

TC-10

## APROVECHAMIENTO DE MADERA DE PINO CARIBE DE PEQUEÑOS DIÁMETROS EN EL DESARROLLO DE UN SISTEMA CONSTRUCTIVO PARA VIVIENDAS

Lugo, Argenis

Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción (IDEC), Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Central de Venezuela, Caracas  
alugo66@gmail.com

### INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas las tendencias mundiales de desarrollo de tecnologías sostenibles, hacen de la madera uno de los materiales utilizados: Es un material derivado de un recurso renovable, requiere bajo consumo energético para su transformación, puede ser reciclable, reutilizable, tiene gran capacidad de adaptación a requerimientos funcionales en la edificación (estructurales, cerramientos y mobiliario). Para su producción como materia prima, si la gestión de la actividad como recurso natural renovable es correcta, el balance ecológico es positivo y el desarrollo de la actividad es sostenible. Estas características en general le confieren ventajas competitivas que lo convierten en un material paradigma en la industria de la construcción mundial.

En Venezuela al oriente del país entre los estados Anzoátegui y Monagas existen 485.511 has. de plantaciones de madera Pino Caribe (*Pinus Caribaea variedad Hondurensis*) con un volumen en pie estimado en 49.6000.000 m<sup>3</sup> de rollizos y un volumen de madera comercial en pie de 11.000.000 m<sup>3</sup> (CVG Profroca 2003) . Originalmente estaban orientadas a la producción extensiva de papel - situación que hasta la fecha no ha sido concretada en los términos esperados-, ha sido reorientada en las últimas décadas como recurso hacia la industria de aserrío para la industria de la construcción. Al respecto indica R. Ruiz (2000) que esta industria de aserrío utiliza el 80% de la madera que se explota en estas plantaciones correspondientes a rollizos de diámetros superiores a 15cm. El 20% restante correspondiente a rolas de diámetros inferiores a 15 cm y cortas longitudes, es parcialmente utilizado en la industria de astillas y aglomerados; otra parte subutilizado como combustible, el volumen restante no tiene uso definido, ni valor comercial terminando en muchos caso perdiéndose. El potencial y eficiente uso de este volumen de madera de diámetros inferiores 15 cm permitiría un incremento y mejor aprovechamiento de estas plantaciones. En este contexto el presente artículo aborda parte de los resultados de una propuesta de aprovechamiento de madera de Pino Caribe de

pequeños diámetros y cortas longitudes para su aplicación en la industria de la construcción, a través del desarrollo de una tecnología de paredes portantes utilizando este material. Es así que en términos específicos en esta propuesta de aprovechamiento de la madera de pino Caribe de diámetros inferiores a 15 cm se plantea:

- Desarrollar una tecnología para la construcción de paredes portantes con componentes de pequeños diámetros para la construcción de edificaciones, con aplicación en uno de los mercados de mayor demanda en el país: el mercado de la vivienda.
- Estimular la utilización de una parte de la madera de pino caribe que no tiene valor comercial y es considerada un desperdicio, con grandes volúmenes de disponibilidad, a través del desarrollo de una tecnología de fácil apropiación por parte de la población.
- Definir las consideraciones de aprovechamiento de la madera de pino Caribe de diámetros inferiores a 15 cms, para la producción de componentes constructivos.
- Aplicar estrategias de desarrollo sostenible durante el proceso de diseño de la tecnología propuesta.

Como premisas para el desarrollo de la propuesta se toma como marco referencial las Estrategias la Sostenibilidad de la Construcción (*Acosta, D; Cilento, A. 2005*) entre las que se mencionan:

- “Eficiencia y racionalidad energética” propiciando la utilización de materiales y procesos de producción de bajo consumo energético.
- “Construir bien desde el inicio” lo que significa construir bien desde la fase de diseño, donde se toman decisiones claves para la construcción de la edificación.
- Propiciar el “cero desperdicio” en la construcción.
- “Producción Local y flexible”, con el aprovechamiento de materiales, mano de obra e industrias locales y regionales.

Esta propuesta para la construcción de paredes portantes aspira constituirse en una opción factible de aplicar en la construcción de viviendas para los sectores de la población de bajos recursos en esta región del país de vocación maderera (Anzoátegui, Monagas, y norte de Bolívar) a costos competitivos con las tecnologías de mampostería tradicionalmente utilizadas.

## MARCO METODOLÓGICO

Para el abordaje del desarrollo de la propuesta se establecieron cuatro fases que se mencionan a continuación:

Investigación Documental: Consistió en el levantamiento de la información concerniente a la madera de Pino Caribe de pequeños diámetros, aspectos normativos, ámbito de utilización; Experiencias constructivas potenciales de ser aplicadas o transferidas. Esto permitió caracterizar y definir los criterios de aprovechamiento de la madera de Pino Caribe de pequeños diámetros (CPPD).

Definición y Desarrollo: Partiendo de los criterios de aprovechamientos de la madera PCPD, establecidos en la investigación documental, la fase de definición y desarrollo de la tecnología y sus componentes constructivos (ingeniería de detalles, aplicaciones, producción mantenimiento, montaje, costos).

Experimentación: Se elaboraron modelos a escala con los que se simularon y probaron proceso de producción, ensamblaje de componentes y montaje.

Síntesis, Evaluación y Conclusiones: en esta fase se compilaron a manera de síntesis el proceso de desarrollo y sus resultados para ser evaluados posteriormente y elaboración de conclusiones.

## **LA MADERA DE PINO CARIBE DE PEQUEÑOS DIÁMETROS EN VENEZUELA: Potencialidades, restricciones y premisas para ser utilizada en tecnologías constructivas de paredes portantes**

**Uso y sub-utilización:** El aprovechamiento de la madera de los bosques de pino caribe, en su gran mayoría, parte de rolas o trozas del árbol cortadas a partir de diámetros superiores de 15 cm., donde se obtienen las secciones típicas de madera aserrada existentes en el mercado. Esto se ilustra en el siguiente cuadro donde se indican las categorías de las trozas de madera que procesan en aserradero promedio en la región de Uverito en el estado Monagas.

Categoría	Ø Promedio (cm)
I	15,9
II	18,2
III	19,9
IV	21,8
V	25,1
VI	27,6
VII	29,9
VIII	31,4

Fig 1: promedio de diámetros de las trozas de madera para aserrio procesadas por la empresa venwood c. A. Fuente: Contreras y otros (1996)

Sin embargo, no se aprovechan para aserrio las trozas con diámetros inferiores a 15 cm. Al respecto refiere *R. Ruiz (2000)* que *"existe una parte maderable correspondiente a diámetros inferiores de 15 cm. que en términos prácticos no entra en estas estadísticas. Esta parte representa cerca del 20% del volumen de la parte maderable. Este porcentaje de madera de pequeños diámetros tiende a incrementarse si se suma la madera producto de los aclareos en el proceso de manejo de la plantación. En algunos casos es aprovechada en la industria de astillas de madera, en otros como fuente de energía (leña) y en los casos más extremos es desechada en el mismo bosque en el momento de la explotación para volver a la naturaleza a través del proceso de biodegradación."*

Esta madera de diámetros inferiores a 15 cm. presenta características que la diferencian respecto a las de diámetros superiores (*Luc Ninín, 1993*) entre las que se pueden resaltar: Heterogeneidad radial; Leño juvenil de mejor calidad que el presente en trozas de radios superiores; Conicidad pronunciada; Trozas proveniente en su gran mayoría de copas con abundantes tocones de ramas.

Dentro de las orientaciones para el aprovechamiento de madera de pequeños diámetros de Pino Caribe en el país y en particular aquellos diámetros inferiores a 15 cm. están:

- -Productos a partir de la transformación de la madera por procesamiento. Aquí se ubican los productos de tableros de aglomerados;
- Productos a partir de la adición de piezas de madera por pegamentos. Se identifican acá los productos o elementos estructurales de madera laminada.
- -Productos que utilizan la madera aserrada sin otros procesos de transformación. Se ubican acá los productos o pequeños componentes de madera maciza.

Para efectos de la propuesta nos centramos en la definición de las características de los pequeños componentes de madera maciza ya además de su potencial uso con madera de pino Caribe con pequeños diámetros también en su producción pueden incorporarse de manera factible y eficiente las pequeñas y medianas empresas de aserríos de la región donde se inserta la propuesta.

### **Las Tecnologías de pequeños componentes constructivos con madera maciza.**

La producción de componentes de pequeñas dimensiones tiene como premisas aprovechar las características dimensionales de la madera de pino caribe (pequeños diámetros y cortas longitudes), sin necesidad de grandes procesos de transformación y que en lo posible se aproveche la capacidad instalada de la industria de aserrío. Dentro de las características particulares de este tipo de productos se pueden mencionar:

- Pueden utilizar como materia prima la madera maciza de cortas longitudes y pequeños diámetros, considerada en el sector de la construcción como una madera poco apreciada o marginal. Las dimensiones de estos productos están en función del máximo aprovechamiento del material.
- No requieren de complejos procesos de transformación, lo que tiende a disminuir el consumo energético en su proceso de transformación, así como sus costos de producción. Para su elaboración aprovecha la industria de aserrío que procesa el pino caribe, ya que estos componentes solo requieren procesos de aserrado factibles en cualquiera de los aserraderos que procesa el pino caribe.
- Ventajas de manipulación (bajo peso y cortas dimensiones) durante los procesos de montaje y construcción.
- Versatilidad de aplicaciones: cerramientos (de producción de tejas para techos o paredes, paletas de ventanas, machihembrado de cortas longitudes) o estructurales (bloques compuestos, bloques macizos).

Sin embargo las tecnologías a base de pequeños componentes de madera implican tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Tienden a requerir mayores niveles de normalización y racionalización en su producción para un mejor aprovechamiento de la madera de pequeñas dimensiones.

- Pueden requerir mayor control de inventario en obra debido a la variedad de componentes.
- Para su correcto aprovechamiento en la construcción tiende a requerir la aplicación de conceptos de coordinación modular y así disminuir o evitar la generación de desperdicio.

A partir de estos pequeños componentes, se pueden conformar elementos, partes o sistemas constructivos aplicados en paredes, techos, losas o entrepisos con dimensiones ilimitadas. Referencia de este tipo, como las de *Hugh, (1996)* *Steko (Stungo 1999)*, *Roloblock (Ruiz,2001)*, han permitido explorar las potencialidades que ofrece este tipo de sistemas de paredes, en cuanto a la fácil manipulación por su bajo peso, disminuyendo cantidades de herramientas y equipos requeridos en obra respecto a tecnologías tradicionales de madera.

### **PREMISAS PARA EL DESARROLLO DE LA TECNOLOGÍA DE PAREDES PORTANTES CON MADERA DE PEQUEÑOS DIÁMETROS.**

Una vez realizada la revisión de los aspectos asociados al pino caribe como material de construcción en Venezuela, así como de los antecedentes tecnológicos y normativos, pasamos a definir las premisas de desarrollo de la propuesta.

#### **En cuanto al aprovechamiento del material y su procesamiento.**

- Utilización de la madera de pino caribe de pequeños diámetros, disminuyendo los niveles de desperdicio en su aprovechamiento.
- Racionalización del proceso de transformación de la madera, con el fin de disminuir sus costos, mediante la utilización de madera maciza con el mínimo de transformaciones.
- La madera debe tener un período de vida útil lo mas largo posible, evitando en lo posible costosos sistemas de mantenimiento del mismo.
- Se debe utilizar la capacidad instalada de la industria que procesa pino caribe en Venezuela, que tiene alta capacidad de producción a bajo costo.

#### **En cuanto al desarrollo del componente y la pared.**

Aspectos constructivos: Caracterización y tipificación de los componentes. Definición de las situaciones constructivas típicas de conformación de la pared, uniones, protección por diseño, progresividad y consolidación de la pared.

Comportamiento estructural: Se debe aprovechar la capacidad portante de la madera maciza, racionalizando al máximo la utilización de elementos estructurales complementarios a la pared, garantizando la buena respuesta frente a la vulnerabilidad sísmica del país. Aplicación desde el punto de vista estructural: luces mínimas y máximas, proporción de los ambientes y elementos complementarios estructurales.

Montaje: Sencillez y rapidez en los procesos de montaje con herramientas accesibles, como fuente generadora de empleo, a fin de incorporar mano de obra no calificada y facilitar los procesos de transferencia de la tecnología.

Aplicaciones: Cumplir con los requerimientos de habitabilidad en cuanto a protección contra la lluvia, comportamiento térmico y de seguridad. Comprobar las aplicaciones a nivel de vivienda hasta una planta de altura. Permitir la progresividad y consolidación de la edificación con el fin de hacer factible su uso en viviendas para el sector de la población de bajos recursos económicos.

## **LA TECNOLOGÍA**

Es un sistema de cerramiento conformado por muros portantes que resisten las cargas convencionales en una vivienda (verticales y horizontales) de hasta una planta de altura, integrado por tres subsistemas:

- *El murete inferior o brocal*, que conecta el muro de madera con la losa o estructura de fundación. Este conecta la losa y el muro a través de conectores de acero. Se propone que sean barras de acero estructural, colocadas de manera que atraviesen la primera hilada del muro de madera.
- *El muro de madera*, con función portante y de cerramiento originalmente está conformado por los componentes de madera unidos mediante trabas mecánicas y clavos.
- *La corona*, o subsistema de conexión del muro con la estructura de techo.

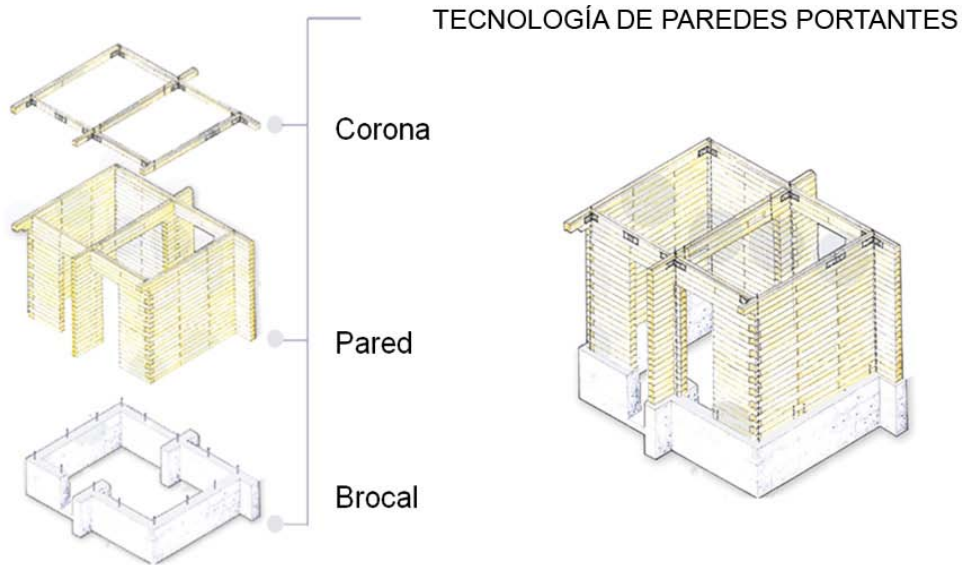


Fig 2: Sub sistemas de la tecnología de paredes portantes o mampostería de madera

Se propone, entonces, la utilización de pequeños componentes estructurales de madera maciza que se unen bajo criterios de junta seca, con uniones sencillas de trabas mecánicas y conectores metálicos (clavos u otros), que permite la construcción de paredes portantes sin ningún requerimiento estructural adicional.

### Los Componentes de la tecnología:

**Murete o Brocal:** Construido en mampostería estructural de bloques de concreto y concreto armado.

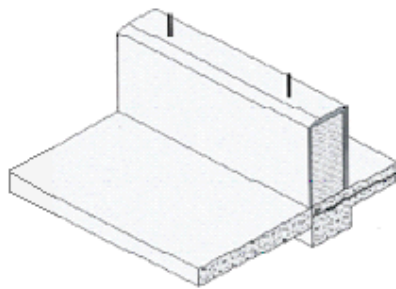


Fig 3: Murete o Brocal construido en mampostería de bloques de concreto y refuerzo de acero





**El Ensamblaje del muro de madera:** El ensamblaje de los componentes es del tipo junta seca, mediante el clavado sucesivo. El componente básico tiene perforaciones para la colocación de los clavos, los cuales penetran en el componente inferior. La longitud de los clavos debe ser de 5" para garantizar un eficiente agarre, y su diámetro se sugiere sea de 6 mm.

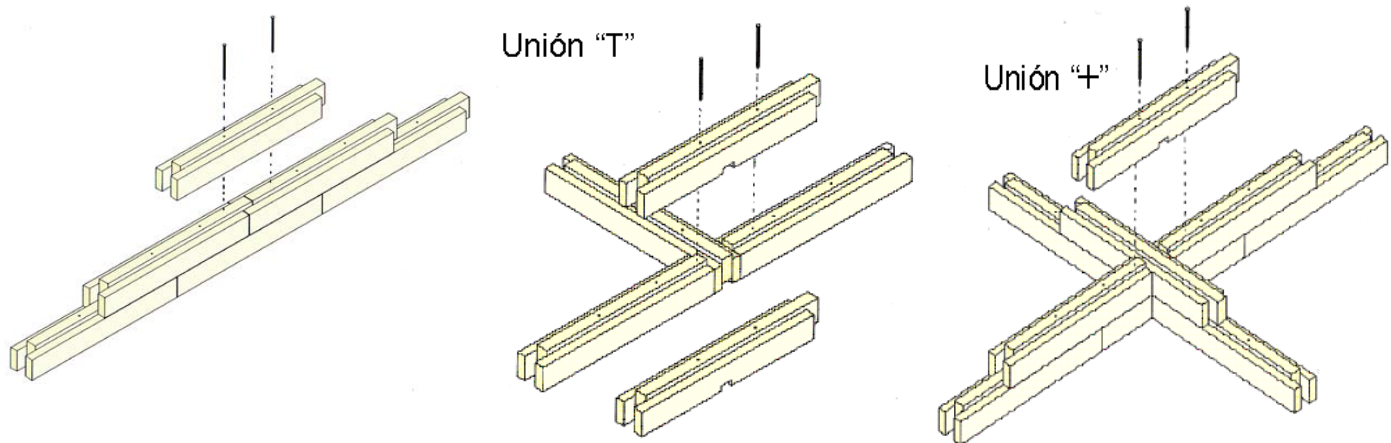


Fig 5: Uniones típicas de la pared de madera

## ASPECTOS DE COMPORTAMIENTO ESTRUCTURALES

### El proceso de diseño estructural.

El proceso de diseño de la pared, desde el punto de vista estructural, ha implicado modificaciones sucesivas en función de las consideraciones o determinantes indicadas. Para su comprensión, identificaremos este proceso por fases de desarrollo.

Fase conceptual. En esta fase se determinó la hipótesis de comportamiento estructural de la pared. Se definieron sus componentes desde el punto de vista estructural, tanto de la pared aislada, como de la pared considerada como componente del sistema estructural de la edificación.

Fase de desarrollo de comportamiento portante y sismorresistente. Partiendo de la hipótesis de comportamiento preliminar, está en proceso un análisis a nivel de cálculo, del cual se esperan resultados favorables frente a cargas verticales y horizontales (sísmicas).

Fase de recomendaciones desde el punto de vista estructural. En esta fase se determinan las consideraciones constructivas y recomendaciones de diseño estructural y sus implicaciones desde el punto de vista arquitectónico, en función de los resultados obtenidos en la fase de desarrollo.

**Hipótesis de comportamiento estructural.:** Es un sistema conformado por muros portantes que resisten las cargas convencionales en una vivienda (verticales y horizontales) de hasta una planta de altura, integrado por los tres subsistemas mencionados anteriormente (*El murete inferior o brocal; El muro de madera; La corona*). El principio de comportamiento estructural de la propuesta aprovecha las ventajas de la madera trabajando a compresión, y el criterio de conformación de paredes portantes confinadas. Este criterio proviene de las casas de tronco de madera, siendo el aporte de la propuesta el utilizar pequeños componentes provenientes de madera de pequeños diámetro, que son ensamblados con criterios análogos a la mampostería tradicional. Las paredes funcionan como muros de carga, los cuales además de su propio peso, transmiten las cargas típicas que se dan en una vivienda: de techo o cubierta, de otras paredes, carga viva de techos visitables y otros cargas que pudiera tener la vivienda.

-Igualmente, la hipótesis plantea que frente a un esfuerzo horizontal (sismo), la pared en su conjunto se comporta como un muro rígido. A su vez, las paredes conforman módulos espaciales que se comportan como "cajas rígidas" que resisten el sismo en ambas direcciones. De acuerdo a esta hipótesis, en la pared las mayores solicitudes horizontales estarán concentradas en las uniones mecánicas (las uniones clavadas).

**Análisis a nivel de cálculo:** De manera preliminar, y a fin de verificar la hipótesis planteada, se realiza un análisis de comportamiento estructural. Las características del análisis son las siguientes:

Características Generales: Se considera una vivienda de 54,01 m<sup>2</sup>. La estructura de techo actúa como diafragma rígido colaborante. La losa de piso colabora como diafragma rígido. Se evaluó la posibilidad de falla por compresión de la madera frente a cargas verticales y la falla de los clavos por corte y arrancamiento, frente a cargas horizontales.

Normas y referencias utilizadas:

- Norma de Edificaciones sismorresistentes COVENIN 1756-1-2001.
- Propiedades físicas y mecánicas del pino caribe (CVG-PROFORCA, LABONAC- 1996).
- Norma mexicana de diseño y construcción con madera.
- Norma de la JUNAC.

Los resultados de predicción analítica a nivel de cálculo arrojó resultados favorables para el estudio de caso utilizado.

**Ensayos estructurales:**

A fin de corroborar el análisis estructural, se realizaron ensayos para registrar el comportamiento de los componentes, verificando aspectos como resistencia de los elementos básicos, comportamiento de los elementos de unión. los ensayos de verificación estructural realizados se mencionan a continuación:

- Resistencia al impacto.
- Comportamiento de deformaciones ante compresión vertical.
- Comportamiento ante esfuerzos de corte.
- Resistencia a la propagación de la llama.
- Combustibilidad.

**RESULTADOS DE LOS ENSAYOS.****Resistencia a la propagación de la llama.**

El ensayo se realiza sobre un módulo de 119 cm. de largo por 47,3 cm. (6 hileras) de alto. Fue acondicionado a 21°C y 50% de humedad relativa durante siete días hasta peso constante de 33Kg.

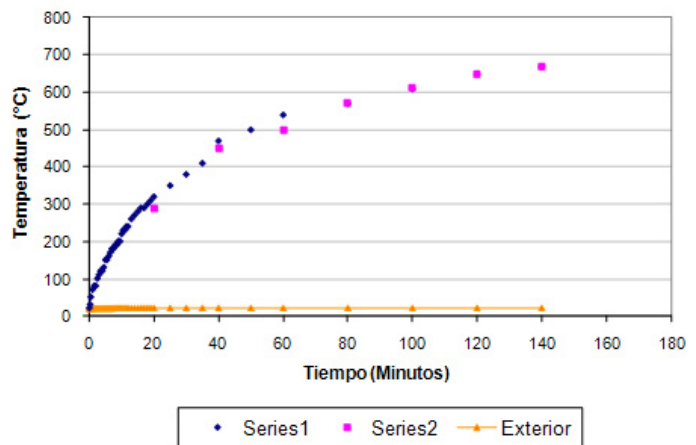


Fig 6: Resistencia térmica

Resultados y recomendaciones: El peso final del panel fue de 31.7Kg. De acuerdo a los resultados obtenidos, se debe tomar 60 minutos como tiempo de diseño para los efectos de la propagación de la llama.

**Resistencia térmica.** El ensayo tiene la finalidad de analizar el comportamiento de los paneles a elevada temperatura radiante según el procedimiento señalado más adelante. En general se siguen las normas ASTM E119 y BS476.

Resultados: La temperatura en la cara exterior del panel ensayado no supera los 23°C en el lapso del ensayo. No hay inflamación del panel en el lado expuesto a temperatura, a pesar de que la temperatura registrada alcanzó los 630°C. No se observó emanación de vapores calientes hacia el exterior durante todo el período del ensayo.

Recomendación. Se puede calificar el componente como excelente aislante térmico, por lo que supone buen comportamiento en su utilización expuesto a altas temperaturas ambientales y a prolongado tiempo de exposición solar.

### Resistencia a la compresión vertical

Resultados: La carga máxima fue de 9.300 Kg. El panel falla aparentemente por pandeo, el cual llegó a ser de 20 cm. Antes del colapso, sin embargo, es de hacer notar que en realidad la falla ocurre por tracción paralela en los clavos, lo que ocurre cuando el panel se deforma y tiende a separarse entre las filas quinta y sexta. La carga vertical máxima se traduce a 38.75 Kg./cm. de muro, carga inusual para una vivienda de un piso con techo liviano, que es lo planteado en esta propuesta.

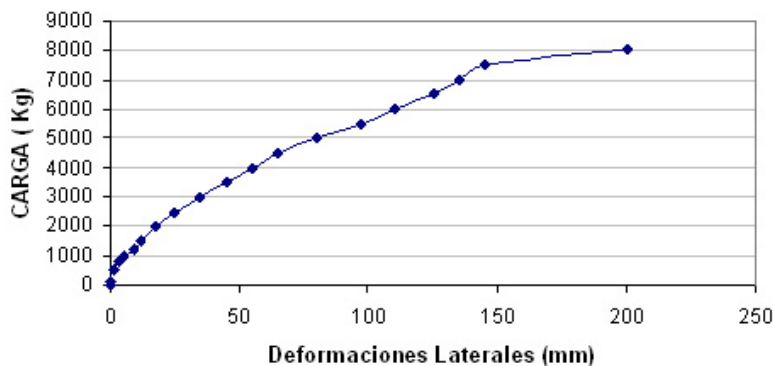


Fig 7: Resistencia a la compresión vertical

Recomendación.

-Se debe mantener y garantizar un paralelismo entre todos los elementos durante el armado, perpendicularidad entre su eje longitudinal y la dirección de la carga y verticalidad del muro en su conjunto.

-Mantener las características de clavos utilizados y su cantidad por elemento de madera a fijar.

-Trabar los muros al menos cada tres (3) metros para reducir la posibilidad de pandeo y evitar la falla por tracción o arrancamiento en la línea de clavos.

**Resistencia al corte de componente integrado por dos hileras.** Resultados: El punto de fluencia del conjunto se consigue a los 1.410 Kg. con una deformación de 6 mm. Luego procede una fase de deformación plástica, debido a la deformación de los clavos por 20mm con una carga constante de 1440 Kg. Finalmente comienza la destrucción del elemento. El gráfico 3 muestra la curva de Carga – Deformación. De esto se deduce que cada clavo soporta en corte simple 352.5 Kg., cantidad que supera lo determinado por cálculo. Se desprecia la colaboración que pudiera tener la pletina, pues esta sólo garantiza la alineación de los elementos de madera.

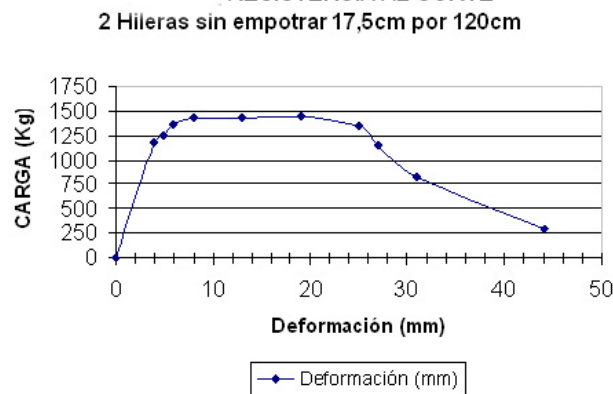


Fig8: Resistencia al corte 2 hileras

Recomendación: Mantener las especificaciones definidas en el diseño, ya que se satisfacen los requerimientos predeterminados.

### Resistencia al corte de componente integrado por 18 hileras.

Resultados: El gráfico 4 muestra la curva correspondiente a la Carga-Deformación obtenida durante el ensayo. Tiene forma parabólica con un máximo en 3.140 Kg. y un desplazamiento de 27 mm. La carga máxima se aproxima al doble de la observada en el ensayo de resistencia al corte de componente integrado por dos hileras, dado que hay dos planos de falla actuando simultáneamente.

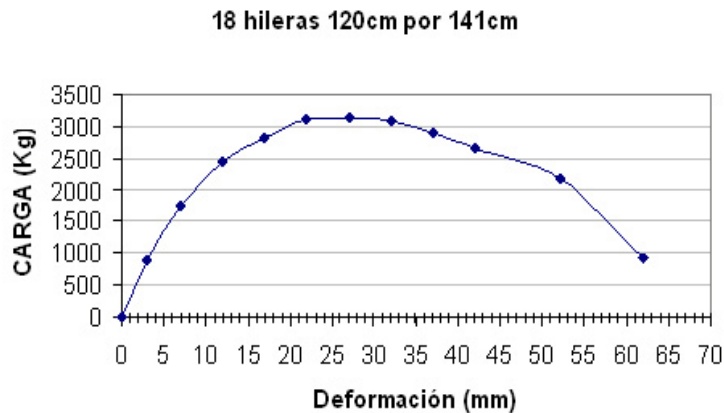


Fig 9: resistencia al corte 18 hileras

Recomendación: Mantener las especificaciones definidas en el diseño, ya que se satisfacen los requerimientos predeterminados.

### Resistencia al corte horizontal de la interfase madera - concreto.

Este ensayo pretende analizar el comportamiento del sistema de anclaje de los elementos de mampostería con la base de concreto, al aplicarle una carga horizontal.

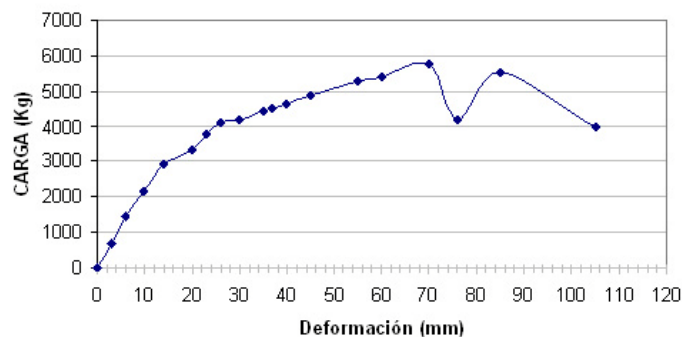


Fig 10: Resistencia al corte 2 hileras empotradas madera concreto

Resultados. El gráfico 5 presenta la curva Carga-Deformación cuando se aplica una carga horizontal. Se pueden distinguir dos zonas de deformaciones proporcionales a la carga aplicada. La primera hasta 28 mm. con una carga de 3500 Kg. y aparece la primera grieta en la base de los bloques. Un segundo tramo proporcional de carga hasta 5500Kg con una deformación de 70mm correspondiente a deformación de los pernos. La carga máxima es de 5760Kg y ocurre la rotura del concreto donde se encuentran anclados los pernos. La carga cae y comienza la última fase de deformación plástica con rotura de bloques y base. La madera sólo sufre daños por compresión en el área de las arandelas conexas a los pernos.

### Resistencia a flexión de panel horizontal de 5 hileras con pletinas.

Se pretende analizar el comportamiento del sistema y de la influencia de las pletinas de acero cuando es sometida a flexión.

Resultados. El gráfico 6 muestra la curva Carga – Deformación. La carga máxima ocurre a 2470 Kg. con una flexión de 13 cm. La falla ocurre por rotura de los elementos de madera. Se aprecia que el grado de recuperación fue de 77%. Extrapolando este resultado, un muro con apoyos perpendiculares cada 2.20 mts., colapsaría ante una carga perpendicular a su plano equivalente a 2673.16 Kg./M2., lo que se traduciría en un viento de 784 Km./h.

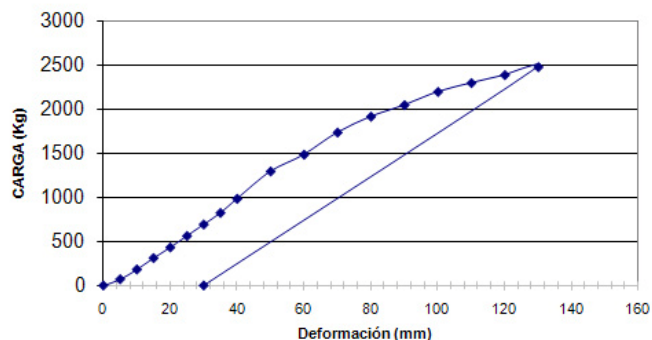


Fig11: Resistencia a la flexión 5 hileras

Recomendación: .Mantener las especificaciones definidas en el diseño, ya que se satisfacen los requerimientos predeterminados.



**Resistencia al impacto.**

Un panel de 2,40 m. por 2 m. se coloca acostado, apoyado en los extremos con una luz de 2.20 m. Se utiliza un peso de 120 Kg., el cual se deja caer en el centro desde diversas alturas, midiendo la deflexión correspondiente.

Resultados: Cuando el peso se deja caer a 1 m. de altura, no hay deformación alguna. Cuando el peso se deja caer a 2 m. de altura hay una deformación de 2 cm.

Recomendación: Mantener las especificaciones definidas en el diseño, ya que se satisfacen los requerimientos predeterminados.

**PRODUCCIÓN DE LOS COMPONENTES DE MADERA DE LA TECNOLOGÍA.**

La propuesta de producción de los componentes de madera de la pared portante tiene como premisa que pueda ser producida por talleres de carpintería o aserraderos existentes en la región donde se inserta la propuesta. Los aserraderos que procesan pino caribe (*Molina-1998*) presentan tres escalas de producción en función de su nivel de mecanización, lo que nos indica que existe el potencial industrial para producir el componente en cualquier nivel. Para los efectos de este trabajo, conociendo de la existencia de talleres de carpintería y de aserraderos para producir los componentes de madera, se tomó como referencia un taller medio de carpintería para la producción de los componentes. Un taller medio cuenta, dentro de los equipos básicos necesarios para producir los componentes de madera, los siguientes: cepilladora, sierra de mesa para corte longitudinal, fresadora, trozadora, taladro fijo y lijadora de banda.

## PROCESO DE PRODUCCIÓN.

En el proceso de producción de los componentes o elementos de madera se identifican las siguientes operaciones:

### Procesamiento Preliminar:

Descortezado y aserrado, obteniéndose piezas de madera de 10x10 cm. Esta madera debe cumplir con los requerimientos de madera de primera tomando como referencia los criterios de clasificación visual para madera de pino caribe (*Molina, 1998*). El Secado, cuyo fin es controlar la estabilidad dimensional de las piezas básicas, su contenido de humedad en equilibrio (CHE) con el ambiente será entre 17 y 18%. El Preservado de las piezas, aunque se podría hacer en esta etapa de procesamiento preliminar, desde el punto de vista sostenible se recomienda realizarlo posterior a la producción de los componentes para evitar la generación de residuos contaminantes. Es así que los residuos generados en el procesamiento preliminar (42%), en función de volumen procesado, puede destinársele un uso (tableros aglomerados, etc.) o simplemente puede biodegradársele como desperdicio sin generar problemas al ambiente. El preservado utilizado es con Sales de CCA.

**Procesamiento de Componente:** Las operaciones correspondientes a la producción de los componentes son los siguientes: -Recepción y almacenaje de las piezas - Cepillado. - Cortes: (Corte transversal, Corte de ranura en los extremos, Corte de moldura hembra, Corte de moldura macho; Corte adicional de caja transversal) -Perforado de guías para clavos- Almacenamiento de las piezas y Transporte.

El proceso correspondiente a los componentes constructivos se describe en el flujograma de componentes constructivos y como se mencionó anteriormente corresponde a un taller de carpintería típico en el país, cuya capacidad de procesamiento para este tipo de productos es limitada, dado su bajo nivel de automatización, la potencia de los equipos es baja y, por ende, la capacidad de producción es reducida. Sin embargo, se ha planteado como opción principal por considerar que existe un potencial ocioso muy grande en este tipo de talleres y que actividades como esta generaría empleo rápidamente.

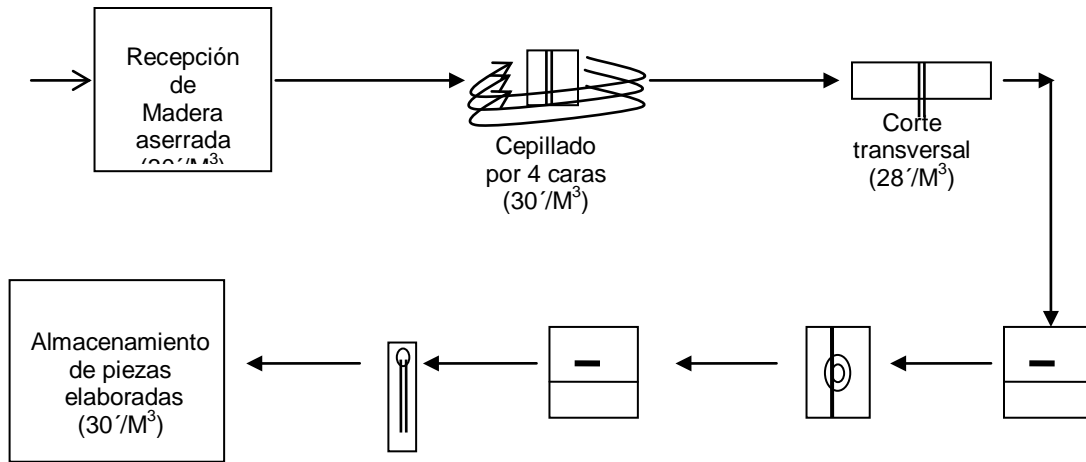


Fig12 . Flujograma del proceso productivo de los elementos o componentes constructivos.

Del flujograma desarrollado en el proyecto, se dedujo que bajo este esquema se pueden procesar  $1 \text{ M}^3$  en 479 minutos, es decir, casi 8 horas de trabajo. Aplicando esto al diseño de vivienda tipo propuesto, que consume  $6,5 \text{ M}^3$  de elementos para construir los muros portantes, serían necesarios 6,5 días efectivos de trabajo, con un equipo integrado por un jefe de taller y 17 operadores. Esta capacidad de producción permitiría dotar de elementos constructivos para muros portantes de 40 viviendas al año.

De requerir aumentar la velocidad de producción para incidir en una reducción de costos y en un mayor volumen de elementos constructivos, se debería incluir en el proceso de producción plantas especializadas con un nivel medio de automatización y equipos de alto rendimiento que permitan mayores velocidades de producción.

## PROCESO CONSTRUCTIVO O MONTAJE DE LA PARED.

El proceso de construcción y montaje de la Pared se sintetiza en el siguiente flujograma:

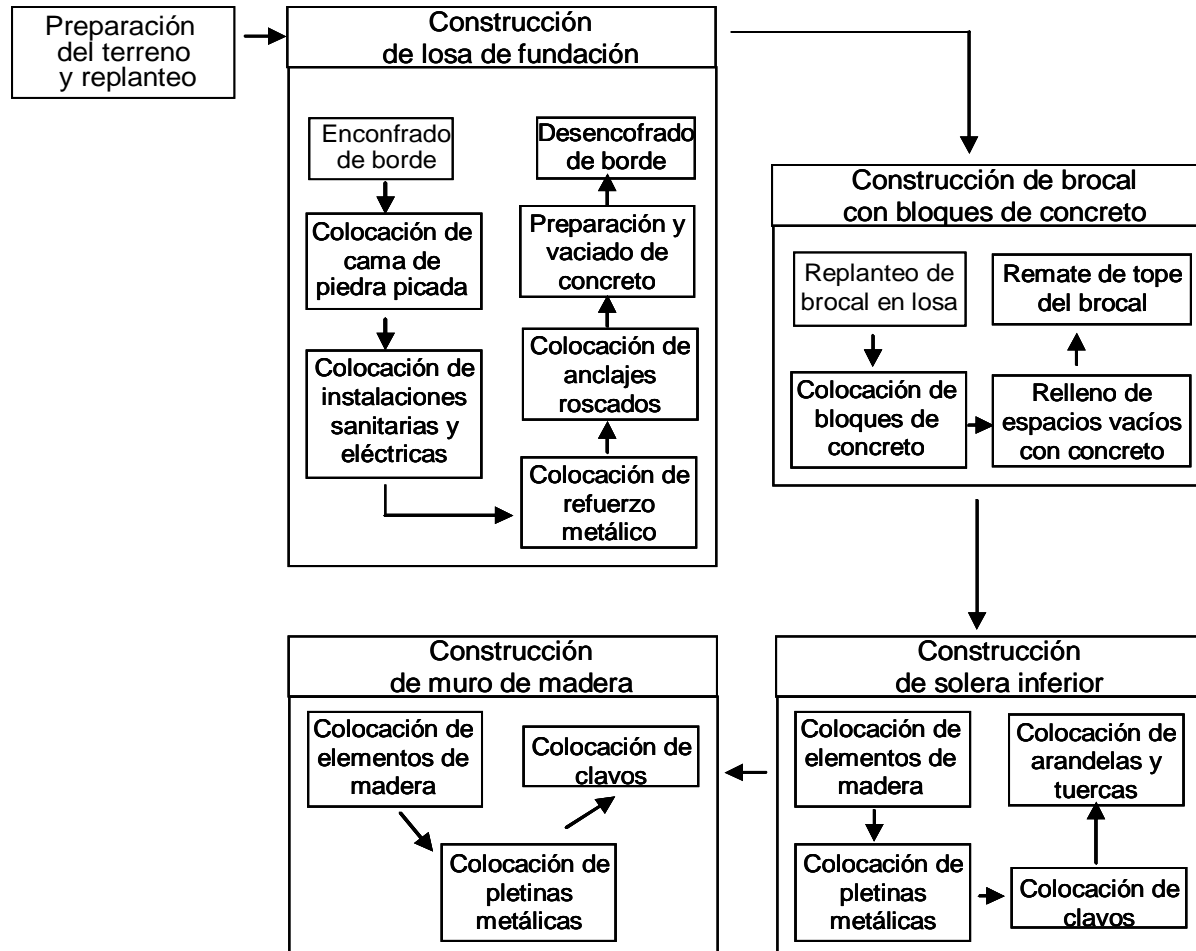


Fig 13: Flujograma del Proceso constructivo de la Pared

En el mismo se identifican operaciones asociadas a tecnologías tradicionales de concreto y mampostería (Losa de fundación, muro o brocal de bloques de concreto.) y a tecnología tradicional de ensamblaje constructivos de carpintería de madera). En ambos casos la hipótesis de concepción de los procesos se ha simplificado a fin de que puede ser ejecutado con mano de obra de baja calificación y por instrumentos y herramientas accesibles en el mercado.

A través de la construcción de una pared prototipo se comprobaron todas las operaciones indicadas en el flujograma, obteniéndose los siguientes resultados:

-Respecto a los componentes de concreto y mampostería estructural su ejecución se corresponde con las técnicas habituales de albañilería.

-La ejecución de los anclajes roscados en el brocal de bloques de concreto, requiere mayor nivel de precisión en su replanteo, por lo que se sugiere la ejecución de una plantilla para garantizar su correcta ejecución.

-Los componentes de madera en sus variantes e longitudes (30, 60 y 120 cm.) se ensamblan entres si a través clavado. La velocidad de ejecución disminuye con la altura del muro, dado que el grado de complejidad en la operación de martillado aumenta mientras más arriba se realice. Se estima que un trabajador dotado de un martillo manual y una escalera es capaz de colocar 4 M<sup>2</sup> de muro por hora. Este rendimiento aumenta proporcionalmente aumentando a dos trabajadores, pero con tres comienza a disminuir dadas las interferencias entre ellos. Otra opción factible técnicamente es sustituir el martillo manual por un martillo neumático.

-La conformación de esquinas al encontrarse dos muros resulta un detalle a observar con detenimiento, de los elementos de madera de sección constante, surgen unos elementos con un talle transversal que permite el correcto asiento de cada pieza al ser trabadas unas con otras. El colocar estos elementos retarda la ejecución respecto al muro recto en 50%, ya que en este caso, un trabajador es capaz de colocar sólo 2 M<sup>2</sup> de muro por hora. Es por eso que, luego de evaluado el proceso, habría que evaluar otras formas de conformar los encuentros entre muros, para reducir el tiempo de ejecución.



*Fig 14. Detalles del proceso de construcción de la Pared*

## APLICACIONES DE LA TECNOLOGÍA

La aplicación principal y objeto principal es la de vivienda, hasta una planta de altura. En el estudio preliminar se hicieron variantes de aplicación. Vivienda aislada, en terrenos en pendiente, viviendas pareadas y viviendas medianeras.. con estas aplicaciones se permitió verificar las consideraciones desarrolladas en la propuesta en cuanto a. criterios estructurales, coordinación modular, instalaciones, protección por diseño, crecimiento progresivo y consolidación. Igualmente por la estética y acabados de la tecnología se identificó un gran potencial para su aplicación en edificaciones turísticas de baja altura.

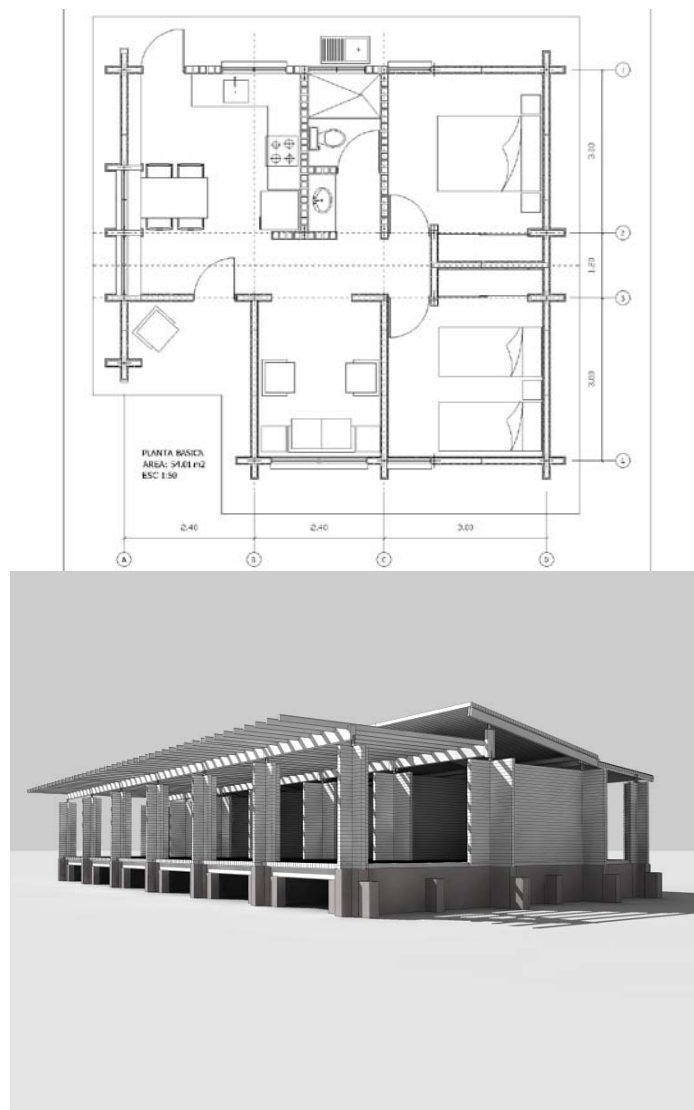


Fig15: Aplicaciones en vivienda (planta) y en posadas turísticas (perspectiva)

## EVALUACIÓN ECONÓMICA.

Para la evaluación económica de la tecnología se realizó una evaluación comparativa con tecnología tradicional de mampostería de concreto confinada. Se analizó sólo hasta la construcción de los componentes verticales y se trabajó con precios actualizados al 23 de marzo de 2005. Tomando en cuenta estos datos, y analizando los precios obtenidos para el muro portante de madera y para la estructura vertical y el cerramiento con bloques de concreto, los resultados fueron los siguientes:

Muro portante de madera	Construcción convencional
Superficie vertical: 96 M <sup>2</sup>	Superficie vertical: 96 M <sup>2</sup>
Costo total: Bs. 16.018.695,56	Costo total: Bs. 16.454.516,91
Costo por M <sup>2</sup> : Bs. 166.861,41	Costo por M <sup>2</sup> : Bs. 171.401,21
Tiempo de ejecución total: 10 días	Tiempo de ejecución total: 17 días
Tiempo de ejecución por M <sup>2</sup> : 50 min.	Tiempo de ejecución por M <sup>2</sup> : 85 min.

*Fig 16: Cuadro comparativo mampostería de madera y mampostería confinada tradicional de bloques de concreto*

Este análisis permite aseverar que la propuesta planteada tiene probabilidades ciertas de aplicación, por tener unos costos competitivos con el sistema constructivo más difundido en el país.

Necesario es hacer la salvedad de que los costos de producción de los elementos de madera considerados para este análisis son los obtenidos de la experiencia de producción piloto, en la que los equipos utilizados son, como se explicó en su oportunidad, de alimentación manual. Los costos de transformación de la madera bajarían sensiblemente mediante la implementación de procesos productivos mecanizados. Por otro lado, en el análisis se considera un proceso constructivo completamente manual, por ser este el utilizado en la construcción tradicional. Al introducir en el proceso constructivo equipos que agilicen el trabajo, como martillos neumáticos, se reduciría el tiempo de ejecución y la incidencia de mano de obra en el costo final del muro. En un aserradero convencional, con capacidad de procesar 40 M<sup>3</sup> de madera al día, la producción de elementos constructivos como los propuestos puede alcanzar hasta 300 M<sup>2</sup>, suficientes para la construcción de muros para 3.3 viviendas al día.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Aspectos Estructurales: Los ensayos estructurales, de resistencia ante el fuego, asilamiento térmico en general fueron favorables para una vivienda de una planta de altura.

La carga vertical máxima obtenida experimentalmente es de 38.75 Kg./cm. de muro, carga inusual para una vivienda de un piso con techo liviano.

Los clavos utilizados y el espaciamiento determinado por diseño resultaron con un comportamiento satisfactorio. Cada clavo llegó a soportar en corte simple 352.5 Kg., cantidad que supera lo determinado por cálculo. El comportamiento del sistema de anclaje de los elementos de mampostería de madera con la base de concreto, al aplicarle una carga horizontal, resultó satisfactorio. El uso de pletinas de acero es de carácter obligatorio, pues se demostró que aportan mejoría en el comportamiento del muro ante esfuerzos perpendiculares al plano.

Dados los resultados obtenidos en los ensayos de flexión, no se deben utilizar estos elementos para conformar vigas de carga. Los dinteles en vanos de puertas y ventanas no deben superar 1,2 mts. entre apoyos. El peso de la pared con mamposteara de madera resultó ser de 56 kg./M<sup>2</sup>, lo que representa 35% del peso de un cerramiento con bloques de concreto sin calidad estructural.

Aspectos de Producción y Construcción: En un taller de carpintería típico, con un equipo integrado por un jefe de taller y 17 operadores, se puede procesar 1 M<sup>3</sup> de madera aserrada, seca y preservada, en 8 horas de trabajo. Aplicando esto al diseño de vivienda tipo propuesto, en 6,5 días efectivos de trabajo se producirían los elementos constructivos necesarios para los muros portantes de una vivienda, esto es un máximo de 40 viviendas al año.

El proceso constructivo es muy sencillo y se puede establecer claramente una secuencia de actividades, lo que permite organizar la ejecución de los trabajos de manera eficiente.

Es de hacer notar que, dadas las dimensiones de los elementos y la coordinación modular en el diseño de la edificación, el desperdicio en obra es prácticamente nulo, a menos que durante el montaje se detecten piezas con defectos que provienen de la etapa de taller.



El trabajo con "juntas húmedas" sólo alcanza hasta la etapa de fabricación del brocal, pues de la solera inferior en adelante, todas las operaciones son de "junta seca", es decir, no se requiere el insumo agua para su construcción.

El tiempo de ejecución del muro es 60% menor que el de muro de mampostería de concreto.

La apariencia final del muro permite que este preste su servicio en acabado rústico, sin ninguna otra cobertura, lo que abarata el costo final del mismo.

El proceso constructivo del muro permite la deconstrucción de la parte de madera, es decir la recuperación de los elementos constructivos una vez que la edificación haya cumplido con su vida útil.

Aunque la propuesta fue formulada para viviendas de un solo piso, se sugiere explorar la posibilidad de utilizarlo en dos plantas, dado el buen comportamiento que tiene el muro portante y la resistencia que presenta ante esfuerzos verticales y horizontales.

Se recomienda el estudio de la combinación de este muro con perfilera metálica, mediante la aplicación de mampostería de madera confinada con ángulos de acero. Esta opción pudiera hacer aún más rápida y económica la producción de viviendas.

El sistema propuesto representa una alternativa de aplicación para la madera de pino caribe proveniente de plantaciones que permite darle un uso eficiente a las rolas de pequeño diámetro, de las cuales resulta costoso e ineficiente obtener piezas de espesores menores, y que ofrece la posibilidad de incorporar unidades de producción pequeñas y medianas que generarían empleo directo tanto en la etapa de fabricación de los elementos constructivos como en la de construcción de edificaciones.

Finalmente el desarrollo de esta propuesta permitió la incorporación de criterios de desarrollo sostenible en su desarrollo factibles de aplicación en nuestro país.

## BIBLIOGRAFÍA

- Academia Australiana de Ciencias en Ingeniería (2000). *Tecnología en Australia-Madera*. Recuperado en 17 de enero de 2004 disponible en :<http://www.austehc.unimelb.edu.au/tia/244.html>
- Affentranger, C (1999) *Arquitectura en madera, nuevas tendencias*. Blume Barcelona.
- Acosta, D., Cilento A.(2005) Edificaciones sostenibles: estrategias de investigación y desarrollo *Tecnología y Construcción 21, II*. DEC FAU UCV Caracas. 15- 30
- Arvay, I., Rodriguez, M., (1988) *Utilización de rollizos de pino caribe en la manufactura de ambos*. Universidad Metropolitana, Caracas.
- Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de la Madera y el Corcho AITIM (1995) *Casas de madera*. Aitim-Cosmoprint Madrid.
- Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de la Madera y el Corcho AITIM (1994) *Guía de la madera*. Aitim-Cosmoprint Madrid
- Avellaneda, J. (2000) en *Tectónica* 111. 4-13
- Bio Bio (1998). *Edificaciones en madera*. Universidad del Bio Bio. Chile.
- Bio Bio (1987). *Cuadernos de edificación en madera*. Universidad del Bio Bio. Chile.
- Casado, N., Gonzalez, J, Llorenz, J. y otros (1966). *Programa Life*, TTEC, OCT-COAC, ITSAB. Barcelona, 1era Parte, Cap 4, 4-6.
- Centeno, J (1983) *Normas de diseño para uniones clavadas con maderas venezolanas*. IFLA, Mérida.
- Cilento A., Acosta, D. (2002) Impacto ambiental de la Construcción. *Curso de arquitectura y construcción sostenible*. IDEC FAU UCV. Caracas
- Contreras y otros (1996) Definir topes de aprovechamiento óptimo del pino Caribe UNEG EIF.
- COVENIN (1996) *Norma 2776-91. Madera aserrada*. Caracas
- COVENIN – MINDUR, *Norma venezolana COVENIN 1756-1:2001: Edificaciones sísmorresistentes*. FONDONORMA, Caracas, 2001.
- CVG PROFORCA LABONAC (2003). *Pino para la Construcción*. CVG PROFORCA. Pto. Ordaz.
- CVG PROFORCA LABONAC (2000). *Sistema Constructivo Apromapri*. Pto. Ordaz.
- CVG PROFORCA LABONAC (1996). *Propiedades físicas y mecánicas del pino caribe proveniente de las plantaciones de CVG PROFORCA*. Pto. Ordaz.

- Encinas, O (1999) Agentes de deterioro y técnicas de conservación de maderas: una visión general y su aplicación en construcción con madera. *Seminario Diseño con madera* IDEC FAU UCV.
- Finnlammelli (2000) *Sistema constructivo Lamelhirret*. Extraído el 18 de marzo de 2005. <http://www.finnlamelli-fi/spanish/ominaisuudet.htm>)
- Hugh, J. *La madera*, (1996) Blume Barcelona, 87-88
- INCOTEC (1985-89) *Código Colombia para el uso de la madera en la construcción* NTC 25000. Bogotá.
- Junta del Acuerdo de Cartagena (1988). *Manual de diseño para maderas del grupo andino*. Padt Refor Junac. Bogotá
- Junta del Acuerdo de Cartagena (1980). *Cartilla de Construcción en madera*. Padt Refor Junac Bogotá
- Loreto, A. (1988) *Ventana de paletas de madera, una propuesta*. IDEC FAU UCV, Caracas.
- Maihue (2006) *Casas de madera en bloque*. Extraído el 26 de junio de 2008 <http://www.altavoz.cl/promexo>
- Loreto A, Lugo, A, Molina R y otros (2000). *La madera: una línea de investigación*. Tecnología y Construcción 16III IDEC FAU UCV. Caracas
- Lugo A. (2005): "Paredes Portantes de Madera" en: *Un techo para vivir, tecnologías para viviendas de producción social en América Latina. Temas de Cooperación para el Desarrollo*.
- Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo CYTED. Programa 10x10. Páginas: 124, 133- 135 . Ediciones Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona España
- Lugo A. (2003) *Utilización de madera de Pino caribe de pequeños diámetros para la producción de componentes constructivos: Una tecnología progresiva y sostenible*. IDEC FAU UCV Caracas
- Molina R (2007). Utilización eficiente de madera machihembrada para techos. *Tecnología y Construcción* 23 I IDEC FAU UCV. Caracas. 33- 43
- Molina R (1998). *La madera de pino Caribe para uso estructural en la construcción en Venezuela*. FAU UCV. Caracas.
- Ninín, L. (1993) *Aprovechamiento de cortos, angostos, costaneras y restos de explotación en Proforca*. Labonac, Merida
- Peraza, F. (2001) *Protección preventiva de la madera*. AITIM, Madrid

- Peraza, F. (1999) *Guía de la madera*. AITIM, Madrid
- Ruiz, R. (2001) *Roloblock*, extraído el 4 de abril de 2003 <http://fly.to/secavenezuela>.
- Ruiz, R. (2000) Madera de pino de pequeños diámetros. *Foro Casas de madera mito o realidad*. Caracas
- Stungo, N (1999) Sistema constructivo Steko, *Arquitectura nuevas tendencias*. Blume Madrid
- IDEC- CYTED (2000) Taller *10x10. 10 viviendas , 10 Tecnologías*. Programa con techo IDEC CONAVI. Caracas.