



UNIVERSIDAD DE GRANMA

Facultad de Ciencias Técnicas
Departamento de Ciencias Técnicas

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas
Sede Latacunga

TRABAJO DE DIPLOMA

En opción al título de Ingeniero Electromecánico

**DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE HORNO PARA SECAR
MADERA UTILIZANDO ENERGÍA ELÉCTRICA**

JUAN BERNARDO CALO CALO
CHRISTIAN EDUARDO JÁCOME GUANOCHANGA

BAYAMO. M.N.
2012-2013

“Año de 54 de la Revolución”

LATACUNGA-ECUADOR
2012-2013

“Por la vinculación de la Universidad con el Pueblo”





UNIVERSIDAD DE GRANMA

**Facultad de Ciencias Técnicas
Departamento de Ciencias Técnicas**



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

**Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas
Sede Latacunga**

TRABAJO DE DIPLOMA

En opción al título de Ingeniero Electromecánico

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE HORNO PARA SECAR MADERA UTILIZANDO ENERGÍA ELÉCTRICA

Diplomantes: Juan Bernardo Calo Calo

Christian Eduardo Jácome Guanochanga

TUTORES: M.Sc Ing. Roberto Felix Beltrán Reyna
Ing. Joao Lázaro Bárzaga Quesada

BAYAMO. M.N. 2013

“Año de 55 de la Revolución”

LATACUNGA-ECUADOR 2013

“Por la vinculación de la Universidad con el Pueblo”

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Técnica de Cotopaxi por haber sido parte de mi formación como profesional y haberme brindado el apoyo de grandes maestros quienes forjaron mi vida profesional guiándola hasta alcanzar mi meta.

A la Universidad de Granma por haberme recibido durante todo el tiempo en que realice mi trabajo de diploma en Cuba.

A mis tutores por su ayuda y colaboración para la realización de este trabajo de diploma.

A mis familiares y amigos quienes siempre estuvieron apoyándome para llegar al lugar en que me encuentro dentro de mi nivel profesional; y a todos quienes confiaron en mí y se enorgullecen de saber que soy ahora.

CHRISTIAN

DEDICATORIA

A mis padres Luis y Eva que siempre me brindaron un apoyo incondicional en cada etapa de mi vida, dándome las fuerzas para seguir adelante y todo lo que estuvo a su alcance para lograr llegar al sitio en el que hoy me encuentro, gracias a ellos por todo lo que hicieron por mí.

A mis hermanos Fernando y Alexis con quienes crecí; y siempre me brindaron el apoyo para seguir adelante en mis estudios y el cumplimiento de mis metas.

A mis familiares que siempre estuvieron pendientes de mí, guiándome por el largo camino estudiantil y formación profesional.

A todas las personas con quienes disfrute y pase los mejores momentos en Cuba, en especial a Juan Calo por ser un gran amigo, y brindarme su apoyo en todo el tiempo que duro muestra estadía y a Yaimara quien fue un gran apoyo e hizo que esta experiencia fuera del país fuera de lo mejor.

CHRISTIAN

AGRADECIMIENTO

En primer lugar a Dios por haberme guiado por el camino de la felicidad hasta ahora y me ha dado fortaleza para seguir adelante todos los días.

A mi familia que siempre estuvo apoyándome en mis ideas, y jugaron un papel importante en la toma de mis decisiones, su apoyo es de suma importancia en el desarrollo de este proyecto.

A mis profesores a quienes les debo gran parte de mis conocimientos, gracias a su paciencia y enseñanza me han preparado para un futuro competitivo y formándome como personas de bien.

El más sincero agradecimiento a la Universidad Técnica de Cotopaxi, en especial al Unidad Académica de Ingeniería Electromecánica, por brindarme la oportunidad de obtener una profesión y ser persona útil para la sociedad.

BERNARDO

DEDICATORIA

Le dedico este proyecto a Dios ya que me ha guiado por el camino del bien y me ha dado fortaleza para cumplir mis metas.

A mi padres Jorge y María quienes fueron los pilares fundamentales en mi vida ya que velaron por mi bienestar y educación siendo mi apoyo en todo momento y ayudándome a sobresalir en los retos que se me presentaban sin dudar ni un solo momento de mi capacidad, y así llegar a tener la mejor herencia que me pudieran dar, una profesión.

A mi esposa Nely y mi hijo Anderson, jamás hubiese podido conseguir lo que hasta ahora he conseguido; su tenacidad su confianza y lucha me dieron la fuerza necesaria para llegar a lugar en donde estoy ser un ingeniero.

A mis hermano José, Martha y Cristian con quienes pase los mejores años de mi vida ; y siempre me brindaron el apoyo para seguir adelante en mis estudios y culminar con éxito mis metas propuesta..

A mis grandes amigos Fausto y Danilo especialmente a Christian con quien disfrute y pase los mejores momentos de mi estadía en Cuba, siempre los llevaré en mi corazón

BERNARDO

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros **CALO CALO JUAN BERNARDO**, con cédula de ciudadanía No. **050308083-0**, de nacionalidad ecuatoriana, y **JÁCOME GUANOCHANGA CHRISTIAN EDUARDO** con cedula de ciudadanía No. **172187872-4** de nacionalidad ecuatoriana, actuando en nombre propio, en calidad de autores de la tesis denominada: **DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE HORNO PARA SECAR MADERA UTILIZANDO ENERGÍA ELÉCTRICA.**; autorizamos a las Universidades Técnica de Cotopaxi y Granma, para que utilicen y usen en todas sus formas el presente trabajo.

Como autores declaramos que la obra objeto de la presente autorización es de nuestra exclusiva autoría y nos detentamos la titularidad sobre la misma.

Calo Calo Juan Bernardo

Jácome Guanochanga Christian E.

M.Sc Ing. Roberto Beltrán Reyna

Ing. Joao L. Bárzaga Quesada

RESUMEN

Este trabajo tiene la finalidad de diseñar el prototipo de horno para secar madera mediante la modelación, para su posterior análisis por el método de los elementos finitos. Se realizó el análisis a través de la matriz morfológica la cual permite la obtención de la solución por la combinación sistemática de un conjunto de conceptos posibles. La matriz morfológica posibilitó la obtención de 24 principios de soluciones, de los cuales solo se analizaron dos de ellos teniendo en cuenta las condiciones de funcionamiento y la existencia de los materiales en los mercados, el principio seleccionado para la fabricación del prototipo fue la variante de concepto 1, la cual consiste en: Tubos cuadrados 80x80 mm + Resistencia con configuración S + Lana de vidrio + Caucho alta temperatura + Red eléctrica convencional.

Se realizó un análisis estático de la estructura metálica obteniendo el comportamiento de las tensiones para el peor de los casos encontrándose los valores de 0 a 2.308 MPa en los extremos de la estructura metálica, tanto los desplazamientos resultantes como los desplazamientos en el eje de compresión se encuentran en un rango de 0 a 0,064 mm, obteniendo los valores máximo en la zona central del piso de la estructura y factor de seguridad del modelo arrojó valores entre los límites de 0 a 100, quedando demostrado que los elementos que componen la armadura del prototipo soportan los esfuerzos a los que estará sometido durante el cumplimiento de su destino de servicio.

Palabras claves: Diseño, Elementos Finitos, Horno, Secado de madera.

ABSTRACT

This work has the purpose of designing the oven prototype to dry wood by means of the modeling, for its later analysis for the method of the finite elements. It was carried out the analysis through the morphological womb which allows the obtaining of the solution for the systematic combination of a group of possible concepts. The morphological womb facilitated the obtaining of 24 principles of solutions, of those which alone two of them were analyzed keeping in mind the operating conditions and the existence of the materials in the markets, the selected principle for the production of the prototype was the concept variant 1, which consists in: Tubes square 80x80 mm + Resistance with configuration S + Glass wool + Rubber discharge temperature + conventional electric Net.

It was carried out a static analysis of the metallic structure obtaining the behavior of the tensions for the worst in the cases being the securities from 0 to 2.308 MPa in the ends of the metallic structure, as much the resulting displacements as the displacements in the compression axis are in a range from 0 to 0,064 mm, obtaining the maximum securities in the central area of the floor of the structure and safe-deposit factor of the pattern threw securities among the limits from 0 to 100, being demonstrated that the elements that compose the armor of the prototype support the efforts to those that it will be subjected during the execution of its destination of service.

Keywords: Design, Finite elements, Oven, wooden Drying.

INDICE

| Contenido | Pág. |
|---|-------------|
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| CAPÍTULO I: ANTECEDENTES Y ESTADO ACTUAL DEL SECADO DE MADERA | 3 |
| 1.1 Generalidades del secado de madera. | 3 |
| 1.2 Proceso para secado de la madera. | 4 |
| 1.2.1 Secado al aire libre..... | 5 |
| 1.2.2 Secado artificial convencional en hornos..... | 6 |
| 1.2.3 Secado por condensación y deshumidificadores. | 9 |
| 1.2.4 Procesos especiales de secado. | 10 |
| 1.3 Movimiento migratorio del agua en la madera. | 14 |
| 1.4 Estructura de la madera..... | 15 |
| 1.4.1 Partes del tronco. | 15 |
| 1.4.2 Cortes de la madera. | 16 |
| 1.4.3 Tejidos principales de la madera. | 17 |
| 1.5 Introducción a los software CAD..... | 18 |
| 1.6 Propiedades de los materiales..... | 21 |
| CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS..... | 23 |
| 2.1 Procedimiento para diseñar el prototipo de horno para el secado de madera. | 23 |
| 2.2 Modelación de las piezas con sus dimensiones en el Software de diseño CAD..... | 23 |
| 2.3 Ensamble del modelo de horno para el secado de madera. | 24 |
| 2.4 Asignación de los materiales y sus propiedades a cada pieza..... | 24 |

| | |
|--|----|
| CAPÍTULO III: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS DEL PROTOTIPO DE HORNO PARA SECAR MADERA UTILIZANDO ENERGÍA ELÉCTRICA. | 25 |
| 3.1 Concepción de un principio de solución. | 25 |
| 3.2 Evaluación de la factibilidad del principio de solución. | 27 |
| 3.3 Concepción final del prototipo. | 29 |
| 3.3.1 Descripción dimensional de las piezas que componen el horno para secar madera. | 29 |
| 3.4 Propiedades físicas y mecánicas de los materiales de cada modelo de pieza. | 33 |
| 3.5 Análisis de las cargas y restricciones presentes en los modelos. | 35 |
| 3.6 Mallado del modelo. | 35 |
| 3.7 Análisis de los resultados obtenidos. | 36 |
| 3.8 Cálculo térmico de la pared del prototipo de horno. | 39 |
| CONCLUSIONES | 42 |
| RECOMENDACIONES | 43 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 44 |

INTRODUCCIÓN

El secado industrial de la madera constituye una de las etapas más importantes durante los procesos de preparación, ya que logrando niveles aceptables de humedad se pueden obtener productos finales que no posean contracciones y deformaciones que conlleven a defectos durante el cumplimiento de su destino de servicio. Los requerimientos dimensionales y cualidades de trabajabilidad exigidos para las maderas a procesar, son fundamentales para elevar la calidad de los artículos terminados. Es por ello que se debe garantizar la temperatura requerida para realizar el secado.

El avance de la ciencia y tecnología ha determinado que un producto terminado debe estar acorde a las necesidades del consumidor. En la actualidad los pequeños productores de madera en el cantón Salcedo perteneciente a la provincia de Cotopaxi en Ecuador, realizan el secado de forma artesanal empleando el secado natural como principal alternativa, lo que conlleva a que estos materiales no cuenten con un correcto procedimiento y tratamiento; por lo que no se logran los niveles de calidad requeridos que actualmente demandan las industrias madereras.

Para alcanzar la calidad del producto y mejorar el tiempo de entrega, la madera deberá someterse a un proceso de secado artificial que garantice altos niveles de aceptación. Por lo antes expuesto se define el siguiente problema científico:

Problema científico:

¿Cómo agilizar el proceso de secado de madera en el cantón Salcedo perteneciente a la provincia de Cotopaxi en Ecuador?

Hipótesis:

Si se diseña un prototipo de horno para secar madera mediante la utilización de energía eléctrica, se podrá suplir la demanda de las industrias madereras.

Objeto de la investigación:

Proceso de secado de madera.

Campo de acción:

Diseño del prototipo de horno para secar madera utilizando energía eléctrica.

Objetivos:

• **General:**

Diseñar el prototipo de horno para secar madera utilizando energía eléctrica.

• **Específicos:**

1. Determinar las características dimensionales apropiadas para el prototipo de horno.
2. Determinar el rango de temperatura en que debe de operar el prototipo de horno.
3. Seleccionar el tipo de material aislante del prototipo de horno.
4. Realizar el análisis por el método de los elementos finitos de la estructura metálica.

Métodos empleados:

- Método histórico – lógico, se estudiaron los antecedentes en el tema teniendo en cuenta las investigaciones preliminares y sus respectivos resultados obtenidos reflejándolo en la bibliografía.
- Método de inducción – deducción, para hacer referencias oportunas de lo particular a lo general y viceversa, según las circunstancias específicas de cada una de las etapas de trabajo lo requieran.
- Método de análisis y síntesis, se estudiaron, revisaron y analizaron estudios referentes al tema, al igual que el software a utilizar.
- Empíricos: Consulta a expertos que permitieron afianzar conocimientos y aclarar dudas acerca del uso de los software y dieron vías de solución al problema planteado.
- Revisión bibliográfica.

Resultados esperados:

Obtener el diseño del prototipo de horno para realizar el proceso de secado de madera utilizando energía eléctrica.

CAPÍTULO I: ANTECEDENTES Y ESTADO ACTUAL DEL SECADO DE MADERA

1.1 Generalidades del secado de madera.

La velocidad de transferencia de calor por medio de la conducción de temperatura ha demostrado que el secado siempre se ha realizado al aire libre, apilando de diferentes formas la madera, con el objetivo de que el aire arrastre la humedad en la superficie de cada una de las piezas, sin el auxilio de un equipo que permita acelerar el flujo del aire para acelerar este proceso. [Diemek, 2012]

Apilar la madera al aire libre, siempre que el clima sea adecuado y constante para obtener madera seca, es un procedimiento que requiere de mucho tiempo y por ende, la disponibilidad de las piezas de madera para ser utilizadas no es inmediata, lo que genera un incremento en los costos de operación. Un método, también de gran tradición para el secado de madera, ha sido los hornos a base de leña aprovechando de esta manera los subproductos de los árboles, dichos hornos se han ido tecnificando con el transcurso de los años, ahora con el alcance tan fácil de la tecnología es común encontrar lugares en donde se trabaja con hornos los cuales son alimentados por calderas, para las cuales utilizan cualquier tipo de carburante para su funcionamiento. [Secado De Madera, 2012]

La madera es un material ortotrópico encontrado como principal contenido del tronco de un árbol. La madera es transformada y utilizada por diferentes empresas con fines estructurales, ya que es un material muy resistente, y gracias a esta característica y a su abundancia natural es empleada ampliamente por los humanos, desde tiempos muy remotos. [Apple y Secap, 1993] Una vez cortada y secada, la madera se utiliza para muchas y diferentes aplicaciones. Artistas y carpinteros tallan y unen trozos de madera con herramientas especiales, para fines prácticos o artísticos. La madera es también, un material de construcción. [Diemek, 2012; Dulek. S, 2008]

El secado de la madera se ha convertido en un proceso vital para el desarrollo del sector maderero y del mueble de cualquier país, de hecho, la mejora continua es un tema obligado si se quiere competir nacional o internacionalmente con buenos productos. La industria, en este campo, enfrenta dos retos importantes a resolver: la

gran cantidad de tiempo y energía que consume el proceso de secado, y la ineficiencia en el proceso, relacionado con el contenido de humedad en la madera y las anomalías causadas por el alto contenido de agua, lo que conlleva a altos consumos energéticos durante los procesos de remanufactura por pérdidas de materia prima.[Diemek, 2012; Vasco, 2007]

La humedad en la madera responde a varios propósitos en el proceso de la pudrición. Hongos e insectos requieren de muchos procesos metabólicos. Los hongos, también proporcionan un medio de difusión para que las enzimas degraden su estructura. Cuando el agua entra en la madera, la microestructura se hincha hasta alcanzar el punto de saturación de la fibra (sobre un 30% del contenido de humedad en la madera). En este punto, cuando el agua está libre en las cavidades de las células de la madera, el hongo puede comenzar a degradarla. La hinchazón asociada con el agua se cree que hace a la celulosa más accesible a las enzimas de los hongos, aumentando la velocidad de pudrición de la madera. Además, la repetida adherencia del agua, la sequedad o la continua exposición con la humedad pueden dar a lugar a una lixiviación de los extractos tóxicos y de algunos preservantes de la madera, reduciendo la resistencia al daño.[Clodoaldo Sivipaucar, *et al.*, 2008; Fernández, 1998]

1.2 Proceso para secado de la madera.

El secado de la madera es parte del proceso de transformación de la materia prima (árboles) en productos terminados (tablones, tablillas, vigas, muebles, entre otros). La madera recién cortada contiene un alto porcentaje de humedad. Las paredes de las células se encuentran saturadas y liberan el agua retenida en las cavidades de la célula. Este proceso está en virtud de eliminar el agua libre y una gran proporción del agua es absorbida por las paredes de las células. Lo que se realiza utilizando algún método, ya sea por medio natural o utilizando alguna técnica con equipo específico.[Fuentes, 1996; [Http://onsager.unex.es/apuntes/termo/tema6.pdf](http://onsager.unex.es/apuntes/termo/tema6.pdf), 2007] Conforme se seca la madera el agua abandona las cavidades de la célula hasta liberarse del exceso de agua en sus paredes, esto es cuando comienza la contracción. La pérdida de agua se detiene al alcanzar el

equilibrio con la humedad relativa del entorno. A esto se le denomina equilibrio higroscópico.[Diemek, 2012] A continuación se hace referencia a los métodos de secado de madera más difundidos en las industrias madereras.

1.2.1 Secado al aire libre.

El sistema tradicional para el secado de la madera es el aire libre, en él se apilan las tablas de madera sobre listones, apilados con separaciones hasta de 45 cm. Normalmente estas pilas de madera se ubican separadas del piso y en lugares resguardados de la lluvia y del sol. Al exponer la madera a la acción de los factores climáticos de un lugar, el paso del aire a través de las pilas las va secando progresivamente. Estos factores son la temperatura, la humedad relativa de la atmósfera y el aire, que en constante movimiento, sirve de agente para establecer un equilibrio higroscópico entre el medio ambiente y la madera.[[Http://Www.Processheating.Com/Cda/Articleinformation/Drying_Files_Item/0](http://www.Processheating.Com/Cda/Articleinformation/Drying_Files_Item/0), 2008]

Comúnmente este es el sistema más utilizado, pero está en dependencia de los cambios climáticos, y sobretodo no es posible mantener control sobre su desarrollo, la duración de este proceso es lento el cual depende de varios factores como: características de la especie de madera, condiciones climáticas, la disposición y ubicación del apilado. Además, por este método es difícil que la madera llegue a contenidos de humedad menores que el contenido de humedad de equilibrio. [Fernández, 1998]

A continuación en la figura 1.1 se representa el secado al aire libre.



Fig. 1.1 Representación gráfica del proceso de secado al aire libre.

[[Http://www.fundamentosytecnologia.com/355adelsecado](http://www.fundamentosytecnologia.com/355adelsecado), 2008]

Ventajas del método:

1. Bajo costo de inversión inicial en equipos.[Vasco, 2007]
2. Bajo cubierta y con una buena distribución de las mismas, este método se puede utilizar como presecado, lo que disminuye el costo del secado artificial.[Vasco, 2007]

Desventajas del proceso:

1. Tiempo de duración del proceso de secado. [Vasco, 2007]
2. Es imposible llegar a contenidos de humedad bajos ($CH < 14\%$). [Vasco, 2007]
3. Es imposible controlar los factores que determinan el secado. [Vasco, 2007]
4. Tiene limitaciones para impedir la formación de defectos y daños. [Vasco, 2007]

1.2.2 Secado artificial convencional en hornos.

Debido a las deficiencias que presenta el secado natural, surge el secado artificial. Que por medio de aparatos e instalaciones especiales, se crean condiciones climáticas diferentes a las condiciones normales. El secado convencional se desarrolla en sitios cerrados, donde se generan climas artificiales progresivamente más cálidos y secos. Cada clima o etapa del secado se mantiene por un lapso de tiempo, de acuerdo a un programa de secado preestablecido. Los recintos cerrados

son conocidos como hornos o cámaras de secado, los que disponen de ventiladores u otros sistemas de inyección de aire, elementos de calefacción, humidificación, control y registro de las condiciones ambientales. Este sistema es el más generalizado y se dispone de varias formas, de acuerdo a la temperatura y las instalaciones. [Http://Www.Technology_Operaciones-Basicas.Ec, 2008], a continuación se relacionan tales clasificaciones:

I. Secado a bajas temperaturas.

Conocido también como presecado, donde la madera se somete a temperaturas inferiores a 45 °C. La energía proviene del medio ambiente, de los rayos solares o de cualquier fuente artificial, de cualquier forma el aire cálido es obligado a pasar horizontalmente por la madera. Este sistema casi siempre tiene como finalidad reducir el contenido de humedad de la madera desde el estado verde hasta un 20 a 30%, para evacuar de esta manera toda el agua libre y como máximo una tercera parte del agua fija.[Clodoaldo Sivipaucar, *et al.*, 2008]

Ventajas:

1. Reducción de costos de transporte.[Encarta, 2008]
2. Aumenta la productividad de las cámaras.[Encarta, 2008]
3. Disminución de defectos causados por el secado al aire libre.[Encarta, 2008]
4. Disminuye hasta cinco veces el tiempo de secado que se requeriría al aire libre.[Encarta, 2008]

Desventajas:

1. Todavía no se llega a obtener un contenido de humedad lo suficientemente bajo.[Encarta, 2008]

II. Secado a temperaturas normales.

Este secado se realiza a temperaturas que varían entre 45 y 90 °C, este secado se realiza dentro de cámaras u hornos, donde se controlan parámetros como: temperatura, humedad relativa y velocidad del aire. Para calentar estas cámaras se

pueden utilizar varias fuentes térmicas tales como: vapor de agua, agua caliente, quemadores a base de combustibles derivados del petróleo y la energía eléctrica.[[Http://Revista.Eia.Edu.Co/Articulo5/Art105.Pdf](http://Revista.Eia.Edu.Co/Articulo5/Art105.Pdf), 2007]

Las instalaciones para este secado consisten en:

1. Cámaras de secado, debidamente aisladas del ambiente natural.[[Http://Www.Monografias.Com/Trabajos15/Operaciones-Secado/Operacion-Secado.Shtml](http://Www.Monografias.Com/Trabajos15/Operaciones-Secado/Operacion-Secado.Shtml), 2007]
2. Sistemas de ventilación, que generan la circulación del aire al interior de la cámara.[[Http://Www.Monografias.Com/Trabajos15/Operaciones-Secado/Operacion-Secado.Shtml](http://Www.Monografias.Com/Trabajos15/Operaciones-Secado/Operacion-Secado.Shtml), 2007]
3. Sistema de calefacción, para el calentamiento del aire. Dentro de los cuales se dispone de algunas fuentes de energía como: vapor a baja presión, vapor a mediana y alta presión, agua caliente a baja presión, calentamiento directo con desperdicios de madera, calefacción eléctrica, calefacción en base de aceite térmico.[[Http://Www.Monografias.Com/Trabajos15/Operaciones-Secado/Operacion-Secado.Shtml](http://Www.Monografias.Com/Trabajos15/Operaciones-Secado/Operacion-Secado.Shtml), 2007]
4. La construcción en si como: los cimientos, el piso, las paredes, el techo, el falso techo, los pasillos, las puertas, y las cámaras metálicas.[[Http://Www.Monografias.Com/Trabajos15/Operaciones-Secado/Operacion-Secado.Shtml](http://Www.Monografias.Com/Trabajos15/Operaciones-Secado/Operacion-Secado.Shtml), 2007]
5. Equipamiento de las cámaras de secado con: medios de calentamiento, dispositivos de control de la temperatura y de la humedad relativa.[[Http://Www.Monografias.Com/Trabajos15/Operaciones-Secado/Operacion-Secado.Shtml](http://Www.Monografias.Com/Trabajos15/Operaciones-Secado/Operacion-Secado.Shtml), 2007]

III. Secado a altas temperaturas.

Este tipo de secado es utilizado en países donde la demanda de producción es demasiado grande. Este método utiliza temperaturas mayores a los 100 °C.

Las principales características de la cámara que se hace necesario para implementar este método son:

- I. Metales anticorrosivos.[Estequiometría Del Secado, 2008]
- II. Mayor capacidad de ventiladores.[Estequiometría Del Secado, 2008]
- III. Mayor eficiencia térmica.[Estequiometría Del Secado, 2008]
- IV. Apilado igual que el secado convencional.[Estequiometría Del Secado, 2008]

1.2.3 Secado por condensación y deshumidificadores.

Este sistema consiste en una máquina de refrigeración que forma parte de la unidad de secado, la cual funciona como sistema de calentamiento del aire (compresor), como deshumidificador (unidad de secado por condensación) y como secador con intercambio parcial de aire (como un secador convencional). [Secado De Madera, 2012]

El secado se realiza por medio de un flujo continuo de aire seco, que circula a través de las pilas de madera con una temperatura que varía progresivamente entre la de la cámara y 45 °C, el aire que pasa absorbe la humedad evaporada de la madera la cual es expulsada o succionada por la máquina de refrigeración que la condensa, luego el agua es evacuada al exterior de la cámara. [Nonhebel y Moss, 1979]

Ventajas:

1. Utilización eficaz del calor disponible.[Nonhebel y Moss, 1979]
2. Inversión inicial y costos de mantenimiento bajos.[Nonhebel y Moss, 1979]
3. Diversidad de especies que se pueden secar.[Nonhebel y Moss, 1979]
4. Método muy económico.[Nonhebel y Moss, 1979]

Desventajas:

1. Mayor tiempo de secado.[Nonhebel y Moss, 1979]
2. El sistema no permite acondicionamiento final.[Nonhebel y Moss, 1979]
3. Rendimientos y costos de secado menores que el secado convencional.
[Nonhebel y Moss, 1979]

1.2.4 Procesos especiales de secado.

Existen diversos métodos para el secado de madera, sin embargo también han surgido varios métodos especiales para lograr el secado de la madera, los cuales se detallan de la siguiente manera:

I. Métodos químicos.

1. **Secado mediante solventes**, que consiste en someter a la madera a la acción de un líquido que tiene alta afinidad con el agua. El solvente más utilizado es la acetona, que puede aplicarse mediante aspersión o por inmersión. El agua tiende a mezclarse con el solvente por la afinidad de las dos sustancias. De esta manera es posible extraer la humedad y secar la madera.[Secado De Madera, 2012]

Este sistema es una alternativa técnica y económicamente aceptable cuando la remoción de extractivos, como la resina mejora la calidad de la madera y estos subproductos tienen valor comercial. Este método es poco recomendable para maderas impermeables.[Secado De Madera, 2012]

2. **Secado con sales**, se refiere a la utilización de sustancias higroscópicas que actúan como reguladores de la tasa de evaporación de la humedad y, consecuentemente, alivian los esfuerzos de tensión.[Zaragoza, 2008]

Es un tratamiento que mejora las condiciones de secado. Las sales mayormente utilizadas son la sal común, glicoldietileno, melazas y otros azúcares de bajo grado, urea, urea formaldehído, etc. Se puede aplicar mediante inmersión, brocha o remojo.[Zaragoza, 2008]

Con este método se reducen los defectos ocasionados por la contracción de la madera, como son las grietas superficiales. Esto se debe a que las sales bajan las presiones de vapor conservando una humedad más alta en la superficie, más alta que la normal.[Cartagena, 1989]

Ventajas:

1. El método por solventes, es rápido y se pueden obtener algunos subproductos comerciales.[Cartagena, 1989]
2. El tratamiento con sales, no tiene ventajas que justifiquen su utilización, ya que

representa un mayor costo y una mayor duración en el tiempo.[Cartagena, 1989]

II. Secado en líquidos oleosos calientes.

Consiste en sumergir la madera dentro de un líquido repelente de la humedad, que tenga un punto de ebullición más alto que el del agua y que se encuentre a una temperatura tal que se produzca la evaporación de la humedad contenida en la madera. Se efectúa en tres etapas: [Dulek. S, 2008]

1. Periodo de calentamiento (> 100 °C). [Dulek. S, 2008]
2. Periodo de evaporación del agua libre a una temperatura máxima de 100 °C. [Dulek. S, 2008]
3. Periodo de evaporación del agua fija. Esta etapa se desarrolla por difusión del agua retenida en las paredes celulares; una vez evacuada toda el agua libre.[Dulek. S, 2008]

Ventajas:

1. Un método rápido de secamiento[Dulek. S, 2008]

Desventajas:

1. La madera secada con este método sufre endurecimiento y es imposible aliviar los esfuerzos durante el proceso.[Dulek. S, 2008]
2. Este método no permite obtener humedades finales uniformes.[Dulek. S, 2008]
3. Solo es recomendable en ciertos productos como traviesas para líneas de ferrocarril.[Dulek. S, 2008]

III. Secado al vacío.

La cámara consiste en un cilindro metálico colocado horizontalmente, provisto de un fondo y de una puerta hemisférica. Este tipo de construcción limita la dimensión de la cámara de secado al vacío a unos 15 a 25 m³ de capacidad útil debido a la elevada inversión que representa la construcción de autoclaves más voluminosas.[[Http://Onsager.Unex.Es/Apuntes/Termo/Tema6.Pdf](http://Onsager.Unex.Es/Apuntes/Termo/Tema6.Pdf), 2007]

Los elementos de este tipo de secadores son:

1. Una cámara con los diferentes elementos mecánicos y en la cual se coloca la

carga de madera.[[Http://Onsager.Unex.Es/Apuntes/Termo/Tema6.Pdf](http://Onsager.Unex.Es/Apuntes/Termo/Tema6.Pdf), 2007]

2. Un dispositivo de calefacción.

[[Http://Onsager.Unex.Es/Apuntes/Termo/Tema6.Pdf](http://Onsager.Unex.Es/Apuntes/Termo/Tema6.Pdf), 2007]

3. Un dispositivo para la eliminación del agua.

[[Http://Onsager.Unex.Es/Apuntes/Termo/Tema6.Pdf](http://Onsager.Unex.Es/Apuntes/Termo/Tema6.Pdf), 2007]

4. Instrumentos de control y regulación, y en particular una bomba de vacío.

[[Http://Onsager.Unex.Es/Apuntes/Termo/Tema6.Pdf](http://Onsager.Unex.Es/Apuntes/Termo/Tema6.Pdf), 2007]

Ventajas:

1. La acción sobre la temperatura y la presión del ambiente, acelera la circulación del agua al interior de la madera.[Fuentes, 1996]

2. Por disminución del punto de ebullición del agua, se incrementa la tasa de evaporación del agua de la superficie de la madera.[Fuentes, 1996]

3. Se reduce considerablemente el tiempo de secado.[Fuentes, 1996]

4. Se reportan bajas diferencias en el contenido de humedad final entre el centro y la superficie, así como la reducción de tensiones internas.[Fuentes, 1996]

En las figuras 1.2, 1.3 y 1.4 se representan gráficamente las partes que componen el equipamiento para el secado al vacío.

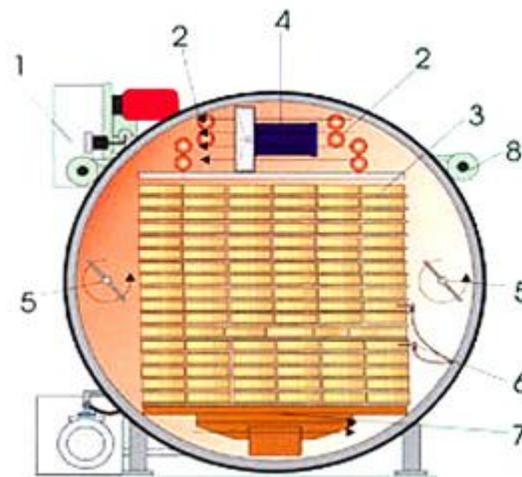


Fig. 1.2 Secadora al vacío para madera (vista lateral). 1. Panel de control 2.Batería agua caliente. 3. Pila de madera. 4. Ventilador de flujo alterno. 5. Turbulencia. 6. Sonda.7. Carro motorizado de carga. 8. Condensador.

[Www.Cismadera.Com/Downloads/Secadon11.Pdf, 2010]

Ingeniería Electromecánica

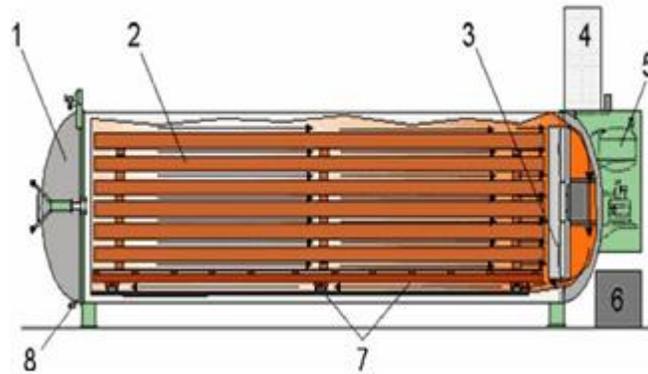


Fig. 1.3 Secadora al vacío para madera (vista frontal). 1. Puerta. 2. Pila de madera. 3. Electro ventilador. 4. Cuadro eléctrico. 5. Generador de vapor. 6. Bomba de vacío. 7. Carro. 8. Válvula de descarga [Www.Cismadera.Com/Downloads/Secadon11.Pdf, 2010]



Fig. 1.4 Secadora al vacío. [Www.Cismadera.Com/Downloads/Secadon11.Pdf, 2010]

Desventajas:

1. Los equipos ofrecen generalmente una baja capacidad en el volumen de madera a secar. [Fuentes, 1996]
2. Los aparatos que se emplean y el manejo del ciclo de secado presentan una cierta complejidad. [Fuentes, 1996]

IV. Secado con vapores orgánicos.

Este sistema consiste en exponer la madera dentro de una autoclave a la acción de vapores producidos por líquidos orgánicos como el xilol y el percloroetileno. Los

Ingeniería Electromecánica

vapores calientes se condensan en la superficie de la madera calentándola y provocando la evaporación del agua libre. La tasa de secado se incrementa a medida que la madera se calienta y se forma un gradiente de humedad de afuera hacia adentro, debido a que el agua se evapora en las superficies. [Http://Www.Ine.Gob.Mx/Ueajei/Publicaciones/Libros/283/Cap1.Html, 2008a]

Ventajas:

1. Dentro de la autoclave se puede inmunizar la madera, lo cual ahorra costos de manipuleo. [Http://Www.Ine.Gob.Mx/Ueajei/Publicaciones/Libros/283/Cap1.Html, 2008b]

Desventajas:

1. Las instalaciones son muy costosas.
[Http://Www.Ine.Gob.Mx/Ueajei/Publicaciones/Libros/283/Cap1.Html, 2008b]
2. Se requiere de mano de obra especializada.
[Http://Www.Ine.Gob.Mx/Ueajei/Publicaciones/Libros/283/Cap1.Html, 2008b]

1.3 Movimiento migratorio del agua en la madera.

En forma simple, se puede explicar el proceso de secado como el resultado del movimiento de la humedad, desde el interior hasta la superficie húmeda del producto, donde se evapora y escapa hacia el medio circundante.[Jara y Orozco, 2004]

El agua contenida en la madera puede encontrarse bajo tres formas diferentes:

1. Agua libre o absorbida.
2. Agua de adsorción.
3. Agua de constitución.

1. **Agua libre o absorbida:** Es el agua que se encuentra depositada en las capas superficiales de la madera. No tiene ninguna vinculación con las moléculas de la sustancia absorbente, salvo que las utiliza como estructura de apoyo. [Jara y Orozco, 2004 ; León y Gómez, 2005]

2. **Agua de adsorción:** Se encuentra unida más firmemente a la materia seca. Cuando el contenido de humedad es menor, más fuerte es la unión entre la sustancia y el agua, y menor la influencia que ésta ejercerá sobre la atmósfera circundante.[Saltos, 1985]

3. **Agua de constitución:** Es el agua que forma parte de la materia celular del producto, y no es posible removerla sin desnaturalizar el mismo.[Parada, 2007]

1.4 Estructura de la madera.

La madera, como parte fundamental del tronco de los árboles tiene funciones de sostén de ramas y transporte de alimentos. Esto le confiere al material, características como porosidad (presencia de espacios vacíos) y elevada resistencia mecánica en relación con su peso, lo que origina que sus propiedades se manifiesten en diferente magnitud según las direcciones de corte.[Salvat, 2008] En la figura 1.5 se muestran las partes del tronco de un árbol.

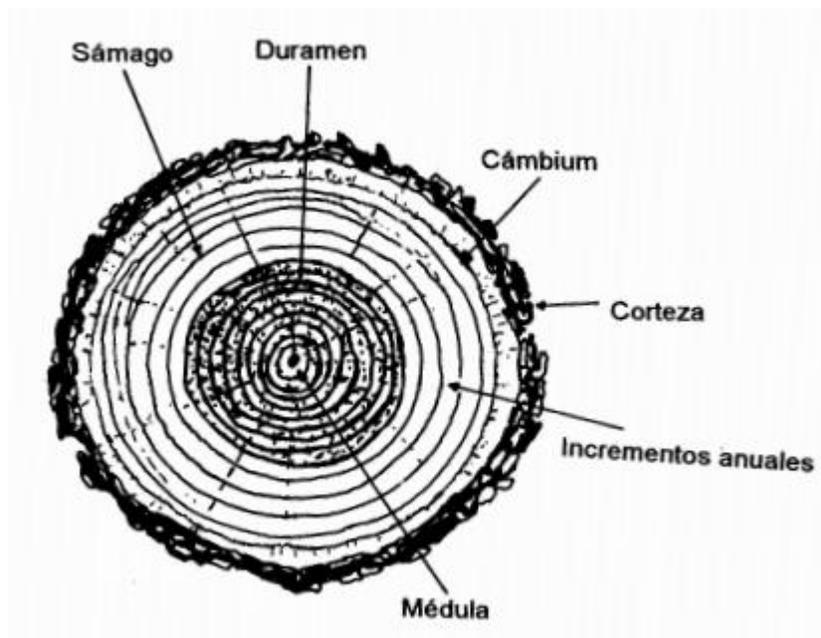


Fig. 1.5 Partes del tronco de un árbol. [Salvat, 2008]

1.4.1 Partes del tronco.

En la figura anteriormente representada se evidencian las partes del tronco que serán descritas en este epígrafe.

Corteza es la cubierta protectora exterior y está conformada por tejidos muertos; sirve, además para proteger al árbol de agentes externos que causan daños, para evitar la evaporación del agua del tronco. [Engelhart, *et al.*, 2012]

El cambium es el tejido generatriz ubicado entre la corteza interna y el sámago, produce la corteza hacia afuera y la madera hacia adentro. Si se daña el cambium, la parte afectada muere. [Engelhart, *et al.*, 2012]

El sámago o jante parte viva de la madera generalmente de color claro, está situada entre el cambium y el duramen. Su contenido de humedad es mayor que el del duramen pero, seca más rápidamente que éste. [Engelhart, *et al.*, 2012]

El duramen o madera de corazón es la parte interna del tronco conformada por tejido muerto. Por lo general, esta madera es más oscura que la albura y su delimitación no siempre está bien definida. [Engelhart, *et al.*, 2012]

La médula es el núcleo central de un tronco. La madera cercana a la médula tiende a secar con más defectos que el resto del leño. [Engelhart, *et al.*, 2012]

Anillos de crecimiento son capas concéntricas de engrosamiento diametral, visibles en muchas especies, formadas por acción del cambium. [Engelhart, *et al.*, 2012]

1.4.2 Cortes de la madera.

Los cortes en un tronco pueden ser de cuatro tipos:

1. Corte transversal o sea de dirección perpendicular al eje del tronco, se produce, por ejemplo, al voltear un árbol o seccionar un tronco. [Engelhart, *et al.*, 2012]

2. Corte tangencial cuando se realiza tangencialmente a los anillos de crecimiento del árbol. Es el corte en el que mejor se aprecia el vetado o figura de la madera. [Engelhart, *et al.*, 2012]
3. Corte radial cuando tiene dirección paralela a los radios. Es el corte más estable de la madera ante cambios de humedad del material. [Engelhart, *et al.*, 2012]
4. Corte oblicuo cuando se realiza de manera intermedia entre el corte tangencial y el corte radial. [Engelhart, *et al.*, 2012]

En la figura 1.6 se puede observar los cuatro tipos de corte antes mencionados.

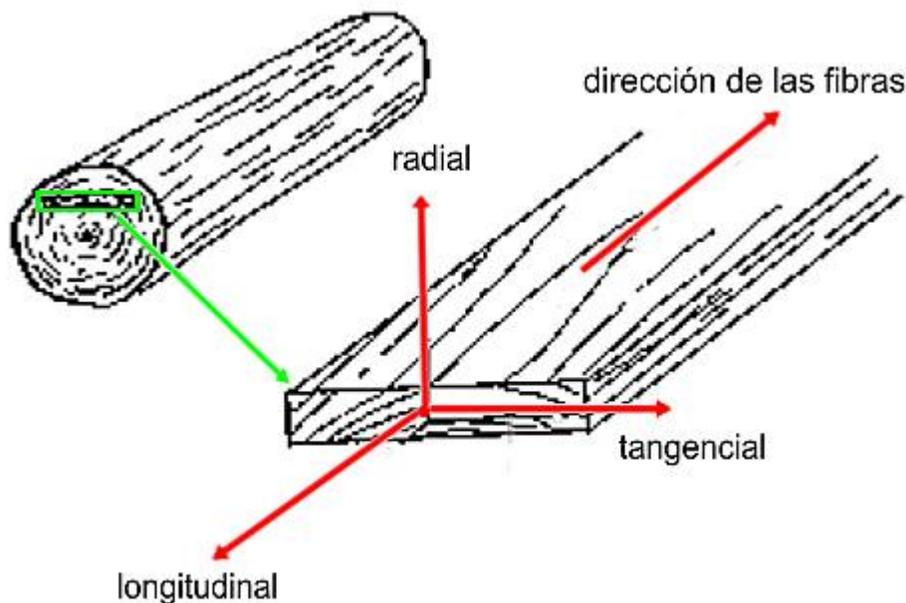


Fig. 1.6 Representación gráfica de los cortes en la madera.

1.4.3 Tejidos principales de la madera.

Al realizar un corte en la madera y observándolo con un microscopio, se puede distinguir claramente los siguientes tejidos básicos:

Poros, se denomina así al corte transversal de los vasos. Son de diferente tamaño y pueden estar o no agrupados. [Engelhart, *et al.*, 2012]

Parénquima, es un tejido de reserva que puede ser de dos tipos: longitudinal, un tejido blando y claro, y los radios que se dirigen al centro del tronco.

Constituyen zonas de fallas donde se originan las grietas y rajaduras de la madera, durante el secado. [Engelhart, *et al.*, 2012]

Fibras, tejido que cumple la función de sostén del árbol; sus extremos son ahusados y el interior es hueco. Las paredes son de grosor variable, según la densidad de la madera. [Engelhart, *et al.*, 2012]

La madera se clasifica en base a su contenido de humedad, tal como lo muestra la siguiente tabla:

Tabla 1.1 Porcentaje de humedad de acuerdo a su aplicación.[Jara y Orozco, 2004]

| Aplicación | % humedad |
|--|-----------|
| Muebles, carpintería e instalaciones internas en ambientes con calefacción central. | 9 - 10 % |
| Manufactura similar en ambientes calefaccionados con estufas corrientes. | 10 - 12 % |
| Ventanas, puertas exteriores, cortinas, carpintería con un lado en contacto con el exterior. | 12 - 15 % |
| Tirantearía, estructura de techos sin contacto exterior, con ambiente calefaccionado. | 14 - 16 % |
| Maderas destinadas a usos al exterior. | 14 – 17 % |
| Encofrados y similares. | 15– 18 % |

1.5 Introducción a los software CAD.

El diseño ha sido a lo largo de la historia el cálculo y análisis a la solución de un determinado problema teniendo como producto final una imagen gráfica. Esta imagen gráfica o dibujo por métodos tradicionales se elabora mediante papel y lápiz; con la informatización ascendente que se viene experimentando desde la década de los 70 surge una ciencia llamada gráfica por computadora agrupando en ella varias ramas de los efectos gráficos aplicados a la computación los cuales han ido expandiéndose en la actualidad. Una de estas ramas viene ligada al diseño y tiene por nombre diseño asistido por computadora o CAD. Para ello se han creado

softwares encargados de modelar los diseños teniendo un amplio campo en la actualidad tanto en dos como en tres dimensiones. Son muchos los softwares especializados en el mundo del diseño mecánico cada uno con ciertas ventajas y desventajas como son compatibilidad y transferencias de datos, personalización, velocidad y comodidad para el diseñador, etc. Teniendo como aplicaciones fundamentales:

- Diseño conceptual y de detalle.
- Generación de planos.
- Ensamblajes.
- Catálogo de piezas normalizadas.
- Definición de tolerancias.
- Representación realista (texturas).
- Diseño de superficies.
- Creación de matrices.
- Piezas laminadas.
- Conjuntos soldados.
- Animaciones.

Las tendencias actuales de los sistemas CAD es que existen en el siglo XXI más de dos millones de usuarios en el mundo que utilizan CAD 2D conociéndose como los más relevantes calificados entre los software CAD de bajo rango están el AutoCAD y el MicroStation Modeler. Existen otros tres millones de usuarios que utilizan CAD 3D cumpliendo con las exigencias de la ingeniería moderna. Algunos de estos softwares son el Solid Edge, Mechanical Desktop, Solid Works, Catia (P1), ProEngineer Foundation, I-DEAS ArtisanPackage e Inventor calificándose todos ellos entre los de rango medio. Entre los softwares CAD 3D de alto rango se encuentran el ProEngineer, Catia (P2), I-DEAS, y Unigraphics.[Lastre, 2010]

Solid Works.

El Solid Works, es el paquete de modelado geométrico más popular en el diseño mecánico hoy en día, además de ser uno de los más completos aplicado en la rama de la mecánica. Reconocidas firmas en el mundo lo utilizan. De ahí el hecho de ser

una potente herramienta para el diseño paramétrico. Se considera que este software paramétrico junto a los otros es capaz de aumentar el rendimiento de diseño (comparado con el AutoCAD) hasta en un 40%[Calzadilla, 2005]. En encuesta realizada a más de 21,000 usuarios CAD se puede apreciar la aceptación del software (ver figura 1.15).

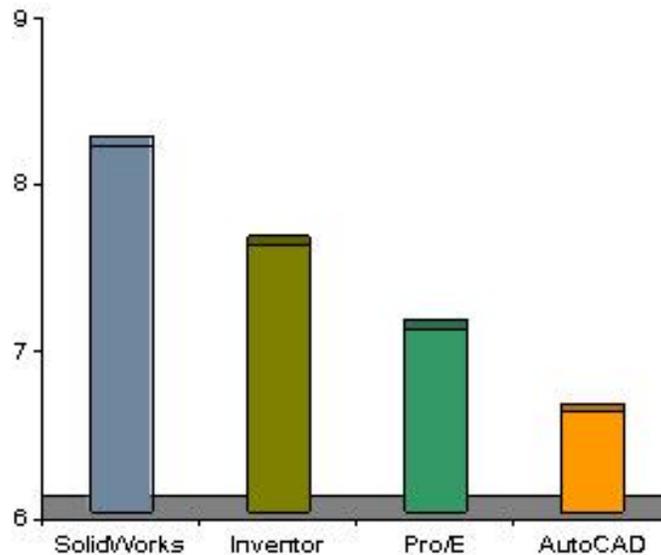


Fig. 1.15 Clasificación de aceptación de los usuarios CAD.[Simon Management Group, 2005].

El diseño del prototipo de horno se realizó por medio del software Solid Works. El software utiliza el método de elementos finitos. Este método es aceptado como el método de análisis estándar debido a su generalidad y la idoneidad para la aplicación informática. El método de elementos finitos divide el modelo en muchos pedazos pequeños de formas simple llamados elementos efectivos, sustituyendo un problema complejo por muchos problemas sencillos que se deben resolver simultáneamente. Los elementos comparten puntos comunes llamados nodos. El software divide al modelo en partes pequeñas este proceso se llama mallado.

Cada nodo está completamente descrito por una serie de parámetros en función del tipo de análisis y el elemento utilizado. Para el análisis estructural, la respuesta de un nodo se describe, en general, por tres traslaciones y tres rotaciones, llamados grados de libertad. El software formula las ecuaciones que rigen el comportamiento

de cada elemento teniendo en cuenta la conectividad con otros elementos. Estas ecuaciones refieren su respuesta a las propiedades del material conocido, las restricciones y cargas. A continuación el programa organiza las ecuaciones en un gran conjunto de sistemas de ecuaciones algebraicas y resuelve las incógnitas. En el análisis de esfuerzo, por ejemplo, el solver encuentra los desplazamientos en cada nodo y a continuación el programa calcula la deformación y el esfuerzo final.
[[Http://Www3.Espe.Edu.Ec:8700/Bitstream/21000/300/8/T-Espe-026443-4.Pdf](http://www3.espe.edu.ec:8700/bitstream/21000/300/8/T-Espe-026443-4.pdf)]

1.6 Propiedades de los materiales.

Al seleccionar los materiales para los productos, primero se consideran sus propiedades mecánicas, físicas y químicas.

Propiedades mecánicas: Son aquellas que expresan el comportamiento de los metales frente a esfuerzos o cargas que tienden a alterar su forma como son:

Resistencia: Capacidad de soportar una carga externa si el metal debe soportarla sin romperse se denomina carga de rotura y puede producirse por tracción, por compresión, por torsión o por cizallamiento, habrá una resistencia a la rotura (kg/mm^2) para cada uno de estos esfuerzos.

Dureza: Propiedad que expresa el grado de deformación permanente que sufre un metal bajo la acción directa de una carga determinada. Los ensayos más importantes para designar la dureza de los metales, son los de penetración, en que se aplica un penetrador (de bola, cono o diamante) sobre la superficie del metal, con una presión y un tiempo determinados, a fin de dejar una huella que depende de la dureza del metal, los métodos más utilizados son los de Brinell, Rockwell y Vickers.

Elasticidad: Capacidad de un material elástico para recobrar su forma al cesar la carga que lo ha deformado. Se llama límite elástico a la carga máxima que puede soportar un metal sin sufrir una deformación permanente. Su determinación tiene gran importancia en el diseño de toda clase de elementos mecánicos, ya que se debe tener en cuenta que las piezas deben trabajar siempre por debajo del límite elástico, se expresa en kg/mm^2 .

Tenacidad: Resistencia a la rotura por esfuerzos de impacto que deforman el metal. La tenacidad requiere la existencia de resistencia y plasticidad.

Plasticidad: Capacidad de deformación permanente de un metal sin que llegue a romperse.

Fatiga: Si se somete una pieza a la acción de cargas periódicas (alternativas o intermitentes), se puede llegar a producir su rotura con cargas menores a las que producirían deformaciones.

Fluencia: Propiedad de algunos metales de deformarse lenta y espontáneamente bajo la acción de su propio peso o de cargas muy pequeñas. Esta deformación lenta, se denomina también creep.

A continuación debe tenerse en cuenta las propiedades físicas de los materiales como son:

Calor específico: Es la cantidad de calor necesaria para elevar en 1°C la temperatura de 1 kg de determinada sustancia. El calor específico varía con la temperatura. En la práctica se considera el calor específico medio en un intervalo de temperaturas.

Dilatación: aumento de tamaño de los materiales, a menudo por efecto del aumento de temperatura.

Punto de fusión: Es la temperatura a la cual un material pasa del estado sólido al líquido, transformación que se produce con absorción de calor.

Peso específico: El peso específico puede ser absoluto o relativo: el primero es el peso de la unidad de volumen de un cuerpo homogéneo. El peso específico relativo es la relación entre el peso de un cuerpo y el peso de igual volumen de una sustancia tomada como referencia; para los sólidos y líquidos se toma como referencia el agua destilada a 4°C.

[[Http://Www.Utp.Edu.Co/~Publio17/Propiedades.Htm#Inicio](http://www.Utp.Edu.Co/~Publio17/Propiedades.Htm#Inicio), 2009]

CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Procedimiento para diseñar el prototipo de horno para el secado de madera.

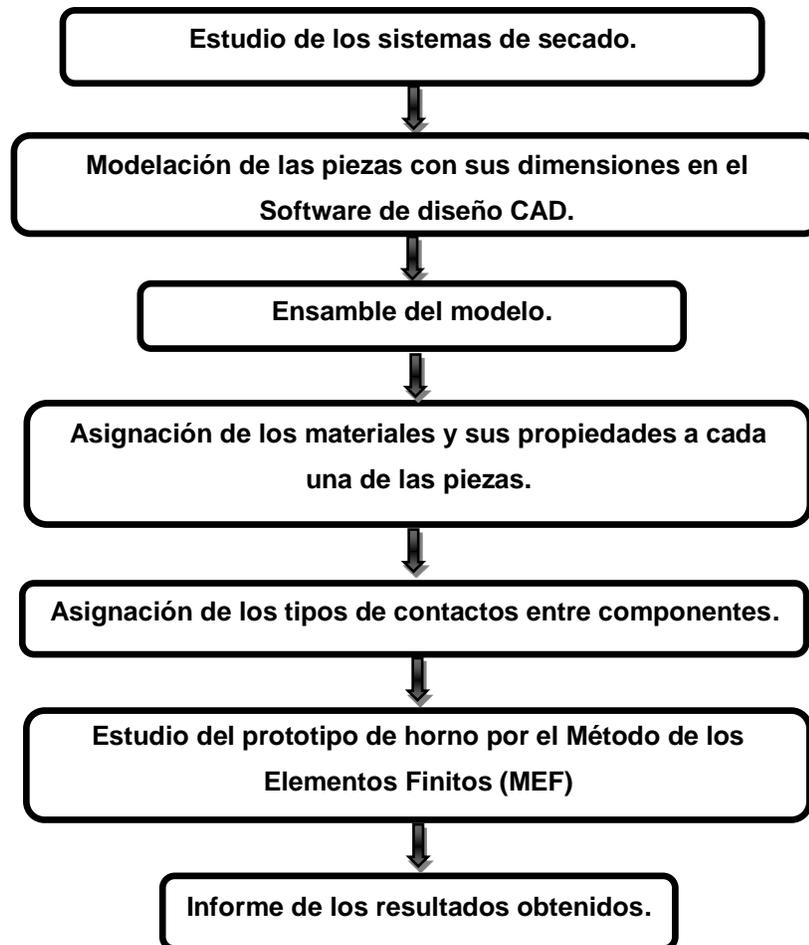


Fig. 2.1 Diagrama de flujo para el diseño del prototipo de horno para el secado de madera.

2.2 Modelación de las piezas con sus dimensiones en el Software de diseño CAD.

Durante la modelación del prototipo se hizo necesario el empleo del software de diseño asistido por computadora Solid Works Premium en su versión 2010, ya que es este una potente herramienta de diseño utilizada a nivel mundial. Con la ayuda de dicho software se modelaron en 3D (3 Dimensiones) cada uno de los elementos que forman parte del prototipo. Por lo tanto las piezas que conformaron

definitivamente el prototipo son las siguientes: estructura metálica, chapas metálicas, junta de la puerta, aislante térmico, resistencia eléctrica.

2.3 Ensamble del modelo de horno para el secado de madera.

Durante el proceso de ensamble de cada una de las partes que forman parte del modelo del prototipo se empleó el módulo de ensamble del software Solid Works Premium 2010, definiendo las relaciones de posición que están presente entre cada uno de los elementos que guardan una relación directa entre sí, para de esta manera lograr el ensamble total del prototipo.

2.4 Asignación de los materiales y sus propiedades a cada pieza.

Una vez logrado el ensamble del prototipo de horno, se procede a la asignación de los materiales con las propiedades mecánicas que caracterizan a cada una de las piezas que conforman el prototipo de horno, a continuación de un estudio previo de cada material. Todas estas designaciones bajo las condiciones de la norma AISI (*American Iron and Steel Institute*) como se muestra en la tabla 2.1.

Tabla 2.1 Materiales empleados en cada componente.[Aisi, 2012]

| Componentes | Material empleado |
|-----------------------|----------------------------|
| Estructura metálica | AISI 1020 |
| Chapas metálicas | AISI 321 |
| Junta de la puerta | Caucho de alta temperatura |
| Aislante térmico | Lana de vidrio |
| Resistencia eléctrica | Nicromo 80-20 |

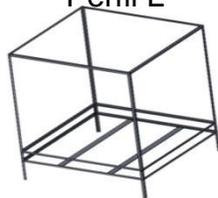
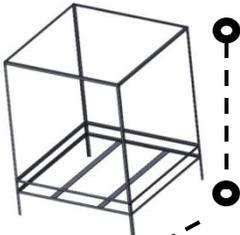
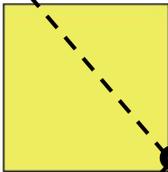
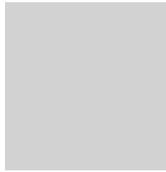
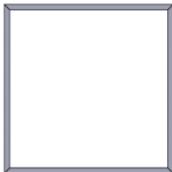
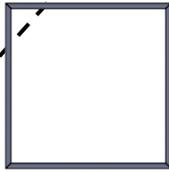
CAPÍTULO III: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS DEL PROTOTIPO DE HORNO PARA SECAR MADERA UTILIZANDO ENERGÍA ELÉCTRICA.

En el presente capítulo se presentan los elementos esenciales que se tienen en cuenta durante el proceso de diseño del prototipo de horno para secar madera utilizando energía eléctrica. Los resultados se han obtenido de la modelación de todos los componentes del prototipo empleando el software SolidWorks 2010, se relacionan los materiales y métodos definidos en el capítulo anterior.

3.1 Concepción de un principio de solución.

El proceso de búsqueda de los principios de solución para lograr un prototipo de hornos se realizó a través de una matriz morfológica (Tabla 3.1), la cual permite la obtención de la soluciones por la combinación sistemática de un conjunto de conceptos posibles. Para la estructura se tuvieron en cuenta dos principios de solución, una utilizando perfiles L de alas iguales y otra con tubos de cuadrado de 80x80mm. Para la resistencia eléctrica a utilizar se analizaron dos configuraciones consistentes en: tipo "S" y "Espiral". En el caso de los aislantes térmicos se tuvo en cuenta tres posibles soluciones, las cuales consisten en: poliuretano, lana de vidrio y espuma flex. El caucho de alta y baja resistencia a la temperatura son las variantes analizadas en cuanto a las juntas de hermeticidad de la puerta. Mientras que como sistemas de suministro de energía eléctrica se valoró la variante de energía eléctrica convencional. Quedando lo anteriormente mencionado, expuesto en la tabla 3.1.

Tabla 3.1 Matriz morfológica desarrollada para el prototipo de horno para secado de madera.

| Denominación | Soluciones | | | |
|-----------------------|--|---|--|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Estructura | <p>Perfil L</p>  | <p>Tubos 80x80 mm</p>  | | |
| Resistencia eléctrica | <p>Resistencia con configuración S</p>  | <p>Resistencia en espiral</p>  | | |
| Aislante térmico | <p>Poliuretano</p>  | <p>Lana de vidrio</p>  | <p>Espuma Flex</p>  | |
| Junta de puerta | <p>Caucho alta temp.</p>  | <p>Caucho de baja temp.</p>  | | |

| | | | | |
|--|---|--|--|--|
| Sistema de suministro de energía eléctrica | Red eléctrica convencional | | | |
| | Combinaciones de los principios de solución | | | |

Una vez establecidos los diferentes principios de solución para desarrollar el prototipo de horno, se calculó el número total de combinaciones posibles de conceptos, a partir de la ecuación (3.1)

$$TCS = \prod_{p=1}^{p_{MAX}} NúnSol \tag{3.1}$$

$$TCS = 2*2*3*2*1$$

$$TCS = 24 \text{ posibles conceptos}$$

Se obtienen 24 posibles conceptos, como soluciones teóricas para el caso que se analiza del prototipo de horno para secar madera.

3.2 Evaluación de la factibilidad del principio de solución.

En la Tabla 3.2 se muestran los conceptos factibles para realizar el diseño básico y de detalle del prototipo de horno para secar madera

Tabla 3.2 Soluciones factibles del prototipo de horno para secar madera.

| | Soluciones | | | |
|--|---|-----------------------------|-------------|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Estructura | Tubos 80x80 mm | Perfil L | | |
| Resistencia Eléctrica | Resistencia con configuración S | Resistencia en espiral | | |
| Aislante térmico | Poliuretano | Lana de vidrio | Espuma Flex | |
| Junta de puerta | Caucho alta temperatura. | Caucho de baja temperatura. | | |
| Sistema de suministro de energía eléctrica | Red eléctrica convencional | | | |
| | Combinaciones de los principios de solución | | | |

Leyenda: ● Variantes de solución.

● Variante de solución adoptada para la construcción.

Para demostrar las posibles variantes a desarrollar en la investigación, se mostrarán dos conceptos, de los 24 posibles conceptos.

Variante de Concepto 1 = Tubos 80x80 mm + Resistencia con configuración S + Lana de vidrio + Caucho alta temperatura + Red eléctrica convencional

Variante de Concepto 2 = Perfil L + Resistencia en espiral + Poliuretano + Caucho alta temperatura + Red eléctrica convencional

De esta forma se puede disponer de variantes de elementos para el diseño del prototipo de horno para secar madera, como referencia para someter a la evaluación conceptual de soluciones y determinar cuál de ellas cumple con los requerimientos funcionales que satisfacen el secado de madera.

3.3 Concepción final del prototipo.

Una vez que se ha demostrado la factibilidad de fabricación u obtención de cada uno de los componentes del prototipo de horno, se define el principio de solución que se debe de adoptar, la concepción final radica en la combinación de los diferentes elementos que formaran parte del horno. En el caso estudiado se tuvo en cuenta la correcta relación física entre los elementos que se tuvieron en cuenta durante la definición del principio de solución que da al traste con el diseño del prototipo de horno para secar madera.

3.3.1 Descripción dimensional de las piezas que componen el horno para secar madera.

Todas las piezas que conforman el prototipo de horno para secar madera se modelaron mediante el empleo del software de diseño SolidWorks Premium 2010. Durante el diseño de este prototipo se hizo necesario el empleo de elementos de la biblioteca de diseño con que cuenta dicho software que se encuentran en el Toolbox, tal es el caso de la armadura metálica en la cual se utilizaron tubos cuadrados de 80 x 80 x 5 mm, las dimensiones de la estructura son las siguientes: 2,5 x 2 x 3 m de largo, alto y profundidad respectivamente, como se muestra en la figura 3.1.

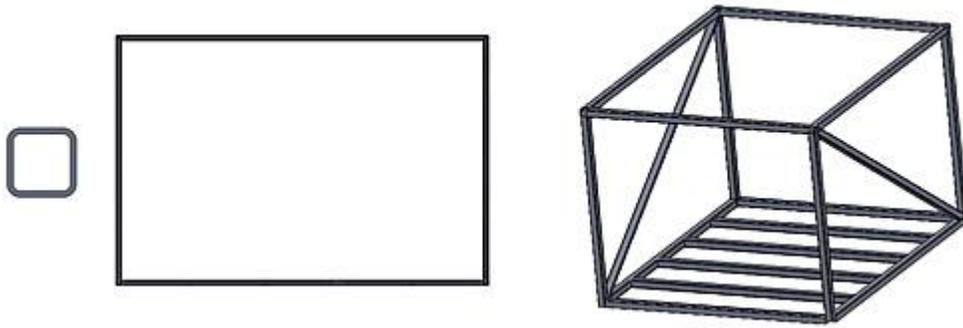


Fig. 3.1 Representación del modelo 3D, perfil cuadrado de la estructura metálica del prototipo de horno.

En el aislamiento térmico del prototipo de horno se utilizará lana de vidrio la cual presenta buenas propiedades en cuanto a resistencia a la inflamabilidad de hasta 1200 °C, en la figura 3.2 se evidencia la representación gráfica de este tipo de aislante térmico.

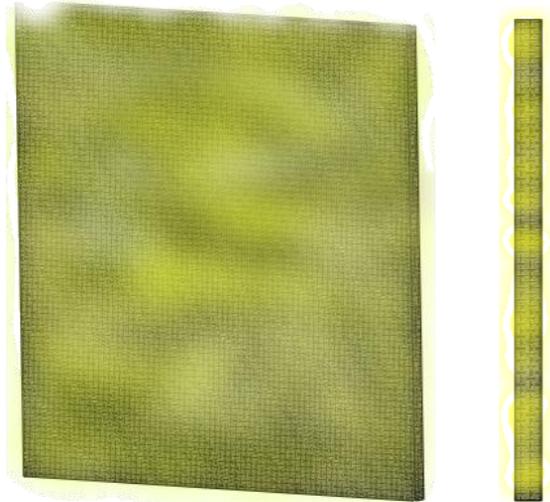


Fig. 3.2 Representación del modelo 3D de la lana de vidrio utilizada en el aislamiento térmico del prototipo de horno.

El material de la resistencia eléctrica es Nicromo 80-20, de 0,5 mm de diámetro, con una longitud de 324,2 m. y una configuración en S, la cual está aislada con yeso para evitar pérdidas de calor por convección, garantizando una temperatura de 65 a 70 °C, que es la temperatura requerida para el proceso de secado de madera, en la figura 3.3 se muestra la resistencia eléctrica con un aislante de yeso.

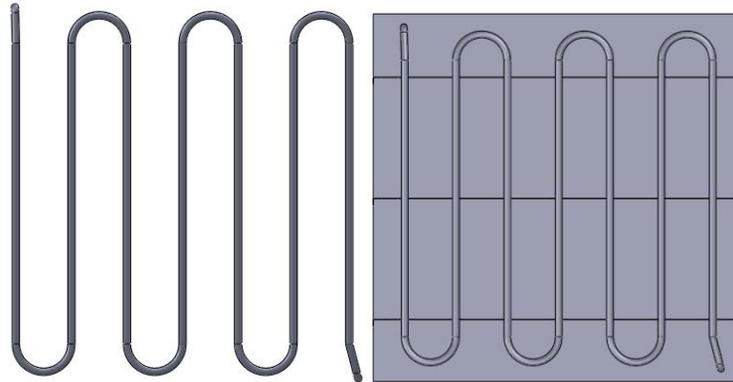


Fig. 3.3 Representación del modelo 3D de la resistencia y el aislamiento utilizado en el prototipo de horno.

Las dimensiones para la base de la resistencia son 2,8 x 1,8 m y espesor de 1 mm para la sujeción de la resistencia eléctrica de configuración tipo S, como se muestra en la figura 3.4.

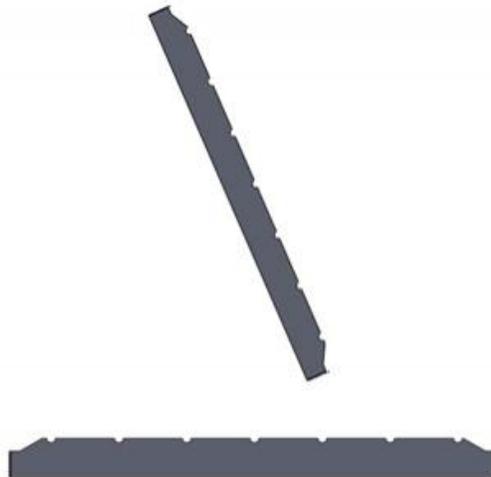


Fig. 3.4 Representación del modelo 3D de la base de la resistencia eléctrica utilizada en el prototipo de horno.

Para el elemento que garantizará la hermeticidad del prototipo de horno de secado de madera y logrará que se alcance la temperatura requerida se propone como material para su fabricación caucho de alta temperatura, en la figura 3.5 se muestra la junta de caucho de alta temperatura. Todas las chapas metálicas que se emplearon durante el diseño del prototipo de horno presentan un espesor de 1mm.

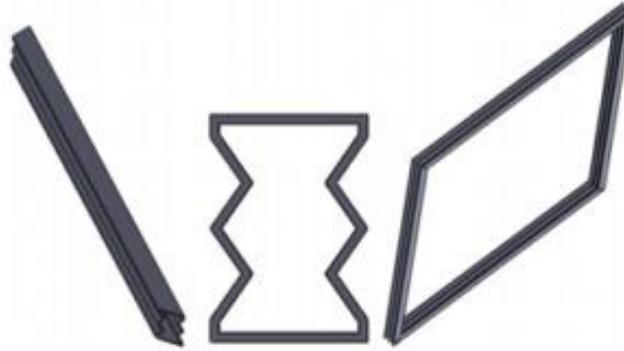


Fig. 3.5 Representación del modelo 3D de la junta de la puerta utilizada en el prototipo de horno.

La puerta del prototipo de horno se concibe con un marco metálico el cual se le agrega el aislante térmico y las chapas metálicas que lo recubren, así como la agarradera que permite la apertura y cierre del prototipo, en la figura 3.6 se muestra gráficamente la representación de la puerta.

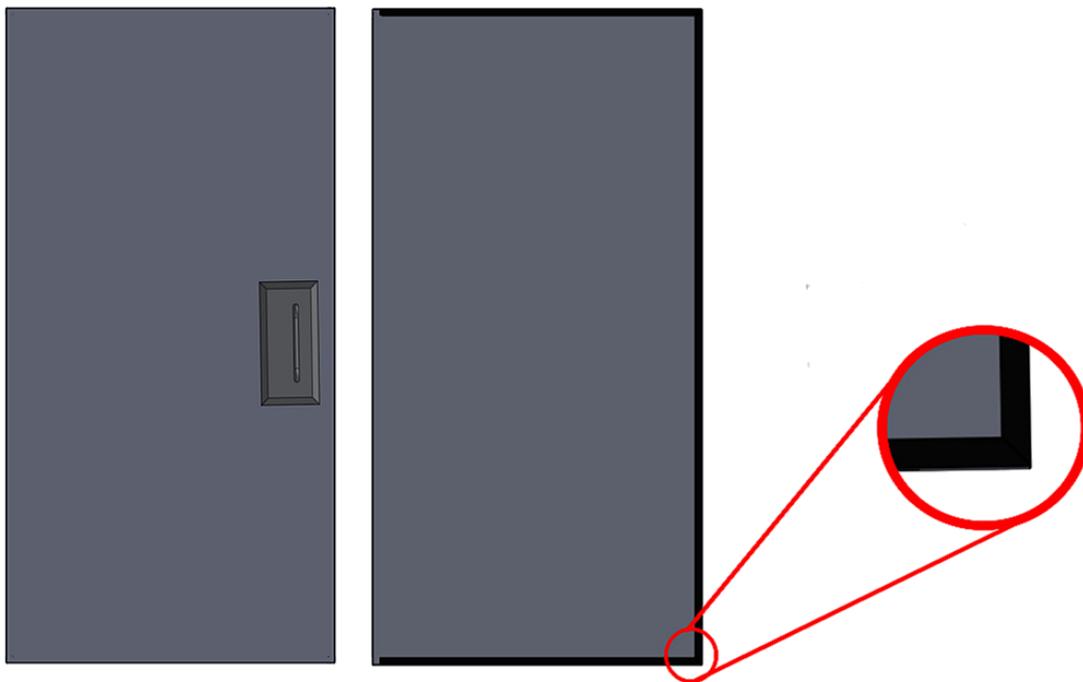


Fig. 3.6 Representación del modelo 3D de la puerta del prototipo de horno.

En la figura 3.7 se muestra la representación gráfica del ensamble del prototipo de horno en el que se puede evidenciar cada uno de los componentes que intervienen en el cumplimiento del destino de servicio. Este prototipo tendrá una capacidad de $13,5 \text{ m}^3$ o $476,74 \text{ pies}^3$.

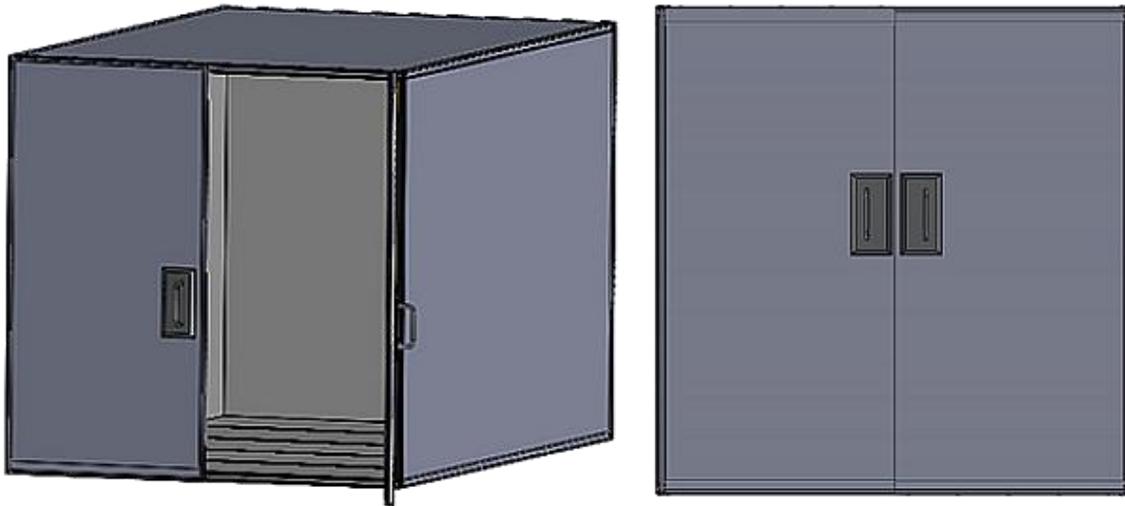


Fig. 3.7 Representación gráfica del ensamble del prototipo de horno.

3.4 Propiedades físicas y mecánicas de los materiales de cada modelo de pieza.

Durante el proceso de diseño se analizaron las propiedades físico-mecánicas de los materiales empleados en el prototipo de horno para secar madera, valorando fundamentalmente los valores del módulo elástico, coeficiente de Poisson, módulo a la cortante, densidad del material, el límite a la tracción, límite a la compresión y el límite elástico. Las propiedades mecánicas del acero al carbono AISI 1020 (American Iron and Steel Institute) se pueden muestran en la tabla 3.3.

Tabla 3.3 Propiedades mecánicas del acero AISI 1020 [Aisi, 2012; Metales, 2012; Shackelford y Güemes, 2000]

| Propiedad mecánica | Valor | Unidad |
|------------------------------|--------|-------------------|
| Módulo de elasticidad en X | 200000 | N/mm ² |
| Coeficiente de Poisson en XY | 0.29 | N/D |
| Módulo cortante en XY | 77000 | N/mm ² |
| Densidad de masa | 7900 | kg/m ³ |
| Límite de tracción en X | 420.51 | N/mm ² |
| Límite de compresión en X | | N/mm ² |
| Límite elástico | 351.57 | N/mm ² |
| Calor específico | 420 | J/(kg·K) |

Los valores reflejados en la tabla 3.3 corresponden a la estructura o armadura, en el caso de todas las chapas metálicas utilizadas, el material empleado corresponde a un acero AISI 321 las propiedades de este material quedan evidenciadas en la tabla 3.4 y se tomaron de la AISI (American Iron and Steel Institute).

Tabla 3.4 Propiedades mecánicas del acero AISI 321 [Aisi, 2012; Metales, 2012; Shackelford y Güemes, 2000]

| | | |
|---------------------------------------|----------|-------------------|
| Módulo de elasticidad en X | 193000 | N/mm ² |
| Coeficiente de Poisson en XY | 0.27 | N/D |
| Densidad de masa | 8000 | kg/m ³ |
| Límite de tracción en X | 580 | N/mm ² |
| Límite elástico | 172.37 | N/mm ² |
| Coeficiente de expansión térmica en X | 1.6e-005 | /K |
| Conductividad térmica en X | 16.3 | W/(m·K) |

En el caso de las juntas utilizadas para lograr la hermeticidad del horno, el material empleado corresponde a caucho resistente a alta temperatura, las propiedades de este material quedan evidenciadas en la tabla 3.5

Tabla 3.5 Propiedades mecánicas del caucho de alta temperatura [Shackelford y Güemes, 2000]

| | | |
|---------------------------------------|----------|-------------------|
| Módulo de elasticidad en X | 210000 | N/mm ² |
| Coeficiente de Poisson en XY | 0.28 | N/D |
| Módulo cortante en XY | 79000 | N/mm ² |
| Densidad de masa | 7700 | kg/m ³ |
| Límite de tracción en X | 723.83 | N/mm ² |
| Límite elástico | 620.42 | N/mm ² |
| Coeficiente de expansión térmica en X | 1.3e-005 | /K |
| Conductividad térmica en X | 50 | W/(m·K) |
| Calor específico | 460 | J/(kg·K) |

3.5 Análisis de las cargas y restricciones presentes en los modelos.

Las cargas que se encuentran presentes en el estudio son equivalentes a N la cual se deriva de la acción producida por el peso de la madera que será secada en el prototipo de horno el cual es 37,7 kgf en cada miembro estructural del piso, por lo tanto el prototipo estará sometido a 226,2 kgf, por tanto la fuerza se proyecta sobre el piso del modelo como se muestra en la figura 3.8, está fuerza se considera que actúa perpendicular a la superficie con un valor de 369,2 N. Mientras que las restricciones se simularon en el estudio como una geometría fija en la superficie de apoyo del prototipo.

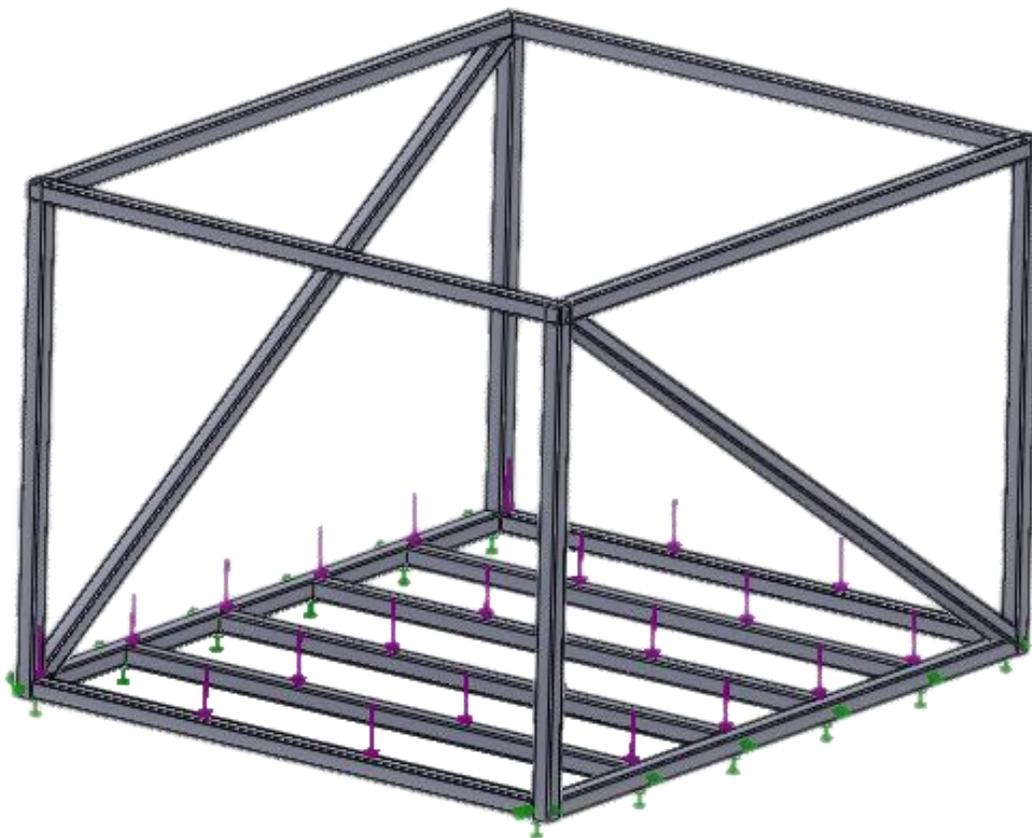


Fig. 3.8 Representación de las restricciones y fuerzas actuantes en el modelo.

3.6 Mallado del modelo.

Para el mallado de los modelos se simplificó el modelo, primeramente se realizó un estudio estático para determinar el comportamiento del prototipo de horno con las fuerza que ejerce la madera. Se excluyeron del estudio a algunas piezas

consideradas no significativas para el estudio. Para el mallado se utilizó malla de viga, con un total de 280 elementos y 284 nodos. Vea la representación del mallado de este estudio en la figura 3.9.

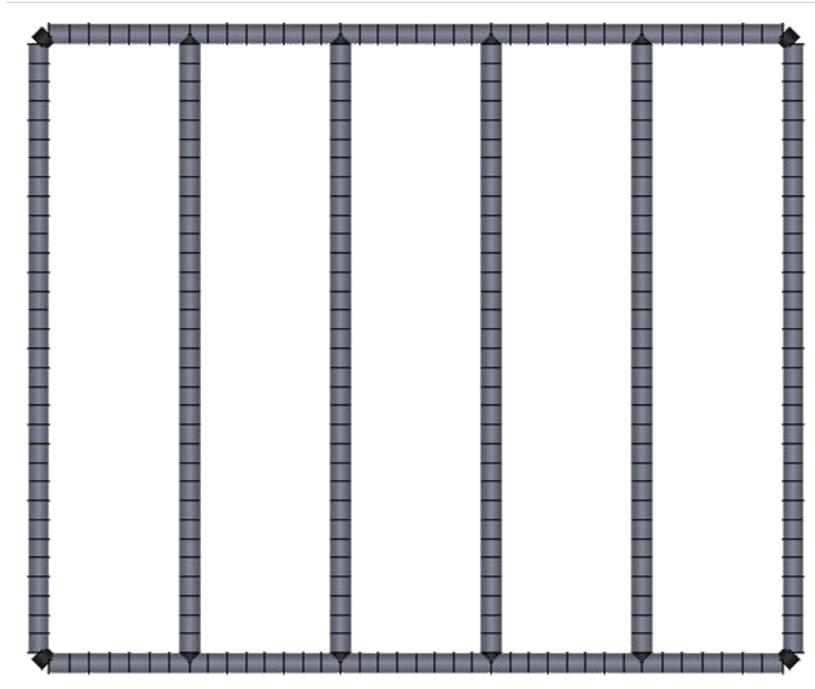


Fig. 3.9 Representación gráfica del mallado del modelo.

3.7 Análisis de los resultados obtenidos.

En los informes de los estudios realizados, se tomaron en cuenta los resultados de un estudio estructural obteniendo el valor de: las tensiones, los desplazamientos resultantes, los desplazamientos en el eje (Y) y el factor de seguridad para el modelo. En el estudio de la estructura metálica se obtuvieron valores de tensiones para el peor de los casos de 2,3 MPa como se muestra en la figura 3.10 encontrándose estas tensiones por debajo del límite elástico del material de la estructura, lo que indica que la estructura podrá soportar la carga a la que estará sometida durante el cumplimiento de su destino de servicio.

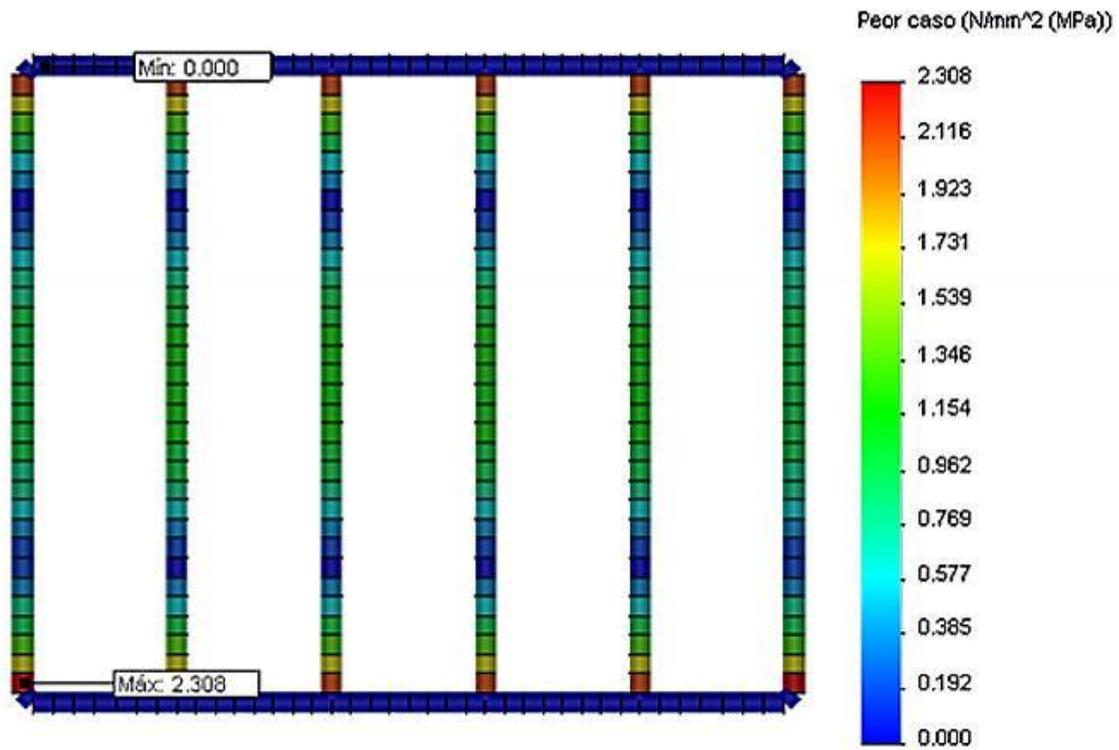


Fig. 3.10 Representación gráfica de Tensiones para el peor de los casos en el estudio del prototipo de horno.

En los desplazamientos resultantes de este estudio se evidencian un valor máximo de desplazamiento de 0,064 mm como se muestra en la figura 3.11, mientras que los desplazamientos máximos en el eje Y fueron de -0.065 mm en dirección contraria al eje (ver figura 3.12).

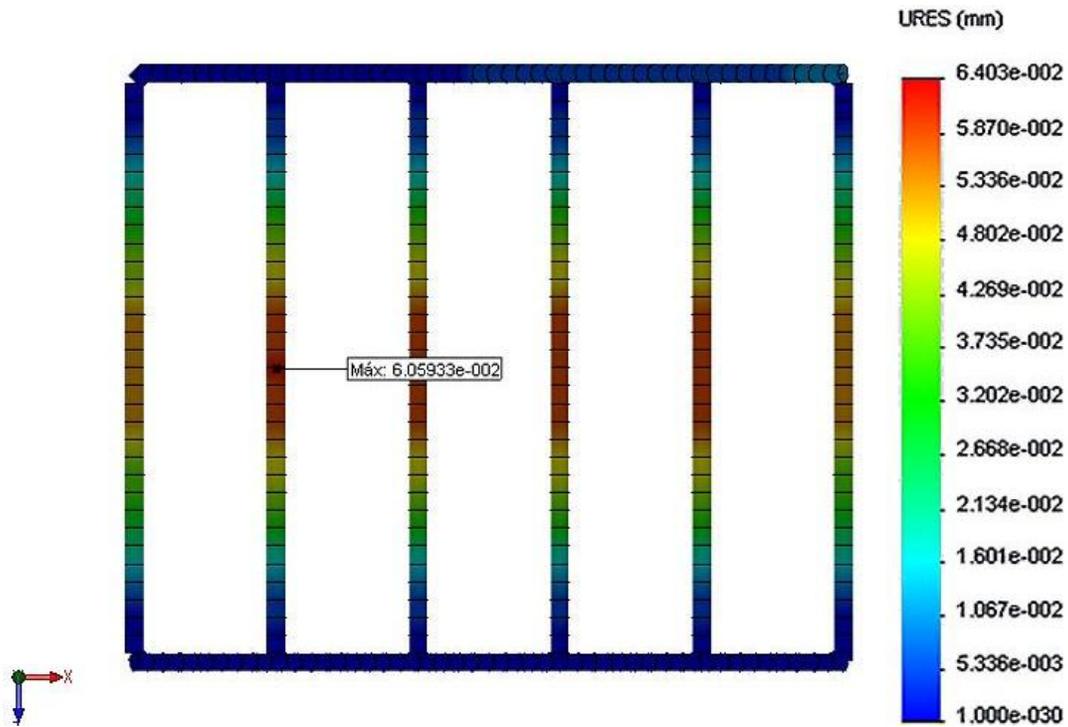


Fig. 3.11 Representación gráfica de los desplazamientos resultantes en el estudio del prototipo de horno.

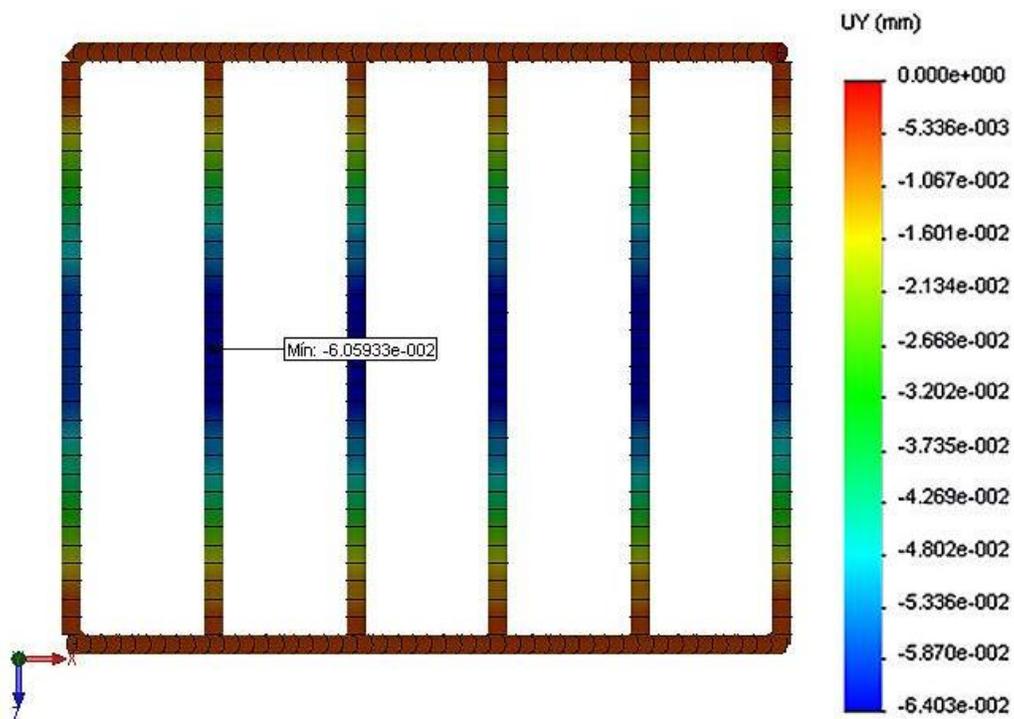


Fig. 3.12 Representación gráfica de los desplazamientos en el eje Y en el estudio del prototipo de horno.

El análisis de los factores de seguridad es de vital importancia durante la fase de diseño de cualquier máquina, elemento o piezas. En este caso se analizó el factor de la estructura metálica, la representación gráfica de este factor de seguridad se muestra en la figura 3.13.

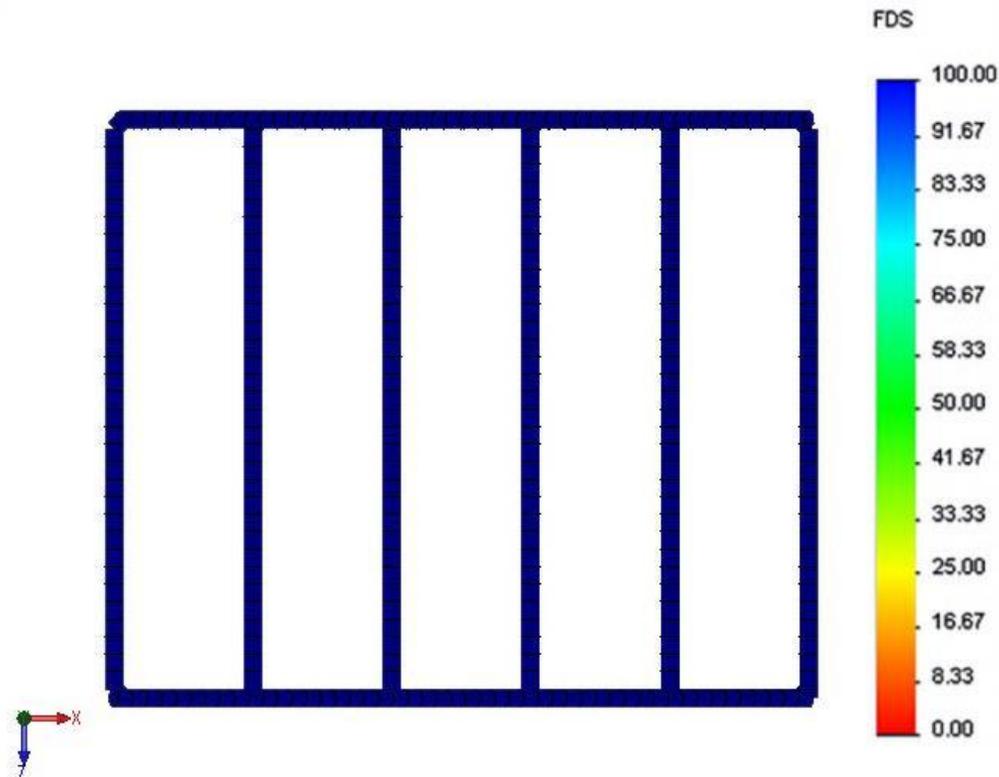


Fig. 3.13 Representación gráfica del factor de seguridad.

Para la estructura metálica se puede observar que el factor de seguridad en este estudio indica que los elementos de la estructura podrán soportar las cargas a las que estarán sometidos durante el cumplimiento de su destino de servicio.

3.8 Cálculo térmico de la pared del prototipo de horno.

Es de vital importancia determinar la cantidad de calor que se transmite a través de la pared del prototipo, por lo tanto a continuación se procede a realizar dicho cálculo. El valor de la temperatura en el interior de horno es 70 °C, en el exterior es de 30 °C, el coeficiente de transferencia de calor de la chapa metálica es de 24,3 W/m°C [Krasnoschiokov, 1988], mientras que el valor del coeficiente de transferencia de calor del aislante térmico es de 0,053 W/m°C [Krasnoschiokov,

1988], por tanto en la figura 3.14 se muestra las capas por las que está compuesta la pared del horno, estas son: chapa metálica, aislante térmico, chapa metálica. Los espesores de la chapa metálica y el aislante térmico son 1 mm y 80 mm respectivamente, mientras que el área de la pared es 6 m².

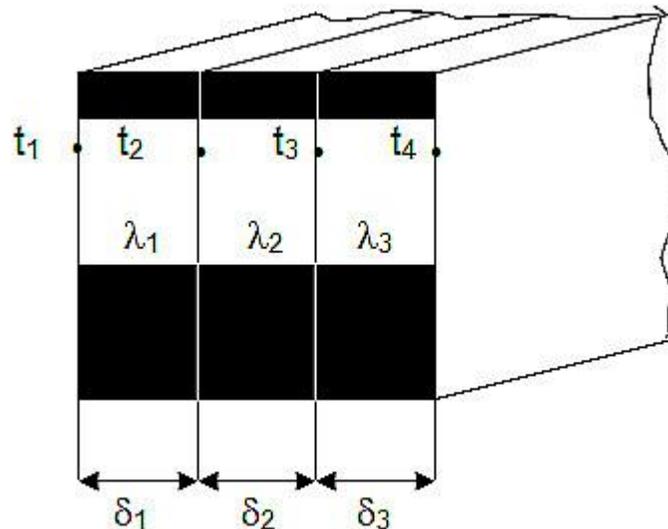


Fig. 3.14 Representación gráfica de las paredes planas del prototipo de horno.

Con la ecuación 3.1 se determina densidad de flujo de calor en w/m².

$$q = \frac{tw_1 - tw_4}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3}} \dots\dots\dots 3.1$$

Donde:

q: densidad de flujo de calor.

tw₁: temperatura en la pared interior del horno.

tw₂: temperatura en la pared exterior del horno.

δ_1 y δ_3 : espesor de las chapas metálicas.

δ_2 : espesor del aislante térmico.

λ_1 y λ_3 : coeficiente de conductividad térmica de las chapas metálicas.

λ_2 : coeficiente de conductividad térmica del aislante térmico.

$$q = \frac{70 - 30}{\frac{0,001}{24,3} + \frac{0,08}{0,053} + \frac{0,001}{24,3}} = 4,11W / m^2$$

Con la ecuación 3.2 se calcula cantidad de calor que se transmite a través de la pared en W.

$$Q = F * q \dots\dots\dots 3.2$$

Donde:

Q: cantidad de calor que se transmite a través de la pared.

F: área de la pared.

$$Q = 6m^2 \times 4,11W / m^2$$

$$Q = 24,66W$$

De esta manera queda demostrado que las pérdidas de calor a través de la pared se encuentran con valores bajos, por lo que se puede afirmar que el aislante térmico seleccionado podrá cumplir satisfactoriamente su destino de servicio, garantizando la permanencia de la temperatura de secado de la madera que en este caso será de 70 °C.

CONCLUSIONES

1. Se determinaron las características dimensionales del prototipo de horno.
2. Se seleccionó el tipo de material aislante del prototipo de horno siendo lana de vidrio.
3. Se realizó el análisis de la estructura metálica por el Método de los Elementos Finitos, quedando demostrado que el prototipo de horno resiste los esfuerzos a los que estará sometido durante el cumplimiento de su destino de servicio.

RECOMENDACIONES

Se propone:

1. Diseñar un sistema de control automático para el prototipo.
2. Que se tenga en cuenta la presente investigación para la fabricación del prototipo.
3. Diseñar un sistema de ventilación que garantice la uniformidad del flujo de calor.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. [Diemek, 2012] O. Diemek, "PROPUESTA DE UN SECADOR SOLAR PARA MADERA EN LA SECCIÓN DE TECNOLOGÍA DE LA MADERA DEL CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA, USAC", Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, Universidad de San Carlos de Guatemala 2012.
2. [Secado De Madera, 2012] Secado de madera, "<http://www.secadomadera.com/elprocesodesecado.htm>", (Consultada el 11 de octubre 2012).
3. [Apple y Secap, 1993] J. APPLE y GTZ SECAP, *El Secado de Madera*, Ed. Offset, Secap. Segunda Edición ed., 1993.
4. [Dulek. S, 2008] DULEK. S, *El secado de la madera*, Primera edición ed. Quito: CENTRO DE CAPACITACION FORESTAL "CENCAFOR", 2008.
5. [Vasco, 2007] GUALOTUÑA VASCO, C. A., "DISEÑO DE UN HORNO SECADOR DE MADERA PARA OPTIMIZAR EL PROCESO, EN LA EMPRESA MUEBLES RICHELIEU S.A. IBARRA", FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA, ESCUELA DE INGENIERIA EN MADERAS UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL QUITO, ECUADOR 2007.
6. [Clodoaldo Sivipaucar, et al., 2008] Clodoaldo Sivipaucar, Herve Curo, Eder Huancahuari, Víctor Llantoy, y Andrés Valderrama "CÁLCULO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SECADOR SOLAR POR CONVECCIÓN NATURAL PARA EL SECADO DE PLANTAS MEDICINALES NO TRADICIONALES", *Centro de Desarrollo e Investigación en Termofluidos CEDIT* pp. 18 - 30, 2008.
7. [Fernández, 1998] J. I. FERNÁNDEZ, *Manual de secado de madera.*, D. L. Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de la Madera y Corcho, Ed. Madrid, 1998.
8. [Fuentes, 1996] M. E. Fuentes, "Análisis comparativo de tres sistemas de secado con madera de encino (*Quercus sp.*)", Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México, Tesis de Maestría en Ciencias 1996.
9. [[Http://Onsager.Unex.Es/Apuntes/Termo/Tema6.Pdf](http://Onsager.Unex.Es/Apuntes/Termo/Tema6.Pdf), 2007], <http://onsager.unex.es/Apuntes/Termo/Tema6.pdf>, "Fundamentos del secado", (Consultada el [Consultado 15 de abril 2012]).
10. [[Http://Www.Processheating.Com/Cda/Articleinformation/Drying_Files_Item/0](http://Www.Processheating.Com/Cda/Articleinformation/Drying_Files_Item/0), 2008] http://www.processheating.com/CDA/ArticleInformation/Drying_Files_Item/0, 82862,00.html "Tipos de secado", (Consultada el 16 de octubre 2012).
11. [[Http://Www.Fundamentosytecnolog/355adelsecado](http://Www.Fundamentosytecnolog/355adelsecado), 2008], <http://www.fundamentosytecnolog/355adelsecado>, "Secado de sólidos", (Consultada el 5 de mayo 2012).
12. [[Http://Www.Tecnology_Operaciones-Basicas.Ec](http://Www.Tecnology_Operaciones-Basicas.Ec), 2008], http://www.technology_operaciones-basicas.ec, "Secado de sólidos", (Consultada el 2 de mayo 2012).
13. [Encarta, 2008] Encarta, "Microsoft Encarta ", M. Corporation, Ed., 2008.
14. [[Http://Revista.Eia.Edu.Co/Articulo5/Art105.Pdf](http://Revista.Eia.Edu.Co/Articulo5/Art105.Pdf), 2007], <http://revista.eia.edu.co/articulo5/art105.pdf>, "Modelo cinético de secado", (Consultada el [Consultado 18 de abril 2012]).

15. [<http://Www.Monografias.Com/Trabajos15/Operaciones-Secado/Operacion-Secado.Shtml>, 2007] <http://www.monografias.com/trabajos15/operaciones-secado/operacion-secado.shtml>, "Operaciones de secado", (Consultada el 10 de abril 2012).
16. [Estequiometría Del Secado, 2008] Estequiometría del secado, "<http://www.quimica.urv.es/~w3siiq/DALUMNES/99/siiq51/ema.html>", (Consultada el 12 de octubre de 2012).
17. [Nonhebel y Moss, 1979] M. A. Nonhebel y B. Moss, "El secado de sólidos en la Industria Química", Barcelona: Reverté S.A., 1979.
18. [Zaragoza, 2008] H. I. Zaragoza, "Evaluación de la pérdida de calidad de la madera en el secado convencional de encinos", Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México, Tesis de Licenciatura 2008.
19. [Cartagena, 1989] Junta del acuerdo de Cartagena, *Manual del grupo Andino para el secado de madera*, Carvajal SA ed. Lima, 1989.
20. [Www.Cismadera.Com/Downloads/Secadon11.Pdf, 2010] www.cismadera.com/downloads/secadon11.pdf, "Medios de secado de madera", (Consultada el 18 de octubre 2012).
21. [<http://Www.Ine.Gob.Mx/ueajei/Publicaciones/Libros/283/Cap1.Html>, 2008a] <http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/283/cap1.html>, "Secado", (Consultada el 20 de abril 2012).
22. [<http://Www.Ine.Gob.Mx/ueajei/Publicaciones/Libros/283/Cap1.Html>, 2008b] <http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/283/cap1.html>, "Tipos de secado", (Consultada el 4 de mayo 2012).
23. [Jara y Orozco, 2004] R. Jara y F. Orozco, "Diseño y Construcción de un Deshidratador (Equipo piloto) para sangre de Bovinos", Facultad de Ciencias, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Tesis. Ing. Químico 2004
24. [León y Gómez, 2005] D. León y J. D. Gómez, "Diseño y Construcción de un Secador de Bandejas para Germen de Trigo", Facultad de Ciencias, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Tesis. Ing. Químico 2005.
25. [Saltos, 1985] H. Saltos, "Fundamentos de Ingeniería de Procesos en Alimentos", en *Deshidratación*, UTA, Ed. Ambato, 1985.
26. [Parada, 2007] M. Parada, "Diseño de un Secador de Bandejas para la Deshidratación del Hongo *Trichoderma harzianum*", Facultad de Ciencias, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Tesis. Ing. Químico 2007
27. [Salvat, 2008] Editores Salvat, "Enciclopedia Salvat de la Ciencia y de la Tecnología", en Vol. Tomo 12, Barcelona, Ed., 2008.
28. [Engelhart, et al., 2012] E Engelhart, G Duhamel, F Coulon, R Gaudin, y W Rodriguez, "Madera", en *Wikipedia*, 2012.
29. [Lastre, 2010] A. M. Lastre, "Proyección de los procesos tecnológicos", en *[Conferencia Maestría CAD/CAM]* Centro de Estudios CAD/CAM, Universidad de Holguín., 2010.
30. [Calzadilla, 2005] H. Calzadilla, "Optimización del bastidor principal de un Alisador agrícola para el cultivo del arroz", Universidad de Holguín, CE: CAD/CAM, Tesis para optar por el título de máster en CAD-CAM 2005.

31. [Simon Management Group, 2005] Simon Management Group, ""Encuesta a más de 20 000 usuarios CAD"", (Consultada el [consulta Octubre 2011]).
32. [[Http://Www3.Espe.Edu.Ec:8700/Bitstream/21000/300/8/T-Espe-026443-4.Pdf](http://www3.espe.edu.ec:8700/bitstream/21000/300/8/T-Espe-026443-4.Pdf)] <http://www3.espe.edu.ec:8700/bitstream/21000/300/8/T-ESPE-026443-4.pdf>, "CAPITULO 4. Solid Works", (Consultada el 15 Octubre 2011).
33. [[Http://Www.Utp.Edu.Co/~Publio17/Propiedades.Htm#Inicio](http://www.utp.edu.co/~Publio17/Propiedades.Htm#Inicio), 2009] <http://www.utp.edu.co/~publio17/propiedades.htm#inicio>, "PROPIEDADES DE LOS METALES. "Propiedades físicas y mecánicas". ", (Consultada el 7 Noviembre 2011).
34. [Aisi, 2012] AISI, "American Iron and Steel Institute", 2012.
35. [Metales, 2012] PROPIEDADES DE LOS METALES, ""Propiedades físicas y mecánicas"". ", (<http://www.utp.edu.co>), (Consultada el 2012).
36. [Shackelford y Güemes, 2000] J. F. Shackelford y A. Güemes, "*Introducción a la ciencia de materiales para ingenieros*, Ed. Prentice-Hall ed., 2000.
37. [Krasnoschiokov, 1988] Krasnoschiokov, *Problemas de termotransferencia* 1988.