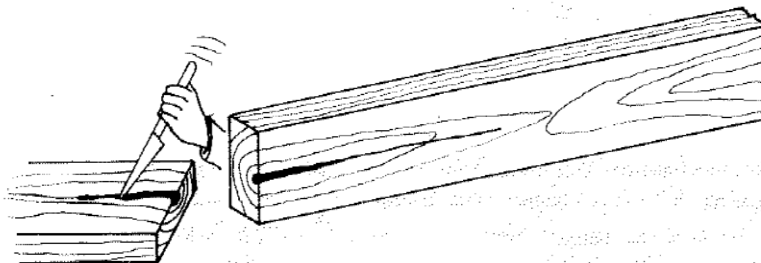


Reconocimiento.- Se observan como separaciones discontinuas y superficiales, de aproximadamente un milímetro de separación y 2 a 3 mm de profundidad. Este defecto se produce durante el proceso de secado.

Tolerancia.- Se permiten moderadamente. La suma de sus profundidades, medidas desde ambos lados, no debe exceder un cuarto del espesor de la pieza.

MEDULA

Es la parte central del duramen constituida esencialmente por parénquima, tejido generalmente blando o células muertas.



Reconocimiento.- Es la pequeña zona de tejido esponjoso situada en el centro del duramen. Es susceptible al ataque de hongos e insectos.

Tolerancia.- No se permite.

NUDO

Es el área de tejido leñoso, resultante del rastro dejado por el desarrollo de una rama, cuyas características organolépticas y propiedades son diferentes a la madera circundante.

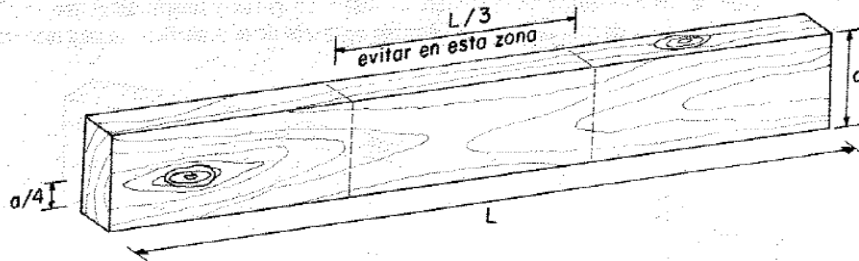
Se consideran:

- a. Nudo sano
- b. Nudo hueco
- c. Nudos arracimados



LA MADERA COMO MATERIAL DE CONSTRUCCION

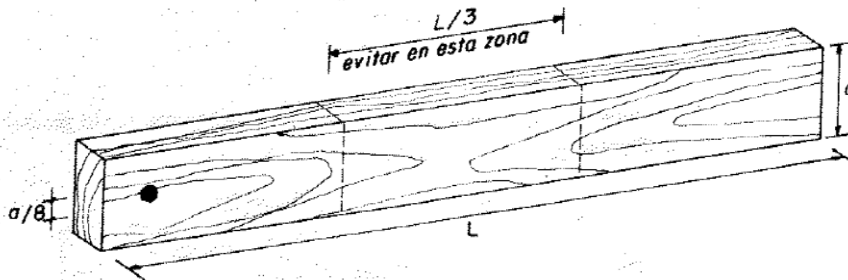
a. Nudo Sano



Reconocimiento.- Es la porción de rama entrecruzada con el resto de la madera y que no se soltará o aflojará durante el proceso de secado y uso. No presenta deterioro ni pudrición.

Tolerancia.- Se permiten hasta un diámetro de $1/4$ del ancho de la cara, con un máximo de 4 cm y con un distanciamiento entre nudos mayor de 100 cm.

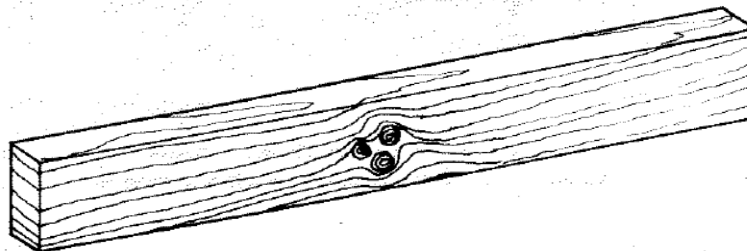
b. Nudo Hueco



Reconocimiento.- Son los espacios huecos dejados por los nudos al desprenderse de la madera. A los nudos sueltos o con deterioro se los debe considerar como nudos huecos.

Tolerancia.- Se permite hasta un diámetro de $1/8$ del ancho de la cara y hasta un máximo de 2 cm. Evitarlos en cantos sometidos a tracción.

c. Nudos Arracimados



LA MADERA COMO MATERIAL DE CONSTRUCCION

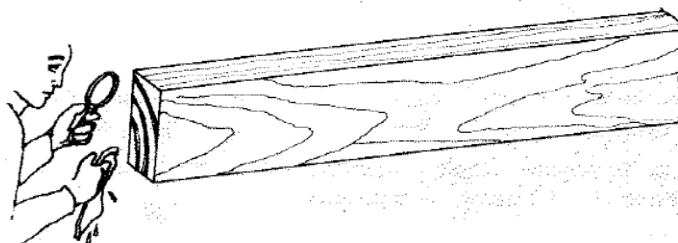


Reconocimiento.- Se observan con el agrupamiento de dos o más nudos desviando notoriamente la dirección de las fibras que lo rodean.

Tolerancia.- No se permiten.

PARENQUIMA

Son células típicamente en forma de paralelepípedo, presentan paredes delgadas. Sirven para almacenar sustancias de reserva. Son susceptibles al ataque de hongos e insectos.



Reconocimiento.- Son células correspondientes al tejido blando, por lo general de color más claro que la parte fibrosa del leño. Se distribuyen en bandas concéntricas y son visibles a simple vista en la sección transversal de la pieza de madera previamente humedecida.

Tolerancia.- No se permite en piezas que van a estar sometidas a esfuerzos de compresión paralela al grano. Para otros usos si se permite. Las bandas parenquimatosas no deben ser mayores de 2 mm de espesor.

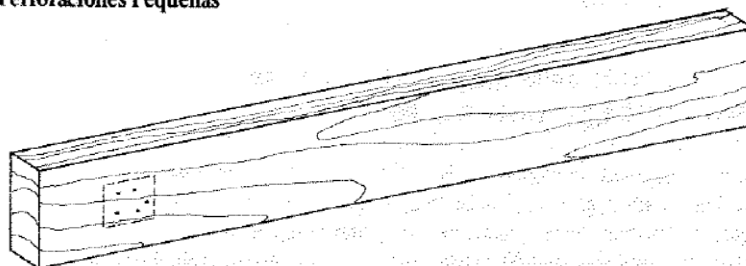
PERFORACIONES

Son agujeros o galerías causadas por el ataque de insectos o larvas.

Se consideran:

- a. Perforaciones pequeñas
- b. Perforaciones grandes

a. Perforaciones Pequeñas



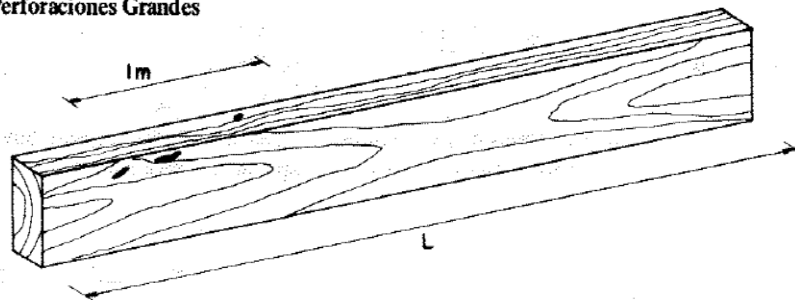
Reconocimiento.- Son agujeros con diámetros iguales o menores a 3 mm producidos por insectos de tipo Ambrosia. Insectos tipo Lyctus no se aceptan.



LA MADERA COMO MATERIAL DE CONSTRUCCION

Tolerancia.- Se permiten cuando su distribución es moderada y comprende una zona menor que un cuarto de la longitud total de la pieza. Máximo 100 agujeros en 100 cm². No alineados ni pasantes.

b. Perforaciones Grandes

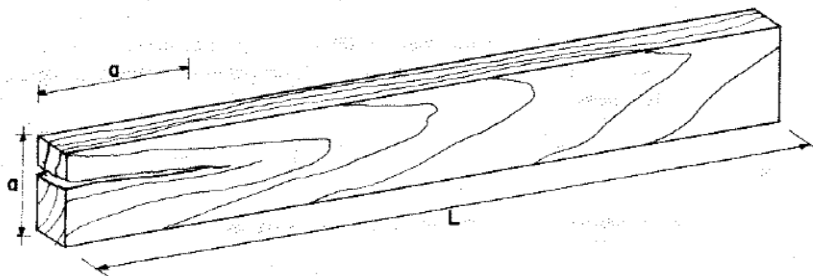


Reconocimiento.- Son agujeros con diámetros mayores de 3 mm producidos por insectos o larvas perforadoras tipo "brocas de los domicilios", Bostrychidae.

Tolerancia.- Se permiten cuando su distribución es moderada y superficial. Máximo 3 agujeros por metro lineal. No alineados ni pasantes.

RAJADURAS

Son separaciones naturales entre los elementos de la madera que se extienden en la dirección del eje de la pieza y afectan totalmente su espesor, o dos puntos opuestos de una madera rolliza.



Reconocimiento.- Se observan como separaciones del tejido leñoso en la dirección del grano.

Tolerancia.- Se permite sólo en uno de los extremos de la pieza y de una longitud no mayor al ancho o cara de la pieza.

3.5 AGRUPACION DE MADERAS TROPICALES EN GRUPOS ESTRUCTURALES

El número de especies de madera en la Subregión Andina que pueden ser adecuadas para la construcción es muy grande, mucho mayor que el número de especies que actualmente se conocen y destinan a esta aplicación. Para evitar la selectividad de los usuarios hacia una o pocas especies conocidas cuando existen otras de características similares, se ha considerado apropiado agrupar a las especies ensayadas en tres grupos estructurales. Esto debe permitir mayor flexibilidad en el uso de las maderas tropicales, evitando preferencias injustificadas que incrementen los precios del material.

ANEXO C: Ficha técnica del MDP Tropical



Propiedades Físico-mecánicas

Espesor mm	Densidad Kg/m ³ 5 Kg	Ruptura Kg/cm	Tensión N/mm ²	Hinchamiento -%
12	670	> ó = 250	> ó = 7.5	< ó = 8%
15	650	> ó = 200	> ó = 7	< ó = 8%

Características generales

Es un tablero MDP resistente a la HUMEDAD elaborado con resinas. Sirve para usos en ambientes donde el nivel de humedad es alto y permanente. Superficie fácil de acabar sin tratamientos adicionales y sin sentido de fibra, lo cual facilita su maquinado.

Usos y aplicaciones

Dadas sus excelentes propiedades mecánicas y de resistencia a la humedad, sus principales aplicaciones son: bases para cubiertas, entrepisos, escaleras, cielorrasos, mesones de cocina, muebles de baño, señalización externa, puertas y material para embalaje. No debe estar en contacto permanente con el agua o en exteriores.

Dimensiones y espesores MDP TROPICAL

Espesor mm	Tamaño m X m	Densidad Kg/m ³ 5 Kg
6	2.15 x 2.44	720
9	2.15 x 2.44	680
12	2.15 x 2.44	670
15	2.15 x 2.44	650
18	2.15 x 2.44	650
25	2.15 x 2.44	650
30	2.15 x 2.44	640

ANEXO D: Ficha técnica del Kubimil Plus



KUBIMIL Un convencional muy especial

CARACTERÍSTICAS:

- En acero galvanizado - prepintado
- Traslape longitudinal con contigación tipo sifón que evita goteras.
- Mayor resistencia estructural por ser el único con cinco contigaciones trapecoidales y doble rigidizador en cresta y valle.
- Paneles hechos e instalados a medida
- Fijación con accesorios especiales que evitan goteras y absorben deformaciones por dilatación térmica.

USOS:

- Galpones Industriales
- Centros Comerciales
- Colegios
- Centros Educativos
- Estaciones de Servicio
- Galpones Avícolas y Agrícolas
- Bodegas
- Cuartos Fríos

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS:

FICHA TÉCNICA KUBIMIL					FICHA TÉCNICA KUBIMIL PLUS				
ESPESOR	PESO	ANCHO UTIL	DESARROLLO	SEPARACIÓN ENTRE CORREAS	ESPESOR	PESO	ANCHO UTIL	DESARROLLO	SEPARACIÓN ENTRE CORREAS
mm	kg/m ²	mm	mm	m	mm	kg/m ²	mm	mm	m
0.30	2.79	1030	1220	1.30	0.30	2.85	825	1000	1.30
0.35	3.25	1030	1220	1.60	0.35	3.33	825	1000	1.60
0.40	3.72	1030	1220	1.85	0.40	3.81	825	1000	1.85
0.45	4.18	1030	1220	2.05	0.45	4.28	825	1000	2.05
0.50	4.65	1030	1220	2.20	0.50	4.76	825	1000	2.20
0.60	5.58	1030	1220	2.40	0.60	5.71	825	1000	2.40



Tolerancia según norma INEN 2 221-99

Tolerancia longitud: la tolerancia en longitud para paneles hasta 7m. será de + 40mm, para longitudes mayores a 7m. se añadirá 5mm. por cada incremento de 1m.

Tolerancia ancho útil: Está entre 3 y 5 mm, de acuerdo a los espesores de materia prima de los que disponemos.

KUBIEC se reserva el derecho de modificar las especificaciones de sus productos sin previo aviso.

DETALLE DE FIJACIÓN:



Fabricado por: KUBIEC



Vademécum de la Construcción y Decoración

ANEXO E: Memoria de cálculo

Resumen

Se procedió con el análisis estructural de una vivienda actual de la fundación *Techo Ecuador*. Para realizar este trabajo se utilizó el software de análisis estructural SAP2000. Los datos de los materiales fueron proporcionados por los respectivos proveedores y se los considera como verdaderos y precisos. Se realizó el análisis utilizando una combinación de cargas para diseño dictada por el método por esfuerzos de trabajo debido a que la madera es un material irregular del que no se puede precisar con exactitud su comportamiento a últimos esfuerzos.

Cargas

Las cargas se asignaron según el capítulo 1 de la NEC. Para la carga muerta o peso propio de la estructura se tomó el peso de la madera estructural, la madera de los tableros de MDP y la cubierta de Kubimil Plus. El peso de la madera estructural y los tableros de MDP fueron distribuidos automáticamente por el programa SAP2000; el peso de la cubierta se repartió ponderadamente sobre las vigas que sostienen la cubierta.

Peso del Kubimil Plus = 2.85 kg/m^2

Área total de láminas de Kubimil Plus = 25.2 m^2

Peso total = $2.85 \text{ kg/m}^2 \times 25.2 \text{ m}^2 = 71.82 \text{ kg}$

Área de vigas de madera sobre la cual se asienta la cubierta = 1.765 m^2

La carga viva o sobrecarga se tomó de la lista proporcionada en la NEC, la única categoría en la que encajaban las viviendas de la Fundación era la categoría de *Viviendas*; en esta categoría se asigna una carga de 2.00 kN/m² o lo que es similar a 200 kg/m². Esta carga se aplicó solamente en los paneles de piso de la vivienda.

La carga de viento se calculó de acuerdo a la norma usando la siguiente ecuación para la obtención de la presión usada en el cálculo.

$$P = \frac{1}{2} \times \rho \times V_b^2 \times C_E \times C_f$$

Donde:

-P presión de cálculo expresada en Pa o N/m²

- ρ densidad del aire expresada en Kg/m³

- C_E coeficiente de entorno o de altura

- C_f coeficiente de forma

- V_b velocidad corregida del viento

En general para el cálculo se puede considerar la densidad del aire como 1.25Kg/m³

La velocidad del viento se corrige de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$V_b = V \cdot \sigma$$

Donde:

- V_b velocidad corregida del viento

- V velocidad instantánea máxima del viento en m/s, registrada a 10 m de altura sobre el terreno.

- σ coeficiente de corrección

La velocidad de diseño no será menos a 75 km/h o 21 m/s.

Coeficiente de corrección, σ

Altura (m)	Sin obstrucción (Categoría A)	Obstrucción baja (Categoría B)	Zona edificada (Categoría C)
5	0.91	0.86	0.80
10	1.00	0.90	0.80
20	1.06	0.97	0.88
40	1.14	1.03	0.96
80	1.21	1.14	1.06
150	1.28	1.22	1.15

Coeficiente de corrección

Para la vivienda de *Techo* se tomó la altura como 5 m, ya que es la mínima y se la colocó en la categoría B, ya que las viviendas normalmente están ubicadas en sectores con edificaciones bajas a sus alrededores, y la velocidad de diseño V se tomó la mínima estipulada en la NEC, es decir 75 km/h.

Factor de forma, C_f

CONSTRUCCIÓN	Barlovento	Sotavento
Superficies verticales de edificios	+0.8	
Anuncios, muros aislados, elementos con una dimensión corta en el sentido del viento	+1.5	
Tanques de agua, chimeneas y otros de sección circular o elíptica	+0.7	
Tanques de agua, chimeneas y otros de sección cuadrada o rectangular	+2.0	
Arcos y cubiertas cilíndricas con un ángulo de inclinación que no exceda los 45°	+0.8	-0.5
Superficies inclinadas a 15° o menos	+0.3 a 0	-0.6
Superficies inclinadas entre 15° y 60°	+0.3 a +0.7	-0.6
Superficies inclinadas entre 60° y la vertical	+0.8	-0.6
El signo positivo (+) indica presión El signo negativo (-) indica succión		

Factor de forma, C_f

El factor de forma C_f se tomó como +0.8 porque es la única que aplica a caso de las viviendas de la fundación.

Tomando los valores mencionados previamente se realizaron los cálculos.

$$V_b = V \cdot \sigma$$

$$V_b = 75 \times 0.86$$

$$V_b = 70 \frac{km}{h} = 19.4 \frac{m}{s}$$

$$P = \frac{1}{2} \times \rho \times V_b^2 \times C_E \times C_f$$

$$P = \frac{1}{2} \times 1.25 \times 19.4^2 \times 1 \times 0.8$$

$$P = 188.18 \frac{N}{m^2} = 19.81 \frac{Kgf}{m^2}$$

Esta fuerza se distribuyó lateralmente en los paneles laterales, frontales y posteriores de la vivienda.

La carga sísmica se calculó de acuerdo al Capítulo 2 de la NEC-13, Peligro Sísmico y Requisitos de Diseño Sismo Resistente. Se realizó un análisis dinámico para la determinación del coeficiente sísmico, el cual se introdujo en el programa SAP2000, y el programa, usando el coeficiente sísmico, la carga muerta y la carga viva, calculó la fuerza sísmica que se debe aplicar.

Una vez realizado el diseño de la vivienda, se obtuvo el período de la misma, $T=0.25s$. Con este periodo se realizaron los cálculos necesarios para determinar el coeficiente sísmico. El coeficiente sísmico está dado por la siguiente ecuación:

$$C_S = \frac{I \times S_a}{R \times p \times E}$$

El factor I hace referencia a la importancia de la estructura, los valores de I oscilan entre 1.5, para las estructuras más importantes como hospitales o edificios gubernamentales, y 1, para estructuras comunes como viviendas. En este caso se tomó 1 como el factor de importancia.

Los elementos p y E hacen referencia a la uniformidad estructural tanto en planta como en elevación, respectivamente. Los posibles valores para estos factores van desde 1 para las estructuras más uniformes, y disminuyen en caso de existir irregularidades tanto en planta como en elevación. Las viviendas de *Techo* se consideraron como estructuras uniformes por lo que se tomó como 1 a estos dos factores.

El factor R o factor de reducción de resistencia sísmica cuantifica la calidad sismo resistente de los sistemas constructivos usados en una estructura. En el caso de las viviendas de la Fundación, el factor R es 3 ya que las viviendas caen en la categoría de *Estructuras de acero conformado en frío, aluminio, madera limitados a dos pisos*.

Finalmente, el S_a o espectro elástico de diseño depende del período de la estructura y se calcula con alguna de las siguientes ecuaciones:

$$S_a = \eta \times Z \times F_a \quad \text{para } T_0 < T \leq T_c$$

$$S_a = \eta \times Z \times F_a \times \left(\frac{T_c}{T}\right)^r \quad \text{para } T > T_c$$

$$S_a = Z \times F_a \times \left(1 + (\eta - 1) \times \frac{T}{T_0}\right) \quad \text{para } T \leq T_0$$

El espectro de diseño elástico se representa con el siguiente gráfico:

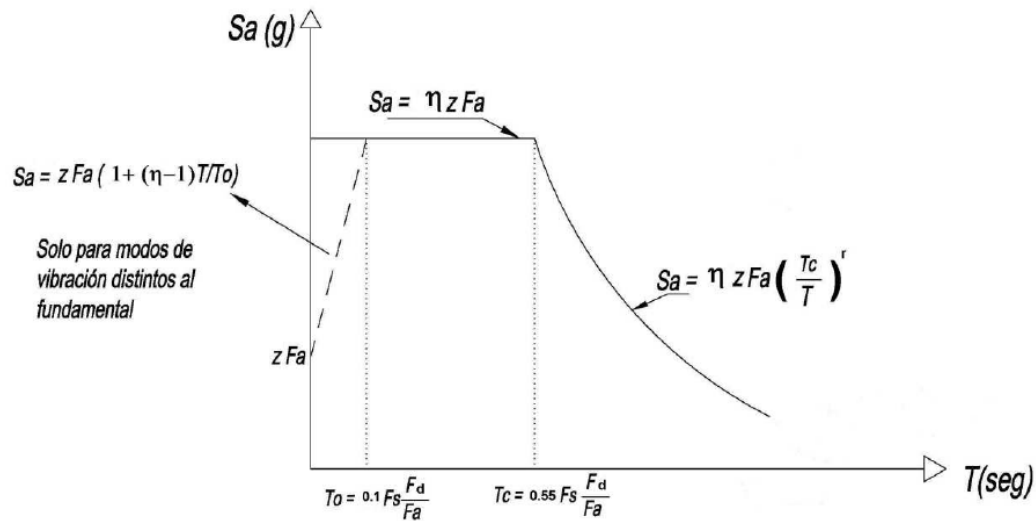


Figura A3. 1 Espectro de diseño elástico

Los elementos T_0 y T_c se obtienen de las siguientes ecuaciones:

$$T_c = 0.55 \times F_s \times \frac{F_d}{F_a}$$

$$T_0 = 0.10 \times F_s \times \frac{F_d}{F_a}$$

Los factores F_s , F_d , y F_a se dependen del tipo de suelo. Ya que las viviendas de la fundación se construyen en muchos lugares del país con distintos tipos de suelo, se tomó el suelo más crítico para el caso, el suelo tipo E. El factor Z depende del lugar en el que se construya la vivienda. La mayor parte de las viviendas están construidas en el casco urbano de la ciudad de Quito por lo que se tomó 0.4 que es el correspondiente a la ciudad de Quito. El factor η se refiere a la amplificación espectral en roca y depende del lugar en el que se encuentre la estructura. Para la Sierra el valor de η es de 2.48. A continuación se presentan las tablas para obtener los valores de F_s , F_d y F_a .

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica	I	II	III	IV	V	VI
	valor Z (Aceleración esperada en roca, 'g)	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥0.5
A		0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B		1	1	1	1	1	1
C		1.4	1.3	1.25	1.23	1.2	1.18
D		1.6	1.4	1.3	1.25	1.2	1.15
E		1.8	1.5	1.4	1.28	1.15	1.05
F		ver nota	ver nota	ver nota	ver nota	ver nota	ver nota

Tabla A3.3 Tipo de suelo y factores de sitio Fa

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica	I	II	III	IV	V	VI
	valor Z (Aceleración esperada en roca, 'g)	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥0.5
A		0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B		1	1	1	1	1	1
C		1.6	1.5	1.4	1.35	1.3	1.25
D		1.9	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
E		2.1	1.75	1.7	1.65	1.6	1.5
F		ver nota	ver nota	ver nota	ver nota	ver nota	ver nota

Tabla A3.4 Tipo de suelo y factores de sitio Fd

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica	I	II	III	IV	V	VI
	valor Z (Aceleración esperada en roca, 'g)	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥0.5
A		0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
B		0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
C		1	1.1	1.2	1.25	1.3	1.45
D		1.2	1.25	1.3	1.4	1.5	1.65
E		1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2
F		ver nota	ver nota	ver nota	ver nota	ver nota	ver nota

Tabla A3.5 Tipo de suelo y factores de comportamiento inelástico del subsuelo Fs

$$T_c = 0.55 \times F_s \times \frac{F_d}{F_a} = 1.45$$

$$T_o = 0.10 \times F_s \times \frac{F_d}{F_a} = 0.26$$

$$S_a = Z \times F_a \times \left(1 + (\eta - 1) \times \frac{T}{T_0}\right) \quad \text{para } T \leq T_0$$

$$S_a = 0.4 \times 1.15 \times \left(1 + (2.48 - 1) \times \frac{0.25}{0.26}\right) = 1.11$$

$$C_s = \frac{1 \times 1.11}{3 \times 1 \times 1} = 0.37$$

El cortante basal o la fuerza sísmica que se aplica se calcula con la siguiente ecuación:

$$V = (W_D + 0.25L) \times C_s$$

Donde:

W_D = Peso propio de la estructura

L = Carga viva.

El peso propio de la estructura y la carga viva se calcularon sumando las reacciones en los apoyos en respuesta cada una de las cargas aplicadas.

Combinación de cargas

La combinación de cargas se obtuvo del Capítulo 1 de la NEC-13. Se usó una combinación de cargas para diseño por el método por esfuerzos de trabajo, como lo dicta la Norma. Las combinaciones de carga estipuladas en la NEC son las siguientes:

- D

- D + L

- D + (Lr o S o R)

$$- D + 0,75L + 0,75(Lr \text{ o } S \text{ o } R)$$

$$- D + (0.6 W \text{ o } 0,7E)$$

$$- D + 0,75L + 0,75(0.6W \text{ o } 0.7E) + 0,75(Lr \text{ o } S \text{ o } R)$$

$$- 0.6D + 0.6 W$$

$$- 0.6 D + 0.7 E$$

Donde:

D: Peso propio

L: Carga viva o sobrecarga

Lr: Sobrecarga cubierta

E: Sismo

W: Viento

S: Carga de granizo

R: Carga de lluvia

No se tomaron en cuenta cargas de granizo, cargas de viento y sobrecargas en la cubierta ya que la cubierta no está diseñada para sostener ningún tipo de peso. Las láminas de cubierta son bastante delgadas y su propósito es sólo proteger a la vivienda de la intemperie. De todas las combinaciones de cargas su uso la envolvente, el programa SAP2000 calcula todas las posible combinaciones y escoge el casi más crítico para la estructura.

Resultados

Una vez hecha la modelación, el programa nos da los resultados en términos de fuerzas y momentos; para obtener los esfuerzos respectivos es necesario usar las siguientes formulas:

Para Flexión

$$\sigma = \frac{M \times y}{I} + P/A$$

Para Corte

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

Para Compresión

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

Los máximos esfuerzos obtenidos fueron:

Para Flexión

$$\sigma = 78.87 \text{ kg/cm}^2$$

Para Corte

$$\sigma = 3.22 \text{ kg/cm}^2$$

Para Compresión

$$\sigma = 7.96 \text{ kg/cm}^2$$

Los esfuerzos admisibles se obtuvieron a partir de los esfuerzos últimos o de ruptura proporcionados por el proveedor. A estos esfuerzos se les multiplicó por un factor el cual se encontró en el manual de diseño de la JUNAC.

$$\text{Esfuerzos admisibles} = \frac{FC \times FT}{FS \times FDC} \times \text{Esfuerzo ultimo}$$

Donde:

- FC: factor de reducción por calidad.
- FT: factor de reducción por tamaño
- FS: factor de servicio y seguridad
- FDC: factor de duración de carga

Los valores de FC, FT, FS, FDC están dados por la siguiente tabla:

	Flexión	Compresión Paralela	Corte Paralelo	Compresión Perpendicular
F.C.	0.80	—	—	—
F.T.	0.90	—	—	—
F.S.	2.00	1.60	4.00*	1.60
F.D.C.	1.15	1.25	—	—

Factores de reducción de esfuerzos

Con estos factores los esfuerzos admisibles obtenidos fueron:

- Flexión

$$\text{Esfuerzo último} = 759 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Esfuerzo admisible} = 182.16 \text{ kg/cm}^2$$

- Compresión Paralela

$$\text{Esfuerzo último} = 372 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Esfuerzo admisible} = 186 \text{ kg/cm}^2$$

- Corte Perpendicular

$$\text{Esfuerzo último} = 99 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Esfuerzo admisible} = 61.88 \text{ kg/cm}^2$$

El máximo desplazamiento se obtuvo en la dirección del Eje X y fue de 14.54 mm. La deriva de piso se calculó de la siguiente forma:

$$\frac{\Delta}{h} \times 0.75 \times R \leq 0.02$$

Donde:

Δ : Deformación máxima

h: Altura máxima

R: Factor de reducción de resistencia sísmica

$$\frac{14.54}{2400} \times 0.75 \times 3 \leq 0.02$$

$$0.013 \leq 0.020$$