

ESTADO ESTRUCTURAL DEL REDONDEL DE ZAPOTE

Informe LM-IC-420-02 (junio 2002)

ABSTRACT

Se valora la seguridad estructural del inmueble ante el uso actual y ante un eventual cambio de uso del mismo. El cambio de uso mencionado se refiere a utilizar el inmueble para actividades variadas que involucren el uso de todas las plazas disponibles en las instalaciones con una frecuencia mucho mayor a la tenida hasta el presente.

Ing. Guillermo Santana, Ph.D.

Docente e Investigador LANAMME

Informe de Estado Estructural del Redondel de Zapote¹

Ing. Guillermo **Santana**, Ph.D., Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, UCR.

Fecha de entrega a Dirección del Lanamme: 18 de junio, 2002

Introducción

El presente reporte tiene por objeto analizar el estado actual del inmueble denominado Redondel de Zapote propiedad de pública del cantón de San José, administrado por la Municipalidad del cantón. El análisis se hace con la intención de valorar la seguridad estructural del inmueble ante el uso actual y ante la circunstancia de que se produzca un cambio de uso del mismo. El cambio de uso mencionado se refiere a utilizar el inmueble para actividades variadas que involucren el uso de todas las plazas disponibles en las instalaciones con una frecuencia mucho mayor a la tenida hasta el presente.

Descripción de la estructura

La estructura principal consiste en una estructura de base circular con un diámetro de 91.3 m de acuerdo a planos proporcionados y a levantamiento realizado por personal de nuestra institución. La estructura en estudiada consiste de un redondel de 13.7 m de ancho y una altura máxima de 10.7 m en la parte mas alta de la gradería. El redondel esta hecho a base de marcos de madera radiales separados una distancia de 1.8 m en el extremo externo y 1.4 m en el extremo interno. De acuerdo al levantamiento realizado, la estructura cuenta con 157 de estos marcos de madera en total. En la sección noreste del inmueble existe actualmente una entrada de 4 m de ancho que interrumpe la continuidad de la estructura en su parte inferior. La fotografías 1 a 4 muestran una panorámica de la estructura descrita.

Las fotografías 5 y 6 muestran la pared externa de la estructura. La pared externa consiste de láminas metálicas pintadas que sirven de paño a la estructura principal de madera.

La fotografía 7 muestra la rampa de acceso al redondel mencionada anteriormente. La rampa tiene un ancho aproximado de 4 m. Se puede notar en la gráfica como la continuidad de la estructura se ve interrumpida en su parte inferior debido a la presencia de la rampa.

Adicionalmente, el redondel cuenta con una zona techada que se puede apreciar en la fotografía 8. El techo consiste de una estructura independiente del redondel. La estructura consta de seis columnas y cinco vigas que sostienen un techo liviano. Las columnas son de gran esbeltez. En la fotografía 9 se puede apreciar la conexión de una de las columnas a la fundación. La fundación para esta estructura consiste de zapatas

¹ Este informe sirve de base para la respuesta del Lanamme a la consulta de la Municipalidad de San José sobre la viabilidad del inmueble para brindar espectáculos masivos. Ver oficio LM-IC-I-420-02 de fecha 28 de junio 2002.

aisladas. La fotografía 6 muestra las tres columnas externas. Allí se puede observar la independencia de una estructura –el techo– respecto del la otra –el redondel–. La estructura del techo esta construida a base se elementos metálicos que descansa sobre las columnas de concreto reforzado. Sin embargo, las uniones entre ellos no son monolíticas.

Descripción de los marcos estructurales

Los marcos estructurales mencionados anteriormente son marcos arriostrados hechos a base de madera con secciones transversales de 10.2 por 10.2 cm (4 por 4 pulgadas) en sus elementos verticales y de secciones transversales de 5.1cm por 10.2 cm (2 por 4 pulgadas) en sus elementos transversales. Los elementos transversales son de dos tipos, horizontales e inclinados. El arreglo de los elementos se puede apreciar en la figura adjunta. En ella se nota que el marco es irregular en altura debido al uso como gradería y además, que esta arriostrado en toda extensión. El único punto en el que no ubicamos arriostros corresponde a un pasillo de .75 m de ancho en la zona denominada como de palcos y una marco de 1.72 m en el extremo final del palco, en la zona de menor altura.

Las conexiones de los marcos están hechas con clavos de 6.4 cm (2.5 pulgadas) directamente clavados a la madera. No se observó ninguna instancia en la cual la conexion no fuera hecha con pernos ni tampoco se observó ninguna instancia en la cual se emplearan placas metálicas en las conexiones.

Por otro lado, también se observó que los arriostros no están bien logrados en vista de que los elementos no logran unirse en forma concéntrica. Esto representa un problema que puede tener repercusiones considerables en el comportamiento del marco ante solicitaciones extremas. Las conexiones excéntricas resultantes obligan a los elementos a resistir esfuerzos combinados que podrían poner en peligro la estabilidad global de la estructura como se explicará más adelante. Más aun, como se puede observar en el diagrama 1, se encontraron instancias en las cuales los arriostros están clavados en elementos verticales de forma tal que descansan a mitad de altura de los elementos como es el caso del arriostre ubicado en la intersección del eje 3 con el eje F', o también el arriostre ubicado en la intersección del eje 6 con el eje B'.

Finalmente, se debe indicar que tal como se puede apreciar en la figura, los arriostros no llegan a la base del marco. El primer nivel del mismo, tiene una altura de 0.90 m y esta libre de arriostros.

Finalmente, los elementos verticales del marco no descansan sobre ninguna estructura de cimentación especial. Como se puede ver en las fotografías 10, 11 y 12, los elementos verticales están empotrados al suelo. La investigación realizada no incluyó la verificación del tipo de fundación. Se estima que la fundación consiste en un basamento de concreto sobre el cual descansa directamente el elemento de madera. Cabe destacar que la madera no esta protegida de los efectos de la humedad del suelo.

La conexión entre marcos consecutivos consiste del mismo tipo de arriostres, esta vez uniendo los marcos radiales. De esta forma, la estructura tridimensional resultante se puede decir que está conformada por los marcos radiales y por marcos arriostrados circunferenciales perpendiculares a los primeros.

Los empalmes se construyeron de manera irregular. Consisten en la adición de piezas de madera de 5.2 cm por 10.2 cm (2 por 4 pulgadas) sobre dos de los cuatro lados de los elementos estructurales. La adición es lograda mediante clavos colocados directamente sobre la madera. Esto se puede apreciar en la fotografía 10, 11, 12 y 13.

Evaluación de los materiales

Se tomaron muestras de la madera en el sitio. Estas muestras fueron evaluadas por el Laboratorio de Productos Forestales de la Universidad de Costa Rica. Se adjunta una copia del informe presentado por esa entidad.

Las pruebas realizadas consistieron en flexión estática e identificación de la especie.

Los resultados reportados indican que las muestras colectadas en el sitio pertenecen a distintos tipos de madera. Ambos tipos de madera son de muy buena resistencia tanto a la compresión como a la tensión según se desprende de la información aportada.

Sin embargo, también debe apuntarse que uno de los tipos de madera, la denominada como amargo-amargo (*vatairea lundelli*) presenta un valor de módulo de elasticidad muy bajo, razón por la cual, se puede esperar mayores deformaciones y mayor deformabilidad del material cuando se le compara con materiales como el concreto reforzado ante sollicitaciones de servicio.

Tabla de comparación de características mecánicas de los materiales			
Tipo de madera	σ_{yp} (MPa)	E (GPa)	ϵ_{yp}
Amargo-amargo	27.7	8.5	.00326
Pilón	30.7	12.7	.00242
Pino Douglas	13.1	12.1	.00108
Pino del sur (hoja larga)	15.5	12.1	.00128

Notas:

Se adicionan dos tipos de madera de pino con el propósito de que sirvan de comparación con el material utilizado en la estructura analizada.

σ_{yp} (MPa) = Esfuerzo al límite de proporcionalidad en unidades del Sistema Internacional

E (GPa) = Módulo de elasticidad del material en unidades del Sistema Internacional

ϵ_{yp} = Deformación unitaria al límite de proporcionalidad.

Descripción del estado actual de la estructura

El estado actual de la estructura merece mucha atención de parte del propietario. La inspección visual realizada a la estructura de madera del redondel deja ver que su estado actual muestra el deterioro propio de la edad de la estructura. No se encuentra ninguna muestra de que se haya seguido un plan de preservación de la estructura con la intención expresa de preservar la integridad física.

Marcos de madera de la estructura del redondel

La inspección visual de la estructura de madera muestra que la misma ha sufrido los efectos de la exposición del material a los elementos como la lluvia, la humedad del suelo y altas temperaturas debidas a irradiación solar en las graderías. La madera de los marcos estructurales no ha sido sometida a ningún tratamiento de protección a temperismo. Se puede notar que el efecto de la humedad del terreno sobre la madera ha causado que esta se debilite en la base de los marcos estructurales. A través de los años, el programa de mantenimiento parece haber consistido en el reemplazo de las porciones de los elementos de madera que se deterioran. Dicho reemplazo ha consistido en la sustitución de la porción dañada con una nueva sección. La integración del segmento nuevo ha sido hecho mediante empalmes consistentes en la colocación de dos elementos de 5.2 cm por 10.2 cm (2 por 4 pulgadas) en lados opuestos de la sección. La adherencia se trata de lograr mediante clavos colocados directamente sobre la madera. Este tipo de empalme se puede apreciar en las fotografías 11 y 13. En la fotografía 11, se presenta un empalme cerca de la fundación y en la fotografía 13 se presenta un empalme realizado a altura intermedia. Cabe destacar que este tipo de empalmes está presente en toda la estructura por cuanto corresponde también al tipo utilizado para la construcción inicial de la obra.

Estructura de Techo

La estructura de techo en un sector pequeño del redondel también presenta problemas de estabilidad en su estado actual. Como se menciona arriba, la unión entre vigas del techo y columnas no es de ninguna manera continua. La fotografía 14 muestra una vista general una de las esquinas del techo. La fotografía 15 muestra el detalle de la unión viga columna mencionada. En esta se puede apreciar que la viga está atada a la columna mediante un cable expuesto a temperismo y una faja metálica alrededor de la viga. Este tipo de amarre presenta un problema muy grave para la estabilidad lateral del techo. Efectos extremos de viento como los que se han presentado en varias zonas del Valle Central en los últimos meses pueden presentarse en el sitio de emplazamiento de esta estructura. Estos efectos podrían causar la destrucción de la estructura de techo. Ante esta circunstancia, elementos de la estructura de techo se podrían convertir en proyectiles que podrían poner en peligro la integridad física de los usuarios.

Rampa de acceso al redondel

Como se mencionó anteriormente, el redondel cuenta con una rampa de acceso en el sector noreste. Esta rampa es de unos 4 m de ancho y permite el ingreso de vehículos. La presencia de esta rampa tiene un efecto menor sobre la estabilidad de la estructura espacial del redondel. Sin embargo, de acuerdo a la inspección realizada, la construcción de este acceso se hizo a base de distribuir el peso propio y las solicitaciones temporales de la gradería hacia los marcos colindantes. La fotografía 16 muestra una porción de una de las vigas colectoras emplazadas en el sitio con el aparente propósito de lograr la mencionada redistribución. La viga en cuestión fue fabricada también con madera de las mismas dimensiones mencionadas anteriormente. Como se puede observar allí, esta

consiste de tres segmentos longitudinales unidos entre sí mediante puntales y diagonales. Las uniones están hechas con clavos colocados directamente sobre la madera.

Uso de las instalaciones

El redondel en su estado actual tiene una capacidad de unos 5,000 usuarios. Tradicionalmente, es decir en los primeros 20 años, fue usado para las actividades de festejos públicos de fin de año en San José. En este lugar se llevaban a cabo corridas de toros y otros eventos relacionados que en la mayoría de las ocasiones lograba llenar al menos un 75% de la capacidad. Estas actividades de fin de año siempre han tenido una duración de unas dos semanas del año.

Sin embargo, según comunicación verbal de parte de representantes del propietario, en los últimos años se han empezado a realizar actividades públicas a lo largo del año. Entre ellas se incluyen conciertos musicales y actividades deportivas que atraen mucho público. Estas nuevas actividades atraen a un público diferente al que tradicionalmente utiliza estas instalaciones. Además, las nuevas actividades tienden a causar un comportamiento diferente en los usuarios, de manera que las solicitudes sobre la estructura podrían incluso adquirir un carácter dinámico contrario al carácter relativamente estático que deviene del uso tradicional.

La ampliación del uso de las instalaciones demanda una revisión cuidadosa de la capacidad del inmueble para mantener su integridad estructural. Una mayor frecuencia de uso del inmueble implica un mayor riesgo. Si se pasa de usar las instalaciones dos semanas al año a un uso de una semana al mes, el aumento del riesgo resulta considerable.

Conclusiones y Recomendaciones

Con base en las razones expuestas en las secciones anteriores, se concluye que el inmueble analizado no es apto para el uso intensivo en actividades públicas.

En resumen, las razones aducidas se pueden concretar en los siguientes comentarios.

Los marcos de madera, tanto los radiales como los circunferenciales presentan deterioro debido a falta de tratamiento adecuado para la madera. El tratamiento adecuado debe incluir en primera instancia la utilización de maderas sometidas a tratamiento previo antes de la colocación en obra y luego debe incluir el uso de pintura especial. Además, los empalmes deben garantizar la continuidad de los elementos, cosa que no se logra en la actualidad, según se describió en sección anterior. Por otro lado, las uniones de los elementos de los marcos hechas mediante el uso de clavos no resulte conveniente. Deben usarse uniones concéntricas en donde la unión garantice firmeza y tenacidad. El uso de placas metálicas y pernos en las uniones supliría esta deficiencia. Las uniones excéntricas existentes obligan a los elementos a pasar de ser puntales y tensores y convertirse en vigas. En esta eventualidad, a pesar de que los datos de resistencia de la madera son muy buenos, se presentarían graves problemas en las conexiones debido a

que son hechas con clavos colocados directamente sobre la madera. La estructura fallaría por destrucción de las conexiones. Los anclajes a fundaciones también adolecen del mismo problema de temperismo mencionado anteriormente. La madera está actualmente en contacto con el suelo y por lo tanto está expuesta a la humedad y al ataque de organismos.

El hecho de que la estructura en su comportamiento es en realidad una edificación de comportamiento tridimensional en vez de bidimensional hace que su respuesta ante excitaciones dinámicas como las debidas a sismos se muy adecuada. Adicionalmente, esta estructura de madera es muy liviana si consideramos su relación de peso-volumen. Esto implica que las fuerzas inerciales debidas a sismo sean pequeñas y que actuen sobre el inmueble total de manera integrada y no en forma fundamentalmente plana como en otros tipos de edificaciones de uso frecuente. Sin embargo, las sollicitaciones dinámicas que se pueden suscitar por acciones causadas por el uso mismo de la estructura pueden causar sobrecargas grandes en puntos específicos del inmueble. Lo anterior es particularmente cierto en la zona de acceso al redondel citada anteriormente. Como se explicó anteriormente, las vigas colectoras que permitirían la redistribución de sobrecargas no resultarían adecuadas para cumplir la tarea.

La estructura de techo del sector sur muestra grandes problemas por cuanto como se explicó anteriormente, no es una estructura cuyas conexiones entre elementos sean rígidas. Al contrario, estas conexiones funcionan solamente por fuerza de gravedad, de manera tal que acciones extremas debidas a viento fuertes (tornados) pueden destruir la estructura con el consiguiente peligro para usuarios tanto dentro de las instalaciones como afuera.

Finalmente se recomienda no cambiar la frecuencia de uso en la estructura actual por cuanto esta acción incrementaría el riesgo de falla ante sobrecargas de manera muy significativa. Adicionalmente, se recomienda valorar la factibilidad de reemplazar la estructura existente por una estructura construida con métodos ingenieriles vigentes y que a la vez logre un mejor uso del espacio, tanto en las secciones de graderías y palcos como en las áreas cubiertas por éstos al nivel de acceso.



Fotografía–1 Panorámica #1 del Redondel



Fotografía–2 Panorámica #2 del Redondel



Fotografía–3 Panorámica #3 del Redondel



Fotografía–4 Panorámica #4 del Redondel



Fotografía-5 Pared externa #1 de la estructura



Fotografía-6 Pared externa del Redondel



Fotografía-7 Rampa de acceso al Redondel



Fotografía-8 Zona techada del Redondel



Fotografía-9 Conexión de columna a fundación



Fotografía-10 Arriostres inferiores



Fotografía-11 Apoyo de columna



Fotografía-12 Apoyos de columnas



Fotografía-13 Arriostres diagonales y horizontales en una columna de madera



Fotografía-14 Vista general de esquinas del techo



Fotografía-15 "Unión" viga-columna de estructura de concreto



Fotografía-16 Estructura de soporte de la gradería en sector "rampa" de acceso

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

FECHA: 18 DE JUNIO DEL 2002

PROYECTO: REDONDEL ZAPOTE

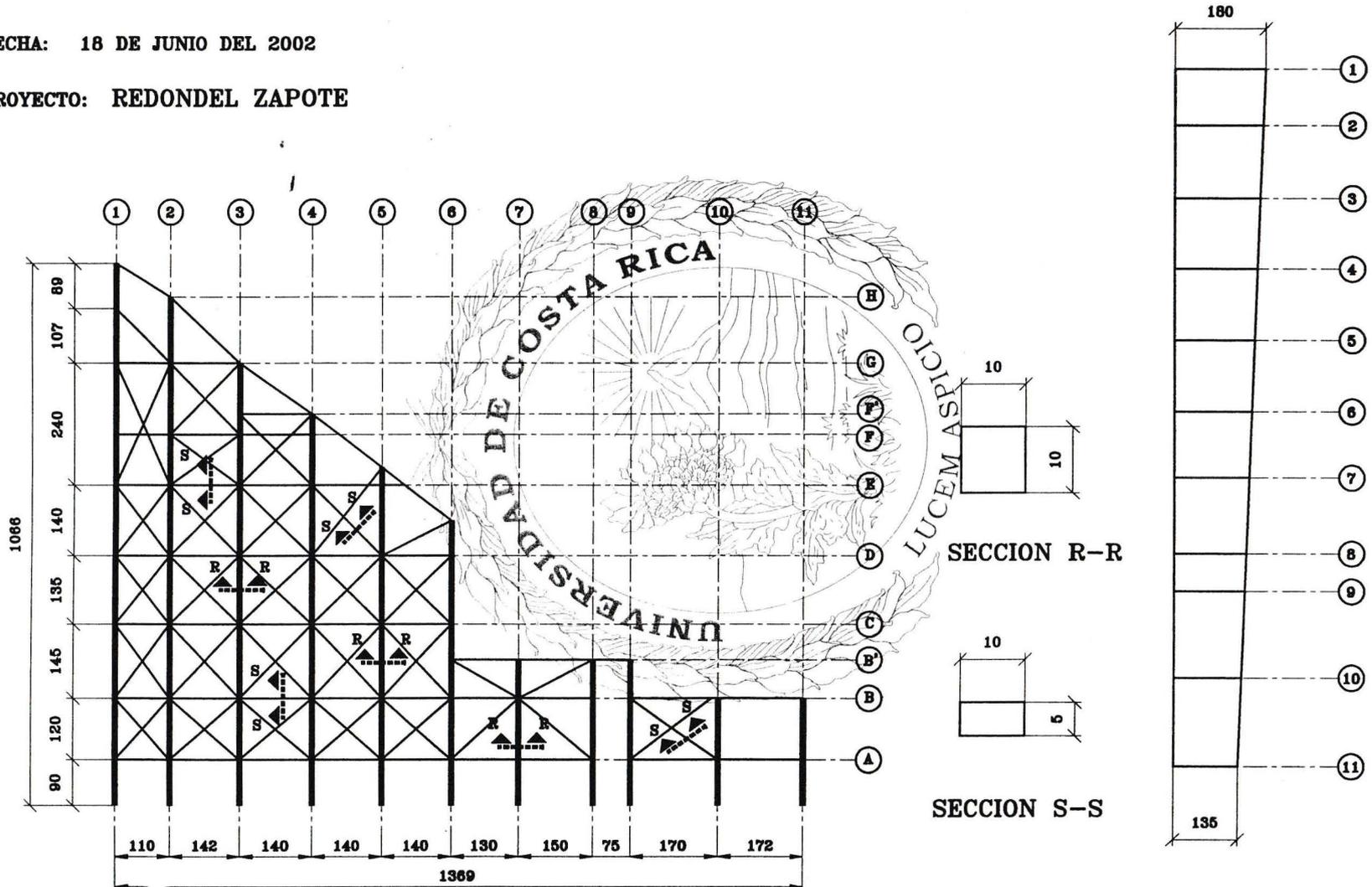


FIGURA 17 MARCO ARRIOSTRADO TIPICO

Planta de
2 marcos



UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

**INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN INGENIERÍA
LABORATORIO DE PRODUCTOS FORESTALES**

Teléfono: 207-5354, Facsimil: 224-2619, Apartado postal: 36-2060.

Correo electrónico: lpf@finq.ucr.ac.cr

LPF-R-18
(última versión)

INFORME DE ENSAYO

El Laboratorio de Productos Forestales acreditó los ensayos "Espesor en papel y cartón" y "Contenido de humedad de la madera", bajo la Guía ISO IEC 25:1990 y NCR EN 45 001, a partir de octubre del 2000.

24 de mayo del 2002

NÚMERO DE INFORME: LPF-S-INF-024-02

TIPO: FM-1-03/AN-1-03

INFORME: Ensayo de flexión estática e identificación de dos muestras de madera.

CLIENTE: Señor
Adalberto Ramírez
Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos
Estructurales (LANAMME)
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
Teléfono: 207-5423
Facsimil: 207-4440

FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRAS: 17 de mayo del 2002

ENTREGÓ LAS MUESTRAS: Señor Marco Sandoval

NÚMERO DE PÁGINAS: 05

DESCRIPCIÓN:

El diente entregó en el Laboratorio de Productos Forestales dos muestras de madera para ser analizadas en cuanto a: Flexión estática e identificación de la especie.

El diente codificó las muestras como: **0738-02 A** y **0738-02 B**

Para el ensayo de flexión estática se utilizó el procedimiento descrito en ASTM-D143-94. Los resultados promedio y sus desviaciones estándares se presentan en el cuadro No. 1.

La identificación se realizó utilizando como respaldo los patrones de maderas de la colección del Laboratorio de Productos Forestales. Los resultados se presentan en el cuadro No. 2.

FECHA DE REALIZACIÓN: del 22 al 24 de mayo del 2002

RESULTADOS

LABORATORIO DE PRODUCTOS FORESTALES SECCIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS

CUADRO No. 1

RESULTADOS DEL ENSAYO DE FLEXIÓN ESTÁTICA DE DOS MUESTRAS DE MADERA SEGÚN ASTM D-143-94

LPF-S-INF-024-02

PROPIEDADES MECÁNICAS	0738-02 A		0738-02 B	
	X	s	x	s
ELP (kg/cm ²)	325,99	43,52	314,10	0,85
MR (kg/cm ²)	784,10	22,45	672,51	24,06
ME (kg/cm ²)	94 353,67	7 716,29	130 682,03	482,07
TLP (kg-m/dm ²)	0,57	0,15	0,38	0,01
TT (kg-m/dm ²)	6,16	1,36	4,11	0,22
Humedad (% b.h.)	14,33	1,14	24,05	0,26

TEMPERATURA PROMEDIO: 25.5 °C HUMEDAD RELATIVA PROMEDIO: 64.5%

ELP: Esfuerzo al límite proporcional MR: Módulo de ruptura ME: Módulo de elasticidad TLP: Trabajo al límite proporcional TT: Trabajo total x: valor promedio
s: Desviación estandar muestral b.h.: Base húmeda

FECHA DE REALIZACIÓN: del 22 al 24 de mayo de 2002

**LABORATORIO DE PRODUCTOS FORESTALES
SECCIÓN ANATOMÍA Y MORFOLOGÍA DE LA MADERA
CUADRO N. 2
IDENTIFICACIÓN DE CUATRO MUESTRAS DE MADERA
LPF-S-INF-024-02**

MUESTRA	NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO	FAMILIA
0738-02 A	Amargo-amargo	<i>Vatairea lundellii</i>	Leguminosae
0738-02 B	Pilón	<i>Hieronyma alchomeoides</i>	Euphorbiaceae
Fecha de realización: 23 de mayo de 2002			

BIBLIOGRAFÍA:

American Testing Materials. ASTM-D-143-94.

Muestras patrón de la Colección de Maderas del Laboratorio de Productos Forestales.

ALCANCE: Los resultados presentados en este informe se refieren únicamente a las muestras analizadas.

Este documento sólo puede ser reproducido en su totalidad y con la aprobación del Laboratorio de Productos Forestales.

TIEMPO DE DESECHO DE MUESTRAS DE ENSAYO: 90 días naturales de la fecha de este informe.

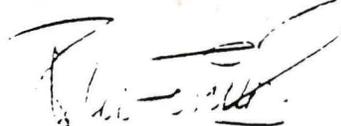
TIEMPO DE DESECHO DE MUESTRAS DE RESPALDO: 365 días naturales de la fecha de este informe.

SECCIONES: Anatomía y Morfología de la Madera
Propiedades Físicas y Mecánicas de la Madera

INVESTIGADORA RESPONSABLE:

Licda. Isabel María Carpio Malavassi
Bióloga

TÉCNICO RESPONSABLE DE ENSAYOS FÍSICO-MECÁNICOS:


Sr. Pedro Antonio Rojas Camacho

DIRECTORA LPF:

Licda. Isabel María Carpio Malavassi
Bióloga