



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

FACULTAD DE INGENIERÍA EN TECNOLOGÍA DE LA MADERA

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

MAESTRÍA EN CIENCIAS Y TECNOLOGÍA DE LA MADERA



CONSTRUCCIÓN DE UNA CÁMARA PARA MADERA TERMOTRATADA

TESIS

Que para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS Y TECNOLOGÍA DE LA MADERA

Presenta:

Filiberto Delgado Nieves

DIRECTOR DE TESIS

Dr. Jorge Enrique Ambriz Parra

COASESOR DE TESIS

M.C. Roberto Calderón Muñoz

Morelia. Michoacán. Abril 2022

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi aula mater la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH) que por años ha contribuido a mi formación profesional y personal.

A la División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera que es parte de la UMSNH por la aceptación al programa en cuyas aulas culmine este esfuerzo.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología 2019-21 por el apoyo de la beca.

A todos los que me brindaron incondicionalmente su apoyo en este esfuerzo, familia, amigos. Profesores, mesa sinodal, mi asesor de tesis, coasesor de tesis; sin su participación y aporte de distintas formas no hubiera sido posible la culminación de este esfuerzo.

A los que de manera más directa y entregada forman parte de este logro, que no solo es personal si no compartido y mutuo, de otra forma no se hubiera logrado.

A todos los que se entregan en vida por el desarrollo y progreso de la humanidad, esencia y finalidad de toda ciencia. Sus esfuerzos y entrega viven en la humanidad misma.

## **RESUMEN**

La madera modificada térmicamente o madera termotratada es resultado de la exposición de la madera a temperaturas elevadas de entre 160-260<sup>0</sup>C, por periodos preestablecidos, se llevó a cabo la construcción de la estufa para madera modificada térmicamente iniciando con el diseño de la estufa que es la actividad inicial cuando se requiere de implementar o modificar un proceso en todas las áreas de la ingeniería. Cualquier proceso debe contener diseño, simulación y funcionalidad y el caso específico de la cámara de termotratamiento de madera cuenta con las dos primeras etapas y se está en proceso con la etapa de construcción y funcionalidad de la cámara.

La madera sometida al termotratamiento tiene mejores propiedades comparado al material madera, entre las que se destaca un comportamiento más estable dimensionalmente, lo que la hace ideal en aplicaciones al aire libre, presenta cambios de coloración más oscuras, se vuelve hidrofóba, aumenta la durabilidad natural frente a los hongos y de algunos de los insectos xilófagos. La obtención de madera con estas características dará un valor agregado a especies de bajo valor comercial. La existencia de una estufa de este tipo en nuestra región contribuirá enormemente al mejor aprovechamiento de los recursos maderables, ya que el uso de la madera sometida a una modificación térmicamente potencializa su uso práctico.

La cámara de termotratamiento es funcional con gas LP y con alimentación tangencial a partir de simulaciones en SolidWorks, teniendo pruebas de temperaturas favorables para el tratamiento en periodos cortos.

Palabras clave: Modificada, térmicamente, propiedades, hidrofóba, Alimentación tangencial.

## **ABSTRACT**

Thermally modified wood or heat-treated wood is the result of exposing the wood to high temperatures between 160-260<sup>0</sup>C, for pre-established periods, the construction of the stove for thermally modified wood was carried out, starting with the design of the stove that is the initial activity when it is required to implement or modify a process in all areas of engineering. Any process must contain design, simulation and functionality and the specific

case of the wood heat treatment chamber has the first two stages and is in process with the stage of construction and functionality of the chamber.

The wood subjected to heat treatment has better properties compared to the wood material, among which a more dimensionally stable behavior stands out, which makes it ideal for outdoor applications, it presents darker color changes, it becomes hydrophobic, it increases natural durability against fungi and some of the xylophagous insects. Obtaining wood with these characteristics will add value to species of low commercial value. The existence of a stove of this type in our region will contribute enormously to the best use of timber resources, since the use of wood subjected to thermal modification enhances its practical use.

The heat treatment chamber is functional with LP gas and tangential feed from SolidWorks simulations, having favorable temperature tests for treatment in short periods.

**Key words:** Modified, Thermally, Properties, Hydrophobic, Tangential feed.

## INDICE GENERAL

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>2. ANTECEDENTES</b> .....	2
2.1. GENERALIDADES SOBRE LA MADERA MODIFICADA TÉRMICAMENTE .....	2
2.2. MADERA TERMOTRATADA .....	4
2.3. TERMOTRATAMIENTOS INDUSTRIALIZADOS .....	7
2.4. PROCESO THERMOWOOD.....	8
2.5. DISEÑO Y SIMULACIÓN PARA EL TRATAMIENTO DE MADERA. ....	9
2.6. SIMULACIÓN DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO EN PROCESOS DE SECADO DE MADERA. ....	9
<b>3. JUSTIFICACIÓN</b> .....	12
<b>4. HIPÓTESIS</b> .....	13
<b>5. OBJETIVOS</b> .....	14
5.1. OBJETIVO GENERAL .....	14
5.2. OBJETIVOS PARTICULARES.....	14
<b>6. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	15
<b>7. RESULTADOS</b> .....	16
7.1.- ANÁLISIS DEL PROTOTIPO DE LA ESTUFA DE TERMOTRATAMIENTO DE MADERA. ....	16
7.1.1. Ventilación, Cambio de medidas, Cambio de recubrimiento. ....	16
7.1.2. Medidas, Material de construcción. ....	16
7.1.3. Simulación del proceso para madera modificada con Solidworks. ....	17
7.2. RECUBRIMIENTO TERMICO DE LA CÁMARA (LANA MINERAL) .....	18
7.2.1. CARACTERÍSTICAS DE LA LANA MINERAL.....	19
7.2.2. DATOS TECNICOS DE LA LANA MINERAL. ....	19
7.2.3. COMPONENTES DE LA LANA MINERAL. ....	20
7.3. MANTA CERÁMICA PARA EL RECUBRIMIENTO DE LOS QUEMADORES. ....	21
7.3.1. BENEFICIOS.....	22
7.3.2. APLICACIONES. ....	22
7.3.3. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS. ....	23

7.4. VÁLVULA DE AGUJA PARA EL QUEMADOR.....	24
7.4.1. DESCRIPCIÓN DE LA VÁLVULA.....	24
7.4.2. MARCADO DE LA VÁLVULA DE AGUJA.....	25
7.5. ESTRUCTURA METALICA DE LA ESTUFA.....	26
7.6. COLOCACION DE RECUBRMIENTOS DE LA CAMARA.....	28
7.6.1. COLOCACIÓN DE LA LANA MINERAL PISO Y PAREDES.....	29
7.6.2. SELLADO CON SILICÓN DE ALTA TEMPERATURA EN UNIONES.....	32
7.7. BASE PARA LA COLOCACIÓN DE LA ESTUFA.....	33
7.8. EQUIPO PARA LA ESTUFA (QUEMADORES Y VENTILADOR).....	33
7.8.1. EQUIPO PARA LOS QUEMADORES.....	33
7.8.2. EQUIPO CALCULADO PARA EL VENTILADOR.....	35
7.9. MEDIDAS DEL DESVIADOR DE LA CÁMARA.....	35
7.10. SIMULACIÓN DE LAS VENTILAS ABRIÉNDOLAS EN PARES INDEPENDIENTES.....	36
7.11. PRUEBAS DE TEMPERATURAS CON UN QUEMADOR.....	37
7.12. CALCULO DE CONSTRUCCIÓN DE CÁMARA.....	38
<b>8. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....</b>	<b>40</b>
8.1. Evaluación de la cámara de termotratamiento propuesta base de este estudio.....	40
8.2. Disponibilidad y costo de los materiales de construcción.....	40
8.3. Proceso de construcción.....	40
8.4. La importancia de realizar simulaciones en función de pequeños cambios de diseño.....	41
8.5. Costo de la construcción.....	42
<b>9. CONCLUSIONES.....</b>	<b>43</b>
<b>10. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>44</b>
<b>11. ANEXOS.....</b>	<b>47</b>
11.1. Fichas técnicas.....	47

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama del proceso de producción Thermowood para madera termotratada (Dagbro, 2016). .....	9
Figura 2. dimensiones actuales de la cámara. ....	17
Figura 3. Simulación en Solidworks con las nuevas medidas de la cámara.....	18
Figura 4. Aislante térmico utilizado en la construcción del horno de termotratamiento (lana mineral). .....	18
Figura 5. Aislante utilizado en el recubrimiento de los quemadores (Manta cerámica) .....	22
Figura 6. Colocacion de la manta mineral en los quemadores. ....	24
Figuras 7. Identificación de los materiales de construcción de válvulas. ....	26
Figura 8. Diseño exterior de la estructura de la cámara de termotratamiento. a) Estructura de la cámara b) entrada de la cámara c) zona para los quemadores d) zona para el ventilador.....	27
Figura 9. Diseño interior de la estructura de la cámara de termotratamiento. a) zona de trabajo para el termotratamiento b) zona para la circulación del aire c) zona para la circulación del aire y colocación del desviador del aire y d) plataforma del carro para la madera.....	28
Figura 10. Detalles del recubrimiento interior de la cámara de termotratamiento. a) lamina negra, b) tornillo allen anclado a la estructura, c) solera para un mayor soporte.....	29
Figura 12. Aislante térmico del área de trabajo de la cámara de termotratamiento. a) colocación de la lana mineral en el piso, b) colocación del recubrimiento en área delimitada, c) lamina negra colocada en el interior de la cámara. ....	30
Figura 13. Aislante térmico de la cámara de termotratamiento. a) colocación del recubrimiento de lana mineral en las paredes de la estufa.....	30
Figura 14. Acabado exterior de la cámara de termotratamiento. a) remaches, b) lámina galvanizada en calibre 26. ....	31
Figura 15. Habilitación de espacios para los quemadores en la cámara de termotratamiento. a) espacio para los quemadores, b) espacio considerado para colocación de tubería de gas inerte o tubería para vapor.....	31
Figura 16. Habilitación del techo de la cámara de termotratamiento. a) colocación de la lana mineral, b) colocación de fibra de vidrio, c) orificios para las ventilas. ....	32
Figura 17. Sellado de juntas en la cámara de termotratamiento. a) sellado en tolas uniones de la lámina de interior con silicón de alta temperatura. ....	33

Figura 18. Preparación del espacio de colocación de la cámara de termotratamiento. a) hilos de para nivelación de piso, arena y adoquín, b) arena nivelada, c) colocación del adoquín.....	33
Figura 19. Isométrico y elementos del soplador y quemador. ....	35
Figura 20. Detalles del desviador en la cámara de termotratamiento. a) vista isométrica del desviador, b) medidas de acuerdo al plano del diseño.....	36
Figura 21. Simulación en Solidwoks en relación a las ventilas de la cámara de termotratamiento. a) flujo saliendo por las ventilas abiertas, b) flujo dentro de la cámara, c) mapeo del flujo en la cámara al mantener las ventilas abiertas. ....	37
Figura 22. Simulación en Solidwoks en relación a las ventilas de la cámara de termotratamiento. a) madera, b) ventilas abiertas del lado del desviador, c) se mantiene el flujo dentro de la cámara. .	37

## ÍNDICE DE CUADROS

<i>Cuadro 1.</i> Datos técnicos de la lana mineral.....	19
<i>Cuadro 2.</i> Datos técnicos de la lana mineral.....	20
<i>Cuadro 3.</i> Disponibilidad de la lana mineral.....	20
<i>Cuadro 4.</i> Propiedades físicas de la manta cerámica. ....	23
<i>Cuadro 5.</i> Propiedades químicas de la manta cerámica. ....	23
<i>Cuadro 6.</i> Equipo calculado para los quemadores. ....	34
<i>Cuadro 7.</i> Partes calculadas para el ventilador.....	35
<i>Cuadro 9.</i> Prueba de temperatura con un quemador en el interior de la cámara. ....	38
<i>Cuadro 10.</i> Calculo del material utilizado para la cámara.....	38

## **1. INTRODUCCIÓN**

Cuando la madera termotratada ha sido sometida a temperaturas altas se obtienen características y cambios estructurales. Comportándose más estable dimensionalmente, cambios de coloración más oscuras, se vuelve hidrofóba, la durabilidad natural frente a los hongos y de algunos de los insectos xilófagos mejora considerablemente sin embargo algunas de las propiedades mecánicas disminuyen. Se llevará a cabo la construcción y funcionalidad de la estufa para madera modificada térmicamente, la madera a termotratarse realizará mediante el proceso Thermowood® el cual tiene tres etapas y se pueden obtener dos tipos diferentes de termotratamiento los cuales van de acuerdo a la temperatura aplicada.

La madera modificada térmicamente o madera termotratada es resultado de la exposición de la madera a temperaturas elevadas de entre 160-260<sup>0</sup>C, por periodos preestablecidos, en una atmosfera inerte o con un bajo contenido en oxígeno y a altas temperaturas durante varias horas. Este proceso va siempre en función de la especie de madera, las propiedades requeridas y las dimensiones de las piezas (Dagbro, 2016).

Los tratamientos térmicos constituyen uno de los métodos más eficaces de modificación para madera (Homan & Jorissen, 2004) se producen cambios importantes en sus propiedades durante el proceso a altas temperaturas (150-280<sup>0</sup>C) que repercuten en el mejoramiento de algunas propiedades tales como: la disminución de su higroscopicidad, mayor estabilidad dimensional, durabilidad biológica y en su estética al adquirir nuevas tonalidades en coloración (Syrjänen & Kestopuu, 2001). Sin embargo, los efectos de las altas temperaturas sobre las propiedades mecánicas son generalmente en detrimento de estas y mucho depende de la temperatura máxima alcanzada (Boonstra et al., 2007; Calonego et al., 2011; Hermoso et al, 2013; FTA, 2003; Militz & Tjeerdsma, 2001; Vernois, 2001; Rapp & Sailer, 2001), debido a estos cambios la madera termotratada es considerada como un nuevo material con variedad de aplicaciones y propiedades (Voss, 2001; citado en (Garcia, 2015).

## 2. ANTECEDENTES

### 2.1. GENERALIDADES SOBRE LA MADERA MODIFICADA TÉRMICAMENTE

En el ámbito científico, los efectos del termotratamiento comienzan a estudiarse en los años 20 del siglo pasado y ya en la década de los 30 se comprueban importantes reducciones de la higroscopicidad de la madera tras su calentamiento en atmósferas de diferentes gases. A finales del siglo XX, diversas tecnologías comerciales se encuentran disponibles en países como Finlandia, Alemania, Holanda o Francia (Peña, 2010).

La investigación sobre los tratamientos térmicos tuvo su origen a comienzos del siglo XX. Los primeros estudios, aplicados a madera, corresponden a 1920. En esta fecha, Timann investigó sobre el secado de la madera a altas temperaturas, obteniendo un descenso de la humedad de equilibrio y el hinchamiento de la misma (Majano, 2014).

Los primeros trabajos específicamente orientados hacia el termotratamiento son los debidos a Stamm y Hansen (1937) quienes trabajando sobre pino blanco americano (*Pinus strobus*); Fernández et al., 2014) estudiaron el efecto de la temperatura de calentamiento en presencia de diversas atmósferas gaseosas, concluyendo que el aumento de la temperatura y del tiempo de calentamiento incrementaban la estabilidad de la madera.

El avance más importante lo desarrolla Schneider, quien junto con Kollmann probaron en 1963 cómo el termotratamiento proporcionaba estabilidad dimensional a la madera y en 1973, se demostraron los efectos de la alta temperatura sobre las propiedades mecánicas y en el color, sobre todo a partir de los 150°C (Ugalde, 2003; citado en (Peña, 2010).

El tratamiento térmico de la madera es una alternativa para mejorar la resistencia a la descomposición de especies de madera de baja durabilidad. Hoy en día, existen varios tipos de tratamientos térmicos de madera. Estos tratamientos difieren principalmente por la naturaleza de la atmósfera inerte utilizada para evitar la combustión de la madera que puede realizarse en diferentes medios como: nitrógeno, vacío, vapor y aceite. Las ventajas de la madera tratada es la reducción de la contracción e hinchamiento, bajo contenido de humedad en equilibrio, resistencia a la intemperie, un color oscuro decorativo, y mejor

resistencia a la descomposición (Candelier y col. 2013; Yildiz, 2002; Leithoff y Peek, 1998). El tratamiento térmico de la madera tiene un efecto sobre la composición química degradando compuestos de la pared celular y extractivos. Los cambios químicos debidos al calentamiento dependen de la duración y temperatura del tratamiento, siendo la temperatura el principal factor (Bourgois y col., 1989). Las hemicelulosas son sensibles al calor sufren reacciones de deshidratación con la pérdida de numerosos grupos hidroxilos son los primeros compuestos estructurales en ser térmicamente afectados (Equihua, 2018).

Durante décadas se han integrado una gran variedad de tecnologías de modificación térmica (TM), incluyendo Termo madera (Thermowood®) en Finlandia, Proceso Plato en Holanda, tratamiento térmico al aceite (OHT-Process) en Alemania y los procesos *Les Bois Perdure* y rectificación en Francia (Esteves & Pereira, 2009; Homan & Jorissen, 2004). Es así que las ventas de materiales y productos de madera modificada han incrementado enormemente en los últimos años (Estadísticas de producción, 2014). Mientras cada método de modificación difiere de uno a otro, en términos de gas protector (nitrógeno o vapor), protección líquida empleada y requerimientos de humedad para la madera (húmeda o seca) (Xie et al., 2002; Rapp, 2001), tienen una cosa en común: todos modifican la estructura química de la madera en rangos de temperatura de 160 a 260°C (Gao, 2017)

Para especies de madera seleccionadas, se pueden aplicar diferentes enfoques de TM con la ganancia de rendimiento (comportamiento) dependiendo frecuentemente en el nivel de tratamiento y las especies de madera usados. La TM a temperaturas elevadas pueden conducir a la modificación química permanente de la pared celular (cambios en las hemicelulosas, celulosa y lignina), mejorando así la resistencia a la descomposición, reduciendo la descomposición por humedad e incrementando la estabilidad dimensional (Hill, 2011). Al mismo tiempo, los tratamientos pueden entregar a la madera distintos tonos de colores oscuros para productos finales. El grado de cambios en las propiedades de la madera depende del tipo de proceso, de las especies de madera a ser tratada, de la temperatura máxima alcanzada en el proceso y de la duración en esa temperatura, etc. Como resultado, los procesos TM pueden dar un producto de alta calidad con muchas propiedades excelentes y perspectiva para aplicaciones exteriores e interiores, como revestimientos de paredes, revestimientos varios, muebles de jardín, marcos de ventanas,

puertas, instrumentos musicales y alacenas. La producción de madera modificada térmicamente (TMW) ha ido incrementando progresivamente desde 2001. La producción global de Thermo Wood (Finlandia) creció cerca de 8 veces, de 18,799 m<sup>3</sup> en 2001 a 145,733 m<sup>3</sup> en 2014, (Gao, 2017).

El método de tratamiento más habitual fue desarrollado en los años 90 por el Centro Tecnológico finlandés VTT y consiste en someter a la madera a una temperatura mínima de 180 °C en una atmosfera de vapor. Es un proceso, comercializado bajo la marca Thermowood Association (ITA) se caracteriza por tener tres etapas principales y una duración total aproximada de dos días (Finnish Association Thermowood, 2003).

En el año 2000, existían 30 plantas de modificación térmica en Europa con una capacidad conjunta de unos 300,000 m<sup>3</sup> (Euwid, 2010). Los 11 fabricantes agrupados en la ITA produjeron 122,000 m<sup>3</sup> en el año 2012, siendo el pino silvestre (47%) y el abeto rojo (47%) por medio del tratamiento Thermo-D constituyó el 86% del producto comercializado citado en (International Thermowood Association, 2012).

## 2.2. MADERA TERMOTRATADA

La modificación térmica es uno de los métodos respetuosos con el medio ambiente para mejorar las propiedades del material madera. Esto está demostrado, donde la madera se expone a temperaturas entre 170-220°C en ausencia de oxígeno, con esto, es posible modificar propiedades de la madera, como su susceptibilidad a la absorción de la humedad y la degradación natural biológica. La madera después de la modificación térmica mejora mucho más su estabilidad dimensional, y la durabilidad en aplicaciones al aire libre que son de 5 a 20 años si la madera no está en contacto directo con el suelo (Dagbro., 2010).

Las preocupaciones ambientales dieron lugar al implemento de nuevas soluciones. Para ello se implementó el termotratamiento como medida alternativa sustituyendo los tratamientos químicos y de impregnación (Candelier, 2013) este proceso consiste en calentar la madera durante varias horas a temperaturas elevadas, es de cierta forma una pirolisis parcial de la madera efectuada bajo una atmosfera controlada, en

ausencia o con bajo contenido de oxígeno (menos del 2%) sin añadirle sustancias químicas (Majano, 2014 y Cecobois, 2015, citado en (Elékou, 2019).

A medida que se calienta la madera, inicialmente hay un decremento en el peso del material debido a la pérdida del agua y extractivos volátiles, con menos extractivos volátiles tendiendo a migrar a la superficie de la madera. A medida que se incrementa la temperatura ocurren cambios químicos a los componentes macromoleculares de la pared celular, acompañados adicionalmente de pérdida de peso y cambios de color. Numerosos estudios han demostrado que la pérdida de masa (así como los cambios en otras propiedades) obedecen a un proceso cinético de primer orden, aunque otros estudios demuestran que esto depende de las condiciones a las que se lleva el tratamiento y el tamaño de la muestra (Hill, 2006).

El termotratamiento modifica de forma permanente la composición química de la madera (en particular de la hemicelulosa) y, en consecuencia, la estructura de la pared celular. Estos cambios producen alteraciones significativas de las propiedades del material.

Entre los principales cambios experimentados por la madera destaca la disminución de su humedad de equilibrio higroscópico, en consecuencia, la mejora de su comportamiento frente a las variaciones de humedad. Asimismo, la durabilidad natural frente a los hongos y de algunos de los insectos xilófagos mejora considerablemente, lo que no ocurre en el caso de las termitas. La conductividad térmica disminuye mejorando el aislamiento del material. El color de la madera se oscurece y sustancias como las resinas son eliminadas (Gao, 2017).

La densidad anhidra disminuye, así como varias propiedades mecánicas, tales como, la resistencia a la flexión, el módulo de elasticidad o la resistencia al impacto.

La mejora en la estabilidad dimensional contribuye a prolongar el mantenimiento de los acabados decorativos cuando se emplea en aplicaciones al exterior. No obstante, en caso de instalarse sin ningún recubrimiento, el aspecto de la madera se verá afectado con rapidez por la radiación ultravioleta.

El grado de variación de las propiedades depende de la tecnología empleada, de la especie de madera, y de la temperatura alcanzada durante el proceso (Hill, 2006).

Como resultado de los cambios químicos térmicamente inducidos en los constituyentes macromoleculares, se alteran las propiedades físicas y biológicas de la madera. Estos cambios se describen a continuación:

- Mejora la estabilidad dimensional dependiendo de las condiciones del termotratamiento.
- Reduce la hidroscopticidad (una disminución en el contenido de humedad en equilibrio a una humedad relativa determinada y, por ende, una disminución en el hinchamiento de la madera).
- Mejora la resistencia al ataque microbiológico.
- Un aumento en el módulo de ruptura durante las etapas iniciales del calentamiento, con una reducción a partir de entonces.
- Una reducción en la resistencia al impacto, módulo de ruptura y el trabajo de fractura.
- Reduce la resistencia a la abrasión.
- Una tendencia a que se formen grietas y divisiones, se suelten nudos.
- Un oscurecimiento de la madera (Hill, 2006).

Majano (2014), afirma que, de manera general, todos los tratamientos térmicos tienen en común que las propiedades de la madera mejoran en términos de:

- ✓ Mayor durabilidad biológica.
- ✓ Mayor estabilidad dimensional, similar a las maderas tropicales.
- ✓ Reducción de hinchamiento y contracción (en 50-90%).
- ✓ Reducción en el contenido de humedad en equilibrio (20-70%), lo cual deriva en una menor humedad (hasta el 50%) y en una mayor estabilidad frente a condiciones climáticas variables, comparado con la madera no tratada.
- ✓ Reducción de tensiones en el interior de la madera.
- ✓ Posibilidad de crear nuevos tonos de coloración.
- ✓ Los cambios de color son homogéneos en toda la sección.
- ✓ Una ligera mejora en cuanto a aislamiento térmico (conductividad térmica 20-25% menor que el material sin tratar).

Existen también algunas desventajas en comparación con la madera sin tratar:

- Gran fragilidad y tendencia al astillado.
- Reducción de las propiedades mecánicas hasta un 30%.
- Reducción de la densidad (10-20%).
- Baja resistencia a los rayos ultravioletas, siendo necesaria la protección con pigmentos.
- El tratamiento térmico no puede prevenir el agrietamiento de la madera (Elékou, 2019).

(Rivera, 2015) afirma que la madera modificada térmicamente de Vitex gaumeri Greenm (Ya'axnik) disminuye su densidad aparente y su humedad en equilibrio, también se da una disminución en el hinchamiento radial, volumétrico y el tangencial con el aumento de la temperatura. Mas sin embargo incrementa el módulo de elasticidad (MOR) en un 18.7%, la resistencia a compresión paralela en un 24%, la dureza axial también se incrementa de 20.35% y 18.4% para temperaturas de 160 y 200 °C respectivamente.

### 2.3. TERMOTRATAMIENTOS INDUSTRIALIZADOS

Para el proceso de madera modificada se suelen utilizar una atmosfera inerte, aceite, vapor o a l vacío (Majano, 2014) existen varios tecnologías comerciales para la modificación térmica de la madera. A nivel industrial particularmente en Europa se contabilizaron cerca de 45 en 2010 la mayoría de ellas en Finlandia, Alemania y Francia, Majano (2014) menciona los siguientes:

- Thermoholz Australia (Austria).
- ThermWood (Finlandia).
- Plato (Holanda).
- Rectification (Francia).
- Bois perdure (Quebec).
- Oil Heat Treatment (OHT) (Alemania).
- Intemporis (Zuiza).
- WTT-Process (Dinamarca).
- Bal-Holz (zuiza).

(Finnish thermoWood asociation, 2020) menciona que las propiedades que se mejoran en la madera modificada térmicamente y sus principales usos son los siguientes:

La madera reacciona con menos facilidad a los cambios de humedad, estabilidad dimensional, la permanencia del color (se oscurece), incrementa su durabilidad natural, la densidad de la madera disminuye, conductividad térmica mejora y las propiedades mecánicas disminuyen sus principales aplicaciones, muebles al aire libre, patios y terrazas, saunas, acabados para interiores, pisos y recubrimientos.

#### 2.4. PROCESO THERMOWOOD.

Es un proceso de madera termotratada o modificada, comercializado bajo la marca Thermowood Association (ITA); se caracteriza por tener tres etapas principales y una duración total próxima de dos días, (Figura 1) (Finnish Association Thermowood, 2003).

**Primera etapa**, inicialmente empleando calor y vapor de agua, la temperatura se incrementa rápidamente hasta unos 100°C, posteriormente, hasta los 130°C, al final de esta etapa el contenido de humedad de la madera es casi cero.

**Segunda etapa**, la temperatura alcanza el objetivo de tratamiento deseado (185°C-215°C) y se mantiene durante 2 o 3 horas dependiendo de la aplicación final. La temperatura alcanzada define la clase y tipo de termotratamiento: thermo-D 200°C a 212°C y thermo-S 185°C a 190°C.

**Tercera etapa**, la temperatura se reduce mediante pulverizadores de agua, y al alcanzar los 80-90°C, tiene lugar un reacondicionamiento para dejar la madera con un contenido de humedad final del 4-7% (Dagbro, 2016).

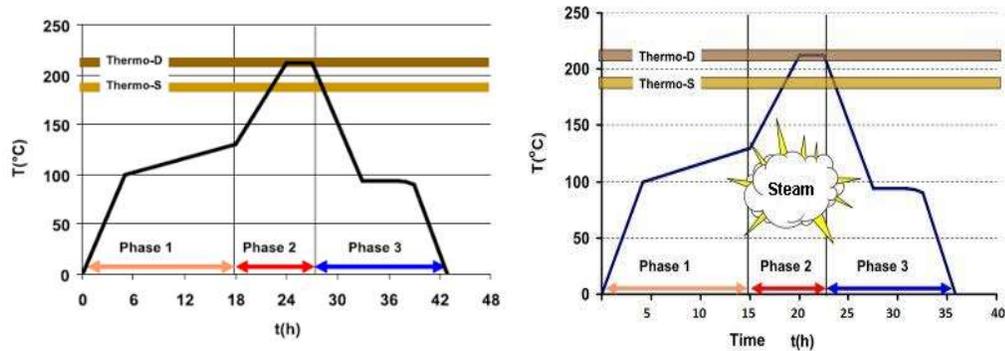


Figura 1. Diagrama del proceso de producción Thermowood para madera termotratada (Dagbro, 2016).

## 2.5. DISEÑO Y SIMULACIÓN PARA EL TRATAMIENTO DE MADERA.

El diseño de equipo es la actividad inicial cuando se requiere de implementar o modificar un proceso en todas las áreas de la ingeniería. En la actualidad se utilizan softwares para realizar dicha actividad y uno de los más utilizados es Solidworks. En este programa se pueden crear piezas o embalajes en tercera dimensión, así como obtener los planos de las piezas para su producción. Otros softwares utilizados en la simulación de hornos de secado de madera es el Autodesk CFD, el cual tiene herramientas para la simulación térmica de fluidos. Este programa computacional fue utilizado para el diseño y simulación de un horno de secado de madera mediante el sistema solar térmico de concentración, en lugar del sistema de calentamiento mediante combustibles (Lince-Arango y Arroyave-Gómez 2016). También el software Ansys Discovery Live se ha utilizado en la simulación de estufas de secado (Pincay-delaRosa 2021). Este software permite el análisis en 3D y de comportamiento térmico en tiempo real de las modificaciones en el sistema 3D.

## 2.6. SIMULACIÓN DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO EN PROCESOS DE SECADO DE MADERA.

La transferencia de calor es un fenómeno físico determinante en el proceso de termotratamiento. Existen en el mercado diversos programas de simulación de transferencia de calor. Uno de los más utilizados es el solidworks, el cual es un programa de diseño asistido por computadora (CAD). Este programa computacional es ampliamente utilizado para el diseño de piezas en 3D y tiene la ventaja de contar con un complemento denominado Flowsimulation para simular los efectos de un líquido o un gas y fenómenos

de transferencia de calor. Una ventaja de dicho complemento es que en el mismo programa computacional se puede realizar las etapas de pre y post proceso.

Solidworks se ha utilizado en la simulación de diferentes procesos. Un caso corresponde a un proceso de transferencia de calor en un líquido en el proceso de captación de energía de una planta eléctrica termosolar (Moreno-Soriano 2016). Otros casos de simulación de transferencia de calor son en un intercambiador de calor como equipo de laboratorio (Palacio-Reyes y Vargas-López 2021) o de control automático para regular temperatura en un sistema de producción acuícola

Una vez realizados el diseño y simulación de un objeto o sistema, la validación de los datos teóricos se realiza mediante la construcción del objeto o sistema. Existen algunos trabajos en este sentido. Uno de ellos es la construcción de una máquina tamizadora de arena de uso en la construcción (Quintero-Arteaga y Ricardo-Geney 2018). En este estudio se hicieron simulaciones de cargas y esfuerzos en los materiales de construcción de la máquina tamizadora de arena. Otro trabajo se refiere a la simulación aerodinámica de un vehículo de transporte unipersonal denominado velomobile (Chiclote-Vela y Raico-Vásquez 2018). En relación a procesos térmicos, se reportan datos de construcción de un horno de recalentamiento mediante el diseño, simulación y construcción del mismo (Echeverría-Burgos y Reyes Olivares 2016). En todos estos trabajos han utilizado el programa SolidWorks como herramienta de simulación y el objetivo es validar a través de la construcción de los diferentes elementos.

El diseño y simulación de hornos de secado de madera se mencionan a continuación. Diaz-Coello y Garofalo-Zambrano (2020) realizaron el diseño y simulación de un sistema de calefacción y de ventilación para una estufa de secado de madera balsa. Los resultados del diseño y simulación mediante el software SolidWorks encontraron una disminución de las pérdidas de calor a través de las paredes. Mediante la utilización del software Ansys Discovery Live con la herramienta de fluido dinámico se pudo determinar el acomodo de la madera en el interior de la cámara en una estufa de secado de madera híbrida, esto es, solar térmica de combustión con biomasa (Pincay-delaRosa 2021).

El diseño y la simulación de estufas de secado son de gran ayuda para mejorar las condiciones de proceso. Al respecto se realizó un trabajo de diseño y simulación con

SolidWorks de una cámara de termotratamiento de madera (Delgado-Nieves 2019). En este trabajo se definieron aspectos determinantes en el proceso de termotratamiento como es la velocidad del aire caliente, la posición y características de los quemadores y del ventilador y la forma adecuada de introducir el calor. En este caso se observó que es muy eficiente al introducir el calor de forma tangencial.

### **3. JUSTIFICACIÓN**

La madera sometida al termotratamiento tiene mejores propiedades comparado al material madera, entre las que se destaca un comportamiento más estable dimensionalmente, lo que la hace ideal en aplicaciones al aire libre, presenta cambios de coloración más oscuras, se vuelve hidrofóba, la durabilidad natural frente a los hongos y de algunos de los insectos xilófagos. La obtención de madera con estas características daría un valor agregado a especies de bajo valor comercial. La existencia de una estufa de este tipo en nuestra región contribuiría enormemente al mejor aprovechamiento de los recursos maderables, ya que el uso de la madera sometida a una modificación térmicamente potencializa su uso práctico. Para ello se requiere diseñar y construir una cámara para dicho fin, teniendo hasta el momento el diseño de la cámara y la simulación de su comportamiento térmico.

Sin embargo, las etapas de construcción y funcionalidad de los equipos son decisivas en cualquier proceso y éstas podrían demandar nuevas simulaciones y modificaciones al diseño original. Por lo tanto, cualquier proceso debe contener diseño, simulación y funcionalidad y el caso específico de la cámara de termotratamiento de madera no cuenta aún con la etapa de construcción y funcionalidad.

#### **4. HIPÓTESIS**

La cámara de termotratamiento es funcional con gas LP y con alimentación tangencial a partir de simulaciones en SolidWorks.

## **5. OBJETIVOS**

### **5.1. OBJETIVO GENERAL**

Construir una cámara para termotratamiento de madera.

### **5.2. OBJETIVOS PARTICULARES**

- Analizar el diseño de la estufa de termotratamiento con los resultados que fueron validados en una primera simulación con Solidworks.
- Optimizar el diseño de la estufa de termotratamiento
- Realizar nuevas simulaciones del proceso para madera modificada con Solidworks.
- Validar la funcionalidad de la cámara de termotratamiento de madera mediante gas LP.

## **6. MATERIALES Y MÉTODOS**

La estufa para madera modificada térmicamente se fabricó de acuerdo a la propuesta realizada por Delgado-Nieves (2019). El diseño se evaluó con base a condiciones técnicas y de factibilidad en la construcción. La evaluación contó con un enfoque de materiales de construcción a partir de su comportamiento térmico, de disponibilidad y de costo de los mismos. Método de transferencia de energía por conducción de los materiales de construcción.

Después de la evaluación técnica a partir de la propuesta de diseño original, se seleccionó el material estructural y el tipo de aislante térmico. También se seleccionaron los elementos del quemador, así como el tipo de ventilador.

El método de comprobación de la factibilidad de la estufa de secado fue con ayuda del software Solidworks. Las modificaciones que se realizaron desde el punto de vista térmico fueron considerando el tipo y espesor mínimo de recubrimiento, para evitar las pérdidas de energía a través de la estufa. Por último, se realizó el cálculo del costo total de la cámara de termotratamiento.

## 7. RESULTADOS.

### 7.1.- ANÁLISIS DEL PROTOTIPO DE LA ESTUFA DE TERMOTRATAMIENTO DE MADERA.

#### 7.1.1. Ventiladas, Cambio de medidas, Cambio de recubrimiento.

El análisis del diseño inicial de la estufa para termotratar madera dio como resultado algunos cambios en el mismo. En primer lugar, se consideró el papel de las ventiladas en un proceso continuo. Los cambios de acuerdo al diseño del prototipo de la estufa fueron: para las ventiladas de tener cuatro ventiladas se determinó dejar dos del lado de los desviadores en la misma posición con un diámetro de 4 pulgadas, debido que al tener las otras dos colocadas cerca de los quemadores al abrirlas se tiene pérdidas considerables de la temperatura y la circulación del aire dentro de la cámara. Las dos ventiladas que se dejaron en la estufa son suficientes para la liberación de posibles gases presentes en el proceso del termotratamiento de la madera.

Otro aspecto que se consideró en el análisis del prototipo fue el recubrimiento. En el diseño de esta se planteó un recubrimiento de tabique refractario a base de caolín sin embargo se tuvo complicaciones en el conformado del mismo ya que también se requería de mayor tiempo para el desarrollo de este, se optó por emplear otro recubrimiento que cumpliera los requisitos para el proceso de termotratamiento de madera, se cambió por **lana mineral** ya que es una alternativa económica, existen en el mercado diferentes densidades, fácil de conseguir e instalar, es incombustible, no es corrosiva, tiene excelente resistencia y rendimiento térmico, no absorbe humedad y es resistente a parásitos y al moho.

#### 7.1.2. Medidas, Material de construcción.

De acuerdo a las observaciones realizadas en la primera fase el diseño fue modificado y las nuevas dimensiones se mencionan a continuación. Las medidas exteriores del diseño eran 290×195×160 cm las medidas actuales son 295×205×180 cm, medidas interiores diseño área de trabajo 265×100×115 cm, cámara 285×105×135 cm, diseño área de circulación de aire 265×35×115 cm, cámara 285×45×135cm (Figura 2), diseño área del carro para la madera 265×100×23.3 cm, cámara 285×105×30 cm, los cambios hechos de

acuerdo al diseño son debido a que se tenía considerado un recubrimiento en las paredes de un refractario con un espesor mayor que la del recubrimiento actual de lana mineral. Para el área de trabajo se dejó una holgura en el ancho para una mayor maniobra del carro. Área de circulación de aire es mayor, pero corresponde con el mínimo que se maneja en teoría que debe ser un tercio de la altura del área de trabajo de la cámara. Los cambios de medidas fueron proporcionales en las tres dimensiones por lo cual no deben existir cambios en la circulación del aire dentro de la cámara ya que la geometría es la misma. De acuerdo a las medidas actuales de la cámara el volumen real de madera que entra en la cámara es de 1.67 m<sup>3</sup>.

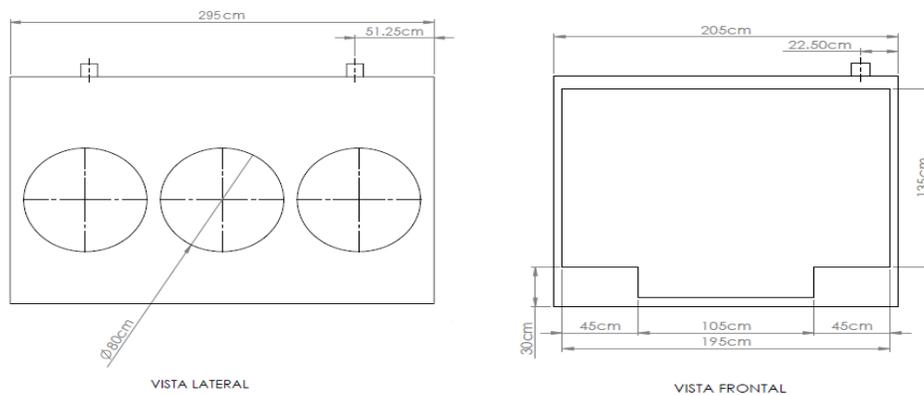


Figura 2. dimensiones actuales de la cámara.

### 7.1.3. Simulación del proceso para madera modificada con Solidworks.

En la simulación con las medidas actuales de la cámara, los flujos de los quemadores y su distribución del aire por el ventilador son homogéneos dentro de toda la cámara por lo cual no existieron cambios en la evaluación y análisis de las condiciones necesarias para el termotratamiento de la madera dentro de la cámara, ya que la geometría es la misma (Figura 3).

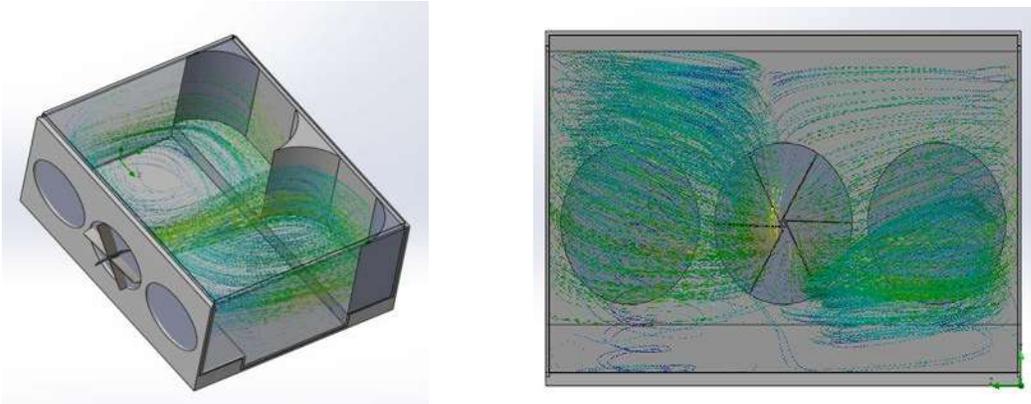


Figura 3. Simulación en Solidworks con las nuevas medidas de la cámara.

## 7.2. RECUBRIMIENTO TERMICO DE LA CÁMARA (LANA MINERAL)

La Manta Industrial de Thermafiber® o lana mineral (Figura 4) es una alternativa económica y es un aislamiento flexible adecuado para aplicaciones de servicio continuo de hasta 648 °C. Proporciona un excelente rendimiento acústico y térmico en aplicaciones tanto en caliente como en frío para conservar la energía, mantener la temperatura del proceso, evitar la condensación y reducir la emisión y la transmisión de ruido. Están disponibles en densidades nominales de 64, 100, 130 y 160 kg/m<sup>3</sup>. Estas mantas absorben menos del 1% de la humedad y son resistentes a parásitos y al moho. La conductividad térmica no se ve afectada.



Figura 4. Aislante térmico utilizado en la construcción del horno de termotratamiento (lana mineral).

### 7.2.1. CARACTERÍSTICAS DE LA LANA MINERAL.

#### Opción de Contenido reciclado

- Utilizadas en servicios continuos de hasta 650 °C.
- Fáciles de instalar.
- Incombustibles.
- No absorben humedad.
- No son corrosivas.
- Excelente resistencia y rendimiento térmico.
- Dimensionalmente estables a temperaturas elevadas.
- El 70% del contenido es de material reciclado.

### 7.2.2. DATOS TECNICOS DE LA LANA MINERAL.

Cuadro 1. Datos técnicos de la lana mineral.

Conductividad térmica <sup>3</sup> probada con la norma ASTM C518					Prueba ASTM E 84		
Vatio*m <sup>2</sup> *°C					Sin barrera de vapor		
Densidad Nominal	75°	200°	300°	400°	500°	Propagación de llama	Desarrollo de humo
64 kg/m <sup>3</sup>	1.42	1.99	2.5	-	-	0	0
100 kg/m <sup>3</sup>	1.36	1.87	2.33	2.78	3.29	0	0
130 kg/m <sup>3</sup>	1.36	1.7	2.16	2.61	3.18	0	0
160 kg/m <sup>3</sup>	1.36	1.65	1.99	2.44	3	0	0

<sup>3</sup> Los grados representan temperatura media.

Cuadro 2. Datos técnicos de la lana mineral.

Máxima temperatura de superficie caliente de un lado (paneles cerrados) por la norma ASTM C 411	
Densidad Nominal	Máximo ° C
64 kg/m <sup>3</sup>	315
100 kg/m <sup>3</sup> - 160 kg/m <sup>3</sup>	648

Nota: Temperaturas arriba de 450° grados requieren soporte mecánico.

Cuadro 3. Disponibilidad de la lana mineral.

Nombre del producto	Densidad Nominal	Espesor*	Ancho**	Largo**
Manta Industrial 40	64 kg/m <sup>3</sup>	3.81 – 17.78 cm	61, 91.44, 183 cm	122, 152.4, 183 cm
Manta Industrial 60	100 kg/m <sup>3</sup>	2.54 – 17.78 cm	61, 91.44, 183 cm	122, 152.4, 183 cm
Manta Industrial 80	130 kg/m <sup>3</sup>	2.54 – 17.78 cm	61, 91.44, 183 cm	122, 152.4, 183 cm
Manta Industrial 100	160 kg/m <sup>3</sup>	2.54 – 10.16 cm	61, 91.44, 183 cm	122, 152.4, 183 cm
Tolerancia	-	-0.635 – 0.32 cm	± 0.32 cm	± 1.27cm

\*Espesores están disponibles en incrementos de 1.27 cm

\*\*Los tamaños personalizados están disponibles bajo petición (Thermafiber, Inc., 2017).

La lana mineral que se seleccionó y que cumple para el proceso es la manta industrial 60 (lana mineral) de densidad nominal de 100 kg/m<sup>3</sup>, con un espesor de 5.08 cm, ancho de 61 cm, longitud de 122 cm los componentes de la lana mineral son roca de feldespato y la escoria de la fundición del acero.

### 7.2.3. COMPONENTES DE LA LANA MINERAL.

Los feldespatos son minerales pertenecientes al grupo de los aluminosilicatos, abarcan desde aquellas sustancias con una pureza mineralógica elevada o una elevada impureza, los aluminosilicatos se componen de tetraedros SiO<sub>4</sub> y AlO<sub>4</sub>. Los feldespatos constituyen el 60% de la corteza terrestre y el 50% de las rocas ígneas (Herrero, 2019).

Las escorias metalúrgicas son soluciones o mezclas no metálicas compuestas por óxidos, las cuales se forman a altas temperaturas a partir de fundentes e impurezas eliminadas del metal que por ser menos densa e insolubles en el metal, flotan sobre el baño metálico.

En la fabricación del acero se producen varios tipos de escorias, dependiendo de la ruta de fabricación del acero. Cada tipo de escoria presenta diferentes características en cuanto a composición y naturaleza, de las cuales dependen de las posibilidades de utilización posterior (Hincapié, 2018).

### 7.3. MANTA CERÁMICA PARA EL RECUBRIMIENTO DE LOS QUEMADORES.

La manta Superwool®607 Blanket está producida a base de fibras largas Superwool®607, estando disponibles en una amplia gama de espesores y densidades. Tiene unas excepcionales propiedades aislantes a temperaturas elevadas. La manta Superwool607® posee una excelente estabilidad térmica además de conservar su estructura fibrosa original hasta la temperatura de clasificación, la manta cerámica esta la conforman fibras minerales alcalinoterreas (calcarial).

Estas fibras están punzadas por ambos lados y poseen una gran resistencia antes y después del calentamiento. Las Manta Superwool blanket (Figura 5) no contienen aglomerantes ni lubricantes y no desprende por lo tanto humos ni olores durante su calentamiento. Las mantas son flexibles y fáciles de cortar, manipular e instalar.



Figura 5. Aislante utilizado en el recubrimiento de los quemadores (Manta cerámica)

### 7.3.1. BENEFICIOS.

- Excelentes características aislantes.
- No contiene aglomerantes o lubricantes.
- Estabilidad térmica.
- Baja absorción de calor.
- Buena resistencia al rasgado.
- Resistente al choque térmico.
- Buen aislamiento sónico.
- La fibra mineral Superwool es inerte, resistente al crecimiento de moho y al ataque de parásitos o bacterias.

### 7.3.2. APLICACIONES.

- Revestimiento de hornos industriales.
- Aislamiento de calderas.
- Control de temperatura en el tratamiento térmico.
- Aislamiento de coronas de hornos de vidrio.
- Estanqueidad de puertas de hornos.
- Revestimiento de conductos
- Aislamiento de tuberías.
- Pantallas térmicas en la industria del automóvil.
- Aislamiento para el des-tensionado de soldaduras.
- Filtración a alta temperatura.
- Aplicaciones en el aislamiento nuclear.
- Aislamiento de las turbinas de gas o a vapor.

### 7.3.3. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS.

La manta cerámica cumple con las normas Nom-009 Ener, ASTM C-592, Especificaciones para aislamiento de colchonetas de fibra mineral, ASTM C-795 Aislamiento Térmico para uso en contacto de acero inoxidable. La temperatura máxima de uso depende de la aplicación (Aislamientos y forros industriales S.A DE C.V, 2021).

Cuadro 4. Propiedades físicas de la manta cerámica.

Propiedades físicas	SuperWool607
Color	Blanco
Densidad kg/m <sup>3</sup>	64, 100, 130, 144
Espesor, mm	13-50
Temperatura de clasificación rating °C	1300

Cuadro 5. Propiedades químicas de la manta cerámica.

Propiedades Químicas	Nominal %
Silica, SiO <sub>2</sub>	60-70
Oxido de calcio, CaO	25-35
Oxido de magnesio, MgO	4-7
Otros	< 1

La manta cerámica que se seleccionó y cumple los requerimientos para el recubrimiento de los quemadores, tiene una densidad de 130 kg/m<sup>3</sup> con un espesor de 2.54 cm, un ancho de 61 cm y longitud de 7.5 metros. Se colocó en el fondo y paredes del quemador (Figura 6).



Figura 6. Colocacion de la manta mineral en los quemadores.

#### 7.4. VÁLVULA DE AGUJA PARA EL QUEMADOR.

Las válvulas de aguja son, básicamente válvulas de globo que tienen machos cónicos similares a agujas que ajustan con precisión en sus asientos, este tipo de válvulas permiten una estrangulación exacta de volúmenes pequeños. Por ello son de tamaño pequeño y de muy diversos tipos para aplicaciones especiales. La válvula consiste en un macho o aguja cónico o conformado que tiene movimiento alterno en el cuerpo. La estrangulación se produce porque el orificio anular formado por el macho cónico y su asiento también cónico (Greene, 2001).

##### 7.4.1. DESCRIPCIÓN DE LA VÁLVULA.

Las válvulas de aguja son básicamente válvulas de globo, tienen su vástago cónico similar a una aguja que ajusta con precisión en su asiento. Al abrirla el vástago gira y se mueve hacia fuera permitiendo una regulación de flujo efectiva a todas las presiones de trabajo, esto es debido al orificio variable que se forma entre el vástago cónico y su asiento integrado en el cuerpo de la válvula, cuando cierra el vástago se mueve hacia dentro logrando una estrangulación exacta de volúmenes pequeños, abren y cierran perfectamente bajo presión, el vástago tiene rosca estándar para abrir rápidamente. Las válvulas de aguja son compactas y su peso es menor que otros tipos de válvulas por eso se utilizan en espacios muy reducidos.

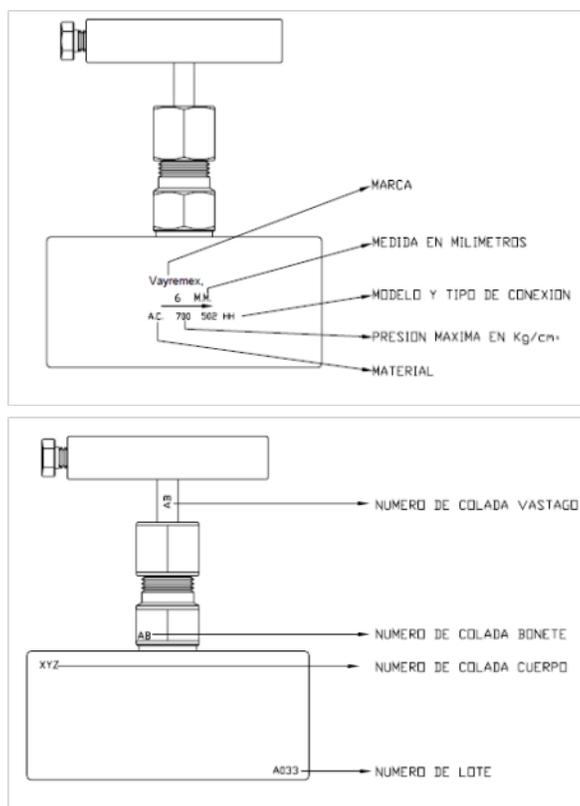
Los materiales que se emplean para su construcción son barras sólidas (bar stock) de acero al carbón, acero inoxidable y latón. Las válvulas de acero al carbón cuentan con una capa protectora (galvanizado) para prevenir la corrosión. Para servicio de gases amargos los materiales son seleccionados de acuerdo con los requerimientos de la norma NACE MR-0175.

Las válvulas son unidireccionales, el cuerpo cuenta con una flecha marcada que indica el sentido del flujo, la entrada de fluido suele ser debajo del asiento que forma el vástago con el cuerpo. Las válvulas pueden utilizarse totalmente abiertas, parcialmente abiertas o totalmente cerradas. En virtud del paso restringido y los cambios de dirección que experimenta el fluido al pasar por la válvula, la caída de presión es bastante considerable.

Son válvulas estándar que se utilizan en la mayor parte de las plataformas petroleras, en refinerías de petróleo, en plantas de procesos químicos como válvulas para instrumentos en sistemas hidráulicos y para aire o gas.

#### 7.4.2. MARCADO DE LA VÁLVULA DE AGUJA.

- En cada empresa existe un sistema de rastreabilidad que permite identificar cada uno de los materiales que intervienen en el proceso de fabricación de la válvula.
- Las piezas importantes de la válvula como el cuerpo, el bonete y el vástago tienen estampado el número de colada respectivo (Figura 7), (Válvulas y reguladores de México. S:A DE C:V:, 2021).



Figuras 7. Identificación de los materiales de construcción de válvulas.

La válvula empleada para el quemador, es una válvula de aguja de alta presión 675 atm (10,000 lb pulg<sup>-2</sup>), recta marca vayremex, 19 mm (¾ pulg), NPT hembra-hembra, orificio 9.5 mm (0.375 pulg), en acero al carbono con vastago de acero inoxidable, empaquetadura de teflón, maneral galvanizado, modelo 505-HH su función de instalarla en el quemador es de control de gas LP.

## 7.5. ESTRUCTURA METALICA DE LA ESTUFA.

La estructura se fabricó con un acero grado construcción de denominación en el mercado PTR con medidas de 51×25 mm (2×1 pulgadas), los PTR son más resistentes a soportar fuerzas de cargas mayores que los tubulares, ángulos entre otros por esa razón se decidió construir la estructura con este tipo de perfil.

Algunas de las características de este perfil son dimensiones exteriores en 51×25 mm (2x1 pulgadas), espesor de la pared de 1.9 mm (0.150 pulg), calibre 14 y con un peso de 2.09 kg/m, se soldó con electrodo 6013.

Las medidas de la estructura que van a conformar la cámara de termotratamiento para madera se realizaron con base a Delgado-Nieves (2019) con las modificaciones mencionadas anteriormente (Figuras 8 y 9).



Figura 8. Diseño exterior de la estructura de la cámara de termotratamiento. a) Estructura de la cámara b) entrada de la cámara c) zona para los quemadores d) zona para el ventilador.



Figura 9. Diseño interior de la estructura de la cámara de termotratamiento. a) zona de trabajo para el termotratamiento b) zona para la circulación del aire c) zona para la circulación del aire y colocación del desviador del aire y d) plataforma del carro para la madera.

Las medidas exteriores finales de la cámara son las siguientes 295×205×180 cm (116.1×80.7×70.8 pulg) teniendo una modificación en relación al plano en lo largo 5.0 cm (2 pulg), 10.0 cm (4 pulg) en lo ancho, la altura se incrementó 20 cm de las dimensiones en el plano, las medidas interiores cambiaron se cumple la relación manejada en teoría del área de circulación del aire 1/3 de la altura de la cámara.

#### 7.6. COLOCACION DE RECUBRIMIENTOS DE LA CAMARA.

Para el soporte de la lana mineral y con la finalidad de obtener un recubrimiento del tipo panel, en la parte interior de la cámara se colocó lamina negra con las siguientes características, calibre 24, medidas nominales de 122×305 cm (48×120 pulgadas) y 90×305 cm (35×120 pulgadas), las cuales una vez colocadas en todo el interior se les colocó tornillos de 6.35 mm (¼ pulg) y un largo de 50.8 mm (2 pulg) tipo de cabeza del tornillo allen, los cuales sujetan la lámina y están anclados a la estructura de PTR con la finalidad de tener las paredes niveladas y bien fijas a la estructura, cabe mencionar que en el área donde está colocada la tornillería se reforzó la lámina con una solera de 19 mm (¾ pulg) con un espesor de 3.1 mm (1/8 pulg) para que el nivelado de la pared sea uniforme (Figura 10).

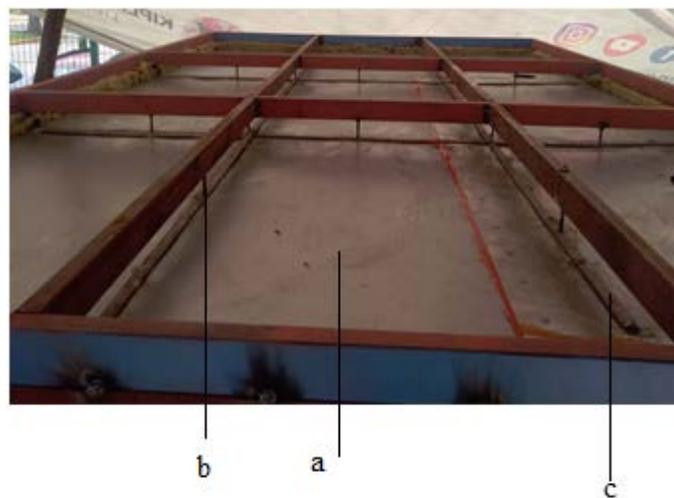


Figura 10. Detalles del recubrimiento interior de la cámara de termotratamiento. a) lamina negra, b) tornillo allen anclado a la estructura, c) solera para un mayor soporte.

### 7.6.1. COLOCACIÓN DE LA LANA MINERAL PISO Y PAREDES.

Para la colocación del recubrimiento de lana mineral en el piso de la cámara se colocó lámina galvanizada calibre 26 en la parte exterior y en la parte interior de la cámara para delimitar áreas de la cámara, las cuales se remacharon a la estructura con remaches de 3/16 (Figura 11). Una vez delimitada las áreas se colocó la lana mineral de 5.08 cm (2 pulgadas) de espesor, densidad de  $100 \text{ kg/m}^3$  ( $6 \text{ lb pie}^{-3}$ ) con medidas nominales en ancho 61 cm (24 pulgadas), largo 122 cm (48 pulgadas) (Figura 12), ya colocado el recubrimiento se coloca la lámina negra en la parte interior de la cámara.



Figura 11. Preparación de área de trabajo de la cámara de termotratamiento. a) lámina galvanizada calibre 26 y delimitación de áreas de trabajo.

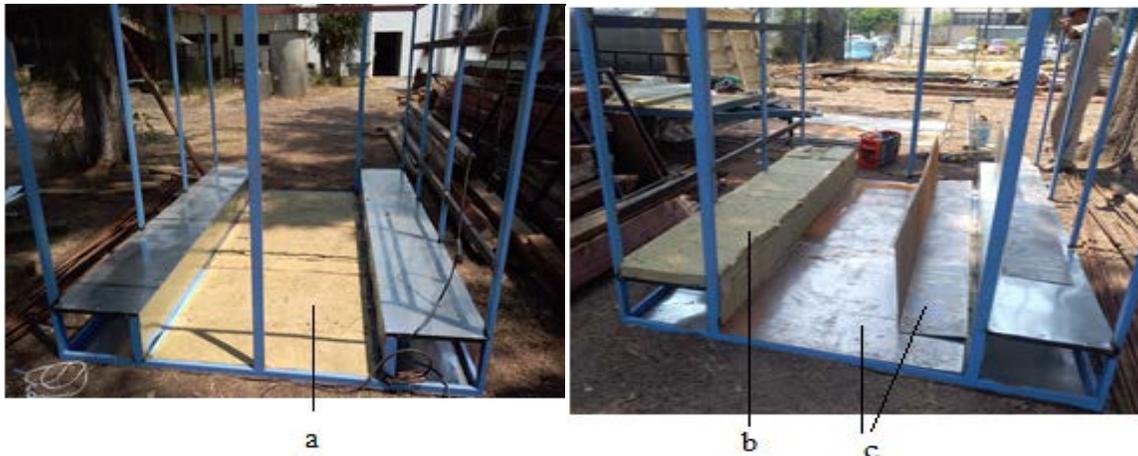


Figura 12. Aislante térmico del área de trabajo de la cámara de termotratamiento. a) colocación de la lana mineral en el piso, b) colocación del recubrimiento en área delimitada, c) lamina negra colocada en el interior de la cámara.

La colocación del recubrimiento en las paredes se hizo primeramente en todo el interior de la lámina negra y se anclaron los tornillos, para posteriormente poner la lana mineral (Figura 13). En la parte exterior de la cámara se recubrió con lámina galvanizada en calibre 26, con medidas nominales de 122×305 cm y 90×305 cm las cuales fueron remachadas con remaches de 0.47 cm (3/16 de pulgada) de aluminio (Figura 14). Para la pared donde están ubicados los quemadores y ventilador se realizaron los orificios de estos en la lámina interior, así como en la lámina del exterior (Figura 15). En la parte superior de la cámara se le hicieron los orificios para las ventilas, y se colocó una capa de lana mineral por debajo de la estructura para evitar el contacto con ella y evitar fuga de calor excesiva, después de la lana mineral se colocó fibra de vidrio (Figura 16).



Figura 13. Aislante térmico de la cámara de termotratamiento. a) colocación del recubrimiento de lana mineral en las paredes de la estufa.

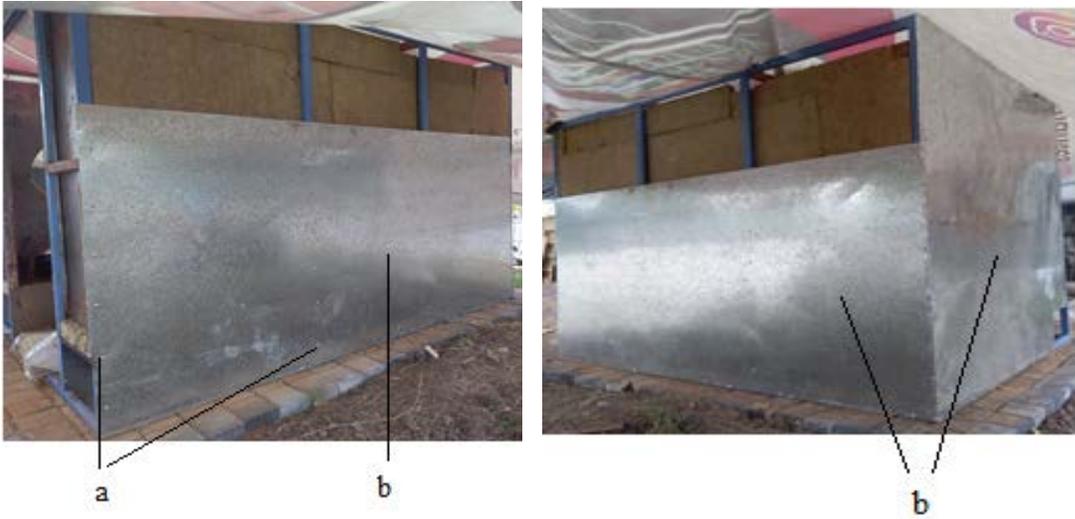


Figura 14. Acabado exterior de la cámara de termotratamiento. a) remaches, b) lámina galvanizada en calibre 26.

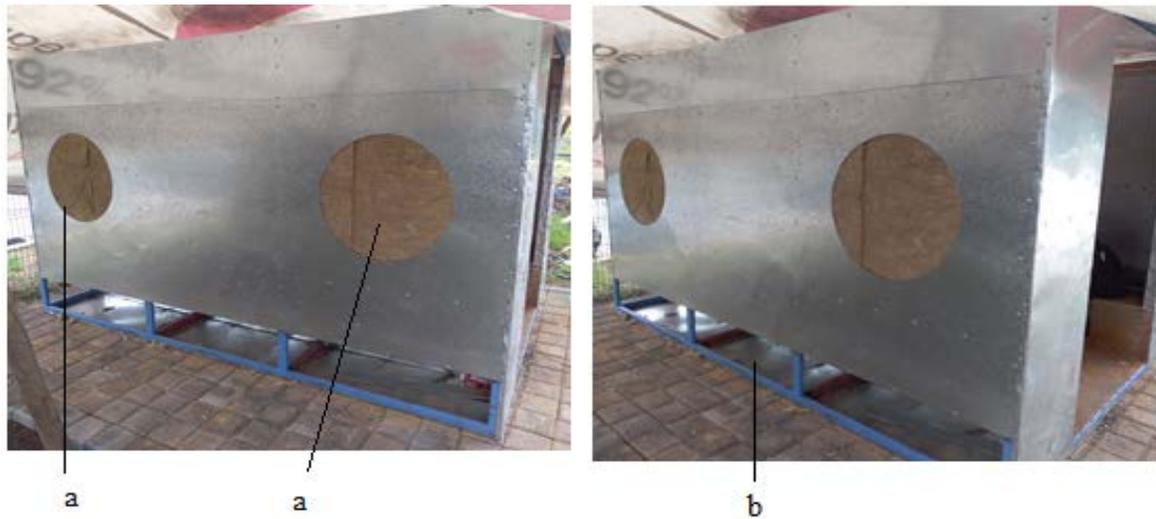


Figura 15. Habilitación de espacios para los quemadores en la cámara de termotratamiento. a) espacio para los quemadores, b) espacio considerado para colocación de tubería de gas inerte o tubería para vapor.

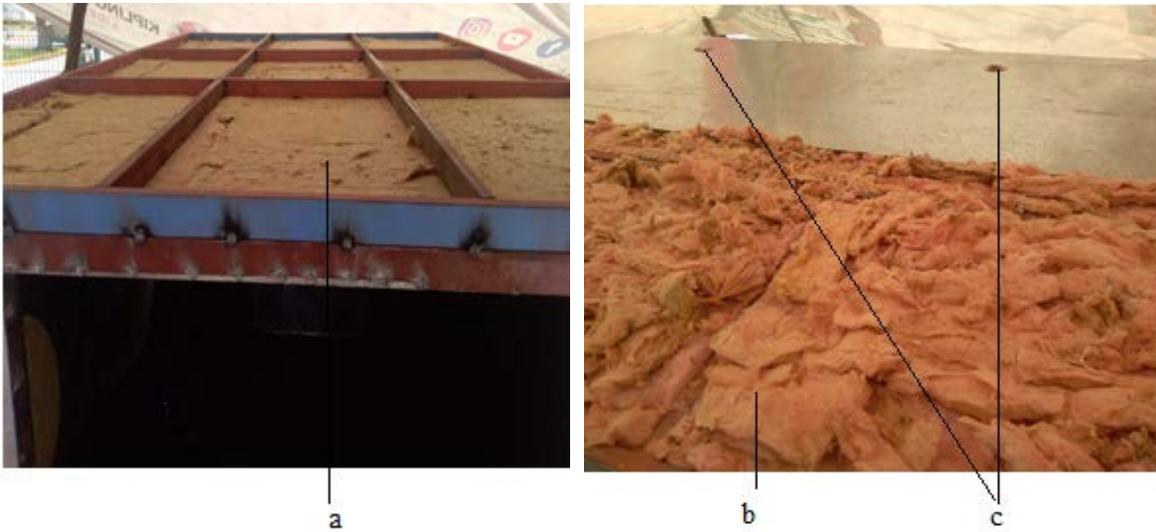


Figura 16. Habilitación del techo de la cámara de termotratamiento. a) colocación de la lana mineral, b) colocación de fibra de vidrio, c) orificios para las ventilas.

7.6.2. SELLADO CON SILICÓN DE ALTA TEMPERATURA EN UNIONES.

Después de la colocación de las láminas del interior de la cámara y una vez soldadas en las uniones se sellaron con silicón de alta temperatura. El silicón rojo es ideal para sustituir juntas automotrices e industriales, formando juntas durables y resistentes en un rango de temperatura de  $-73^{\circ}\text{C}$  hasta  $+315^{\circ}\text{C}$ . Este material funciona como un sellador versátil de múltiples usos. Su color rojo lo hace fácilmente visible en las partes a unir, para evitar fugas por las paredes de gas inerte, vapor y de calor (Figura 17).



Figura 17. Sellado de juntas en la cámara de termotratamiento. a) sellado en tolas uniones de la lámina de interior con silicón de alta temperatura.

## 7.7. BASE PARA LA COLOCACIÓN DE LA ESTUFA.

En la preparación del espacio para la base, primero se limpió el área, se niveló el terreno sacando el nivel en todas las esquinas del área, una vez nivelado se aplicó una capa de arena y se volvió a nivelar con esta última, para posteriormente colocar el adoquín, el área de la superficie preparada es de 3.0 x 3.5 metros (Figura 18).



Figura 18. Preparación del espacio de colocación de la cámara de termotratamiento. a) hilos de para nivelación de piso, arena y adoquín, b) arena nivelada, c) colocación del adoquín.

## 7.8. EQUIPO PARA LA ESTUFA (QUEMADORES Y VENTILADOR).

### 7.8.1. EQUIPO PARA LOS QUEMADORES.

El equipo calculado es de acuerdo a su capacidad y requerimientos de uso, los cuales son considerados para tener un buen funcionamiento en el proceso indicado, sin embargo, pueden tener cambios si estos no cumplen su finalidad. Los elementos del quemador son el motor, la válvula de aguja, el ventilador, el regular de combustible y el tubo del cañón de combustión (Figura 19). Las características de cada elemento se presentan en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Equipo calculado para los quemadores.

Elemento	Capacidad	Medidas	Uso
Motor	½ hp	Salida de la flecha 5/8 de pulgada	generar aire para el funcionamiento del quemador
Ventilador tipo jaula de ardilla	Reforzada de rotación derecha	8x4 pulgadas con flecha de 5/8 de pulgada	Junto con el motor generan aire para la combustión del gas LP
Válvula de aguja	Alta presión 10000 psi	¾ NPT Hembra-Hembra	Control del gas LP para el quemador
Válvula de bola para gases	-----	¾ roscada	Válvula de paso del gas LP
Regulador de gas	Alta presión	Salida a ¾ de pulgada	Regulación del paso del gas LP
Tubo para el cañón del quemador	Diámetro de 4 pulgadas en cedula 40	Longitud de 1 metro	Unión del cuerpo para quemador
Niple de acero	Niple de cuerda corrida	¾ x 4 pulgadas	Unir las válvulas
Hogar para el quemador	Diámetro exterior 78 cm	Rolado en lamina de calibre 14	Hogar del quemador

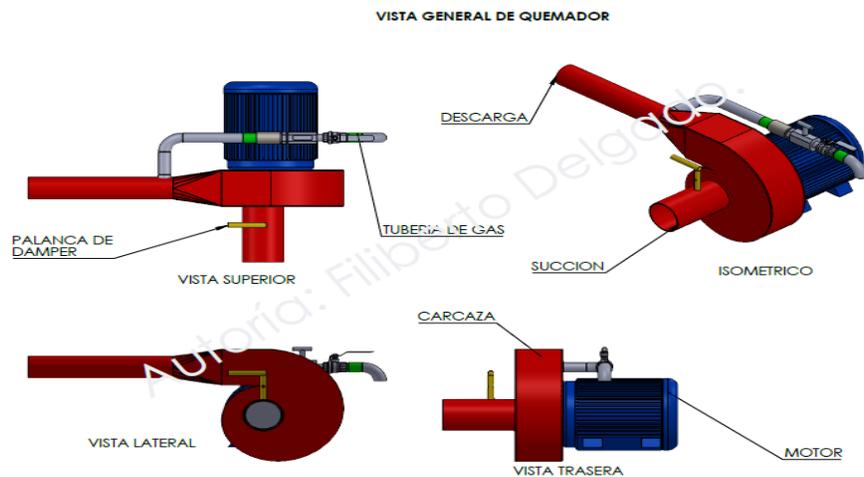


Figura 19. Isométrico y elementos del soplador y quemador.

### 7.8.2. EQUIPO CALCULADO PARA EL VENTILADOR.

El ventilador cumple la función de mover el aire caliente dentro de la cámara de termotratamiento de madera. Las partes del ventilador son el motor, la flecha, los soportes, las bandas y las poleas. Las características de cada parte del ventilador se presentan en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Partes calculadas para el ventilador.

Equipo	Capacidad	Medidas	Uso
Motor	2 hp	Salida de la flecha 7/8 de pulgada	Generador del movimiento del ventilador
Ventilador	-----	28 pulgadas	General aire dentro de la cámara
Chumaceras	De pared	Para flecha de 7/8 de pulgada	Soporte de flecha
Flecha	De acero w2 o coolroll	Longitud 40 cm diámetro 7/8	Unión de paleas, chumaceras y ventilador
Poleas	De fierro colado	De 5 pulgadas con 3 bandas en B	Cuerpo de unión entre flecha y motor
bandas	Tipo de banda en B	40 pulgadas o la requerida	Unión para el movimiento ente el motor y flecha

### 7.9. MEDIDAS DEL DESVIADOR DE LA CÁMARA.

La medida del desviador de aire dentro de la cámara fue de acuerdo a Delgado-Nieves (2019) y se tomaron las imágenes de dicho autor (Figura 20).

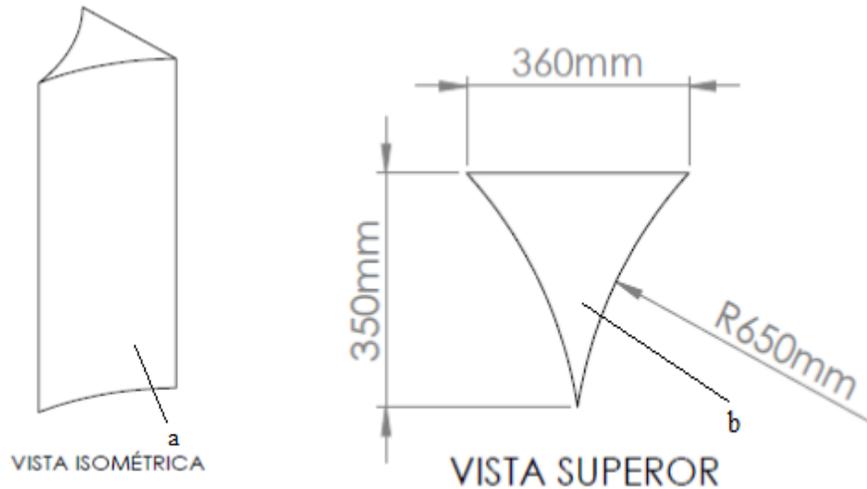


Figura 20. Detalles del desviador en la cámara de termotratamiento. a) vista isométrica del desviador, b) medidas de acuerdo al plano del diseño.

#### 7.10. SIMULACIÓN DE LAS VENTILAS ABRIÉNDOLAS EN PARES INDEPENDIENTES.

Se realizó la simulación el diseño de la estufa para hacer un análisis de las ventilas, en pares independientes, se abrieron las 2 ventilas que están del lado de los quemadores y el ventilador como resultado de esto se obtuvo que al abrir esas ventilas disminuye mucho el flujo de aire en la cámara se pierde casi en su totalidad y se va por las ventilas (Figura 21). En dicha simulación se abriendo las ventilas donde está el desviador en esta el flujo se mantiene en toda la cámara (Figura 22), por tal resultado se decidió dejar nada más estas dos ventilas en la cámara.

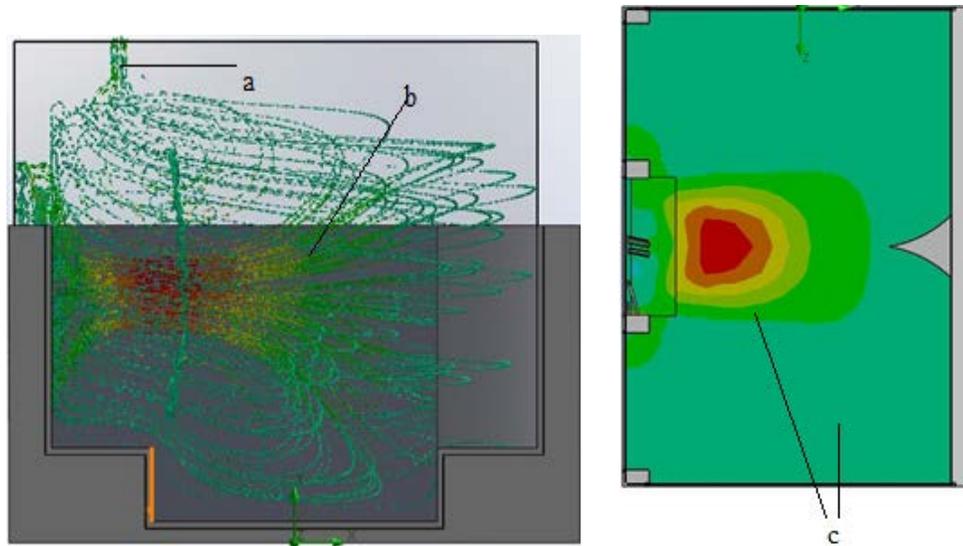


Figura 21. Simulación en Solidwoks en relación a las ventilas de la cámara de termotratamiento. a) flujo saliendo por las ventilas abiertas, b) flujo dentro de la cámara, c) mapeo del flujo en la cámara al mantener las ventilas abiertas.

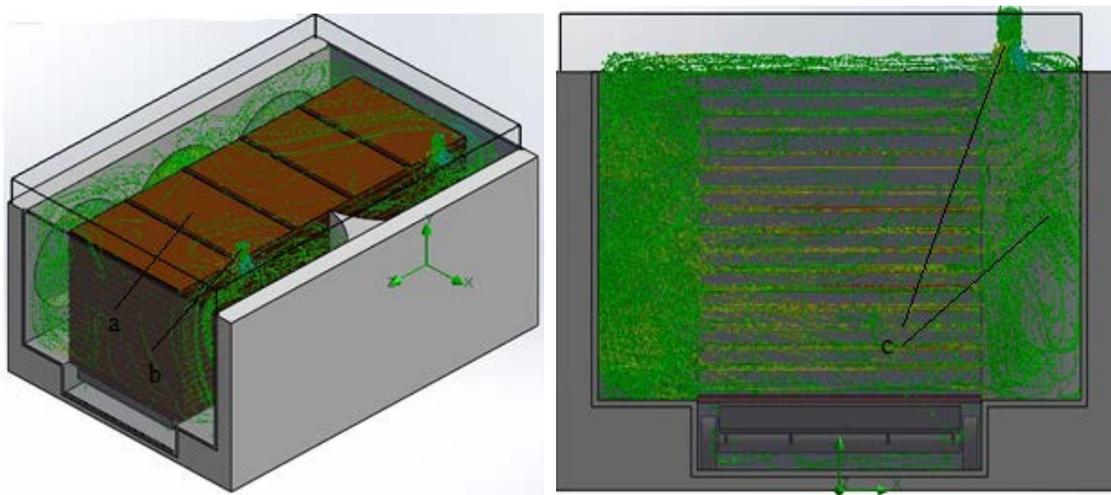


Figura 22. Simulación en Solidwoks en relación a las ventilas de la cámara de termotratamiento. a) madera, b) ventilas abiertas del lado del desviador, c) se mantiene el flujo dentro de la cámara.

### 7.11. PRUEBAS DE TEMPERATURAS CON UN QUEMADOR.

Las pruebas de temperatura se obtuvieron con un solo quemador, en el diseño se muestran dos quemadores, hasta el momento solo se cuenta con un quemador armado, se obtuvieron temperaturas a partir de temperatura ambiente de 33 °C hasta 261 °C en un tiempo de 50 minutos cuadro 8, la temperatura máxima que marca el proceso es de 220°C

en un tiempo mayor por lo tanto es satisfactorio la alimentación tangencial en los quemadores y se puede llevar el termotratamiento de la madera en la cámara.

*Cuadro 9.* Prueba de temperatura con un quemador en el interior de la cámara.

Tiempo (minutos)	Temperatura (°C)
0	33
5	138
10	174
15	194
20	206
25	217
30	227
35	236
40	243
45	251
50	261

## 7.12. CALCULO DE CONSTRUCCIÓN DE CÁMARA.

Calculo de los costos en la construcción de la cámara de termotratamiento están considerados todos los materiales que se han empleado en su elaboración, láminas de diferentes medidas y calibres, diversos perfiles, lana mineral, manta cerámica, tornillería de diferentes diámetros, entre otros materiales descritos en el cuadro 9. Así como la mano de obra partiendo del principio si uno como estudiante no la construyera y se tendría que pagar por esos servicios.

*Cuadro 10.* Calculo del material utilizado para la cámara.

concepto	cantidad	descripción	precio unitario	tal
lamina	25	laminas galvanizada y negra de medidas de 122x305,90x305	\$ 812	\$ 20300
PTR	16	ptr de 2.54x5.08 cm	\$ 375	\$ 6000

tubular	6	tubular de 2.54x5.08 cm	\$ 350	\$ 2100
tubular	2	tubular 1.9x5.08 cm	\$ 310	\$ 620
ángulo	3	ángulo de 2.54x 0.32 cm	\$ 147	\$ 441
solera	4	solera de 2.54x0.32cm	\$ 125	\$ 500
lamina quemadores	2	lamina de 122x305 cm calibre 14	\$ 2000	\$ 4000
tubo	0.5	tubo de diámetro de 10 cm	\$ 800	\$ 400
lana mineral	41	lana mineral de 5.08x61x122 cm	\$ 234.15	\$ 9600
manta mineral	1	rollo de 61cm x 75 metros	\$ 2500	\$ 2500
bisagras	4	bisagras para la puerta	\$ 275	\$ 1100
tornillos	110	tornillos diferentes medidas	\$ 8	\$ 880
remaches	3	remaches de aluminio	\$ 465	\$ 1395
soldadura	5	soldadura electrodo 6013	\$ 75	\$ 375
soldadura	4	soldadura micro alambre	\$ 280	\$ 1120
turbina	2	turbina de jaula de ardilla	\$ 1520	\$ 3040
válvula	2	válvula de aguja 3/4	\$ 1700	\$ 3400
válvula	2	válvula de bola	\$ 120	\$ 240
tubería	2	tubería para gas	\$ 550	\$ 1100
motores	2	motores quemador	\$ 1800	\$ 3600
motores	1	motor ventilador	\$ 3500	\$ 3500
ventilador	1	ventilador de aspas	\$ 2200	\$ 2200
chumaceras	2	chumaceras para ventilador	\$ 300	\$ 600
flecha y bandas	3	bandas para ventilador y flecha	\$ 200	\$ 600
poleas	2	poleas para ventilador	\$ 400	\$ 800
insumos	1	insumos	\$ 24960	\$ 24960
mano de obra	1	mano de obra si se pagara	\$ 60000	\$ 60000
			total	\$155371

## **8. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.**

### 8.1. Evaluación de la cámara de termotratamiento propuesta base de este estudio.

Las dimensiones interiores cambiaron, pero mantienen su geometría original, mientras que las dimensiones exteriores se modificaron por cambios en los materiales de construcción. La propuesta origen de este estudio comprendía la construcción de la cámara de termotratamiento con ladrillo refractario. Esta situación cambió debido a que se requería de tiempo y de la construcción de una prensa hidráulica para realizar la conformación del ladrillo refractario por lo que se optó por emplear lana mineral.

### 8.2. Disponibilidad y costo de los materiales de construcción.

Todos los materiales empleados en la construcción de la cámara son fáciles de encontrar en el mercado, perfiles y láminas empleados se encuentran con facilidad en tiendas comercializadoras de metales y perfiles de los cuales podemos encontrar diferentes calibres y precios. De la lana mineral empleadas como recubrimiento térmico está disponible en varias empresas a nivel nacional y con un costo accesible y fácil de conseguir en la actualidad con el desarrollo de tecnología y medios de traslado. Materiales relacionados a motores e insumos para los sopladores y quemadores son fáciles de conseguir aquí mismo en la región y con precios competitivos en el mercado.

### 8.3. Proceso de construcción.

Para la construcción de la estructura de la cámara se optó por implementar el perfil de construcción PTR de una geometría con un peralte más grande, este perfil tiene una mayor resistencia a las cargas presentes en cualquier estructura, en comparación con tubulares y ángulos de fierro que son más delgados en espesor de sus paredes y sufren una mayor deformación cuando se les aplica un esfuerzo, por lo cual es factible su mayor costo del PTR en un 30% en comparación con el tubular y ángulos, se empleó tubular y ángulo en la estufa en zonas donde no se comprometiera la estructura de la misma.

Implementación y colocación de láminas, se implementaron diferentes calibres de láminas, en las paredes del interior de la cámara se utilizó lámina negra en calibre 24 ya que se requería obtener una pared con mayor resistencia, en la parte del área de trabajo se colocó lamina negra en calibre 20 ya que en esa zona tendrá un mayor esfuerzo y carga del carro para la madera, el interior es de lámina negra ya que se le aplicará un tratamiento a la misma para evitar la oxidación. En el exterior se colocó lámina galvanizada más delgada que el interior ya que es nada mas de protección para la intemperie del ambiente y protección del aislante térmico. En los quemadores se utilizó lámina en calibre 14 y 12 debido a que en esa zona se tiene una temperatura más alta por los quemadores, con esto se garantiza mayor resistencia al desgaste y deformación de la geometría de los mismos.

Se Implementó lana mineral como recubrimiento térmico debido a que este producto es ligero y fácil de colocar y cortar, no es inflamable, resiste temperaturas de 650 °C, no absorbe humedad, no es corrosiva, presenta una excelente resistencia y rendimiento térmico y es dimensionalmente estable a temperaturas elevadas.

La válvula de aguja es la indicada en sistemas de regulación o dosificación de flujos, toda vez que permite operar el rango de apertura de 0 a 100 por ciento en una mayor nitidez, estas válvulas con regularidad deben girar 10 veces, lo que significa que por cada vuelta representa el 10% del rango de apertura, si se compara con una válvula de esfera que tiene una acción de un cuarto de vuelta es muy difícil colocar la válvula en una apertura específica.

#### 8.4. La importancia de realizar simulaciones en función de pequeños cambios de diseño.

Al realizar estas simulaciones nos permite determinar si los cambios que se realizaron nos van a afectar en el sistema y determinar si es viable o no hacer esos cambios en la nueva simulación con estos cambios, si es viable y existe un mejoramiento en la cámara, los cuales nos permiten decir con certeza que mientras se modifique la cámara en proporción en sus tres ejes será factible y viable la cámara para llevar acabo el termotratamiento.

## 8.5. Costo de la construcción.

Los costos totales de la cámara son de \$ 155371 pesos mexicanos, donde se tomó en cuenta tornillería, láminas, perfiles de construcción, equipo como motores, válvulas, tuberías para el gas LP, entre otros materiales especificados en el cuadro 8, en cuestión a todo el material de metal salió un poco elevado debido a la crisis económica del acero que se dio en este último año por consiguiente tuvo un aumento de casi el doscientos por ciento el material, de este total se está considerando la mano de obra, sin embargo al quitar la mano de obra ya que no se pagó por el hecho de que su construcción se realizó en conjunto con otro compañero de maestría, su costo total es de \$ 95371 pesos mexicanos.

## **9. CONCLUSIONES**

Con las nuevas simulaciones se pueden modificar las medidas de la cámara respetando la relación de estas en sus tres dimensiones para que sea factible el termotratamiento.

La cámara de termotratamiento es funcional con gas LP y con alimentación tangencial.

## 10. BIBLIOGRAFÍA

- Aislamientos y forros industriales S.A DE C.V. (2021). Manta cerámica SuperWool Blanket. Monterrey, Nuevo Leon.: Ficha tecnica.
- ARANGO, V. L. (2016). DISEÑO DE UN HORNO PARA EL SECADO DE MADERA ASERRADA EN ZONAS CÁLIDAS.
- Chiclote Vela, M. A., & Raico Vásquez, S. M. (2018). Diseño y construcción de un velomobile impulsado por fuerza motriz humana.
- Dagbro, O. D. (2016). Studies on Industrial-Scale Thermal Modfication of Wood. Lulea University of tecchnology: Doctoral Thesis.
- Dagbro., O. D. (2010). " Colour respooser from wood, Thermally Modified in Superheated Stean and Pressurized Stean atmospheres".
- Díaz, Y. D. (2018). Hornos refractarios y combustibles para el calentamiento en la industria de materiales. La Habana Cuba: Universidad Tecnológica de la Habana-CUJAE, Facultad de Ingeniería Mecánica.
- Diaz Coello, J. S., & Garofalo Zambrano, J. A. (2020). Diseño y simulación de una cámara de secado para madera de balsa, mediante el análisis térmico y estructural para mejorar la eficiencia de secado (Bachelor's thesis, Quevedo: UTEQ).
- Echevarria Burgos, T. F., & Reyes Olivares, C. M. (2016). diseño, optimización y construcción de un horno de recalentamiento utilizando resistencias eléctricas y el software solidwork.
- Elékou, E. A. (2019). Efecto del termotratamiento en aceite en las propiedades físicas y mecanicas de la madera Acrocarpus fraxinifolius. Morelia,Michoacan: (Tesis de Maestría) Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
- Equihua, M. L. (2018). Efecto de termotratamientos en las propiedades fisico-mecanicas, quimicas y resistencia a la pudricion de la madera de Gmelina arborea. Morelia: Tesis.
- Finnish Association Thermowood. (2003). Termo Wood, hanbook. helsinki, Finlandia.
- Finnish thermoWood asociation, F. T. (10 de 01 de 2020). ThermoWood manual on surfce treatment. Obtenido de recuperado el 10-01-2020 de [asiakas.kotisivukkone.com>files>coatingman\\_eng.pdf](http://asiakas.kotisivukkone.com/files/coatingman_eng.pdf)
- Gao, J. (2017). Chemical and Ultrastructural Aspects of themally Modified Wood With Emplasis on Durability. Swedish University of Agricultural sciences Uppsala: Doctoral Thesis.

- Garcia, G. A. (2015). Efecto del termotratamiento en las propiedades fisico-mecanicas de Eucalyptus nitens(Deane & Maiden) procedente de una Plantacion Comercial . Morelia: Tesis.
- Greene, R. W. (2001). Válvulas selección,uso y mantenimiento. México: McGRAW-HILL.
- Herrero, R. M. (2019). Diseño de una planta de tratamiento de una mena pegmatítica para la obtencion de un c oncentrado de feldespatos. Oviedo, España : Universidad de Oviedo, escuela de ingenierias de minas, energia y materiales de oviedo .
- Hill, C. A. (2006). Wood Modification Chemical, Thermal and Other processes. shool of Agricultural and Forest Sciences, University of Walas, Bangor: John Wiley & Son, Ltd.
- Hincapié, L. C. (2018). Evaluacion de escorias siderúrgicas de horno de arco electrico en mezclas de concreto estructural. Bogotá, Colombia: tesis de maestría, Universidad de los Andes, facultad de ingeniería .
- International Thermowood Association. (2012). thermowood, retreeved on m ach 2016 [www.thermowood.fi](http://www.thermowood.fi).
- Majano, M. A. (2014). Madera Termo-Tratada de Frondosas Para uso Estructural. Madrid: Tesis Doctoral.
- Moreno Soriano, S. (2016). Simulación y diseño del modelo de captación de energía en una planta termosolar con Solidworks (Bachelor's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya).
- Palacios Reyes, H. G., & Vargas Lopez, J. F. (2021). Diseño y Simulación de un intercambiador de calor de tubos y coraza en el software solidwork (Bachelor's thesis, Universidad Antonio Nariño).
- Pincay de la Rosa, J. R. (2021). Diseño de una cámara de secado para madera balsa mediante el empleo de un sistema híbrido, para reducir la energía suministrada por la caldera a los hornos convencionales de secado (Bachelor's thesis, Quevedo: UTEQ).
- Peña, S. V. (2010). Productos Derivados de la Madera. España: Universidad Politecnica de Madri.
- Quintero Arteaga, L. D., & Ricardo Geney, A. F. (2018). Diseño y construcción de una máquina tamizadora de arenas con tamices intercambiables.
- Rivera, J. G. (2015). Efecto del termotratamiento en propiedades fisico-mecanicas de la madera de Vitex gaumery Greenm (Ya'axnik). Morelia, Michoacan: (tesis de licenciatura) Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

Thermafiber, Inc. (2017). Manta industrial, aislamiento de lana mineral. Toledo, Ohio, USA: publicacion numero 10021155.

Válvulas y reguladores de México. S:A DE C:V:. (2021). Válvula de aguja. México: Vayremex.

## **11. ANEXOS**

### 11.1. Fichas técnicas.



# Thermafiber® Mantas Industriales

## Aislamiento de Lana Mineral



### Descripción

Las Mantas Industriales de Thermafiber® son una alternativa económica y es un aislamiento flexible adecuado para aplicaciones de servicio continuo de hasta 1200°F. Proporciona un excelente rendimiento acústico y térmico en aplicaciones tanto en caliente como en frío para conservar la energía, mantener la temperatura del proceso, evitar la condensación y reducir la emisión y la transmisión de ruido. Están disponibles en densidades nominales de 4, 6, 8 y 10 pcf. Estas mantas absorben menos del 1% de la humedad y son resistentes a parásitos y al moho. En el arranque inicial, el aumento de calor no debe sobrepasar los 15°F por minuto para permitir que el revestimiento se disipe sin aumentar excesivamente la temperatura. La conductividad térmica no se ve afectada.

### Normas y códigos

<b>ASTM E 136</b>	No Combustible definido por la Norma NFPA 220
<b>MIL-I-24244</b>	Cumple con los requisitos aplicables de análisis para acero inoxidable austenítico
<b>ASTM C 356</b>	Encogimiento lineal <2% @ 1200°F (650°C)
<b>ASTM C 1104</b>	La adsorción de menos del 1% por volumen

#### Otras Normas con las que aplica

ASTM C553	CFE-D4500
NOM-009-ENER-1995	NRF-PEMEX-034
NOM-009-ENER-2014	

### Opciones del producto

Opción de Contenido reciclado<sup>1,2</sup>:

Fibra Estándar ..... 70%

1. Existen otras opciones de contenido reciclado aparte de la opción estándar. Estas se deben de especificar al momento de solicitar el pedido.

### Datos Técnicos

Densidad Nominal	Conductividad térmica <sup>3</sup> probada con la norma ASTM C 518					Prueba ASTM E 84	
	Factor K- Btu*in/hr*ft <sup>2</sup> *°F					Sin barrera de vapor	
	75°	200°	300°	400°	500°	Propagación de llama	Desarrollo de humo
4.0 pcf	.25	.35	.44	-	-	0	0
6.0 pcf	.24	.33	.41	.49	.58	0	0
8.0 pcf	.24	.30	.38	.46	.56	0	0
10.0 pcf	.24	.29	.35	.43	.53	0	0

<sup>3</sup>Los grados representan temperatura media.

Máxima temperatura de superficie caliente de un lado (paneles cerrados) por la norma ASTM C 411

Densidad Nominal	Máximo ° F
4.0 pcf	600
6.0 pcf - 10.0 pcf	1,200

Nota: Temperaturas arriba de 450° grados requieren soporte mecánico.

### Disponibilidad

Nombre del producto	Densidad Nominal	Espesor*	Ancho**	Largo**
Manta Industrial 40	4.0 pcf	1½" - 7"	24", 36", 72"	48", 60", 72"
Manta Industrial 60	6.0 pcf	1" - 7"	24", 36", 72"	48", 60", 72"
Manta Industrial 80	8.0 pcf	1" - 7"	24", 36", 72"	48", 60", 72"
Manta Industrial 100	10.0 pcf	1" - 4"	24", 36", 72"	48", 60", 72"
Tolerancia	-	-¼", - ⅛"	± ⅛"	± ½"

\*Espesores están disponibles en incrementos de media pulgada (½").

\*\*Los tamaños personalizados están disponibles bajo petición.

### Thermafiber Insolutions®

Thermafiber Insolutions® ofrece asesoría técnica y de ingeniería a arquitectos, especificadores y contratistas. Estos servicios incluyen dibujos CAD, información de créditos LEED® y recomendaciones de productos.

Póngase en contacto con nuestro departamento de ventas al +52 1 55 6066 3513 o +52 1 55 2955 5534 o envíe un correo electrónico a [mercadotecnia.latam@owenscorning.com](mailto:mercadotecnia.latam@owenscorning.com).

## Características

- Utilizadas en servicios continuos de hasta 1200°F (650°C).
- Fáciles de instalar.
- Incombustibles.
- No absorben humedad<sup>4</sup>.
- No son corrosivas.
- Excelente resistencia y rendimiento térmico.
- Dimensionalmente estables a temperaturas elevadas.
- El 70% del contenido es de material reciclado<sup>2</sup>.

<sup>4</sup>Norma ASTM C 1104.

## El medio ambiente y la sustentabilidad

Owens Corning es líder mundial en aislamiento térmico y acústico, así como en soluciones de refuerzos, ofreciendo una amplia gama de productos y servicios de alta calidad. Owens Corning se compromete a impulsar la sustentabilidad suministrando soluciones, transformando mercados y mejorando vidas. Para más información consulte [www.owenscorning.com.mx](http://www.owenscorning.com.mx).

## Notas

Para obtener información adicional, consulte la hoja de Instrucciones de Uso Seguro (SUIS, por sus siglas en inglés) que se encuentra en la base de datos SDS en <http://sds.owenscorning.com>.

## Aprobaciones de envío

Nombre de trabajo:

Contratista:

Día:



La flexibilidad de las Mantas Industriales de Thermafiber® facilita que sea sencillo de instalarlas en superficies cilíndricas como boilers, tanques, ductos y tubería de grandes diámetros.



## Certificaciones y características sustentables

- <sup>2</sup>Verificado por ICC-ES para que tenga el mínimo de contenido reciclado (70%). Ver el Informe de Evaluación VAR-1025 ICC-ES en [icc-es.org](http://icc-es.org).
- Certificado por UL Medio Ambiente otorgando la Declaración Medioambiental de Producto. Para obtener más información, visita [ul.com/epd](http://ul.com/epd).
- Certificado de Salud del Material por el Programa de Productos Cradle to Cradle. Para más información visite: [c2ccertified.org](http://c2ccertified.org).



# Thermafiber

**THERMAFIBER, INC.**  
ONE OWENS CORNING PARKWAY  
TOLEDO, OHIO, USA 43659

**888-TFIBER1 [834-2371]**  
[www.thermafiber.com](http://www.thermafiber.com)

Pub. No. 10021155 formerly TF880. Printed in U.S.A. February 2017.  
THE PINK PANTHER™ & © 1964–2017 Metro-Goldwyn-Mayer Studios Inc.  
All Rights Reserved. The color PINK is a registered trademark of Owens Corning.  
© 2017 Owens Corning. All Rights Reserved. © 2017 Thermafiber, Inc.  
All Rights Reserved.



## Disclaimer

Thermafiber, Inc. no se hace responsable por daños incidentales o consecuentes, sostenidos directo o indirectamente, ni de ninguna pérdida causada por la aplicación de estos productos que no estén en conformidad con las instrucciones impresas o para cualquier otro uso distinto del previsto. La responsabilidad de Thermafiber, Inc. está expresamente limitada a la sustitución de productos defectuosos. Cualquier queja se considerará anulada a menos que se redacte por escrito dentro de los primeros treinta (30) días desde la fecha de compra o desde que el producto ha sido abierto.

UL y su logotipo son marcas registradas de UL LLC.

# Superwool® Blanket



Cumple con norma NRF-009-ENER, ASTM C-592, ASTM C-795

© 2009 Morgan Thermal Ceramics Mexico, un negocio dentro de Morgan Ceramics División de Morgan Crucible Company plc



## Beneficios

- Excelentes características aislantes
- No contiene aglomerantes o lubricantes
- Estabilidad térmica
- Baja absorción de calor
- Buena resistencia al rasgado
- Resistente al choque térmico
- Buen aislamiento sónico
  
- Exonerado de cualquier clasificación cancerígena bajo la nota Q de la directiva 97/69 EC
  
- Exonerado de cualquier restricción de uso bajo el anexo V número 7.1 de la regulación Alemana de sustancias peligrosas (TRGS905)

## APLICACIONES

- Revestimiento de hornos industriales.
- Aislamiento de calderas.
- Control de temperatura en el tratamiento térmico.
- Aislamiento de coronas de hornos de vidrio.
- Estanqueidad de puertas de hornos.
- Revestimiento de conductos
- Aislamiento de tuberías.
- Pantallas térmicas en la industria del automóvil.
- Aislamiento para el des-tensionado de soldaduras.
- Filtración a alta temperatura.
- Aplicaciones en el aislamiento nuclear.
- Aislamiento de las turbinas de gas o a vapor

## Disposición de desecho

Exonerado de cualquier restricción de uso bajo el anexo V número 7.1 de la regulación Alemana de sustancias peligrosas (TRGS905)

Cumple con las normas Nom-009 Ener, ASTM C-592, Especificaciones para aislamiento de colchonetas de fibra mineral, ASTM C-795 Aislamiento Térmico para uso en contacto de acero inoxidable

## DESCRIPCIÓN

La manta Superwool®607 Blanket está producida a base de fibras largas Superwool®607, estando disponibles en una amplia gama de espesores y densidades. Tiene unas excepcionales propiedades aislantes a temperaturas elevadas. La manta Superwool607® posee una excelente estabilidad térmica además de conservar su estructura fibrosa original hasta la temperatura de clasificación.

## TIPO

Fibras Minerales Alcalinoterreas (Calcarías)

## TEMPERATURA DE CLASIFICACIÓN

Superwool : 1000 °C

La temperatura máxima de uso depende de la aplicación.

Estas fibras están punzadas por ambos lados y poseen una gran resistencia antes y después del calentamiento. Las Manta Superwool blanket no contienen aglomerantes ni lubricantes y no desprende por lo tanto humos ni olores durante su calentamiento. Las mantas son flexibles y fáciles de cortar, manipular e instalar.

En caso de duda, le recomendamos que se ponga en contacto con su distribuidor de Morgan Thermal Ceramics, el cual le aconsejará.

[www.ayfisa.com](http://www.ayfisa.com)

**Propiedades Físicas**

Color	Blanco
Densidad, lb/ft <sup>3</sup> (kg/m <sup>3</sup> )	4, 6, 8, 9 (64, 96, 128, 144)
Espesor, in. (mm)	½ - 2 (13-50)
Temperatura de Clasificación rating, °F (°C)	1832 (1000)

**Superwool607****Análisis Químico, Nominal %**

Silica, SiO <sub>2</sub>	60 – 70
Oxido Calcio, CaO	25 - 35
Oxido Magnesio, MgO	4 - 7
Otros	< 1%

**Conductividad Térmica según ASTM C-201 BTU in / hr/ft<sup>2</sup>/°F (W/m\*K) medido a 8 lb/ft<sup>3</sup> (128 kg/m<sup>3</sup>)**

## Temperatura Media

@200°F(100°C)	0.24(0.03)
@300°F (150°C)	0.28(0.04)
@500 °F (260°C)	0.42 (0.06)
@1000 °F (538°C)	0.88 (0.13)
@1500 °F (816°C)	1.53 (0.22)
@1832 °F (1000°C)	2.00 (0.29)

**Propiedades de Peligro de Incendio según Método ASTM E-84**

Propagación de llama:	Cero
Aportación de Combustible:	Cero
Desarrollo de Humo:	Cero

La fibra mineral Superwool es inerte, resistente al crecimiento de moho y al ataque de parásitos o bacterias.

*Distribuido exclusivamente por:*  
**Aislamientos y forros industriales S.A**

**DE C.V.** Av. Los Altos, 4809  
Col. Los Altos, Monterrey, Nuevo  
León 64370, México Tel: +52  
(81) 19329000

E-mail: [s.coronado@ayfisa.com](mailto:s.coronado@ayfisa.com)



**VALVULA DE AGUJA  
PARA BAJA PRESIÓN**



**MODELO 200-HH A.C.,  
300-HH LATON, 400-HH A.I.**



## DESCRIPCIÓN:

Las válvulas de aguja son básicamente válvulas de globo, tienen su vástago cónico similar a una aguja que ajusta con precisión en su asiento.

Al abrirla el vástago gira y se mueve hacia fuera permitiendo una regulación de flujo efectiva a todas las presiones de trabajo, esto es debido al orificio variable que se forma entre el vástago cónico y su asiento integrado en el cuerpo de la válvula, cuando cierra el vástago se mueve hacia dentro logrando una estrangulación exacta de volúmenes pequeños, abren y cierran perfectamente bajo presión, el vástago tiene rosca estándar para abrir rápidamente. Las válvulas de aguja son compactas y su peso es menor que otros tipos de válvulas por eso se utilizan en espacios muy reducidos.

Los materiales que se emplean para su construcción son barras sólidas (bar stock) de acero al carbón, acero inoxidable y latón. Las válvulas de acero al carbón cuentan con una capa protectora (galvanizado) para prevenir la corrosión. Para servicio de gases amargos los materiales son seleccionados de acuerdo con los requerimientos de la norma NACE MR-0175.

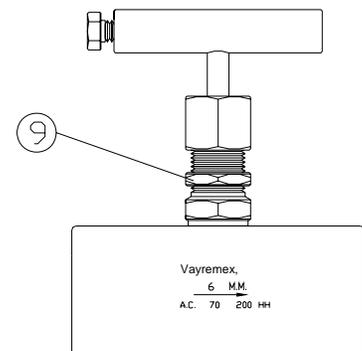
Las válvulas son unidireccionales, el cuerpo cuenta con una flecha marcada que indica el sentido del flujo, la entrada de fluido suele ser debajo del asiento que forma el vástago con el cuerpo. Las válvulas pueden utilizarse totalmente abiertas, parcialmente abiertas o totalmente cerradas. En virtud del paso restringido y los cambios de dirección que experimenta el fluido al pasar por la válvula, la caída de presión es bastante considerable.

Son válvulas estándar que se utilizan en la mayor parte de las plataformas petroleras, en refinerías de petróleo, en plantas de procesos químicos como válvulas para instrumentos en sistemas hidráulicos y para aire o gas.



## CARACTERISTICAS DE DISEÑO:

- Para servicio en agua, aceite, gas, productos químicos, etc.
- Presión máxima de trabajo:
  - Acero al carbón: 70 Kgf/cm<sup>2</sup> (994 psig).
  - Latón: 40 Kgf/cm<sup>2</sup> (568 psig).
  - Acero inoxidable: 50 Kgf/cm<sup>2</sup> (710 psig).
- Temperatura máxima de operación:
  - Acero al carbón: -40 a 180°C (-40 a 356°F).
  - Latón: -25 a 100°C (-13 a 212°F).
  - Acero inoxidable: -73 a 180°C (-100 a 356°F).
- Medidas nominales desde 6mm (1/4"), hasta 19mm (3/4").
- Conexiones roscadas hembra-hembra NPT.
- Disponible para montaje a tablero.
- Válvulas para servicio NACE.
- Las válvulas de acero al carbón cuentan con un recubrimiento electrolítico para proteger de la corrosión.

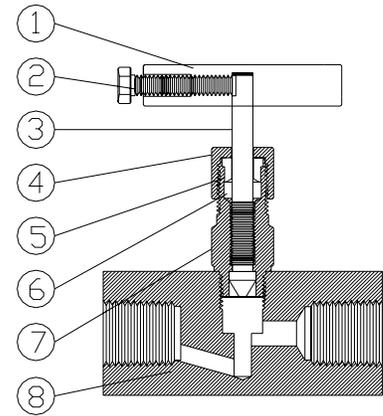


## CONSTRUCCIÓN PARA MONTAJE A TABLERO

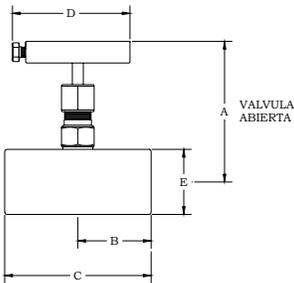


**MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN**

No.	NOMBRE DE LA PIEZA	MATERIALES		
		ACERO AL CARBÓN	LATÓN	ACERO INOXIDABLE
1	Maneral	Acero al carbón	Acero al carbón	* Acero al carbón
2	Tornillo opresor	Acero	Acero	* Acero
3	Vástago	Acero inoxidable	Acero inoxidable	Acero inoxidable
4	Tuerca	Acero al carbón	Latón	Acero inoxidable
5	Retén	Acero al carbón	Latón	Acero inoxidable
6	Empaquetadura	Teflón	Teflón	Teflón
7	Bonete	Acero al carbón	Latón	Acero inoxidable
8	Cuerpo	Acero al carbón	Latón	Acero inoxidable
9	Contratuercas	Acero al carbón	Latón	Acero inoxidable



\* Disponibles en acero inoxidable



CONEXIONES		MODELO			ORIFICIO	DIMENSIONES EN pulg.					PESO
ENTRADA	SALIDA	AC	LATÓN	AI		A	B	C	D	E	
1/4" H	1/4" H	202-HH	302-HH	402-HH	0.156"	2.9	0.937	1.875	2.239	0.750	260 gr
3/8" H	3/8" H	203-HH	303-HH	403-HH	0.187"	3.0	1.062	2.125	2.239	0.875	300 gr
1/2" H	1/2" H	204-HH	304-HH	404-HH	0.187"	3.1	1.187	2.375	2.239	1.000	380 gr
3/4" H	3/4" H	205-HH	305-HH	405-HH	0.250"	3.2	1.437	2.875	2.239	1.250	500 gr

AC: Acero al carbón

AI: Acero inoxidable

\* Para montaje en tablero agregar "T" al final del modelo

\* En modelos 400 esta disponible maneral en acero inoxidable. agregar "I" al final del modelo

**INSTALACIÓN DE VÁLVULAS DE AGUJA**

- Las válvulas pueden instalarse en cualquier posición.
- Se debe respetar el sentido del flujo que trae la válvula marcada.
- A la tuerca (4) se le da un torque estándar sin embargo, en campo se puede requerir un mayor apriete para comprimir más la empaquetadura y evitar que exista fuga en dicha zona.

**MARCADO DE LA VÁLVULA DE AGUJA**

- Dentro de nuestra empresa existe un sistema de rastreabilidad que nos permite identificar cada uno de los materiales que intervienen en el proceso de fabricación de la válvula.
- Las piezas importantes de la válvula como el cuerpo, el bonete y el vástago tienen estampado el número de colada respectivo.

