

Diseño, análisis y producción de marco de sofá tapizado mediante aplicación de Manufactura Esbelta

Design, analysis and production of sofa frame by means of application Lean Manufacturing

Marta Sáenz Muñoz

saenz.marta@gmail.com

Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago

.....
Fecha de recepción: Mayo 9 de 2012

Fecha de aceptación: Julio 31 de 2012

Palabras clave

Diseño y análisis estructural de muebles, marco de sofá, manufactura esbelta.

Keywords

Design and structural analysis of furniture, sofa frame, lean manufacturing.

Resumen

La resistencia y el desempeño en la durabilidad de un marco de madera para sofá tapizado dependen de la realización de un buen diseño estructural y de su proceso de manufactura. El objetivo del estudio fue analizar el diseño estructural actual del marco de sofá tapizado del modelo Sinaí y su proceso de manufactura, el cual es elaborado para comercialización masiva. El análisis se llevó a cabo mediante un programa de simulación por computadora con el que se confirmó que la estructura está sobredimensionada para las cargas en servicio que debe soportar. La metodología utilizada fue Diseño de Ingeniería propuesta por Carl Eckelman. El análisis se llevó a cabo mediante el Software SAP 2000®. Se simularon las cargas estáticas para ambas estructuras, con el fin de verificar la resistencia actual y garantizar el desempeño de la estructura propuesta. Se plantea como recomendaciones la optimización del material madera, así como la implementación de algunas herramientas de la filosofía de Manufactura Esbelta: filosofía 5'S y distribución de planta.

Abstract

The strength and durability performance of a wooden frame for an upholstered sofa depend on two aspects: the implementation of a good structural design and how the manufacturing process is carried out. The aim of this study was to break down the current structural design of the wooden frame upholstered sofa of the Sinai model and its manufacturing process. The analysis was carried out using a computer simulation program where it was confirmed that the structure was oversized for the loads managed in service support. The Engineering design was the methodology proposed by Carl Eckelman. The analysis was carried out using SAP 2000® software. The static loads were simulated for both, the existing structure and the new structure, in order to verify the actual resistance and to ensure primarily, the performance of the new structure with the proposed changes. As a proposed recommendation it's the wood material optimization and the implementation of some tools about Lean Manufacturing: The 5's philosophy and plant distribution.

I. Introducción

La resistencia, el desempeño y la durabilidad de un marco de madera para sofá tapizado, dependen de un buen diseño estructural y de su proceso de manufactura. En Costa Rica, la experiencia en el diseño estructural de los muebles de madera ha sido construida por prueba y error. La investigación en el país en el tema de mobiliario de madera ha sido escasa y prácticamente enfocada en la resistencia de las uniones o juntas y la resistencia del material, pero poco se ha hecho para relacionar el diseño estructural con las cargas en servicio de un mueble. Es decir, no se cuenta con información específica sobre el diseño del marco de sofá que garantice su durabilidad así como la resistencia durante su uso. Sin embargo, para los diseñadores de muebles, esta información es muy importante si lo que se persigue es la optimización del diseño y del material; para alcanzar el desempeño deseado del producto de acuerdo a las exigencias de calidad con el mínimo uso de materiales y costos de fabricación. Países desarrollados como Estados Unidos y algunos otros con amplia trayectoria en el área de análisis de productos de madera, como por ejemplo Chile, cuentan con laboratorios especializados de ensayos cíclicos para ser aplicados en muebles para comprobar su resistencia y durabilidad. Costa Rica carece de laboratorios especializados en esta área, en donde su puedan realizar ensayos cíclicos secuenciales o las pruebas conocidas como *performance testing*, los cuales evalúan el desempeño de la estructura. Es por esta carencia que la investigación se realizó por medio de simulación con un software diseñado para el análisis estructural.

Esta investigación desarrolla una metodología de análisis y procedimientos de diseño y fabricación para el marco de sofá del estilo Sinaí, fabricado por la *Mueblería Palmares*, ubicada en Palmares de Alajuela (Costa Rica). El modelo Sinaí, mostrado en la Figura 1, es un sistema estructural que consiste en secciones rectangulares en su mayoría de madera de Melina (*Gmelina arborea*) y uniones mediante grapas. El modelo fue seleccionado ya que es comercializado por la Empresa Grupo Monge, tanto en Costa Rica como en Nicaragua. En general las dimensiones del sofá son de 162 cm de largo, 76 cm de profundidad y 71 cm de alto.



Figura 1. Configuración de la estructura interna del sofá estilo Sinaí

El análisis se llevó a cabo mediante el software de análisis estructural SAP 2000® con el fin de verificar la resistencia de la estructura actualmente elaborada por la Mueblería Palmares. Tal y como se sospechaba, la estructura está sobredimensionada y según los esfuerzos admisibles para la madera de uso estructural, tanto los subsistemas asiento como reposabrazos soportan las cargas en servicio. El subsistema respaldo fue el que arrojó datos de esfuerzos mucho mayores a los admisibles.

Como forma de solucionar, el problema estructural, la optimización del material y el desabastecimiento de material prima, se propone la utilización de piezas en sección trapecio.

A) Objetivos

Objetivo General

Analizar el desempeño estructural y el proceso de manufactura del marco de sofá del estilo Sinaí, mediante un análisis estructural por simulación, la optimización del material y la aplicación de la filosofía de *Manufactura Esbelta* en su proceso de producción.

Objetivos Específicos

- » Recomendar, en la unidad productiva, una nueva configuración de marco de sofá, por medio de la optimización del material.
- » Establecer un proceso de análisis de la estructura existente y proponer una nueva configuración, que tenga un mejor desempeño, mediante la simulación con software de análisis estructural.
- » Recomendar herramientas de manufactura esbelta o *Lean Manufacturing* para mejorar el proceso productivo y la calidad de las estructuras de sofás tapizados.

II. Métodos y materiales

La metodología para cumplir el primer objetivo inició con una sesión en donde se solicitó la ayuda de un armador y un tapizador, con el fin de escuchar sus criterios en cuanto a la eliminación o reducción de piezas. De esta sesión se conoció el inconveniente de eliminar piezas, ya que aunque éstas no estaban cumpliendo una función estructural, no se podían eliminar ya que para la labor de tapizado eran requeridas. Por esta razón, la solución debía orientarse a la reducción del material y no a la eliminación de piezas que pudiera modificar el diseño establecido por la empresa. La metodología a seguir para el logro del segundo objetivo específico es el diseño de ingeniería propuesto por Eckelman (1978), en su fase de análisis estructural clásico esquematizado en la Figura 2, debido a que en el país no existe el equipo de laboratorio necesario para efectuar las pruebas bajo el modelo *cíclico secuencial*, para ensayos de comportamiento. Sumado a esto, el programa no ofrece grandes posibilidades para simular este proceso cíclico, ya que tiene limitaciones para la simulación de los elementos de unión (grapas), a los que entiende como rígidos, lo que no es real e impide que la estructura ceda ante las cargas aplicadas y se debilite por el uso prolongado, que al final es lo que se pretende demostrar.

Para ello el software fue programado de forma que las uniones no fueran entendidas como rígidas.

En la Figura 2 se muestra en diagrama la metodología de los dos modelos de análisis estructural de muebles propuestos por Eckelman (1978). La metodología clásica se propone con el fin de evaluar resistencia y la metodología de ensayos cíclicos secuenciales para evaluar comportamiento o desempeño del mueble en condiciones repetidas de cargas y así prever su durabilidad.

Para establecer el proceso de análisis de la estructura se optó por el modelo clásico propuesto por Eckelman. Este modelo fue el seleccionado, más por la limitación

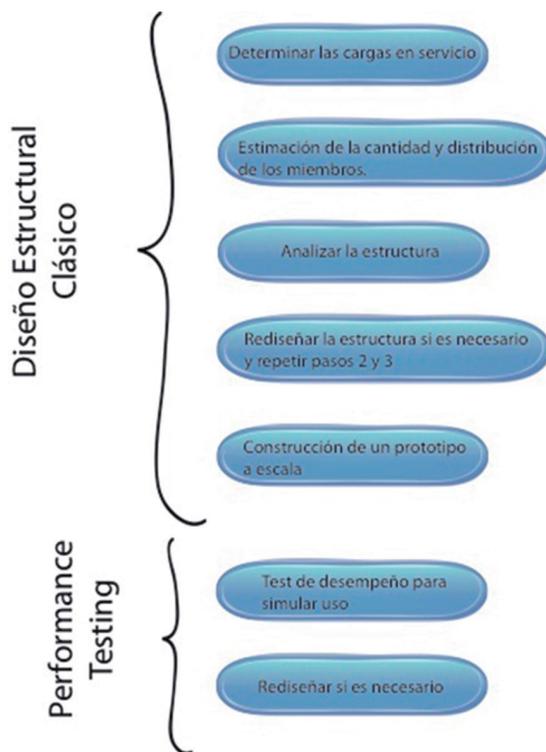


Figura 2. Metodología del modelo de análisis estructural de muebles (Eckelman, 2003)

de instalaciones y de equipo apto para este fin, que por ser éste el más recomendable actualmente, debido a que la investigación y ensayos en torno a este tema han evolucionado hasta el modelo de cargas cíclicas conocido como *Performance Testing*. Así, en un primer paso se analizaron y se determinaron las cuatro cargas a ser falladas en la estructura. La literatura menciona otros ensayos adicionales a éstos, pero se realizan con el producto terminado (estructura con tapizado) el cual no es el objeto de nuestro estudio. De esta forma las cuatro cargas aplicadas fueron: carga vertical sobre asiento, carga horizontal sobre respaldo, carga vertical sobre reposabrazos y fuerza de empuje lateral.

Estas cargas fueron aplicadas al marco del sofá de tres plazas modelo Sinaí, cuya estructura está elaborada con piezas rectangulares, en su mayoría de madera de melina (*Gmelina arborea*). La estructura consta de tres subsistemas: asiento, respaldo y reposabrazos. El subsistema de asiento, se construye con 19 piezas que en su mayoría (once) son de 2,5 x 6,5 cm. Además tiene cinco piezas de 2,5 x 4 cm y un larguero trasero que es una pieza de 4 x 6,5 cm. El subsistema respaldo, consta de nueve piezas todas en su totalidad de una medida comercial de 2 x 6,5 cm. El subsistema brazo consta de once piezas con distintas dimensiones en cuanto a su ancho (4 - 6,5 y 9 cm) pero todas en el mismo espesor de 2 cm. Para la aplicación de la primera carga, según lo recomendado por Eckelman (1978) se aplicó dos cargas de 78 kg y una tercera carga de 129 kg. Para el caso de la carga que simula a la persona más pesada se plantearon dos escenarios. El primero, que la persona esté sentada en el centro, y el segundo que la persona esté sentada en un extremo. Esto debido a que en el centro, la estructura cuenta con un refuerzo de una pieza que sirve de apoyo y además un conjunto central que forma un triángulo. Lógicamente esto ofrecería un tipo de apoyo que los extremos de la estructura no tienen y puede reducir considerablemente el esfuerzo al que esté sometido la pieza. Además el usuario desconoce la construcción de la estructura internamente y no se puede suponer que la persona más pesada siempre se sentará en el centro. Además de estos dos escenarios cada uno de ellos incluyó dos opciones de distribución de carga: cuando una persona se sienta recostada y cuando una persona se apoya solamente en la parte frontal del sofá. En estas condiciones y según el Ing. Juan Tuk (2009) el peso se puede distribuir a razón de 80%-20% en los dos casos. Al final, los resultados deben compararse con los esfuerzos admisibles en flexión. Según Keenan y Tejada (1987) todas las especies dentro de un grupo particular tienen asignados los mismos esfuerzos admisibles y estos valores están determinados por la especie más débil de ese grupo. Ellos afirman que no sería práctico asignar un conjunto separado de esfuerzos admisibles para cada una de las especies para las cuales se determinaron las propiedades mecánicas.

Gracias a la buena correlación entre la resistencia a la flexión y la densidad, ésta se usó como criterio para la asignación inicial de especies a los grupos: grupo A: densidad básica de 0,71 a 0,90; grupo B: densidad básica de 0,56 a 0,70; y grupo C: densidad básica de 0,40 a 0,55. Las especies más resistentes y más rígidas están en el grupo A, las de propiedades moderadas en el grupo B y las de menor resistencia y rigidez, en el grupo C. Las especies utilizadas en la construcción del sofá, como se mencionó, son mayoritariamente la melina (*Gmelina arborea*), la botarrama (*Vochysia guatemalensis*) y el amarillón (*Terminalia amazonia*) en algunas ocasiones; cuyos pesos específicos son 0,42; 0,39 y 0,48 respectivamente. Bajo este criterio se utilizó el esfuerzo admisible en flexión del grupo C de 100 Kg/cm². Además las propiedades mecánicas de la melina (*Gmelina arborea*) fueron incluidas en el software para la creación del material con las características respectivas.

Para la segunda carga sobre el respaldo, se aplicó una carga distribuida de 27 kg.

Esta carga se distribuyó de forma descendente (13, 9, 5 kg) de arriba hacia abajo, en tres de las cuatro piezas que conforman el respaldo, ya que es normal que el apoyo se dé mayoritariamente en las piezas superiores.

La tercera fuerza analizada fue la ejercida sobre el reposabrazos cuando una persona se sienta sobre él. A pesar de que no es la estructura del reposabrazos la ideal para soportar a una persona; este tipo de acciones son tan frecuentes, que en los sofás se debe contemplar esta carga en servicio. Para este análisis se aplicó una carga de 138 kg, distribuida en cinco puntos de apoyo, debido a que siguiendo el razonamiento de las fuerzas anteriormente aplicadas, una persona no ejerce la fuerza en un solo punto sino que esta se distribuye, más aún cuando la persona no sólo se sienta sino que se recuesta en toda la sección del sofá.

La última carga aplicada fue la de empuje lateral sobre el reposabrazos. Para este fin se simuló como que una persona halará el sofá hacia ella. Para esta carga Eckelman (1978) recomienda que se aplique 32 kg de peso.

El objetivo específico 3 es el que está relacionado con el proceso de manufactura y la utilización de herramientas de manufactura esbelta para mejorarlo. Con el fin de visualizar e identificar los problemas de manufactura del proceso y así proponer las herramientas de manufactura esbelta que puedan significar cambios y mejoras en el mismo, se utilizaron algunas técnicas básicas de mapeo de procesos.

III. Resultados y Discusión

Con el fin de comprobar la resistencia a las cargas en servicio, que fueron determinadas y que deberá soportar el sofá en condiciones normales, se procedió a la simulación de estos esfuerzos por medio del programa SAP®, y posteriormente se comparó los esfuerzos obtenidos con los esfuerzos permisibles que brinda la literatura.

En la Tabla 1 se muestran los resultados obtenidos de la simulación de los esfuerzos para la estructura actual.

Al comparar los datos de los distintos escenarios de la carga vertical sobre asiento, contra los esfuerzos admisibles en flexión para el grupo C (100 kg/cm^2) notamos que ambas piezas (larguero frontal y trasero) sobre las que se aplicaron las cargas, no sobrepasan los valores de esfuerzo permitido para madera con estas condiciones. Los casos más críticos dan: un esfuerzo de casi 59 kg/cm^2 , el de la persona más pesada en el extremo del sofá y apoyando la mayoría de la carga en el larguero frontal; y de 43 kg/cm^2 , cuando la persona más pesada está en el centro pero igualmente apoyada sobre el larguero frontal.

Es importante mencionar, que en este caso, el larguero frontal es el que está más esforzado, ya que la sección es menor ($2 \times 6,5 \text{ cm}$), que la del larguero trasero ($6,5 \times 6,5 \text{ cm}$).

Los datos de deflexión no se incluyeron, ya que en el caso más crítico de la persona más pesada sentada en el extremo, a pesar de que la simulación muestra un deflexión importante, es apenas de 0,17 cm. Las demás son mucho menores a ésta.

Para la carga aplicada al respaldo, no se plantearon escenarios, ya que la carga en todos

Datos de esfuerzo en piezas de sofá Cargas en servicio									
CVSA vertical sobre asiento		CHRS horizontal sobre respaldo		CVSB vertical sobre brazo		FEL empuje lateral			
Mínima (clásico)	Mínima (clásico)	Mínima (clásico)	Mínima (clásico)	Mínima (clásico)	Mínima (clásico)				
(2) 170 lb (1) (280)	60 lb	150-300 (229 lb)	55-69 lb						
Momento Kg/cm	Esfuerzo Kg/cm2	Momento Kg/cm	Esfuerzo Kg/cm2	Momento Kg/cm	Esfuerzo Kg/cm2	Momento Kg/cm	Esfuerzo Kg/cm2	Momento Kg/cm	Esfuerzo Kg/cm2
Escenario 1a br	735,79	16,08	Pieza 1	10,79	0,77	53,1	4,98	1,86	0,07
Escenario 1a fr	152,13	10,80	Pieza 2	389,29	291,96	145,01	13,59	4,92	0,18
Escenario 1b br	184,54	4,03	Pieza 3	319,03	239,27	17,28	1,62	2,6	0,10
Escenario 1b fr	608,67	43,22				49	4,59	1,82	0,07
Escenario 2a br	994,66	21,73				110,2	10,33	3,45	0,13
Escenario 2a fr	207,86	14,76				182,87	17,14		
Escenario 2b br	249,01	5,44							
Escenario 2b fr	829,70	58,91							

Tabla 1. Tabla de resultados de los esfuerzos obtenidos en la estructura del sofá

los puntos es la misma, independiente del peso. En el escenario más crítico, cuando el sofá esté ocupado por tres personas, cada una de ellas aplicará una carga de 27 kg. Lo que varía es la proporción de la carga, ya que la mayor carga (13 kg) es aplicada sobre el larguero superior, el cual está dispuesto de canto; es por esto que el valor del esfuerzo en la pieza 1 es tan bajo. La razón obedece igualmente a la característica de anisotropía de la madera, ya que cuando se aplica una carga a una pieza por el canto (espesor), la pieza ofrece mayor resistencia, contrario a lo que ocurre cuando esta carga se aplica por cara (ancho); como lo demuestran los datos de esfuerzo en las piezas 2 y 3 del respaldo. Estas piezas, a pesar de que reciben menos carga, tienen una deflexión mucho más evidente.

Según el diseño del reposabrazos y cómo era lógico de esperar, este subsistema es tal vez el que menos esfuerzos representa, por su configuración. Con los resultados obtenidos de la aplicación de las cuatro cargas en servicio, se puede deducir que la estructura, así como es construida en la actualidad, resiste las cargas más frecuentes a las que puede estar sometido un sofá. A excepción del respaldo, que como se reportó, tiene valores de esfuerzo muy por encima de lo permitido, las otras tres cargas aplicadas sí cumplen con el valor permisible.

Según lo analizado acerca de la situación de desabastecimiento de la madera en el país, muchas son las dependencias del estado que han intensificado sus esfuerzos con el fin de promover nuevamente la reforestación. Este es el caso del Centro Agrícola Cantonal de Hojanca (CACH), en Guanacaste, quien desarrolla en la zona un programa de reforestación en coordinación con el Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones (MINAET), el Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (FONAFIFO) y el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). El Programa de Desarrollo Forestal de Hojanca fue una iniciativa que comenzó en 1978 y que hasta 1985 fue una realidad. De las plantaciones que tienen más años de haber sido establecidas y que casi están cumpliendo su turno de rotación es de donde se puede obtener el material para las estructuras, en los próximos aprovechamientos forestales. También de estas plantaciones próximas a aprovechar, la especie que abarca mayor área plantada es la melina (*Gmelina arborea*). Así se podría estandarizar también la especie, evitando que el proveedor se abastezca de otras especies cuyo peso específico es menor al de la melina, lo cual, a su vez, puede comprometer el desempeño de la estructura. Por otro lado debido a que las exigencias de una estructura para sofá no son estéticas sino estructurales, se planteó resolver el problema de abastecimiento utilizando un subproducto de los procesos primarios. En el proceso de aserrío se utilizan distintos patrones de corte con el fin de aumentar el rendimiento de la madera, es decir aprovechar la mayor cantidad de madera de la troza. De este proceso se obtiene un subproducto que se conoce como costilla, el cual se obtiene de la parte externa de la troza. En la mayoría de los casos este material es desechado, ya que no se pueden obtener escuadrías completas. En nuestro caso particular y al ser una estructura que está recubierta no se requiere de la escuadría total. El planteamiento es una sección geométrica tipo trapecio isósceles que permita aprovechar de la mejor forma la sección de madera sobrante sin

necesidad de eliminar mucho material. En la Figura 3 se muestra el tipo de sección que se inscribe dentro de la sección irregular de la costilla. Además del aprovechamiento del material se puede obtener una pieza de madera estandarizada en sus dimensiones las cuales serán propuestas dentro de la solución estructural.

.....

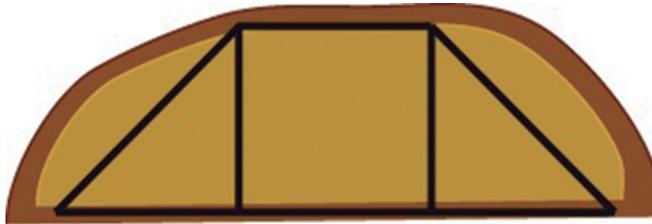


Figura 3. Sección de un trapezoido isósceles inscrito en la sección de costilla

.....

El modelo Sinái es el modelo que, actualmente, se comercializa en mayor cantidad. Esta fue la principal razón por la que la decisión del análisis estructural, pesó sobre este modelo. Sin embargo, debido a que el mercado lo ha aceptado bien, en un primer intento de conformar nuevamente la estructura se tuvo el impedimento de hacerle grandes cambios, que al final modificaran parte del diseño del sofá. Los cambios sugeridos en un principio fueron en lo que respecta a la cantidad de piezas utilizadas tanto en el respaldo, como en el cajón del asiento (parte frontal). Aún sin haberse efectuado los análisis estructurales que lo confirmaran, era evidente, por la cantidad de piezas, que los subsistemas de brazo y asiento se desempeñarían satisfactoriamente.

El inconveniente surge cuando en una sesión con los encargados de armar y tapizar, se observa que muchas de esas piezas que estructuralmente no tienen ningún desempeño, no podrían ser eliminadas, ya que el tapizador las requiere para lograr el diseño establecido. Así estas piezas están desempeñando una función más de soporte para tapizado que estructural. Una vez conocida esta limitante se procedió a efectuar el análisis estructural y por consiguiente a la búsqueda de la solución más viable para reducir material sin comprometer el desempeño estructural ni el diseño del sofá.

Así fue como piezas con sección trapezoido isósceles fueron utilizadas para la elaboración de la estructura propuesta. Esta diferencia en dimensiones es la que hace que a pesar de que la pieza no tenga la sección completa, la inercia no disminuya considerablemente y los esfuerzos aún sigan sin sobrepasar los valores permisibles teóricos.

Como forma de validar esta solución, y debido a que la mayoría de la estructura está conformada por piezas comerciales de 2 x 6,5 cm (1x 3”), se utilizó esta pieza para recalcular los esfuerzos a los cuales son sometidas las mismas. Específicamente los valores pasaron de 10,8 a 17,01 kg /cm² para el escenario de la persona más pesada ubicada en el centro y apoyada mayormente en el larguero frontal. El segundo escenario, que sufrió un incremento en su esfuerzo, fue cuando la persona más pesada igualmente se ubica en el centro del sofá pero su peso está mayormente apoyado en el

larguero frontal. Este valor pasó de un 43,22 a un 68,05 kg /cm². Nuevamente ninguno sobrepasa los valores permisibles.

Por último, haciendo referencia al escenario más crítico, cuando la persona más pesada estuviera sentada en el extremo del sofá y apoyando el 80% de su peso en el larguero frontal, el valor de esfuerzo pasó de un 58,91 a 92,76 kg /cm² y también se obtiene un valor debajo de 100 kg /cm² límite que reporta la literatura como valor permisible.

El subsistema respaldo, que ha sido el que reportó los valores más altos de esfuerzo, también se plantea para ser construido con las piezas de sección trapecio. Esto porque en su totalidad está construido en piezas de 2 x 6,5 cm (1x3"). Aunque la primera propuesta es mantener la disposición de las piezas como se encuentran actualmente y solamente hacer el cambio en la sección rectangular a trapecio, los valores no disminuyeron significativamente y se podría plantear que las piezas del respaldo no estén dispuestas por cara sino por canto, que es uno de los planos en donde las piezas de madera ofrecen mayor resistencia.

Una vez identificado el proceso completo de elaboración de sofás y de haber identificado los problemas de manufactura, se procedió a analizar las técnicas o acciones más idóneas a tomar en cuenta para el mejoramiento del proceso productivo y la calidad de las estructuras de sofás tapizados por medio del uso de herramientas de manufactura esbelta. Dentro de estas herramientas está la filosofía 5's. Para su implementación, tanto los dueños como todos los colaboradores de la producción deben estar involucrados, para que su ejecución y cumplimiento sean efectivos.

Como primer paso se elaboró material gráfico con la información acerca de la filosofía, de manera que igualmente el material sirva de control visual. Es decir, que la información esté permanente en el taller para lograr que los operarios adopten la filosofía dentro de su jornada normal de trabajo. Además se planteó la implementación de las actividades de clasificar, organizar, limpiar, estandariza y disciplinar. Si se mantiene la disciplina en la mueblería, las cinco "S" se podrán implantar sin dificultad en los lugares de trabajo. Su aplicación garantiza que la seguridad será permanente, la productividad mejore progresivamente y la calidad de los productos sea mejorada.

Conclusiones y recomendaciones

En Costa Rica en la actualidad, prácticamente no hay ningún mueble disponible en el mercado que garantice o certifique que ha sido probado estructuralmente, así la importancia que puede adquirir el tema de análisis estructural de muebles puede ser muy valioso a futuro, en la generación de estándares de calidad para los fabricantes e importadores.

A pesar de que en Costa Rica no se cuenta con los laboratorios para la realización de los ensayos cíclicos, la maquinaria requerida para este fin es sumamente simple y su inversión podría no ser muy alta. A pesar de este inconveniente se contó con la

herramienta SAP, la cual a pesar de no contar con una biblioteca del material madera amplia, brindó datos reales que permitieron valorar la solución.

Este tipo de procedimientos de prueba (simulación por medio de software) se presenta como una herramienta de ingeniería en el desarrollo de nuevos productos y el control de calidad, pues los fabricantes pueden evaluar la resistencia de su producción actual y entonces desarrollar un estándar de calidad para el cual nuevos diseños pueden ser ajustados, creando así modelos de resistencia similar a un costo menor.

Las pruebas de comportamiento (*Performance Testing*), que se logran por medio de los ensayos cíclicos, son ampliamente utilizadas como método para definir la calidad estructural de un mueble. Sin embargo, Costa Rica no cuenta con un laboratorio adecuado para la realización de estos ensayos cíclicos para determinar el comportamiento estructural de sofás. Es por esto que para confirmar estos resultados se recomienda la elaboración de un prototipo a escala que pueda ser fallado de forma real.

La solución planteada es factible técnicamente pero desde el punto de vista financiero, es necesario realizar un estudio a profundidad de la cantidad de materia prima con la que se cuenta, así como de las dimensiones que sería posible obtener. Es un hecho que la materia prima existe y ésta se incrementa considerablemente en verano.

Finalmente, se recomienda un muestreo más detallado y estadísticas de las dimensiones más frecuentes que se pueden encontrar en las costillas y, aunado a esto, un estudio sobre las posibles secciones que se pueden generar con este material. 

Referencias bibliográficas

- Dai, L. (2007). *Design and structural analysis of sofa frames* [disertación doctoral]. Mississippi State University, Starkville, MS
- Eckelman, C.A. (1978). *Strength design of furniture*. West Lafayette, IN: Tim Tech
- Eckelman, C.A. & Erdil, Y. (2003). *General services administration upholstered furniture test method – FNAE 80-214. A description of the method with drawings* [Forestry & Natural Resources – Cód.176-W]. Recuperado de <http://www.extension.purdue.edu/extmedia/FNR/FNR-176.pdf>
- Guzmán, M. 2003. *Cálculo estructural de muebles* [Tesis de Maestría]. Universidad del Bío-Bío, Concepción, Chile
- Keenan, F.J. y Tejada, M. (1987) *Maderas tropicales como material de construcción en los países del Grupo Andino de América del Sur*. CIID. Bogotá, Colombia.
- Tuk Durán, J. (2009). *Madera: diseño y construcción* [2ª ed.]. San José, Costa Rica: Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos

Currículum vitae

Marta Sáenz Muñoz

Docente e investigadora de la Escuela de Ingeniería en Diseño Industrial del Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR). Diseñadora Industrial egresada de esa misma entidad, con título de *Master of Engineering* en Sistemas Modernos de Manufactura de la carrera de Producción Industrial del ITCR. Su principal área de investigación ha sido el desarrollo de productos con madera. Durante los últimos diez años ha estado involucrada en proyectos en donde se analizan las propiedades de las distintas especies maderables de Costa Rica y se buscan las mejores aplicaciones en productos forestales (vigas, embalajes, muebles, etc.).