



**UNIVERSIDAD DE SOTAVENTO A. C.**  
**ESTUDIOS INCORPORADOS A LA UNIVERSIDAD NACIONAL**  
**AUTÓNOMA DE MÉXICO**



**FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**TÍTULO:**

**Experiencia científica sobre implementación de madera de pino  
tecnológicamente modificada para construcción en exteriores.**

**TESIS PROFESIONAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**INGENIERO INDUSTRIAL**

**PRESENTA:**

**KEVIN JOSUÉ BRIANT CARRERA LUIS**

**ASESORA DE TESIS:**

**ING. SUSANA ELVIRA GONZÁLEZ CARRASCO**

**COATZACOALCOS, VER.**

**SEPTIEMBRE 2019**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## AGRADECIMIENTO

A Dios que me permitió tener salud y vida para poder llegar hasta donde estoy ahora y poder cumplir mis metas y sueños.

A mi familia por su apoyo incondicional, por corregirme, educarme y darme su guía para no perderme y hacer las cosas correctas.

A todos mis maestros que me han enseñado tanto en lo personal como en lo profesional y que sobre todo me han apoyado, en especial a la Dra. Susana por toda su ayuda, que no me dejó solo para lograr concluir ésta tesis.

Al Master Rodrigo Meyer por confiar y creer en mí desde un principio, por darme la oportunidad de trabajar con él y brindarme su apoyo.

Y a mis verdaderos amigos, en especial a Gabriel que siempre está en las buenas, en las malas y en las peores.

## DEDICATORIA

Para "Bella" eres mi faro en la oscuridad.

**TITULO:**

**EXPERIENCIA CIENTÍFICA SOBRE IMPLEMENTACIÓN DE  
MADERA DE PINO TECNOLÓGICAMENTE MODIFICADA PARA  
CONSTRUCCIÓN EN EXTERIORES.**

## DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA.

Debido a la gran sobrepoblación en la república mexicana y la mala planeación geográfica y los flujos de viabilidad da como resultado un incremento de la necesidad de viviendas, como es el caso particular del crecimiento exponencial de la ciudad de Cancún quintana roo debido a las nuevas infraestructuras generadas como una importante región turística.

Cada vez es más complicado encontrar espacios que no solo sean casas comunes logradas como una construcción sino como un lugar digno de llamarlo hogar, ya que por la mala planificación geográfica llámese caminos y carreteras, así como la mala movilidad, da como resultado estrés y una conglomeración de la población.

El incremento de la demanda de una casa promedio, anualmente se hace cada vez mayor, por lo que se ve gradualmente el incremento monetario de las mismas ya sea por el tipo de casa o la ubicación geográfica. Esta demanda provoca que no cualquier persona pueda adquirir una vivienda al primer o segundo año de laborar. Y de igual manera las rentas de una casa o departamento ya son muy elevados solo por la demanda de trabajadores o familias locales sin mencionar los foráneos.

El hombre en su afán de querer crear más lugares donde vivir, lugares donde transitar y haciendo lugares comerciales va eliminando recursos naturales solo para el beneficio económico propio, por lo que afecta de gran manera la flora y fauna de la zona, impactando al suelo, con la tala inmoderada, entre otras. Por la ignorancia se desaprovechan los recursos que tenemos para crear alternativas que puedan apoyarse en las normas ambientales que hacen respetar el entorno contribuyan a la mejora ecológica.

El área forestal es una de las más pobres, escasas y afectadas en el país, cada vez más se ve la tala como una amenaza en vez de una oportunidad y la reforestación como una obligación y no como un deber, este proyecto se acerca a una finalidad de apoyar a la gente que se dedica a trabajar en ese campo y crear más oportunidades para ese sector, es necesario aprovechar correctamente y de manera eficiente los recursos, contribuir a las mejoras ecológicas se trata de presentar nuevas propuestas con ideas tecnológicas, basadas no solo en la economía sino en la administración de los productos naturales, que más que ser explotados deben ser regenerados.

## JUSTIFICACIÓN

Buscando una solución de los problemas que se suscitan debido a la sobrepoblación y la demanda de viviendas se proponen construcciones de casas-habitación que logren satisfacer las necesidades económicas de la población y así poder adquirir una vivienda; la cual puedan llamar hogar, planeada de tal manera que cubra los problemas causados por la conglomeración y el estrés.

De igual manera buscando una alternativa de solución a los problemas ambientales y económicos, dado así la oportunidad de adquirir o rentar una casa, y mostrando una alternativa de solución tanto para locales como para foráneos.

Es necesario presentar nuevos acercamientos que formen y despierten interés para las políticas públicas y generar desde la ciencia, planteamientos como este proyecto directo hacia la población.

De esta forma se ayudará a las personas que se dedican a trabajar en las áreas forestales, creando así más oportunidades de empleo, con mejores salarios, y con esto invitar a más personas para que contribuyan al trabajo en esa área.

Esta es una manera de lograr el aprovechamiento de los recursos tanto tangibles, intangibles y humanos, eliminando así las quejas e inconformidades de las personas por la inadecuada aplicación y aprovechamiento de los recursos utilizando las políticas establecidas por los distintos grupos gubernamentales, así como ambientales.

Además, este trabajo acercará a toda la comunidad estudiantil de ingeniería a la importancia de la aplicación sobre la investigación a una de muchas posibles soluciones del contexto de las problemáticas de México, es necesario dar el conocimiento y que las personas se acerquen a la comprensión del entorno natural mediante la ciencia del conocimiento y no solo sobre la palabra conciencia.

Buscar soluciones para los problemas que se tienen como país utilizando los medios y recursos que están a nuestro alcance de forma económica (hacer más con menos) y producir más es en gran parte el trabajo de un ingeniero industrial, en de la industria de la construcción, es necesario mostrar nuevos materiales no tóxicos, que además ocupen menos energía en su implementación.

## OBJETIVO

Fabricar casas con material alternativo, bajo condiciones tecnológicas mediante la sostenibilidad.

## OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar un análisis de la zona y un análisis de alternativas de tipos de madera.
- Elección del material adecuado al proyecto.
- Análisis costo-beneficio.

## **HIPÓTESIS**

Esta implementación tecnológica y científica logrará crear la construcción de casas con significativa amortización económica y satisfacer necesidades ecológicas.

# ÍNDICE

CONTENIDO	PÁG.
Introducción.	1
CAPITULO I. GENERALIDADES.	2
1.1 Importancia de la madera en México.	3
1.2 Región de estudio.	11
1.3 Investigación tecnológica.	15
1.4 Experiencias de investigaciones similares con resultados positivos.	27
1.5 Experiencia Regional.	33
1.6 Normatividades.	38
CAPITULO II. ZONAS DE ESTUDIO Y TRATAMIENTO TECNOLÓGICO DE LA MADERA DE PINO.	42
2.1 Zona de estudio.	43
2.2 Preparación tecnológica de la madera de pino.	44
2.3 Elección del tratamiento.	49
CAPITULO III. APLICACIÓN.	51
3.1 Madera de pino tratada vs otras maderas tropicales.	52
3.2 Trabajos realizados con la madera de pino tecnológicamente tratada.	56
3.3 Construcción piloto de casas con madera de pino tratada tecnológicamente.	61
CAPITULO IV. COSTO – BENEFICIO	63
4.1 Tabla de costos de la implementación	64
4.2 Ventajas y mejoras	70
4.3 Recomendaciones	73
Conclusión	74
Bibliografía	75
Glosario	77

## INTRODUCCIÓN

En México el sector forestal es uno de los menos estudiado y explotado de manera sustentable, por no contar con estudios, maquinaria y el equipo adecuado para el máximo aprovechamiento de este sector, es por ello que en este trabajo se muestra una nueva tecnología que acerca a una posible solución, como lo es: “Las nuevas tecnologías para casa – habitación”.

Este trabajo de investigación propone la implementación de termotratamiento de madera de pino para construcción de exteriores, ya que el utilizar madera supone ventajas tanto constructivas como medio ambientales de gran impacto positivo, resultando un producto sustentable.

Lo que se busca en este trabajo es planificación y el aprovechamiento al máximo de los recursos que hay en nuestro país y potenciar los recursos naturales y forestales de México.

La aportación de esta investigación, es una experiencia que da a conocer a la comunidad estudiantil de ingeniería industrial, que se pueden desarrollar en el ámbito de la investigación, dando importancia a las necesidades de la sociedad, generando beneficios que ofrece la madera tratada tecnológicamente y acercar el apoyo al sector forestal.

La investigación propuesta desarrolla en el capítulo uno; es una experiencia de investigaciones similares, así como normas mexicanas y españolas, en las que está basada, por la cooperación de trabajo, implementándolas y adaptándolas a la región de estudio, la cual se desarrolla en el capítulo dos.

En el capítulo tres se estudia estratégicamente las características térmicas, físicas y químicas de la madera para su selección, que influyen en la zona, para generar y potenciar características especiales mediante el tratamiento tecnológico.

Posteriormente se realiza en el capítulo cuatro; el cálculo aproximado de costos para la implementación del proyecto de ingeniería, tomando en cuenta los materiales y mano de obra.

Se describen beneficios, ventajas y propuesta de mejoras, así como recomendaciones.

Cabe aclarar que éste trabajo es una experiencia de Ingeniería en la aplicación de investigación científica, por lo cual es un acercamiento a la sustentabilidad, que genera como consecuencia despertar las habilidades de investigación en la Licenciatura de Ingeniería Industrial.

# CAPITULO I

# GENERALIDADES

## 1.1 IMPORTANCIA DE LA MADERA EN MÉXICO.

La madera es una materia natural, que como todo ser vivo tiene una vida útil limitada. Si su utilización implica una exposición a la intemperie, se corre el riesgo del ataque de agentes biológicos y ambientales con consecuencia de deterioro y pudrición. La madera tiene características físicas que la dotan de propiedades mecánicas indiscutiblemente buenas para su utilización en estructuras e instalaciones que requieren de gran resistencia. El pino silvestre, sobretodo, empleado por su aptitud para la impregnación, es fácilmente procesable y consta de belleza estética natural.

México es considerado un centro secundario de diversidad del genero *Pinus*, el centro de investigaciones biológicas de Pachuca, Hidalgo, asegura que, se reconocen recientemente para México 46 especies, 3 subespecies y 22 variedades de pinos, del cual el 55% de estos son habituales, lo que nos convierte en la nación con la mayor diversidad al contar con alrededor de 42% de las especies del mundo. Los pinos mexicanos son uno de los recursos naturales más valiosos por su uso tradicional y comercial, por su importancia cultural y por los servicios ambientales que ofrecen. A pesar de ello la continua disminución de la cobertura de los bosques de pino y pino-encino, por causa de las actividades humanas y por los incendios forestales, es alarmante. Arturo Sánchez, investigador de la UAEH asegura que los programas nacionales e internacionales para el uso sostenible y la conservación del género *Pinus* en México aún no son eficientes y suficientes.

Los pinos en México son de gran importancia ya sea ecológica, económica o social. A menudo son el componente dominante de la vegetación, ya que influyen en los procesos funcionales del ecosistema tales como los biogeoquímicos, hidrológicos, los regímenes de fuego, y son hábitat, así como fuente de alimento para la fauna silvestre. Tienen un alto valor económico, ya que son fuente de madera, leña, pulpa, resinas, semillas comestibles, y otros productos. Además, ofrecen importantes servicios ambientales como son el agua, oxígeno y la captura de carbono, e influyen en el clima regional (García y González, 2003; Ramírez-Herrera et al., 2005).

Según la FAO, el sector forestal de la república mexicana es un sector que está muy poco explotado y estudiado, a causa de diversos factores como son la carencia de tecnología y la mano de obra especializada, así como la parte económica, no se le ha dado la importancia que debería tener a la explotación de tan importante sector.

Los bosques además de ser importantes para el hábitat del ser humano, son un recurso económico muy importante, ya que de él provienen diferentes productos que se utilizan como materia prima o productos finales.

México cuenta con diferentes tipos de climas y se entiende que existen diferentes tipos de bosques como lo son: los tropicales, coníferas, mixtos, espinosos, etc. Las principales entidades federativas que están más involucradas a la industria maderable son Durango, Chihuahua, Michoacán, Jalisco, Oaxaca y Puebla.

México dispone de un bajo nivel de aprovechamiento de los bosques y de las selvas, ya que de los 21 millones de hectáreas con potencial comercial apto sólo se encuentran aprovechadas algo más de la cuarta parte.

La mayor producción forestal corresponde a las coníferas (especies de pino principalmente) con el 88% del total.

Los Biólogos y Botánicos (Axelrod, 1986; Willis y McElwain, 2002) consideran que durante la era Mesozoica y Cenozoica (hasta la segunda mitad del Pleistoceno), Norteamérica estuvo conectada intermitentemente con el noreste de Asia en el área que comprende el actual Mar y Estrecho de Bering.

Durante este tiempo, las conexiones terrestres entre Norteamérica y Europa, a través de Groenlandia e Islandia, sirvieron de rutas migratorias para los pinos del noreste de Asia hacia Norteamérica y los del noreste de Norteamérica hacia el norte de Europa.

Durante el Cretácico inferior, entre 130 y 90 millones de años, los pinos se habían diferenciado en dos subgéneros: Haploxylon y Diploxylon (actualmente *Strobus* y *Pinus*, respectivamente) y estaban ampliamente distribuidos en lo que actualmente es Canadá y Estados Unidos de América (Mirov, 1967). El cambio climático que ocurrió en el Eoceno tardío, entre 55 y 37 millones de años, provocó que las plantas con semillas que tienen verticilos o espirales ordenados (Angiospermas), que estaban adaptadas a condiciones tropicales, declinaran dramáticamente en latitudes medias, ello favoreció la diversificación del género *Pinus* (Richardson y Rundel, 1998).

En el Terciario tardío ocurrieron grandes levantamientos en el oeste de Norteamérica, que alteraron radicalmente su topografía y tuvieron efectos igualmente importantes sobre las poblaciones de pinos de esta vasta área. Muchas poblaciones desaparecieron por completo, mientras que otras se redujeron a relictos.

Estos eventos de formación de grandes cadenas montañosas en algunas áreas, con los subsecuentes cambios climáticos, crearon la heterogeneidad ambiental que permitió la migración de *Pinus* hacia otras áreas que se convirtieron en centros de diversificación secundaria en México y en el noreste de Asia (Axelrod, 1986; Perry, 1991).

Según un artículo de la UAEH, los eventos de los últimos diez mil años, han modelado la distribución natural actual de los pinos, desde las regiones árticas y

sub árticas de Norteamérica y Eurasia hasta las regiones tropicales y subtropicales de Centroamérica y Asia.

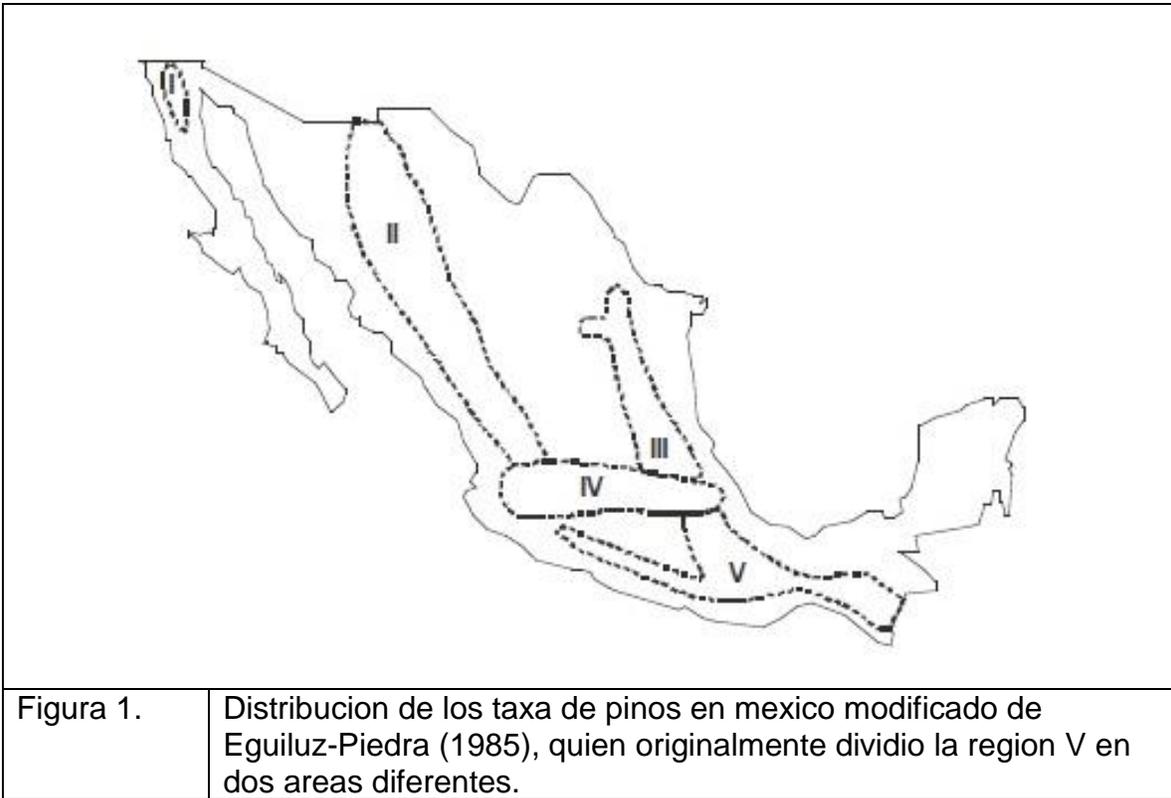
México en base a su taxonomía posee un mayor número de especies de pinos que cualquier otra región de tamaño semejante en el mundo. Las clasificaciones recientes del género *Pinus*, basadas en ADN ribosomal (Liston *et al.*, 1999) y secuencias de ADN de cloroplastos (Krupkin *et al.*, 1996; Gernandt *et al.*, 2003; Zhang y Li, 2004; Gernandt *et al.*, 2005) permiten reconocer 46 especies, 3 subespecies y 22 variedades para México. Si se incluye *Pinus oocarpa* var. *trifoliata* como una nueva especie (*Pinus luzmariae*), como propone Pérez de la Rosa (1998). De tal manera que al menos 26 de estas 47 especies son endémicas (55%), sin considerar las diferentes subespecies y variedades.

En la tabla1 se muestran todas las especies de pinos que se encuentran en México.

Tabla 1. Clasificación y distribución de los pinos en México							
Clasificación	Distribución por región					E	C
	I	II	III	IV	V		
<i>P. Herrerae</i> Martínez	0	1	0	1	1	*	b
<i>P. Greggii</i> elgem. Australis	0	0	1	1	0	*	
<i>P. Greggii</i> elgem, Greggii	0	0	1	0	0	*	
<i>P. Jaliscana</i> Pérez de la Rosa	0	1	0	0	0	*	a
<i>P. lawsonii</i> Roehl ex Gordon	0	1	0	1	1	*	
<i>P. leiophylla</i> Schiede ex Schtdl	0	1	1	1	1	*	
<i>P. lumhotzii</i> Rob y Femald	0	1	0	1	0	*	
<i>P. Muricata.</i> Don Var.	1	0	0	0	0	*	c
<i>P. Ocarpa</i> , trifoliata Martinez	0	1	0	1	1	*	
<i>P. Patula</i> Schtdl & Cham	0	0	1	1	1	*	
<i>P. Patula</i> var longepedunculata	0	0	0	0	1	*	
<i>P. Praetermissa</i> Styles & Mcva.	0	1	0	0	0	*	
<i>P. Pringlei</i> Shaw	0	0	0	1	1	*	
<i>P. Radiata</i> van binata	1	0	0	0	0	*	a
<i>P. Tecunumani</i> Eguiluz	0	1	1	1	1	*	
<i>P. Teocote</i> Schtdzl	1	0	0	0	0	*	
<i>P. Arizonica</i> var Cooperi	0	1	0	0	0	*	
<i>P. Coulteri</i> lamb	1	0	0	0	0	*	a
<i>P. Douglasiana</i> Martinez	0	1	0	1	1	*	
<i>P. Durangensis</i> Martinez	0	1	1	1	0	*	a
<i>P. Engelmannii</i> Carrière	1	1	1	0	0	*	
<i>P. Pseudostrobus</i> alpancensis	0	0	1	1	1	*	
<i>P. Lambertiana</i> Douglas	1	0	0	0	0	*	
<i>P. Flexilis</i> var reflexa Engelm	1	1	1	0	0	*	a

P. Strobiformis Engelm	1	1	1	1	0	*	
P. Cembroides ssp. Lagunaae	1	0	0	0	0	*	a
P. Culminicola Andresen & B.	0	1	1	0	0	*	a
P. Discolor D.K Bailey & Hawk	1	1	1	0	0	*	a
P. Maximartinezii Rzed	0	1	0	0	0	*	c
P. Monophylla Torr & Frem	1	0	0	0	0	*	a
P. Pinceana Gordon	0	1	1	1	0	*	a
P. Quadrifolia parl	1	0	1	0	0	*	a
P. Rzedowskii Madrigal	0	0	0	1	0	*	a
P. Nelsonii Shaw	0	0	1	1	0	*	a
<p>Clasificación de taxa basada en Liston et al.(1999), Ramírez-Herrera et al. (2005) y Gernandt et al. (2005). Distribución de taxa basada en diversas fuentes: artículos publicados en Acta Botánica Mexicana, ciencia UANL, poli botánica, Revista mexicana de Biodiversidad, Listados Florísticos de México del Instituto de Biología de la UNAM.</p>							
<p>Taxa endémicos (E) en México; categorías de riesgo (C) según la norma oficial mexicana-2001:</p> <p style="text-align: center;">Protección especial (a)</p> <p style="text-align: center;">Amenazada (b)</p> <p style="text-align: center;">En peligro de extinción (c)</p> <p>Según la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN).</p>							

La información de la *tabla1* indica que los pinos de México se distribuyen en 5 regiones principales , de las cuales difieren solo parcialmente de las 6 áreas que definió Eguiluz-Piedra (1985), con base en la presencia de grupos particulares de especies las cuales se muestran en la *Fig.1* y principalmente son;



I. Baja california Norte y Sur.

II. Sierra Madre Occidental: Chihuahua, Durango, Jalisco, Nayarit, Sinaloa, Sonora y Zacatecas.

III. Sierra Madre Oriental: Coahuila, Nuevo León, Querétaro, San Luis Potosí y Tamaulipas.

IV. Faja volcánica Transmexicana: Aguascalientes, Colima, Ciudad de México, Estado de México, Guanajuato, Hidalgo, Michoacán, Morelos, Puebla, Tlaxcala y Veracruz.

V. Sierra Madre del Sur, Macizo de Oaxaca, Sierra de San Cristóbal, Sierra de Oaxaca y Península de Yucatán: Chiapas, Guerrero, Oaxaca, Campeche y Quintana Roo.

## Protección, conservación y usos.

Los pinos son de los recursos naturales más valiosos que hay en la república mexicana, la madera para aserrar es el producto más importante, siguiéndole la pulpa de madera que se usa para el papel kraft y cartón.

Los pinos “duros” son valiosos y radica ahí su importancia comercial de muchas de estas especies denominadas o llamadas así, y se debe a que el xilema produce fibras largas que hacen que el producto final tenga gran resistencia.

Los pinos “blandos”, que se hayan en menor abundancia en la república, son menos requeridos por su madera menos resinosa y uniformemente granulada. (Le Maitre, 1998; García y González, 2003; Ramírez-Herrera *et al.*, 2005).

La mayoría de los pinos son talados de manera ilegal y son explotados sin haber hecho un pago al medio ambiente como lo es la reforestación; en el ámbito local son explotados como leña, para postes, construcción de casa y muebles.

En el norte de México es utilizado como una fuente de leña, carbón y en menor proporción para obtener madera.

Como producto secundario importante se encuentra la resina la cual se obtiene de los pinos duros, y es la materia prima para la elaboración de aguarrás y otros productos.

Esta industria es fuente importante de ingresos en Chiapas, Oaxaca, Michoacán, Jalisco y Nuevo León; las especies utilizadas son *Pinus oocarpa*, *P. montezumae*, *P. teocote* y *P. pseudostrobus* (Styles, 1998; García y González, 2003).

Dentro de la Norma Mexicana Oficial Mexicana (NOM-059-ECOL-2001) desde el punto de vista de conservación, existen 20 taxa de pinos incluidos en categorías de riesgo dentro de la NOM.

Por eso para garantizar la defensa de las regiones ecológicas más destacadas y representativas del país, se creó una red de áreas naturales protegidas, las cuales constituyen porciones terrestres y acuáticas del territorio nacional, que representan los diferentes tipos de ecosistemas y su biodiversidad, donde el ambiente original no ha sido modificado ni alterado por el hombre y se encuentran sujetas a regímenes especiales de protección, conservación, restauración y desarrollo.

A medida que los precios de la madera van aumentando, las nuevas fábricas de productos de fibra, incluyendo las de pulpa y papel y las de los tableros de fibra MDF (medium density fiberboard) están siendo diseñadas para una mayor utilización de desperdicios de los aserraderos tales como las costaneras y el aserrín, aprovechando de esta forma todos los subproductos obtenidos de un bosque

implantado, aumentando así la productividad y por consiguiente la rentabilidad de la inversión forestal.(Sánchez González, A. 2008. Una visión actual de la diversidad y distribución de los pinos de México. *Madera y Bosques* 14(1))

## ¿Por qué la madera de pino?

En el mundo en el que las materias primas se agotan, la madera es un recurso natural inagotable si se emplean sistemas de buena gestión, y con el tratamiento adecuado se convierte en una materia prima extremadamente eficiente, duradera y estética.

En general la utilización de la madera es de gran importancia gracias a sus distintos beneficios y características que esta posee y que son de gran impacto para el medio ambiente de manera positiva, ya que la madera es un recurso renovable e inagotable utilizando las técnicas adecuadas para su plantación, además que su fabricación no utiliza energía fósil ya que proviene del sol, también sus residuos no producen un impacto ambiental negativo, la madera se puede reciclar gran cantidad de veces y al final de su vida útil aporta energía limpia, además de poseer distintas propiedades físicas como ser un gran aislante térmico, aislante eléctrico, etc.

En particular la madera de pino posee muchas propiedades saludables que muy pocos conocen como son el absorber las radiaciones electromagnéticas de móviles, televisor y ordenadores, buena adaptación a la impregnación, la mecanización y el procesamiento y regular la humedad en el interior de las casas. Es un material resistente ante los ambientes salinos-corrosivos, además de ser uno de los muy pocos materiales capaces de durar cientos de años.

La gran ventaja de la utilización de la madera de pino mexicana es que es la que crece más rápido en el medio ambiente, más que cualquier otra además de ser una madera muy económica y fácil de cultivar ya que no exige demasiado al medio ambiente. Es de la madera que es más manipulable que existe y se puede tratar de diferentes maneras y métodos.

Además, se puede disponer de piezas de pino certificada y clasificada para cualquier diseño o proyecto.

La madera de pino se impregna fácilmente, además de ser un material para la construcción; eligiendo la madera de pino adecuadamente protegida, se empleará un material resistente eficaz en todos los ámbitos de la edificación, desde la propia estructura del inmueble hasta la decoración de la casa y del jardín.

El pino tratado es particularmente resistente y eficaz en estructuras y aplicaciones que soportan grandes pesos y que están expuestas al exterior.

## Pino Douglasiana

Según los estudios de la CONAFOR el pino Douglasiana Martínez como se le conoce, es una especie de pino que crece con mayor rapidez que otras, recomiendan para esta especie en particular tener plantaciones comerciales ya que presentan buen incremento.

El Douglasiana Martínez es un árbol nativo de México, cuenta con una altura de 30 a 35 metros y de 50 a 75 cm de diámetro, con copa redondeada y densa.

Se encuentra en bosques de coníferas y las entidades federativas en las que se puede ver esta especie de más abundancia es al norte de la sierra madre occidental, al sur de la sierra madre del sur, en los estados de Sonora, Chihuahua, Durango, Michoacán, Guerrero y Oaxaca,

La madera de esta especie es de buena calidad, comúnmente se utiliza en aserrío, durmientes, postes, ebanistería y en la industria de la construcción. También se utiliza para cajas de empaque, leña, cercas y artesanías. La resina que desprende este árbol es de buena calidad.



Foto 1: Pino Douglasiana Martínez tomada por el colegio de Postgrad.

La madera tecnológicamente modificada del proyecto está especialmente diseñada para zonas del estado, en donde sus climas son tropicales o donde predomina las altas temperaturas, una región con estas características es el estado de Quintana Roo, ya que sus climas cuentan con los parámetros ideales para la aplicación de esta madera en ese estado; para ello se realizaron investigaciones de la zona que a continuación se describen.

## 1.2 Región de estudio.

Quintana Roo es uno de los 31 estados que conforman los estados unidos mexicanos que se sitúa en la península de Yucatán, su ciudad más poblada es Chetumal además de ser su capital. Y es también una de las ciudades más pobladas en el país.

El nombre del estado se le debe a Andrés Quintana Roo, un político, escritor, poeta y periodista; Diputado y firmante del acta de independencia de México, y falleció en 1851.

La historia de Quintana Roo, como estado, comienza en 1902 cuando se crea el Territorio Federal de Quintana Roo; sin embargo, para una mayor comprensión de los procesos históricos que llevaron a la constitución de Quintana Roo como un territorio independiente es preciso referenciar algunos de los principales capítulos de su existencia.

El 24 de noviembre de 1902 se creó el Territorio Federal de Quintana Roo con una extensión de 50 000 km<sup>2</sup>. Pocos después, fue nombrado el general de división José María de la Vega primer jefe político de Quintana Roo ejerciendo su función desde el Campamento General Vega, que funcionó en los hechos como capital del naciente Territorio.

Durante la Administración de José María de la Vega, se optó por una división en tres distritos de acuerdo con su situación geográfica: norte, centro y sur. De 1903 a 1911 el General Ignacio A. Bravo se desempeñó como jefe político del Territorio. Por esos tiempos el territorio se caracterizó por el creciente arribo de presos políticos y opositores al régimen a la colonia penal llamada "Cuerpo de Operarios". Entre abril y mayo de 1903 se llevaron a cabo las primeras elecciones en el Territorio de Quintana Roo para conformar los ayuntamientos en Payo Obispo, Bacalar, Xcalak, Campamento General Vega e Isla Mujeres; en Cozumel se instaló una junta municipal.

El 27 de febrero de 1904 se publicó en el Diario Oficial de la Federación la Ley de Organización Política y Municipal del Territorio Federal de Quintana Roo en la que se especificaba que la capital del Territorio sería Santa Cruz de Bravo.

A partir de 1911 el general Manuel Sánchez Rivera fue enviado por el gobierno del presidente Francisco I Madero para sustituir a Bravo en el poder.

En junio de 1913, Carranza decretó la anexión del Territorio de Quintana Roo a Yucatán. En junio de 1915 el gobernador yucateco Salvador Alvarado, decidió devolver a los mayas Santa Cruz, desplazando la capital a Payo Obispo. El 26 de junio Carranza expidió en Veracruz otro decreto que derogaba el de 1913 y reintegraba el Territorio de Quintana Roo. En 1918 Carranza, otorgó a Francisco May el grado de general constitucionalista, mismo que controló y monopolizó la compra-venta de toda la producción chiclera de la zona y concentró gran poder político.

Entre 1916 y 1930, con el traslado de la capital del Territorio a Payo Obispo, la zona sur de Quintana Roo tuvo un importante desarrollo. La organización política del Territorio, se modificó en 1917 con la creación de los municipios libres promulgada en la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. Quintana Roo quedó dividido en tres municipios: Cozumel, Isla Mujeres y Payo Obispo.

Durante la gestión del doctor José Siurob, a fines de 1928 se decretó la desaparición de los municipios libres en los territorios federales; éstos fueron sustituidos por delegaciones de gobierno lo cual nuevamente dio al gobernador un poder centralizado y provocó que varios quintanarroenses fueran relegados de los puestos públicos. Quintana Roo quedó dividido en cuatro delegaciones con cabeceras en: Payo Obispo, Santa Cruz, Cozumel e Isla Mujeres.

El 14 de diciembre de 1931 se decretó la anexión de Quintana Roo a los estados de Yucatán y Campeche aduciendo que el Territorio, al no poder bastarse a sí mismo económicamente, representaba un enorme egreso para la federación.

El 27 de septiembre de 1955, Janet, destruyó por completo Xcalak, Vigía Chico y prácticamente la ciudad de Chetumal. El huracán Janet fue un parteaguas en la vida de muchas poblaciones, la historia de Chetumal y de Xcalak, por ejemplo, se escribe antes y después del Janet.

El presidente Adolfo López Mateos nombró como gobernador del Territorio al ingeniero Aarón Merino Fernández, quien con el apoyo económico de la federación contribuyó a la reconstrucción de Chetumal, al fomento de la pequeña industria y al desarrollo de la agricultura y ganadería. En 1964 Merino Fernández fue sustituido por Rufo Figueroa. Acorde con el proyecto de transformación económica y social

del Territorio, durante su gestión tuvo lugar a la creación del ingenio Álvaro Obregón en tierras del ejido Pucté. Se inició la expansión de la red carretera hacia el norte del Territorio para comunicar Felipe Carrillo Puerto con Tulum y Playa del Carmen.

El último gobernante de esta década fue Javier Rojo Gómez, quien inició su periodo en mayo de 1967. Se construyeron obras de beneficio social, entre las que destacan el Centro Regional de Enseñanza Normal en Bacalar, la construcción de la carretera Chetumal-Escárcega, la pavimentación de la carretera Puerto Juárez-Playa del Carmen y la terracería del camino Felipe Carrillo Puerto-Tulum (1970).

La orientación económica de la entidad daría un giro de 180 grados, al iniciar en Quintana Roo la industria turística, hasta entonces poco explotada en la República Mexicana: el turismo. Iniciaba la gestación de Cancún.

A fines de 1970 falleció Javier Rojo Gómez, le sustituyó, el 4 de enero de 1971, David Gustavo Gutiérrez Ruiz, quien fue el último gobernador de Quintana Roo como Territorio Federal. En 1972, el presidente Luis Echeverría Álvarez, emitió un acuerdo presidencial que otorgó para todo el Territorio la condición de zona libre durante los siguientes ocho años.

Al fin Quintana Roo reunía las condiciones necesarias establecidas en el artículo 73 de la Constitución el cual dispone que, para dejar su condición de Territorio, debía contar con una población mínima de 80 mil habitantes, ingresos propios suficientes para cubrir los gastos de administración pública, así como la existencia de infraestructura agrícola, industrial, comercial y educativa, entre otras.

El 2 de septiembre de 1974 Echeverría envió al Congreso de la Unión una iniciativa de ley para que Quintana Roo y Baja California Sur fueran elevadas a la categoría de estados. Tras la aprobación de las legislaturas estatales, el 8 de octubre de 1974 Quintana Roo nació como estado libre y soberano con los mismos límites y extensión que se le había otorgado en 1902. David Gustavo Gutiérrez Ruiz fue nombrado gobernador provisional.

## Perfil demográfico.

El número de habitantes que presenta Quintana Roo hasta el 2015 según el INEGI era de 1,501,562 habitantes, de los cuales el 50.1% son hombres ( 751,538 ) y el 49.9% son mujeres ( 750,024 ), y se encontraba en el lugar 26 a nivel nacional debido a su número de habitantes

La distribución por género con respecto a la edad se puede observar en la siguiente tabla.

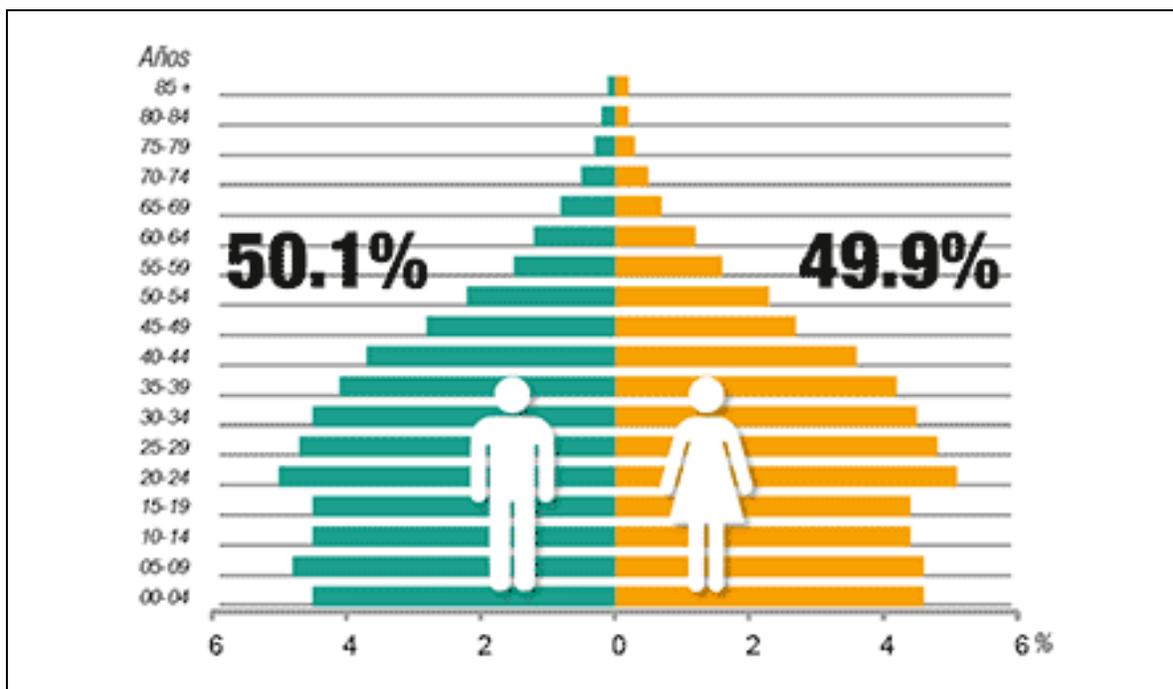


Imagen 1: En Quintana Roo el 88% de la población se encuentra en zona urbana, mientras que el 12% vive en zona rural. Y se tiene que en promedio 34 personas viven por kilómetro cuadrado.

Fuente: Gobierno del estado de Quintana roo, actualizado a enero del 2018.

Datos tomados por fuente del INEGI se sabe que en el 2005, migraron de Quintana Roo 51 mil 915 personas para radicar en otra entidad, mientras que en el 2010 llegaron un total de 143 mil 899 personas a vivir al estado, de las cuales provienen en mayor cantidad de Yucatán, Chiapas, Tabasco, CDMX y Veracruz.

El crecimiento demográfico del estado está por arriba del promedio nacional; las tendencias demográficas, según los datos emitidos por la consulta nacional de población (CONAPO) en el 2014, son las más altas del país, esperando que para el año 2030, Quintana Roo alcance una población cercana a los 2.232,702 con una tasa de crecimiento de hasta un 2.47% anual.

Esto conllevaría una gran variedad de problemas como lo son:

- Distribución poblacional
- Zonas habitables
- Infraestructura de servicios básicos (agua potable, drenaje, electricidad, iluminación, tránsito, transporte)
- Seguridad, educación y sanidad.

En cuanto al clima de la zona de Quintana Roo, estudios realizados y tomados del marco geo estadístico por el INEGI el 99% de la superficie del estado presenta un clima cálido subhúmedo y el 1% es cálido húmedo.

La temperatura media anual promedio del estado es de 26°, la temperatura máxima es de 33°C generalmente en los meses de abril a agosto, mientras que la temperatura mínima promedio es de los 17°C durante el mes de enero.

### 1.3 Investigación tecnológica.

Las investigaciones, aunque poco conocidas, si se realizan en el país, mostrando tecnologías que fomentan la innovación y que presentan una serie de características que vinculan en forma natural lo que son la ciencia y la tecnología en la ingeniería.

Utilizando las innovaciones tecnológicas se puede designar la incorporación del conocimiento científico y tecnológico, ya sea propio o ajeno, con el objeto de crear o modificar un proceso productivo, un artefacto, una máquina, una materia prima, todo para cumplir un fin valioso para generar un bien, generando una de las posibles soluciones a tantos problemas sociales.

Con investigación tecnológica en las ciencias de la ingeniería se designa un ámbito de producción de conocimiento tecnológico validado, que incluye tanto el producto cognitivo, teorías, técnicas, tecnologías, maquinarias, patentes, etc. como las actividades que desarrollan los ingenieros para producir y validar dichos productos y conocimientos.

Para llevar a cabo una investigación tecnológica se tienen que tener presentes los objetivos que se quieren lograr para el logro o el éxito de dicha investigación, rara vez se presenta de forma rígida y definitiva y se fijan de forma difusa como resultado de las necesidades sociales que se pretenden satisfacer con el desarrollo tecnológico y as posibilidades de desarrollo efectivo que el conocimiento científico y tecnológico permite conjeturar.

Mientras que el diseño no es definitivo, lo que quiere decir, que no hay una única solución “correcta” para un tipo de problema, que pretenda alcanzar un fin predeterminado, por eso es que la ingeniería no es una ciencia exacta o pensarse como tal, siempre queda la posibilidad de mejorar el diseño pensado y de innovar constantemente.

La importancia de introducir o tratar la investigación en un modelo de sostenibilidad, es obtener conocimiento útil para resolver un problema concreto que surge principalmente en las necesidades de la sociedad, que es el caso de esta experiencia científica, la cual une la necesidad de viviendas a menores costos con el aprovechamiento de los recursos naturales.

El Master Rodrigo Meyer con años de experiencia en el ámbito ingenieril enfocado en el área forestal busca crear una posible solución para uno de tantos problemas en la sociedad mexicana. Creando así un sistema que utiliza madera económica y que sea tratada con aditivos naturales y termo modificada en una autoclave para que el producto final sea la sustitución y posible solución a un problema.

Para la realización de estas pruebas en la madera de pino común (Pino Douglasiana Martínez) se requiere la utilización de un reactor en donde se va a tratar la madera, y que es la que nos va a dar la temperatura mediante unas resistencias, también de presión (Psi) que los obtenemos de una compresora, el equipo de protección adecuado y diferentes materiales que serán añadidos dentro de la autoclave para su tratamiento.

El material y equipo para el tratamiento de la materia prima son la autoclave, un compresor y legías celulósicas y aditivos para controlar las propiedades de punto de fusión y viscosidad de la resina bajo presión y temperatura que se describen a continuación.

## Autoclave

Una autoclave es un reactor o cámara de presión que se utiliza para realizar procesos industriales que requieren temperatura y presiones elevadas diferentes a las presiones del aire en el ambiente, una autoclave se utiliza para esterilizar diferentes equipos ya sean instrumentos de laboratorio, artículos farmacéuticos entre otros materiales, puede esterilizar los sólidos, líquidos e instrumentos de varias formas y tamaños.

Las autoclaves varían en tamaño, forma y funcionalidad. Para comprender el funcionamiento básico de una autoclave es muy similar a una olla de presión, ya que ambos utilizan la energía del vapor para matar bacterias, las esporas y los gérmenes resistentes al agua hirviendo.

Las autoclaves se utilizan para distintas aplicaciones, como son científicas, industriales y médicas para realizar esterilización y en la industria química para hacer recubrimientos, vulcanizar caucho y para síntesis hidrotermal. También se utilizan en aplicaciones industriales.

El calor húmedo en forma de vapor presurizado se considera el método más seguro para la destrucción de todas las formas de vida, incluyendo las esporas bacterianas. Este método se incorpora en este dispositivo que es un componente esencial de los laboratorios y zonas industriales que tengan un propósito químico.

La autoclave utiliza la esterilización o fusión de materias por calor húmedo y es la más segura cuando se requieren temperaturas por encima de las del agua hirviendo. Estas altas temperaturas son más comúnmente alcanzadas por el vapor bajo presión en una autoclave.

## Funcionamiento de una autoclave

Una autoclave es esencialmente un gran receptáculo de acero a través del cual circula vapor u otro gas para esterilizar cosas, realizar experimentos científicos o realizar procesos industriales. Típicamente las cámaras en autoclaves son cilíndricas, porque los cilindros son capaces de soportar más presiones extremas que las cajas, cuyos bordes se convierten en puntos débiles que pueden romperse.

La alta presión los hace autosellantes aunque por razones de seguridad la mayoría también se sellan manualmente desde el exterior. Al igual que en una olla a presión una válvula de seguridad asegura que la presión del vapor no puede acumularse a un nivel peligroso.

Hay un principio básico en la química el cual dice que cuando la presión de un gas aumenta, la temperatura del gas aumenta proporcionalmente. Por ejemplo, cuando el vapor fluye libremente a una temperatura de 100 grados se coloca bajo una presión de 1 atmósfera sobre la presión del nivel del mar la temperatura sube a 121 grados. Aumentar la presión a 20 psi eleva la temperatura a 126 grados.

De esta manera el vapor es un gas, aumentando su presión en un sistema cerrado aumenta su temperatura. Como las moléculas de agua en vapor se llenan de más energía, su penetración aumenta substancialmente. Este principio se utiliza para reducir el tiempo de cocción en la olla a presión casera y para reducir el tiempo de esterilización en el autoclave. Es importante notar que el agente de esterilización es el calor húmedo, no la presión.

Una vez que la cámara está sellada, todo el aire se retira de él, ya sea por una bomba de vacío simple o por bombeo en vapor para forzar el aire fuera. A continuación el vapor se bombea a través de la cámara a una presión más alta que la presión atmosférica normal, por lo que alcanza una temperatura de alrededor de 121 a 140 °.

Una vez que se alcanza la temperatura requerida, un termostato inicia y comienza un temporizador. El bombeo de vapor continúa durante un mínimo de aproximadamente 3 minutos y un máximo de aproximadamente 15 a 20 minutos (temperaturas más altas significan tiempos más cortos), generalmente el tiempo suficiente para matar la mayoría de los microorganismos.

El tiempo de esterilización exacto depende de una variedad de factores, incluyendo el nivel probable de la contaminación de los artículos que son esterilizados en autoclave. Los artículos más contaminados tardarán más tiempo en esterilizarse porque contienen más microbios y si el vapor puede circular más libremente el autoclave será más rápido y más eficaz.

La seguridad es importante ya que está usando vapor de alta presión y alta temperatura, usted tiene que ser especialmente cuidadoso cuando abre una autoclave para que no hay liberación repentina de presión que podría causar una explosión peligrosa del vapor.

## Autoclave industrial

Aunque más comúnmente conocidas como esterilizadores, las autoclaves también se pueden utilizar para llevar a cabo todo tipo de procesos industriales y experimentos científicos que funcionan mejor a altas temperaturas y presiones. A diferencia de las autoclaves para esterilización, que normalmente circulan por el vapor, las autoclaves industriales pueden hacer circular otros gases para estimular reacciones químicas particulares. Se utilizan a menudo para curar materiales como por ejemplo:

- El caucho puede ser vulcanizado (calentado, templado y endurecido con azufre) en un autoclave.
- El nylon (un plástico) se puede hacer cocinando una solución concentrada de la sal en un autoclave para la polimerización de la condensación.
- El polietileno se puede hacer circulando aire o peróxidos orgánicos a través de un autoclave para polimerizar etileno.
- Los materiales de avión hechos de materiales compuestos también se curan típicamente en grandes autoclaves industriales.

Algunas autoclaves combinan elementos tanto de esterilización como de fabricación industrial. Una autoclave aplica tanto calor como presión a la carga de trabajo colocada dentro de ella. Típicamente, hay dos clases de autoclave. Aquellos presurizados con cargas de trabajo de proceso de vapor que pueden soportar la exposición al agua, mientras que la circulación de gas caliente proporciona mayor flexibilidad y control de la atmósfera de calefacción.

El proceso por autoclave es mucho más costoso que la calefacción del horno y por lo tanto se utiliza generalmente solamente cuando la presión se debe aplicar a una carga de trabajo de la forma comparativamente compleja. A continuación se

muestra un ejemplo de una autoclave para el tratamiento de madera con vapor (Imagen 2).



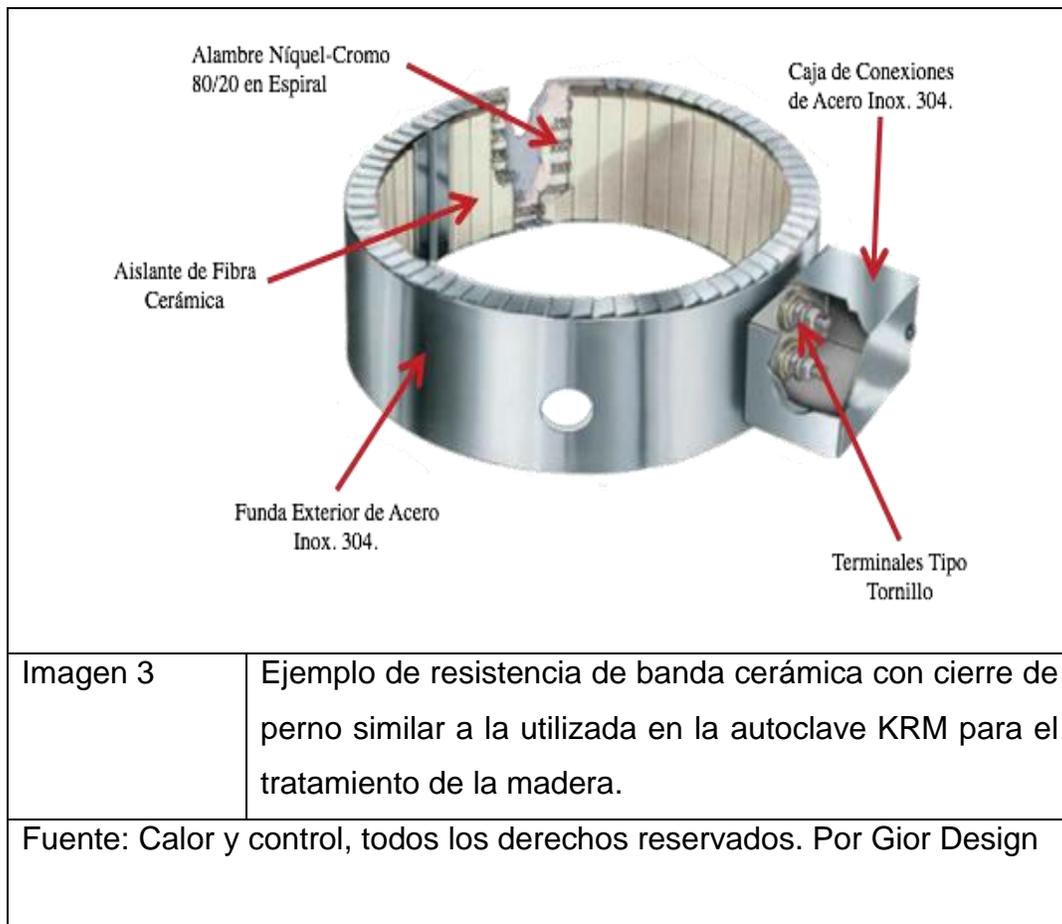
Imagen 2	Ejemplo de una autoclave horizontal industrial para el tratamiento de madera.
----------	---

Fuente: ALFOGAR. S.A. de C.V.	
-------------------------------	--

El componente clave de la autoclave industrial es la puerta de apertura rápida y es también el componente crítico en coste de la construcción de la autoclave. Por un lado, el operador debe poder abrir y cerrar la puerta rápida fácilmente y, por otro lado, la puerta debe satisfacer los estrictos requisitos de seguridad. Tal es la calidad del diseño de la puerta de la autoclave que se experimentan solo cinco o seis averías de autoclave anualmente. El diseño de la autoclave es conducido por varios estándares de seguridad y los gobiernos locales también pueden imponer requisitos de licencia relacionados con la operación de autoclave.

## Temperatura (°C)

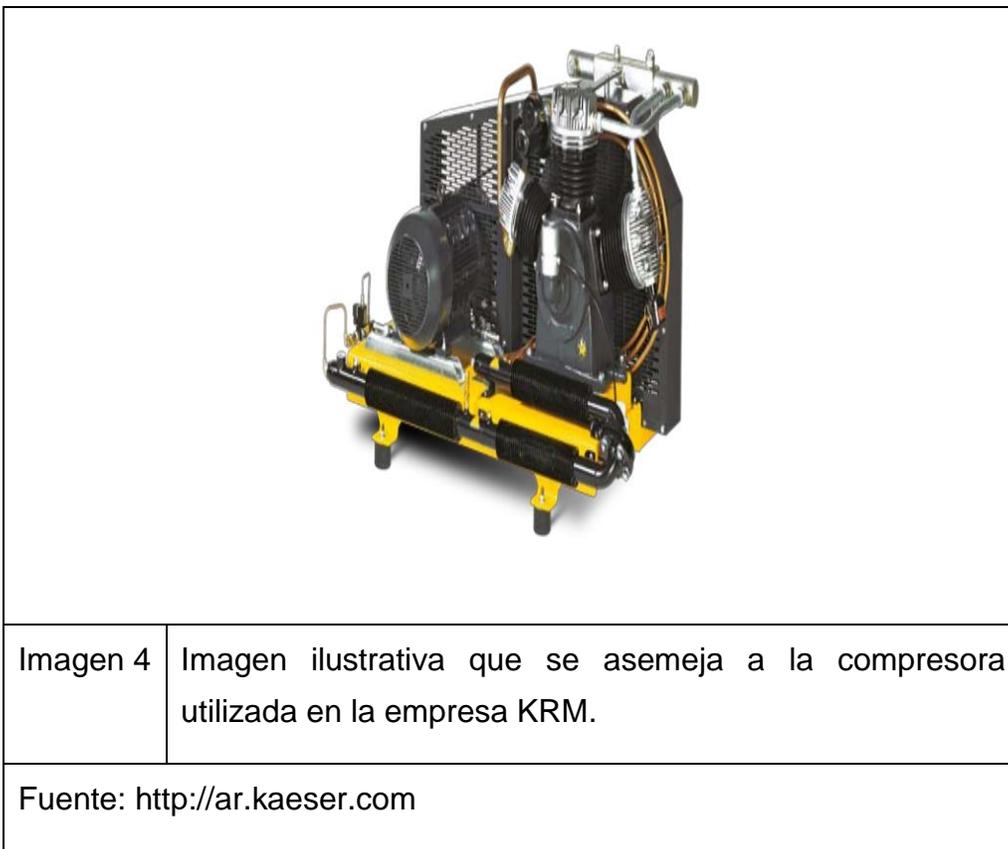
La clave del tratamiento óptimo de la madera es la temperatura, y para darle la temperatura deseada a la autoclave se utilizan unas bandas de cerámica fabricadas con resistencia de nicromo en forma helicoidal (Imagen 3), las cuales se enlazan entre sí para tener una óptima conductividad, soportando una temperatura máxima de hasta 1000°C, son necesarias las altas temperaturas para termo-modificar la madera y que los aditivos se fundan y sea más fácil una impregnación dentro de la misma. Las resistencias se controlan por un termopar independiente, con un pirómetro digital y un tablero de control; Con esto se regula automáticamente a la temperatura indicada.



## Presión (PSI)

Un compresor de aire es una máquina diseñada para tomar el aire del ambiente o gas, dependiendo del uso que se le quiera dar, almacenarlo y comprimirlo dentro de un tanque llamado calderín y con ese aire, darle potencia a otras herramientas neumáticas o bien realizar múltiples tareas como hinchar neumáticos de coches y bicicletas, limpiar o hasta rociar pintura. (Ejemplo en imagen 4)

La máquina compresora de aire como la que se muestra en la imagen 4 se utiliza para inyectar aire dentro de la autoclave, toma aire del ambiente, lo comprime y luego lo libera por un tubo flexible con la presión regulada por un presostato, impulsada por un motor del mismo compresor y controlado por una caja de control.



Un compresor de aire está compuesto por tres grandes piezas:

- El compresor que es la pieza fundamental en el funcionamiento de compresores de aire porque es el cilindro con pistón impulsado por un motor eléctrico, que le permite tomar el aire del ambiente y comprimirlo para sus subsiguientes usos.
- El tanque de depósito también llamado calderín, que como su nombre lo indica es un recipiente donde se almacena el aire comprimido para ser utilizado luego.
- El equipo de control y suministro que es el encargado de tomar el aire comprimido por el pistón del compresor que se ha almacenado en el calderín y mediante un presostato controlar la presión con la que este saldrá a través de un tubo flexible con un manómetro en su extremo.

## Equipo de seguridad

El operador debe utilizar el equipo de seguridad adecuado, desde el momento en que se ingresa al área de trabajo, debido al peligro que representa el trabajar con altas temperaturas.

Para esto el Master Rodrigo Meyer recomienda trabajar sin usar anillos, relojes, pulseras, cadenas, bufandas, corbatas o cualquier prenda que cuelgue, igual que cabello largo y suelto. En el manual del operador que el diseño, menciona que se debe usar la mascarilla para protección respiratoria cuando se abre la autoclave para extraer el material tratado, ya que en este paso se emite humo que puede dañar las vías respiratorias. El equipo de seguridad es esencial para la operación de la autoclave (Foto 2). Se debe mantener limpio y en buenas condiciones. El equipo consiste de lo siguiente:



Foto 2

Ejemplo de equipo de protección industrial que debe portar el operario a la hora de estar en el manejo de la autoclave durante el proceso de transformación de la madera.

1. Uniforme con mangas largas
2. Botas de seguridad con casquillo
3. Guantes antideslizantes de seguridad para altas temperaturas
4. Lentes de seguridad
5. Mascarilla para protección respiratoria
6. Sistema para combatir incendios (extintor clase B y C)

## Legías celulósicas y aditivos para la madera.

Para el tratamiento de la madera de pino además de la utilización del material y el equipo, se utilizan aditivos los cuales, se agregan a la autoclave para que sean fundidos a altas temperaturas para tener buenos resultados a la hora de inyectarse en la madera y estas quedar impregnadas en su totalidad de la resina.

Por medio de un proceso de integración de tecnologías es como se desarrolla una madera metamórfica y ecológica, que logra tener propiedades mecánicas y biológicas que sobresalen, mediante la sustentabilidad utilizando residuos de la industria de papel y pulpa.

La celulosa es un compuesto orgánico de origen natural, la utilizada en este proceso es de la que proviene de los residuos de la industria de papel, y otros polímeros obtenidos de plantas naturales mediante un proceso químico.



Foto 3

Ejemplo de los aditivos que se introducen dentro de la autoclave antes de su fundición

## 1.4 Experiencias de investigaciones similares con resultados positivos

Modificar la madera da como resultado una interacción entre la misma y un agente químico, biológico o físico. Así, mientras el principal resultado de un protector tradicional es la mejora de la durabilidad, o buscar una alternativa de solución para un problema o crear materiales más ecológicos que es el caso de la madera modificada obtenemos un nuevo material con propiedades diferentes.

Existen diferentes métodos del tratamiento de la madera de pino aplicados en otras partes del mundo con resultados positivos, pero con diferencias de lo que es el método que se utiliza aquí en nuestro país, a continuación, describiré brevemente alguno de los métodos aplicados del tratamiento de la madera de pino en otras partes del mundo y que presentan resultados favorables.

Caso 1: Madera térmicamente modificada; SWM-WOOD LDT. (STELLAC WOOD MIKKELI OY) A.T.C. Ediciones, S.L. Ramírez de Arellano, 4. 2ºB. 28043 Madrid. España / Spain.

Tel.: +(34) 914 200 066

[www.swm-wood.com](http://www.swm-wood.com)

Tectonica es una empresa española ubicada en la ciudad me Madrid formada por un grupo de profesionistas de la arquitectura y la edición, apasionados por la innovación y la construcción que comenzó en 1996, la tecnología y los medios actuales proporcionan hoy el marco idóneo para un nuevo planteamiento, para lo cual nace tectónica online, un portal de análisis, tecnología y construcción en el que poder entrar a un nuevo rubro de materiales con los cuales se pueda construir se vuelva más productivo.

El producto que ellos crearon se denomina “Stellac®” el cual consiste en un proceso industrial del tratamiento de la madera sin recurrir a agentes químicos, lo cual le proporciona una mayor resistencia a la pudrición y a los agentes atmosféricos, y una mejora en la estabilidad dimensional frente a los cambios en las condiciones ambientales.

Su proceso consiste en exponer la madera a altas temperaturas (190°C-250°C) durante varias horas y luego enfriarlas y acondicionarlas cuidadosamente, en un proceso que dura entre 20 y 50 horas. De esta manera reducir la humedad de equilibrio un 10-60% en comparación a la madera sin tratar, deformaciones a humedad de 30-90% menores y la capacidad de absorción de líquidos disminuye.

La resistencia mecánica de su tratamiento se ve afectada ligeramente en los tratamientos más intensos; este proceso también mejora las cualidades aislantes de la madera, cuya superficie se endurece y adquiere un tono más oscuro.

Hay cinco niveles de tratamiento según el uso que se vaya a dar a la madera. Se pueden aplicar a muchas especies, aunque las que habitualmente se tratan son el pino, la picea y el pino insignis, todas ellas con la certificación PEFC (Pan European Forest Certification).

La siguiente tabla está tomada directamente de la página de tectónica, en ella se ve la estimación de los cambios en las propiedades de la madera termotratada Stellac®:

Tabla 2. Cambios en las propiedades de la madera termotratada Stellac®					
Nivel de tratamiento térmico	D1	D2	D3	T4	T5
Resistencia a la pudrición	+++	++	+	+/-	+/-
Estabilidad dimensional	++++	+++	++	+	+/-
Resistencia mecánica	--	-	+/-	+	+/-
Grado de oscurecimiento	+++++	++++	+++	++	+

Abajo adjunto imagen de ejemplo de uno de los trabajos realizados por la empresa y su garantía de calidad.

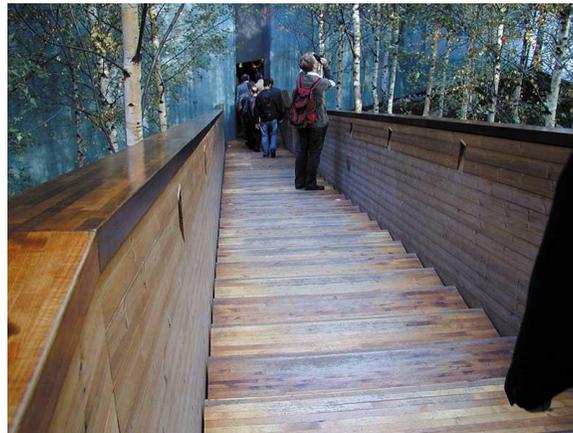


Imagen 3

“El nivel más alto de este tratamiento térmico permite a la madera alcanzar la clasificación de muy durable” es la garantía que ofrecen los arquitectos investigadores de la empresa tectónica respecto a su proyecto.

Fuente: © tectonica-online

Caso 2: El pino radiata de Nueva Zelanda, tratamiento genético.

New Zealand Trade and Enterprise [www.nzte.govt.nz](http://www.nzte.govt.nz)

Un artículo en la red sobre New Zealand Trade and Enterprise en la industria maderera indica que, Nueva Zelanda tiene 1,8 millones de Hectáreas de plantaciones forestales gestionadas de manera eficaz, sostenible y renovable, la mitad de las cuales cuentan con la certificación FSC. Del total de Hectáreas plantadas, el 90% corresponden a pino radiata, 6% a pino Oregón y el restante 4% a otras especies.

La demanda en Europa por el pino radiata continúa aumentando, aunque existe inestabilidad económica y un brusco descenso en el volumen total de importaciones de madera, y según el artículo, para muchos especialistas, el pino radiata de plantaciones sostenibles, es la “súper especie” de madera resinosa del siglo XXI.

El pino radiata es nativo de California y se introduce a Nueva Zelanda durante el siglo pasado, donde se encuentra con un clima y terreno excepcionales para su crecimiento, con esto se investigó la madera de que se pudiera usar un sistema único de explotación sostenible y estar preparada para liderar el suministro mundial de madera de pino de alta calidad en toda Europa; los bosques utilizados son seleccionados genéticamente mediante las tecnologías que ocupan, para asegurar su crecimiento, forma y propiedades de la madera. . Las plantaciones de pino radiata de Nueva Zelanda producen troncos de excelente calidad en tan sólo 25 años, y permiten crecimientos ocho veces más rápidos que en bosques naturales.

En este sentido, aunque los recursos forestales de Nueva Zelanda, sólo representan un 0,05% del total mundial, la alta productividad de sus bosques 1 Hectárea de pino radiata podado de Nueva Zelanda puede producir en 30 años un volumen de madera de calidad equivalente a 40 Hectáreas de bosque tropical del Amazonas o a 10 Hectáreas del sudeste asiático – son responsables del 9% del comercio mundial.

Estudios científicos independientes e investigaciones del Instituto Independiente Forestal de Nueva Zelanda “*Scion*”, han demostrado mejoras en las propiedades mecánicas de la madera del pino radiata entre otras como el crecimiento más rápido y que sigue siendo una madera como ellos la llaman “madera verde”; las principales ventajas de la madera de Nueva Zelanda es su probado respeto al medio ambiente, como demuestra el elevado porcentaje de bosques con certificación FSC. Los árboles crecen en explotaciones gestionadas de manera totalmente sostenible, respetuosa con el medio ambiente, eficaz en materia energética y que resultan en una alternativa rentable frente a especies nativas amenazadas y tropicales.

Nueva Zelanda cuenta con la más avanzada tecnología para la mejora genética y producción de madera limpia a nivel mundial, resultado de la combinación de una

intensa actividad en materia de investigación y desarrollo y de la excelencia de las técnicas de gestión, poda, tala y procesado utilizadas. Resistencia La resistencia del pino de Nueva Zelanda es comparable a la de otras especies tradicionalmente utilizadas en construcción. Los tratamientos y sistemas de procesado utilizados garantizan que las partes más resistentes de los troncos sean aserradas de forma eficaz para maximizar su uso en construcción.

Caso 3: Madera tratada en autoclave con CCA (Arseniato de cobre cromatado).

Green Matters México

Callejón de Don Gregorio # 96, Int. 29 Col EL Pueblito, Corregidora, Querétaro.  
CP 76900

La empresa **Green Matters México** ubicada en Querétaro y su producto final de madera tratada en autoclave con CCA ofrece durabilidad y garantía en sus productos y poder ser utilizada en diferentes tipos de aplicaciones, la durabilidad de dicha madera es de los 20 años dependiendo del uso y de la cantidad de preservante impregnada en ella, el tratamiento que se les da a este tipo de maderas es mediante una autoclave y añadiéndole CCA (arseniato de cobre cromatado).

Algunos de los materiales impregnados con el CCA como los postes de tendido eléctrico y telefónico, instalados en zonas de alta humedad y temperatura ha cumplido más de 50 años de uso si necesidad de reemplazarlos.

La madera utilizada para el tratamiento es el pino silvestre, sobre todo por su aptitud para la impregnación, y que es fácilmente procesable y consta de belleza estética natural.

Los usos en los que se utilizan son ilimitados y por mencionar algunos son:

Tarimas, terrazas Porches, Patios, Paseos, Muelles, Vallas, Mobiliario Exterior, Kioscos, Pasarelas, Puentes, Bancos, Pisos de Interior, Decks, etc.

El tratamiento para madera con CCA

Se utiliza productos químicos de efectividad comprobada que se aplica a la madera para protegerla de agentes biológicos como son los hongos, insectos y las bacterias. La composición química de los agentes químicos es el cromo, cobre y el arsénico, y cada uno de ellos cumple una función en la madera la cual se indica a continuación:

El cobre: Es el elemento que impide el ataque de hongos y bacterias (FUNGICIDA).

El cromo: Además de actuar como fungicida para algunos tipos de hongos es el elemento responsable de la fijación definitiva del preservante en la madera (FIJADOR).

El arsénico: Protege a la madera contra los insectos (INSECTICIDA).



Imagen 4: Muestra de uno de los trabajos realizados utilizando madera tratada en Green Matters.

Fuente: Imagen tomada de la página oficial de Green Matters.

Caso 4: Tratamiento de madera acetilada y furfuralada utilizada en España y Holanda.

La acetilación es una reacción química que transforma grupos de hidroxilos en grupos de acetilos mediante un tratamiento realizado en autoclave, que impregna la madera con anhídrido acético, generando ácido acético (vinagre) que puede ser reciclado en el mismo proceso. El proceso que ocupan mejora la higroscopicidad (absorción de humedad) de la madera e incrementar la densidad al incorporar acetilos con mayor tamaño y peso molecular.

La durabilidad frente a los hongos de pudrición mejora considerablemente, alcanzando la máxima categoría (muy durable) según la norma UNE-EN 350-2.

La acetilación no supone un cambio significativo de la mayor parte de las propiedades mecánicas por lo que el material mantiene e incluso mejora sus posibilidades de empleo estructurales. El tratamiento no altera el color original de la madera y permite prolongar considerablemente el mantenimiento del acabado decorativo. Las principales aplicaciones de la madera acetilada se encuentran en revestimientos de fachadas, pavimentos de exterior, elementos de carpintería y mobiliario urbano, construcción, etc.

Entre las aplicaciones estructurales merece destacarse el puente de tráfico pesado inaugurado en abril de 2009 en la ciudad de Sneek (Holanda).



Imagen 5: El puente, con una longitud de 32 m y una anchura de 12 m, ha sido diseñado para soportar cargas de hasta 60 toneladas y su vida de servicio superará los 80 años.

Fuente: Artículo publicado **por Manuel C. Touza Vázquez**, Ingeniero de Montes Responsable del Área de Innovación y Tecnología del Centro de Innovación y Servicios Tecnológicos de la Madera de Galicia (CIS-Madera)

La furfurilación de la madera consiste en su tratamiento con alcohol furfurílico, obtenido a partir del furfural, un derivado de subproductos de la agricultura como la caña de azúcar o el maíz. El tratamiento se realiza en autoclave al que siguen varias etapas durante las que se produce un secado intermedio y la polimerización de los productos químicos en las células de la madera, finalizando con un secado final. La furfurilación mejora considerablemente la higroscopicidad de la madera y, al mismo tiempo, incrementa su densidad y su dureza. Las propiedades mecánicas tienden a mejorar, excepto la resistencia al impacto, y el color de la madera se oscurece. Con una retención adecuada, la madera furfurilada puede alcanzar la máxima categoría de durabilidad natural (muy durable) frente a los hongos de pudrición. Las principales aplicaciones comerciales se encuentran en fachadas, entarimados de exterior y cubiertas de yates.

## 1.5 Experiencia regional.

La empresa *KRM Wood Enngineering* ubicada en un principio en la CDMX , ahora en la ciudad de Querétaro, se dedica a la investigación, y se trabaja en la innovación y la mejora para poder transformar materiales mediante tecnologías y nuevas técnicas de apoyo al medio ambiente, que sustituyan a otros que no son sostenibles, utilizando materiales ecológicos y de alta gama para ofrecer un producto de calidad que ofrezca satisfacción y confianza en el producto, así como durabilidad, resistencia a la pudrición, resistencia entre otras características, que hagan de este producto uno de los mejores en el mercado de la industria de la madera, siendo la mejor de toda Latinoamérica.

Su producto utilizado en distintas aplicaciones como decks, mesas de madera, bancas, entre otros tipos de aplicaciones para el exterior; su durabilidad y color provienen del tratamiento e impregnación de la madera por las legías celulósicas y aditivos que se contienen dentro de la autoclave mediante la temperatura y la presión.

La madera utilizada para este proceso es madera de pino Douglasiana, por su precio económico, su fácil crecimiento y desarrollo en el país, y por su característica de tener una fácil impregnación y fácilmente procesable.

La transformación de la madera comienza con un proceso detallado y meticulosamente pensado para llegar a un producto final de calidad, entre los rasgos o características que sobre salen del producto de la empresa KRM es que no absorbe humedad, el color de la madera tiende a un color solido oscuro, su peso se incrementó debido a la polimerización de las legías inyectadas en la madera, además de ser muy resistente a la pudrición, inmune a los agentes biológicos como los insectos entre ellos las termitas, también se observan cualidades como la resistencia mecánica y alcanza una categoría de nivel 1 compitiendo con otras maderas como lo es la madera de Teca.

A continuación, se muestra una serie de fotografías tomadas en el proceso de la transformación de la madera de pino en el tratamiento utilizado en la empresa *KRM Wood Engineering*

Después del proceso de corte de la madera de pino para ser introducida a la autoclave lo que se procede a hacer es una serie de pasos, en realidad un protocolo de control para ver cómo se comporta físicamente la madera dentro de la autoclave antes, durante y después del proceso.

El primer paso es el pesar la madera en una báscula la cual debe estar correctamente calibrada

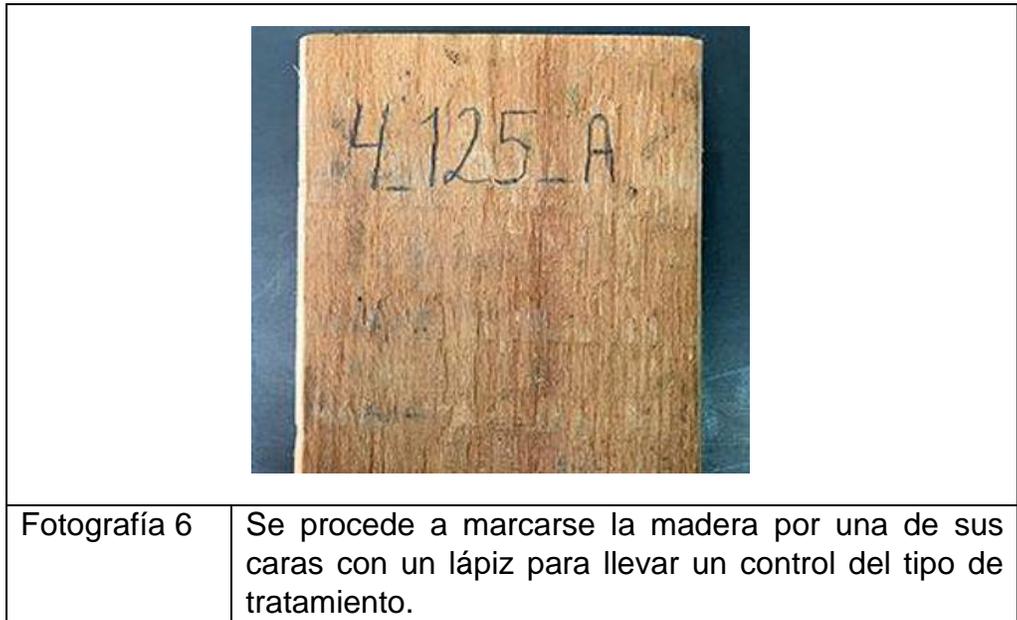


Fotografía 4	Ejemplo de cómo se pesa la madera en la báscula para así al final del tratamiento sacar el diferencial del peso que absorbió la madera de resina.
--------------	---

El segundo paso es tomar las medidas de la madera, largo tanto horizontal como vertical así como su anchura, ayudándonos con un vernier digital sacamos las medidas en milímetros de su anchura tal como se muestra en la fotografía 5, y utilizando un flexómetro sacamos las medidas de lo largo en vertical y horizontal y los convertimos a milímetros



Con un lápiz se procede a marcar la madera que entrara al proceso dentro de la autoclave, en una de las caras de la madera se anota el número de control del proceso esa es la que se va a introducir de manera que el número quede en la parte superior, de esa forma a la hora de retirar la madera se logre ver el número, antes del curado de laya tratada.



Al finalizar el proceso de transformación de la madera dentro de la autoclave se retiran con mucho cuidado y se colocan sobre unas tablas de apoyo en donde se dejarán curar aproximadamente por una hora tal como se muestra en la fotografía 7.



Una vez transcurrido el tiempo lo que se procede a hacer lo que en la foto 4 y 5, que es la toma de medidas y hacer una tabla comparativa con los resultados mostrados y el comportamiento físico de la madera antes y después del proceso de transformación.



Fotografía 8

Se observa la madera ya tratada y rasgos significativos como el color de la madera cambia.

## 1.6 Normatividades

Norma Oficial Mexicana NOM-005-SEMARNAT-1997, Que establece los procedimientos, criterios y especificaciones para realizar el aprovechamiento, transporte y almacenamiento de corteza, tallos y plantas completas de vegetación forestal.

Norma Oficial Mexicana NOM-013-SEMARNAT-2010: Que regula sanitariamente la importación de árboles de navidad naturales de las especies de los géneros Pinus y Abies y la especie Pseudotsuga menziesii..

Norma Oficial Mexicana NOM-016-SEMARNAT-2003: Que regula sanitariamente la importación de madera aserrada nueva.

Norma Oficial Mexicana NOM-018-SEMARNAT-1999, Que establece los procedimientos, criterios y especificaciones técnicas y administrativas para realizar el aprovechamiento sostenible de la hierba de candelilla, transporte y almacenamiento del cerote.

Norma Oficial Mexicana NOM-019-SEMARNAT-2006, Que establece los lineamientos técnicos de los métodos para el combate y control de insectos descortezadores.

Norma Oficial Mexicana NOM-020-SEMARNAT-2001, Que establece los procedimientos y lineamientos que se deberán observar para la rehabilitación, mejoramiento y conservación de los terrenos forestales de pastoreo.

Norma Oficial Mexicana NOM-025-SEMARNAT-1995, Que establece las características que deben de tener los medios de marqueo de la madera en rollo, así como los lineamientos para su uso y control.

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-026-SEMARNAT-2005, que establece los criterios y especificaciones técnicas para realizar el aprovechamiento comercial de resina de pino.

Norma Oficial Mexicana NOM-029-SEMARNAT-2003: Que regula sanitariamente la importación de madera aserrada nueva.

Norma Oficial Mexicana NOM-034-SEMARNAT-1993, que establece los métodos de medición para determinar la concentración de monóxido de carbono en el aire ambiente y los procedimientos para la calibración de los equipos de medición.

Norma Oficial Mexicana NOM-035-SEMARNAT-1993, que establece los métodos de medición para determinar la concentración de partículas suspendidas totales en el aire ambiente y el procedimiento para la calibración de los equipos de medición.

Norma Oficial Mexicana NOM-036-SEMARNAT-1993, Que establece los métodos de medición para determinar la concentración de ozono en el aire ambiente y los procedimientos para la calibración de los equipos de medición.

Norma Oficial Mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005, Que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos.

Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo.

Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2001, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo.

Norma Oficial Mexicana NOM-061-SEMARNAT-1994, que establece las especificaciones para mitigar los efectos adversos ocasionados en la flora y fauna silvestres por el aprovechamiento forestal.

Norma Oficial Mexicana NOM-062-SEMARNAT-1994, que establece las especificaciones para mitigar los efectos adversos sobre la biodiversidad que se ocasionen por el cambio de uso del suelo de terrenos forestales a agropecuarios.

Norma Oficial Mexicana NOM-098-SEMARNAT-2002, Protección ambiental-Incineración de residuos, especificaciones de operación y límites de emisión de contaminantes. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Norma Oficial Mexicana NOM-126-SEMARNAT-2000, Por la que se establecen las especificaciones para la realización de actividades de colecta científica de material biológico de especies de flora y fauna silvestres y otros recursos biológicos en el territorio nacional. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Norma Oficial Mexicana NOM-144-SEMARNAT-2004, Que establece las medidas fitosanitarias reconocidas internacionalmente para el embalaje de madera, que se utiliza en el comercio internacional de bienes y mercancías.

Norma Oficial Mexicana NOM-144-SEMARNAT-2012, que establece las medidas fitosanitarias reconocidas internacionalmente para el embalaje de madera, que se utilizan en el comercio internacional de bienes y mercancías.

NORMA Oficial Mexicana NOM-161-SEMARNAT-2011, Que establece los criterios para clasificar a los Residuos de Manejo Especial y determinar cuáles están sujetos a Plan de Manejo

Norma iso 9001. Se aplica a los Sistemas de Gestión de Calidad de organizaciones públicas y privadas, independientemente de su tamaño o actividad empresarial. Se

trata de un método de trabajo excelente para la mejora de la calidad de los productos y servicios, así como de la satisfacción del cliente.

Norma ISO 17025 es una norma orientada a la evaluación de la conformidad. Contiene los requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración. También cumple con la norma de la iso 9000

Norma ISO 14001 es una norma internacional que contiene los requisitos necesarios para implantar un Sistema de Gestión de Medioambiental

La Norma OHSAS-18001 está destinada a organizaciones comprometidas con la seguridad y salud laboral y con la prevención de riesgos laborales

La estructura de la ISO 28000 es compatible con la norma ISO 9001 e ISO 14001. Esta norma ha sido diseñada para ayudar a la integración en los sistemas de gestión de calidad, medio ambiente y la seguridad de la cadena de suministro dentro de una organización.

Norma ISO 31000 es una guía de buenas prácticas para las actividades relacionadas con la gestión de riesgos.

La SA 8000 es una norma certificable de aplicación voluntaria creada por la organización estadounidense Social Accountability International – SAI , con el objeto de promover la Responsabilidad laboral a través de mejores condiciones laborales.

La ISO 26000 es una norma internacional de aplicación voluntaria que orienta a las organizaciones en la que se establecen las definiciones, principios y materiales fundamentales de la Responsabilidad Social Empresarial.

Normativa europea de la madera tratada.

EN 335.2/98: define las distintas clases de uso (anteriormente riesgo), en relación con la ubicación de la madera y el grado de humedad presente (5 clases).

EN 350.2/94: indica los distintos grados de durabilidad natural de las principales especies de madera empleadas en la UE, frente a hongos e insectos xilófagos, así como sus correspondientes grados de permeabilidad.

EN 460/94: indica el grado de necesidad del tratamiento protector de la madera, considerando su durabilidad natural y clase de uso.

EN 351.1/96: indica los distintos grados de penetración y retención a alcanzar, del protector de la madera, adjuntando un diagrama general de acción.

EN 351.2/96: indica el tipo de protector a utilizar según la categoría de uso en que se ubique la madera.

EN 807: eficacia frente a organismos de pudrición blanca y otros del suelo.

Norma UNE EN 14.081-4: establece para las distintas especies de madera europeas, cuales son las asignaciones de las clases resistentes aplicables a las maderas clasificadas mecánicamente.

NF EN 1.313-1 (Abril 1997): dimensiones de la madera aserrada.

NF B 52-001 (Diciembre 1998): clases de madera para estructuras según una clasificación visual.

NF EN 519: clases de madera aserrada utilizadas en estructuras obtenidas en la clasificación por máquina.

UNE EN 595-1 (1997): durabilidad de la madera y de los productos derivados de la madera. Prestación de los protectores de la madera determinados mediante ensayos biológicos.

parte 1: especificaciones para las distintas clases de riesgos.

UNE EN 595-2 (1997): durabilidad de la madera y de los productos derivados de la madera. Prestación de los protectores de madera determinados mediante ensayos biológicos.

parte 2: clasificación y etiquetado.

UNE EN 351-1 (1995): durabilidad de la madera y de los productos derivados de la madera. Madera maciza tratada con productos protectores.

parte 1: clasificación de las penetraciones y retenciones de los productos protectores.

UNE EN 335: clases de riesgos.

UNE EN 350-2: impregnabilidad de las distintas especies de madera.

UNE EN 599-1: clases de ensayos que se realizan para determinar el nivel de retención del producto, según la clase de uso de la madera que protegerá.

# CAPITULO II

## ZONAS DE ESTUDIO Y TRATAMIENTO TECNOLÓGICO DE LA MADERA DE PINO.

## 2.1 ZONA DE ESTUDIO.

Un estudio realizado por el INEGI en el año 2015 arroja que las condiciones climáticas en la región de Cancún, Quintana Roo presentan que en la superficie del estado hay un clima cálido subhúmedo del 99% y un 1% de cálido húmedo localizado en la isla de Cozumel, perfectamente un clima tropical. Es el lugar número 26 a nivel nacional por su número de habitantes.

El 78% de la población es urbana mientras que el 22% es rural con base de datos actualizada hasta el 2015; existen 440 200 viviendas particulares.

La temperatura media anual es de 26°C y la máxima promedio es de 33°C y se presenta en los meses de abril hasta agosto y la temperatura mínima promedio es de 17° durante los meses de enero.

La precipitación media estatal es alrededor de 1300mm anuales, presentándose lluvias abundantes en los meses de junio a octubre.

Ya que la región de Cancún presenta un clima cálido sub húmedo, la madera se va a ver expuesta a factores ambientales como la lluvia, el sol, a la brisa del mar, entre otros factores en la naturaleza, que se presentan en esta región.

Realizando un estudio de campo obtuvimos resultados que, la brisa del mar que contiene sodio y partículas de agua, así como las temperaturas elevadas del sol, sugieren un desgaste de mayor rapidez en los productos que se encuentran en exteriores ya seas naturales o sintéticos.

Pensando en ello, se realizaron diferentes pruebas a la madera termo-tratada para que se adecue perfectamente a las condiciones climáticas tropicales como lo es la zona de Cancún.

En la parte 2.2 de este capítulo se detallan la preparación tecnológica de la madera utilizada en KR Masi como una breve descripción de cada una de las pruebas a la que se somete la madera de pino tratada para poder combatir las afectaciones a las que se puede ver la madera en la zona tropical de Cancún, y así lograr conseguir una producto que logre satisfacer en su mayoría las necesidades de un producto que sea resistente a este tipo de agentes biológicos degradables de la zona.

## 2.2 PREPARACIÓN TECNOLÓGICA DE LA MADERA DE PINO.

### Preparación tecnológica

Antes de cualquier cosa el Master Rodrigo Meyer diseñó un protocolo para el uso debido de los equipos, así como pasos a seguir para el proceso de modificación de la madera de pino a la hora de utilizar la autoclave, la correcta aplicación y utilización de todos los equipos también está escrito en el manual. Todo para disponer de la autoclave y de la madera de pino, evitar riesgos y accidentes a la hora de la operación y en el proceso de transformación de la madera; la madera de pino está cortada con ciertas dimensiones para que de esa modo se pudieran introducir dentro de la autoclave, previamente a esto se introducen a al autoclave para empezar el tratamiento legías celulósicas y aditivos para su impregnación en la madera de pino, se utilizan valores en psi para la presión y grados centígrados para la temperatura y se utilizan distintas temperaturas y presiones para las pruebas hasta encontrar una idónea que se adecue a las condiciones climatológicas que se requieren de la madera para las zonas tropicales; Desde una computadora se monitorea el comportamiento de las probetas (maderas) dentro de la autoclave.

El proceso empieza desde el corte de las madera de pino sin tratar, de manera que abarquen el espacio dentro de la autoclave pero sin estorbarse unas a otras para que las legías y los aditivos puedan penetrar la madera hasta su núcleo mediante la presión y la temperatura; después se pesa cada probeta de madera, para ver un antes y un después del tratamiento, así se observa cuanto absorbió la madera dentro de la autoclave, y en base a eso sacar el peso total de absorción de los aditivos dentro de la madera; mientras se corta la madera de pino sin tratar, ya dentro de la autoclave están calentándose los aditivos que se le van a inyectar a la madera, se retira la tapa de la autoclave y cuidadosamente se introducen las probetas de madera, se vuelve a colocar la tapa y se sella correctamente la autoclave con las probetas dentro y se prosigue a poner la autoclave a la temperatura deseada del tratamiento, una vez sumergidas las probetas dentro de los aditivos y legías celulósicas se le inyecta presión con una compresora a la autoclave, la forma en la que se inyecta el aire es mediante una manguera que va conectada a una válvula que tiene la autoclave, ya conectada la manguera se enciende la compresora, se abre la válvula de la autoclave y así se inyectan la presión dentro de la autoclave; dentro de ella hay un sensor que está conectado a un indicador que nos dice los psi que tiene la autoclave, y una vez llegando a los deseados se apaga la compresora, esto con el fin de que los aditivos penetren la madera hasta el núcleo y se impregne completamente4 de ellos, después de esto se despresuriza la autoclave con cuidado, se destapa la autoclave y se retiran las muestras tratadas.

Se realizaron diferentes pruebas con distintos parámetros ya sea en el tiempo, presión y la temperatura para obtener diferentes resultados y así ver de todos cual es la que mejor se adapta tanto en condiciones físicas y químicas, así como estéticas para tratamiento de la madera, la más viable y económica sin descuidar la calidad del producto y que sobre todo que cumpla con las características que se requieren para estar en un clima tropical.

Para llegar a elegir un tipo ideal de madera posteriormente se realizaban las pruebas aplicadas para los diferentes tipos de tratamiento en la autoclave, las pruebas que simulan y que se requieren para que la madera tratada este apta para estar en exteriores. Las cuales se describen a continuación:

## PRUEBAS APLICADAS

### 1. Resistencia a la temperatura.

Para una de las primeras pruebas a la que se sometió la madera tecnológicamente tratada fue a la de la resistencia a cambios de temperatura o como bien se conoce como la resistencia a temperaturas altas. De las distintas pruebas que fueron saliendo de la autoclave se procedió a cortar una muestra de cada una y se etiquetaron, posteriormente se colocaron en un deposito el cual sería introducido dentro de un horno científico, la prueba consiste en que cada día la temperatura sube 5 grados centígrados, así subiendo la temperatura gradualmente se llega a las temperaturas más altas que nos podemos encontrar en las zonas tropicales.

Cada día revisaba las muestras dentro del horno y lo que hacía es que sacaba una a una muestra y la colocaba en una hoja de papel, esto con el fin de ver que pruebas desprendían los aditivos inyectados en la autoclave, ver cuales no soportaban las altas temperaturas y a cuantos grados cada una. A partir de ahí se fueron haciendo anotaciones y se fueron eligiendo las mejores que presentaban mejores características y parámetros.



Fotografía 9: Total de probetas de distintos tipo de maderas analizadas para el experimento de temperatura

## 2. Resistencia ante agentes biológicos ( Moho y Hongos).

- a) Moho: Para la prueba de resistencia al moho se fabricó una cámara especial hecha de polímero en donde se iban a colocar las muestras.

Para esta prueba se cortaban pequeñas muestras de las ya tratadas en la autoclave, aproximadamente de 5 cm cada una de ellas y colocarlas dentro de la cámara que incluía otros materiales para realizar la prueba, a cada muestra se le impregno un diferente tipo de cepas (creados en cajas Petri).



Lo que se procedió a hacer es que cada muestra de madera tratada se etiquetaba y marcaba, posterior a esto se le añadió una porción de cepa y se colocaron dentro de la cámara fabricada para realizar esta prueba correctamente según la norma. Cabe mencionar que los requisitos para esta prueba es que la cámara debería contener tierra y agua, estar a cierta temperatura y que siempre estuviera húmedo, después se le adaptaron distintos instrumentos como un termómetro de mercurio especial, un ventilador entre otras cosas para cumplir con lo que marca la norma, constantemente se estuvo monitoreando el comportamiento de la madera con las cepas y así se estuvo meses para observar el comportamiento que tenía la madera termo-tratada y la resistencia al moho.

En este proceso participe haciendo también los agares de hongos en el laboratorio de la planta con distintos componentes químicos y utilizando las maquinas como la autoclave y el horno, logramos realizar nuestras propias muestras de hongos.

- b) Hongos: para la prueba de resistencia a los hongos se utilizaron frascos que contuvieran una porción de hongo y una muestra pequeña de madera de las diferentes pruebas antes realizadas.

Para esta prueba se realizaron agares a base de papa-dextrosa, los cuales, al estar listos se cortaban en pequeños trozos y se introducían dentro de los frascos, cabe mencionar que los frascos ya estaban previamente esterilizados en la autoclave y contenían cierta porción de tierra y agua, al añadir una muestra de madera al frasco se añadía el hongo y se sellaba el frasco y así sucesivamente con cada diferente muestra de madera.

Una vez sellado el frasco se estuvo así aproximadamente como seis meses, y transcurrido ese tiempo se abrieron los frascos y se procedió a observar todas las muestras y que tanto había afectado el hongo a las muestras.



Fotografía 11: Probeta de una clase de madera debidamente marcada dentro del frasco hermético y al lado una muestra cortada de hongo para la realización del experimento de resistencia a los hongos.

### 3. Resistencia a las termitas.

Para la realización de esta prueba se utilizaron termitas las cuales se encontraron nidos en el estado de Veracruz, y se importaron.

Las muestras de madera que se cortaron y utilizaron para esta prueba son de las mismas dimensiones que la de resistencia al calor, para esta prueba se utiliza lo que es tierra, agua y vasos térmicos.

El proceso consiste en que a los vasos se les agregaba un porcentaje de tierra y agua, posterior a esto se colocaban dentro de la autoclave un tiempo para su esterilización, una vez listos se retiraban y se dejaban enfriar un tiempo para después colocar las muestras de madera dentro de ellos, una vez hecho esto se procedía a capturar termitas con un instrumento fabricado en el laboratorio, cada vaso con muestra debía contener cierto número de termitas, para que se realizara la prueba conforme a la norma, así todos los vasos llenos con termitas se llevaron al horno el cual conservaba una temperatura ambiente para la supervivencia de las termitas.

La finalidad de esta prueba es ver que tanto comía la termita o si comía la muestra de la madera tecnológicamente tratada para sobrevivir, los datos se registraban en una bitácora, al final del tiempo que marca la norma para la prueba se abrieron los vasos y se retiraron las muestras de madera, se observó minuciosamente cada una y se eligieron las mejores según sus características esto en base al peso.

Cabe, mencionar que hubo un antes y un después del peso de las muestras de madera para así obtener cuanto había comido la termita.

Esta prueba se realizó 5 veces hasta que encontramos el factor del por qué no sobrevivían las termitas.



Fotografía 12: momento en el que se capturan las termitas una a una con el dispositivo fabricado en KRM.

#### 4. Resistencia a rayos uv

Para esta prueba se enviaron muestras a una universidad de Guadalajara, para realizar la prueba de manera correcta las muestras de madera se envolvieron (la mitad inferior) en papel aluminio y con su respectiva etiqueta. Las pruebas se sometieron a una cámara de rayos uv que simula años de degradación de los materiales, aproximadamente una simulación de envejecimiento a expuesta en la intemperie lo que se hizo en cada una de las muestras, y de los resultados obtenido se fueron descartando algunas muestras.

#### 5. Resistencia a la flexión.

Para la prueba de resistencia a la flexión, cada probeta se sometía a la fuerza que ejerce una prensa hidráulica en Newtons, la madera debidamente cortada conforme a la norma, se colocaba debajo de la prensa entre dos vigas , esto es que ya colocada la probeta, baja la prensa y ejerce fuerza hasta conseguir que se rompa o fracture la probeta, esto es para ver que tanto soporta la muestra hasta llegar al punto de la fractura, para así observar el módulo de ruptura y el módulo de elasticidad de cada una.

## 6. Comportamiento en exteriores

Para esta prueba se fabricó un artefacto el cual se le podían adaptar todas las probetas de madera tratada en autoclave, para someterse a las condiciones del medio ambiente, llámese, lluvia, sol, granizo, humedad o tiempo seco.

## 7. Prueba de hinchazón.

Para esta prueba se cortaron las probetas de tal manera que pudieran caber dentro de un acrílico diseñado para realizar las pruebas de hinchazón, con un equipo especial que mide el incremento de hinchazón de la madera; consiste en pesar cada muestra de madera y posterior a esto asegurar bien cada probeta en el acrílico, después sumergirlas en el agua durante aproximadamente 30 minutos de inmersión y cada ciertos minutos verificar mediante el dispositivo que mide la hinchazón cuanto es qué va incrementando, al finalizar se retiran del agua y se vuelven a pesar y a tomar medidas de cada una, se anotan los datos registrados y se comparan.

### **2.3 ELECCIÓN DEL TRATAMIENTO.**

En base a todas las pruebas anteriores se dispuso a elegir el mejor tratamiento que cumpliera y se adaptara a satisfacer las necesidades que se requieren y debe cumplir la madera en exteriores para resistir a los climas de tipo tropical sin que ningún agente ya sea biológico o ambiental lo afecte.

Al final se analizaron y eligieron los mejores parámetros, de pruebas que logren tener un control de calidad y se adapten mejor a los agentes al que se va a ver expuesta la madera en exteriores, no descuidando la estética de la madera dándole acabados finos y resaltando la belleza natural de la madera y por supuesto que también sea eficiente en su productividad, esto quiere decir, acortar el proceso de producción, desde el corte de la madera sin tratamiento, hasta la hora de sacarlas de la autoclave, tratando de meter dos o tres rondas por horas laborales.

Gracias al tipo de tratamiento al que se ve sometida la madera de altas temperaturas dentro de la autoclave e impregnación con legías celulósicas y aditivos que se obtienen reciclando desechos de la industria de pulpa y papel se mejora la durabilidad del material de clase 4 a clase 1 según la norma europea DIN EN 350-2. Incrementando su durabilidad o años de vida promedio de 2 a 15 – 25 años. Gracias a sus cualidades impermeables la madera no absorbe agua (una mejora de 90% comparada con madera de pino sin tratamiento), esto impide que el material se hinche se agriete se astille y se pudra.



Imagen 6: Imagen final de elección del tratamiento de la madera de pino, con los parámetros del tratamiento dentro de la autoclave.

Fuente: [www.krm-engineering.com](http://www.krm-engineering.com)

# CAPITULO III. APLICACIÓN.

### 3.1 MADERA DE PINO TRATADA VS OTRAS MADERAS TROPICALES.

A continuación, se van a mostrar algunas tablas de comparación de la madera tecnológicamente tratada KRM vs otras maderas, en distintas pruebas. Los siguientes datos de las tablas están tomados de los datos técnicos de las pruebas realizadas en el laboratorio de KRM del archivo de datos técnicos proporcionado por el Máster Ingeniero Rodrigo Meyer.

Tabla 3. Tabla de durabilidad según su clase usando la norma EN 350-2	
Especie	Durabilidad según la norma europea EN 350-2
Madera Tecnológicamente tratada KRM	1
Pino Douglasiana	4
Pino Termotratado	2
Pino con Biocidas	2
Cumarú	1
Encino am. rojo	2
Tzalam	1
Cocobolo	1
Teca	1

En la tabla número 3 se observa el incremento de la durabilidad de la madera de pino después el tratamiento en autoclave con KRM que va de una clase 4 a una clase 1, incrementando el tiempo de vida de la madera de hasta 25 años más, además de presentar cualidades impermeables la madera no absorbe agua lo cual es una mejora aproximadamente del 90% comparada con el pino sin tratamiento, evitando así que el material se agriete, hinche o se pudra.

Tabla 4. Pérdida de masa en porcentaje de la muestras de madera.	
Especie	Perdida en masa (%)
Madera Tecnológicamente tratada KRM	0.05
Pino Douglasiana	0.1

En la tabla número 4 se muestra el porcentaje de pérdida de la masa en las pruebas de las termitas, esto quiere decir el porcentaje de celulosa que consumieron las termitas con cada una de las probetas, aunque solo se muestran la de pino douglasiana con y sin tratamiento.

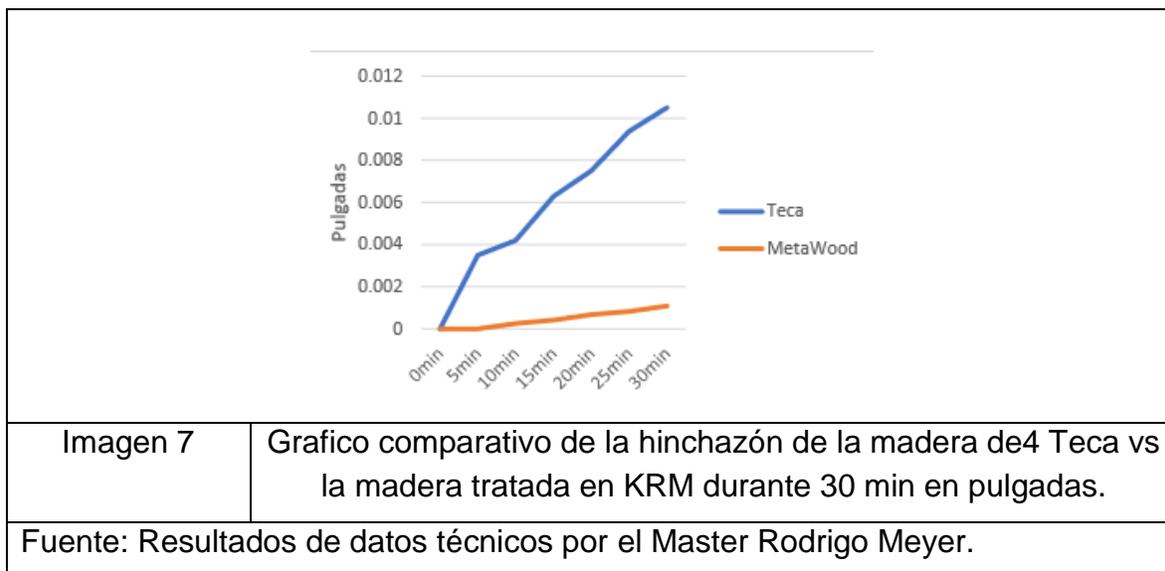
Tabla 5. Evaluación de la resistencia de la superficie de la madera ante el crecimiento del Moho	
Especie	Resistencia frente al moho (pérdida en masa en %)
Madera Tecnológicamente tratada KRM	0
Pino Douglasiana	4
Pino con Biocidas	2
Cumarú	2
Encino am. rojo	2
Tzalam	1
Cocobolo	2
Teca	1

En la tabla número 5 se observa la resistencia que tienen los distintos tipos de maderas analizadas frente al agente biológico que es el moho, Siendo la calificación de la siguiente manera:

0	No presenta crecimiento
1	<5%
2	6 al 25%
3	26 al 50%
4	51 al 75%
5	>75%

Tabla 6. Porcentaje de hinchazón de las maderas sumergidas en agua.	
Especie	Estabilidad dimensional (%)
Madera Tecnológicamente tratada KRM	0.03
Pino Douglasiana	0.79
Pino Termotratado	2.95
Pino con Biocidas	0.45
Cumarú	0.1
Encino am. rojo	0.05
Tzalam	0.1
Cocobolo	0.1
Teca	0.1

En la tabla número 6 de observa el porcentaje que tienen las maderas de absorción de agua, por lo que se puede notar que la madera tratada en KRM tiene un porcentaje mínimo de hinchazón al exponerse a líquidos, gracias a los aditivos inyectados en el tratamiento, comparada a la que no está tratada se ve una buena diferencia y mejora en el efecto anti-hinchazón.



En la tabla número 7 se muestran los resultados obtenidos en la prueba de ruptura y elasticidad que se realizaron como se describe anteriormente en las pruebas

aplicadas, las medidas de fuerza que se utilizan es de Newton sobre milímetros cuadrados.

Especie	MOR (N/mm <sup>2</sup> )	MOE (N/mm <sup>2</sup> )
Madera Tecnológicamente tratada KRM	149.2	18,133.8
Pino Douglasiana	95.8	10,637.8
Pino acetelidado	39.0	8,790.0
Pino termotratado	39.0	11,225.0
Pino con Biocidas	75.0	8,790.0
Cumarú	175.1	22,300.0
Encino am. rojo	99.2	12,140.0
Tzalam	88.3	13,100.0
Cocobolo	158.0	18,700.0
Teca	97.1	12,280.0

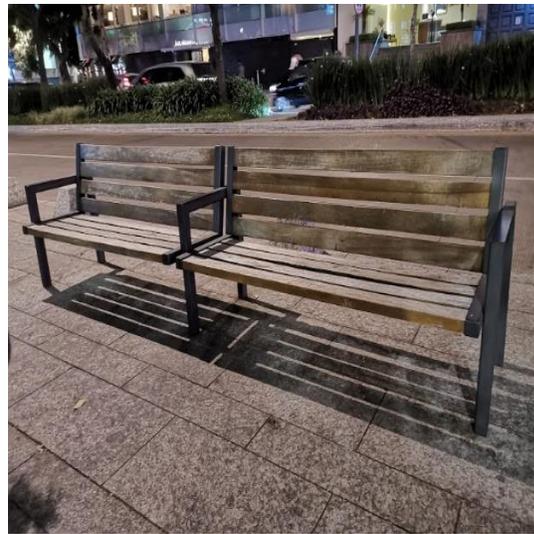
En la siguiente tabla (8) se muestran todas las mejoras en porcentaje que tiene la madera tecnológicamente tratada KRM, en comparación con la madera de Teca; mostrando así las mejoras que tiene la madera de KRM sobre la madera de teca no solo por sus propiedades físicas y químicas si no también superándola en el sector económico, ya que la madera de Teca es una de las mejores maderas que se encuentran en el mercado de maderas tropicales. Demostrando en el porcentaje la superioridad y la calidad que presenta la madera KRM sobre la de Teca.

Especie	Propiedades	%
Madera tecnológicamente tratada KRM	Densidad	-2.3
	Dureza	+46
	Durabilidad	0
	Hinchazon	-93
	Precio	-12

### 3.2 TRABAJOS REALIZADOS CON LA MADERA DE PINO TECNOLÓGICAMENTE TRATADA.

Uno de los principales trabajos con los que trabajamos en conjunto con el gobierno de la CDMX para probar la calidad y resistencias de la madera termotratada *KRM* fue el de toda la línea de la Av. presidente Masaryk, ubicado en Polanco. La cual consta de una serie de bancas, que trabajando en conjunto con otra empresa que fabrica estructuras de acero, y la empresa del Ing Rodrigo Meyer, se logró la creación de bancas las cuales servirían de descanso para cualquier tipo de persona en tan importante avenida, la cual es muy transcurrida ya que es una de las avenidas más caras de toda Latinoamérica ya que cuenta con tiendas muy exclusivas. Se decoró con este detalle de las bancas las cuales le dan cierta elegancia y sobre todo que es de un producto amigable al medio ambiente y no olvidemos que sirve para hacer una parada, descansar y continuar.

El proyecto empezó en septiembre del 2016 y Cabe mencionar que las bancas se encuentran hasta el día de hoy en excelentes condiciones aun que se exponen a distintos tipos de climas que presenta la CDMX. Se les da el debido mantenimiento para prolongar su duración.



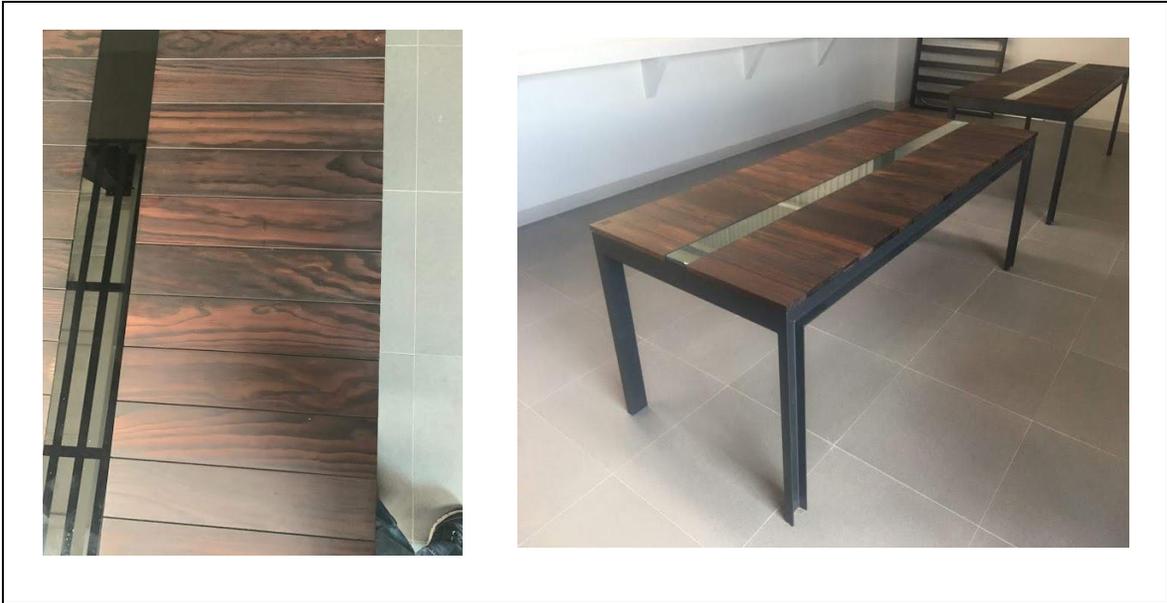
Fotografía 13	Bancas colocadas en la avenida Presiente Masaryk en la Ciudad de México en la delegación Polanco (sin el correcto mantenimiento).
---------------	---

En la siguiente fotografía se muestra el tipo de madera que se utilizó para la fabricación de las bancas de la línea de Masaryk (la fotografía muestra las maderas al salir de la autoclave).



Fotografía 14	Ejemplo del tipo de tratamiento que tuvo la madera dentro de la autoclave que se utilizó para la fabricación de las bancas de la avenida Masaryk.
---------------	---

Otro de los trabajos destacados es en el cual se fabricaron una mesas para comedor de la cafetería de la empresa VUHL en Querétaro, los cuales pidieron una madera que tuviera un color mas fuerte y mate como un cedro, y se este fue el resultado.



Fotografía 15	Ejemplo de las mesas ya con el acabado correcto y su debido mantenimiento para conservar el color de la madera después del tratamiento.
---------------	---

En la fotografía 16 se observa la misma madera de pino pero con un diferente tipo de tratamiento la cual le da este color intenso, la imagen muestra la madera después del tratamiento sin darle acabado.



Fotografía 16	Después de un diferente método de tratamiento a la madera, esta fue utilizada para la fabricación de las mesas para la empresa VUHL antes de darle los acabados e instalarlas.
---------------	--

Hay diferentes tipos de tratamiento que se le pueden dar a la madera de pino dentro de la autoclave, todo en base a una investigación de prueba y error, se lograron descubrir dichos métodos para obtener una madera más agradable a la vista, aprovechando la misma madera de pino y sacándole el máximo provecho y dando más diversidad al producto final, que esté por encima de la competencia y brindando una calidad superior. En la fotografía 17 se observan los diferentes tipos de acabados y variedades de colores que se pueden lograr con la madera de pino dentro de la autoclave utilizando diferentes procesos.



Fotografía 17

Diferentes tipos de acabados de la madera de pino dentro de la autoclave siguiendo diferentes parámetros.

### 3.3 CONSTRUCCIÓN PILOTO DE CASAS CON MADERA DE PINO TRATADA TECNOLÓGICAMENTE.



Imagen 8	Imagen de lo que sería la casa finalizada diseñada en AutoCAD 3d
Fuente.	Rodrigo Meyer, KRM.

En la imagen número 8 se muestra la casa prototipo creada en el programa AutoCAD 3d, propuesta para su elaboración en la zona de Cancún, Quintana Roo. En el diseño principal se planearon 7 columnas de manera vertical y 7 paralelas a estas que serían las que sostendrían y soportarían las maderas que van de forma horizontal y 5 columnas que van acostados, las cuales estarían debajo de la casa, y que serían las que soportarían todo el peso de la misma, también llevarían unas ventanas amplias para darle una vista arquitectónica de calidad y profesional adecuándose a las ideas modernistas para las casas habitación. Se ocuparían alrededor de 100 metros cuadrados de madera científicamente modificada KRM para cubrir la fachada de la casa, que incluiría el piso, techo, paredes, y vistas.

En la siguiente fotografía se muestran los avances de la casa en construcción, se realizaron como en toda obra, modificaciones que se adecuan a las necesidades y condiciones de la tierra en la zona, también como es una zona con bastante concentración de sal y por los fuertes vientos se decide cambiar los excesos de ventanales por paredes reforzadas de madera tratada.



Fotografía 18

Ejemplo de los avances realizados en la fabricación de la casa piloto siguiendo el diseño creado en el programa AutoCAD.

En la fotografía anterior se muestran los avances de la fabricación casa piloto en la zona de Cancún, Quintana Roo. En la fotografía se ven claramente algunas adaptaciones o modificaciones que se realizaron a la hora de montar los materiales para la construcción.

Aquí se demuestra que la realización de una casa piloto fabricada con madera tecnológicamente modificada KRM se logró con éxito, demostrando también que esta madera se logra adecuar a todo tipo de zona y sus condiciones en especial para zonas tropicales, y que no solo la madera es mejor en calidad y resistencia en comparación con otras de similares características si no que en precio también es muy económica.

# CAPITULO IV. COSTO BENEFICIO.

#### 4.1 TABLA DE COSTOS DE LA IMPLEMENTACIÓN.

En las siguientes tablas que se muestran a continuación, los costos que se reflejan son para un lote de 80 tablones de madera de 2.50 mts x 15 cm, que reflejado a producción es un trabajo de aproximadamente de 4 meses en la planta piloto; utilizados exclusivamente para una sola autoclave, cabe mencionar que los costos de equipo son de igual manera para una sola autoclave.

Tabla no.9 Lista de equipos utilizados para la elaboración y uso de la autoclave.		
Equipos	Precio unitario en pesos mexicanos.	Total
Partes de la Autoclave armada: <ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 Tubo de acero inoxidable (Sandblast incluido).</li> <li>• 2 Tapas de acero inoxidable con birlos (incluye mano de obra).</li> <li>• 3 Válvulas de presión.</li> <li>• 2 Sensores de presión.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• \$100,000.00</li> <li>• \$2,500.00</li> <li>• \$250.00.</li> <li>• \$450.00</li> </ul>	\$106,600.00
2 Mesas de trabajo para autoclave (ptr acero al carbón, incluye mano de obra).	\$303.45.00	\$606.90.00
1 Compresora	\$35,000.00	\$35,000.00
3 Resistencias	\$490.00	\$1470.00
3mt de manguera	\$300.00	\$300.00
2 Juego de gatos	\$500.00	\$1000.00
Madera de pino Douglasiana (80pzas)	\$4500.00	\$4500.00
Agua	\$200.00	\$200.00
Luz eléctrica	\$3000	\$3000.00
Legías celulósicas y aditivos	\$3000	\$3000.00
Equipo de protección <ul style="list-style-type: none"> <li>• Casco.</li> </ul>		

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lentes de alto impacto.</li> <li>• Guantes de carnaza.</li> <li>• Overol.</li> <li>• Zapatos industriales.</li> <li>• Faja.</li> <li>• Mascarilla.</li> </ul>	\$2000.00	\$2000.00
1 Sensor de temperatura	\$900.00	\$900.00
Equipo de medición de temperatura (C°) y presión (PSI) y laptop de uso.	\$7000.00	\$7000.00

**Costo total** \_\_\_\_\_ **\$165,576.00**

En la tabla anterior se observan algunos datos marcados en rojo, como son el agua y la luz eléctrica, que son precios variables, ya que la mensualidad en cuanto al uso no es constante, pero es un precio aproximado.

Por otro lado, los marcados en azul son precios totales en los cuales en la tienda que se adquirieron se dio un precio menor al normal por adquirir todo en una sola compra.

En la tabla anterior tampoco se muestran lo que son la mano de obra de los trabajos realizados a los tubos de la autoclave para su acabado ni su ensamble para su inmediata utilización.

En la siguiente tabla se muestra la mano de obra utilizada para la autoclave, es decir, los tubos y las tapas y el ensamble de los dispositivos requeridos para su funcionamiento adecuado y preciso.

Tabla no.10 Servicios utilizados para la realización de la autoclave.	
Actividad.	Costo total
Mano de obra. (sandblast)	\$1500.00
Ensamble total.	\$700.00
<b>Total.</b>	<b>\$2200.00</b>

Nota: El transporte no se incluye ya que llegamos a acuerdos con los proveedores en los lugares donde adquirimos materia prima como lo es la madera, las legías celulósicas y aditivos, así como el transporte de los tubos de la autoclave, que contempla el envío de transporte.

En la tabla que se muestra a continuación se anexan todos los materiales y herramientas utilizadas en el proceso de producción de la madera modificada KRM.

Tabla no.11 Lista de materiales y herramientas requeridos para el proceso de producción.		
Materiales y herramientas	Precio por unidad en pesos mexicanos.	Precio Total.
1 Sierra de mano.	\$1,700.00	\$1,700.00
1 Sierra de banco y discos.	\$4,500.00	\$4,500.00
1 Flexómetro.	\$50.00	\$50.00
1 Cepillo Stanley.	\$800.00	\$800.00
2 Prensas de carpintería.	\$420.00	\$840.00
1 Fresadora Router y juego de brocas.	\$1500.00	\$1500.00
1 Juego de Formones.	\$400.00	\$400.00
1 Llave de impacto eléctrica inalámbrica.	\$8000.00	\$8000.00
1 Taladro atornillador inalámbrico.	\$2000.00	\$2000.00
1 Juego de brocas.	\$150.00	\$150.00
1 Juego de dados.	\$350.00	\$350.00
1 Vernier digital.	\$200.00	\$200.00
1 Martillo.	\$100.00	\$100.00
1 Martillo de goma.	\$80.00	\$80.00
1 Juego de llaves españolas.	\$200.00	\$200.00
1 Juego de llaves allen.	\$75.00	\$75.00
1 Set de pinzas eléctricas.	\$310.00	\$310.00
1 Serrucho japonés.	\$1500.00	\$1500.00

1 Banco de trabajo portátil.	\$650.00	\$650.00
1 Prensa hidráulica Mikels.	\$8500.00	\$8500.00
2 Mesas de trabajo industrial.	\$3000.00	\$6000.00
1 Lijadora orbital y lijas.	\$1450.00	\$1450.00
1 Espátula.	\$15.00	\$15.00
1 Cuña para lijas.	\$150.00	\$150.00
8 lijas.	\$15.00	\$120.00
100 Vasos pet para pruebas.	\$7.50.00	\$750.00
1 Caja de herramientas.	\$700.00	\$700.00
36 Frascos herméticos para pruebas (cajas de 12).	\$380.00	\$1,140.00
1 Humidimetro.	\$550.00	\$550.00
1 Termómetro digital.	\$60.00	\$60.00
1 Cepilladora industrial.	\$30,000.00	\$30,000.00
1 Cutter.	\$20.00	\$20.00

**Resultado** \_\_\_\_\_ **\$72,860.00**

Cabe mencionar que de estos materiales algunos son desechables y se tienen que estar cambiando o comprando cada cierto tiempo, como un ejemplo, son las lijas para madera, las hojas del cutter y la espátula.

En la imagen de la tabla número 12, para un mejor entendimiento y de manera más general se muestran los costos realizados mes con mes para todo el proceso, ubicando los costos variables como los costos fijos (más constantes) y al final del año el costo total aproximado de proyecto.

Imagen de Tabla No.12. Tabla general de costos realizados de enero del 2017 a diciembre del mismo año.

Servicios	Meses												Costo total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Luz eléctrica	\$3,000	\$3,000	\$3,000	\$3,000	\$3,000	\$3,000	\$3,000	\$3,000	\$3,000	\$3,000	\$3,000	\$3,000	\$36,000
Agua	\$200	\$200	\$200	\$200	\$200	\$200	\$200	\$200	\$200	\$200	\$200	\$200	\$2,400
Madera de pino	\$4,500				\$4,500					\$4,500			\$13,500
Legías y aditivos	\$3,000			\$3,000			\$3,000			\$3,000			\$12,000
<b>Costo anual de servicios</b>												<b>\$63,900</b>	

Como resultado nos da que el costo anual de los servicios requeridos para el proceso de producción continuo es de \$63,900.00 pesos.

Haciendo la suma de costos, **el arranque para la producción de madera modificada en la planta piloto es de \$240,636.00 pesos.** Tomando en cuenta el costo anual da un promedio de trescientos mil pesos los cuales se tienen que recuperar al próximo año de producción por el tipo de madera que se vende y en comparación de precios y características con otras maderas similares a la de KRM.

En la tabla número 13 se muestra la comparación en precios por metro cuadrado (m<sup>2</sup>) de algunos tipos de madera tropical, los cuales muestran características similares en cuanto a resistencia, pero se observa que en ámbitos económicos la madera de KRM es más accesible al público.

Tabla 13. Análisis de precios por m2 de maderas tropicales vs madera tratada KRM hasta el año 2018.	
Especie	Precio por m2
Madera Tecnológicamente tratada KRM	\$700.00
Cumarú	\$5,040.00
Encino am. rojo	\$8,499.00
Tzalam	\$8,399.00
Cocobolo	\$1,505.00
Teca	\$15,000.00

En el 2018 se realizó un análisis de mercado el cual arrojó que la madera tratada KRM es de un costo que está muy por debajo del precio de otras maderas igualmente modificadas, algunas de estas se encuentran en tiendas departamentales mientras que otras se investigó el rango de precio en Estados Unidos.

Por último, se toma en cuenta que el metro cuadrado de la madera de pino tratada KRM es de \$700.00 y para la construcción de la casa piloto se requieren 100mts<sup>2</sup> de madera KRM, se realiza una sencilla operación de regla de tres para determinar el costo total para la fabricación de la casa, sin contar la mano de obra, por lo cual en la tabla número 14 se explica de manera sencilla el costo de fabricación de la planta piloto más la mano de obra (incluye material).

Tabla 14. Costo de fabricación de casa piloto.			
Precio por m2	Unidades requeridas por m2	Mano de obra	Costo total
\$700.00	100mts <sup>2</sup>	\$10,000.00	
Se realiza la operación que es igual a $700 \times 100 + 10,000$			<b>\$80,000.00</b>

Nota: Como aún es un proyecto piloto, los resultados son estimados, a costos de elaboración y ensamblado de la casa, tentativamente es un costo de venta.

## **4.2 VENTAJAS Y MEJORAS.**

La madera tecnológicamente tratada KRM; es una madera con propiedades biológicas y mecánicas que sobresalen, lo que la hace superior a otros tipos de maderas tropicales, siendo una clase 1 en la norma española (350-2), entre otras características que presenta, es que no se hincha lo que es favorable para las condiciones de la zona además de ser resistente a los ataques de agentes degradables como lo son los insectos que comen maderas e insecticidas, gracias a los aditivos incluso en el tratamiento que le proporciona todas estas características la cual la hace por mucho mejor sobre otras en el mercado, por lo cual será accesible al público por su precio.

### **Calidad y Acabados**

La utilización de madera para exteriores no solo asegura una elegancia a la arquitectura de los hogares si no que por su textura y color la madera ofrece una belleza natural, con la aplicación de diferentes tipos de tintes y barnices, se puede lograr viviendas con acabados de gran impacto que resalten belleza.

El confort, la calidad de vida y el apoyo a la ecología es lo que se obtiene con la utilización de estos productos ya que son 100% renovables y naturales, ya que el proceso de transformación de la madera para su uso en la construcción es sencillo y gasta menos energía si se compara con otros materiales y sus métodos de obtención

### **Impacto ambiental**

Otra de las ventajas es la promoción del crecimiento de bosques controlados y se refleja en el sector forestal.

La madera tiene un estimado de vida de más de 50 años y con su respectivo mantenimiento se puede prolongar aún más.

### **Construcción y economía**

La madera es un material fácilmente manejable, se puede cortar y trabajar en diversas formas y tamaños apoyados en herramientas manuales o máquinas y cabe mencionar que es de los materiales que se caracteriza por ser de fácil transporte; en el área de la construcción es considerado de un material con el cual se obtiene un ahorro de agua y tiempos de secado, lo que asegura que la construcción sea rápida y eficaz.

## Características

Como antes se mencionó la madera posee propiedades tales como el ser un aislante eléctrico, acústico y térmico y por su alta resistencia en el tratamiento posee una excelente flexibilidad para recibir cargas de impacto, lo que la hace un buen material de construcción en zonas sísmicas.

Otra de las características que presenta la madera modificada, es que por el proceso de transformación en autoclave y la presión a la que es sometida, las legías y aditivos que penetran la madera hasta su centro, logran que se imprima en su totalidad de estas, así, de esta manera la madera adquiere propiedades que se mencionaron antes, algunas como lo son:

- Color estético y uniforme.

La madera adquiere un color distinto dependiendo del tratamiento que se le dé dentro de la autoclave, desde un proceso corto a uno más largo, adquiere una tonalidad clara hasta una tonalidad más oscura, y los acabados pueden ser brillantes o mate.

- Aroma.

La madera al finalizar su proceso de curado adquiere un olor muy peculiar agradable al olfato, muy parecido a la madera de cedro.

- Dureza.

Al inyectarse las legías y los aditivos le proporcionan mayor peso a la madera, otorgándole más dureza, pero no volviéndola difícil para trabajar.

- Flexibilidad.

La madera se vuelve más resistente al punto de quiebre en comparación a la madera sin tratamiento.

- Resistencia al agua (impermeable).

Al exponerse a la intemperie, la lluvia ni el granizo la afectan, por lo cual no se hincha ni se pudre, se vuelve impermeable.

- Resistencia al moho.

Y a otros agentes bacteriológicos.

- Resistencia a rayos UV.

La madera es resistente a altas temperaturas y por consiguiente los rayos del sol no la afectan, no pierde su color, ni su textura.

- No se pudre.

Comprobado en las pruebas de pudrición, la madera es muy resistente a estos agentes naturales.

- No la comen las termitas ni otros insectos.

Por el tipo de tratamiento, estos insectos no encuentran agradable el comer y anidar dentro de la madera modificada.

- Prolongación de años de vida.

La madera aumenta su vida útil hasta 25 años más y con el mantenimiento adecuado llega a ser hasta 50.

- Es un producto completamente natural.

Al utilizar madera virgen y usar ningún tipo de químico en el proceso.

- Favorece al medio ambiente.

Es un material ecológico que no emite radiaciones y promueve la tala con pago al medio ambiente.

- Fácil de trabajar.

Es un material que es manipulable, fácil de trabajar en cualquier tipo de construcción o uso que se le de.

### 4.3 RECOMENDACIONES.

Se mencionan las siguientes recomendaciones para uso, mantenimiento y perdurabilidad.

- ✓ En el momento de darle un acabado a la madera se recomienda almacenarla correctamente en donde cada pieza de madera sea cubierta y así se evite rallar
- ✓ Cada madera deberá tener por lo menos 4 puntos de apoyo individual, lo que se hace en KRM es que se emplayan y después se apoyan sobre tarimas, y así sucesivamente hasta crear una cama que no pase de más de 25 piezas por 10 de manera horizontal.
- ✓ En la obra se recomienda quitar el embalaje del material hasta su utilización
- ✓ En el caso de instalación se debe corroborar que la madera se encuentre en un espacio completamente plano y asegure el soporte.
- ✓ El espacio donde se va a colocar debe estar completamente limpio y libre de elementos que puedan dificultar la colocación.
- ✓ Los huecos entre el espacio de madera u otra, o algún tipo de hueco en la construcción con la madera KRM deben estar debidamente cerrados, para evitar entrada de agua, polvo, humedad ambiental excesiva, insolación directa, etc.
- ✓ En la aplicación de barnices es necesario hacerlo en un ambiente aislado de corrientes de aire que introduzcan polvo o provoquen un fraguado demasiado rápido de los barnices.
- ✓ Se recomienda darle mantenimiento a la madera KRM cada seis meses con un barniz para preservar su color y belleza

## **CONCLUSIÓN.**

Una de las mejores experiencias para el ingeniero industrial en el área del quehacer técnico donde se aplican las sapiencias teóricas, van en aumento en combinación con la investigación, que logra aplicar los conocimientos prácticos y aprender cada día algo nuevo, buscando siempre la manera de mejorar algo o innovar.

La madera de pino es uno de los recursos forestales más prácticos y económicos del país ya que es el árbol de crecimiento rápido, tal como está catalogado en el número 5 de las maderas a nivel nacional, y se consigue a un precio sumamente bajo, además de todas las ventajas que se pueden aprovechar de esta manera como su fácil manipulación y que se adapta a cualquier tipo de clima y su madera puede ser penetrada con facilidad por aditivos.

La madera tecnológicamente tratada en KRM cumple con todas las especificaciones necesarias que se requieren para ser utilizada en una zona tropical como lo es la zona de Cancún Quintana Roo, como se demuestra a lo largo de la investigación.

Se comprueba que la madera de pino tecnológicamente tratada KRM es superior en calidad en comparación a otras maderas como lo es la madera de teca y se encuentra a un precio sumamente accesible para todo el público.

La inversión que resulta es de \$240,636.00 pesos, aunque al parecer se aprecie poco elevada para el proceso de producción en la madera de pino con tratamiento en autoclave, es una inversión que estadísticamente se justifica en su recuperación que es en máximo un año y medio.

La construcción de viviendas en lugares estratégicos de la zona de Cancún no solo ayuda a las personas para conseguir un hogar si no que apoya también al medio ambiente generando un impacto ambiental positivo evitando así la conglomeración y la mala planeación de la zona.

Ya que existen diferentes protocolos para el tratamiento de la madera de pino esta se puede adaptar a cualquier condición que se requiera o necesite el cliente.

En las recomendaciones se invita a dar mantenimiento a la madera cada seis meses para expandir su tiempo de vida a más de 25 años y también para conservar su color tan significativo que le dan los legías y los aditivos.

Se demuestra que el ingeniero industrial no solo se puede desarrollar en un campo o un sector específico, si no que puede explotar y explorar sus habilidades también en el área de la investigación.

## BIBLIOGRAFÍA.

- Schmelkes, Corina / Elizondo Schmelkes, Nora. (2010). MANUAL PARA LA PRESENTACIÓN DE ANTEPROYECTOS E INFORMES DE INVESTIGACIÓN (TESIS) /3 Ed. Oxford University Press, Metodología.
- Hernández Sampieri, Roberto; et al. Metodología de la Investigación 2da. ed. McGraw-Hill, México, D.F., 2001.
- Munch Galindo, Lourdes / Ángeles, Ernesto (2009). Métodos y Técnicas De Investigación / 4 ed.
- Díaz Coutiño, Reynol. Desarrollo Sustentable. México, D.F.: McGraw-Hill Interamericana, 2011.
- Quintero Soto, Maria Luisa, y Carlos Fonseca Hernández, coords. Desarrollo sustentable: aplicaciones e indicadores. México, D.F.;: Cámara de Diputados, LX legislatura/ Miguel Ángel Porrúa, 2008.
- Margalef López, Ramón; Teoría de los sistemas ecológicos/ 2da ed. Univ de Barcelona. 2007.
- Arturo Sánchez González. (2008). MADERAS Y BOSQUES Vol.14. 2017, de Centro de Investigaciones Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (UAEH) Sitio web: [arturosg@uaeh.edu.mx](mailto:arturosg@uaeh.edu.mx)
- IMPREGNA, EIFORSA. (1992). Madera de pino tratada. 2018, de MADEX Sitio web: <http://www.madex.es>
- Díaz de León Gómez Jessica Claudia. (2001, noviembre 9). Sector forestal en México. Recuperado de <https://www.gestiopolis.com/sector-forestal-en-mexico/>
- Carmen de la Paz Pérez Olvera / Raymundo Davalos Sotelo. (Mayo 2016). Maderas y Bosques vol 22. Septiembre 2016, de Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa. División de Ciencias Biológicas y de la Salud. Departamento de Biología. Anatomía y Tecnología de la Madera. Ciudad de México, México. Sitio web: <http://www.scielo.org.mx><http://www.scielo.org.mx>
- Chávez Valencia. (2010). Determinación de la calidad de la madera . Octubre 2018, de Universidad de Guanajuato Sitio web: <http://www.actauniversitaria.ugto.mx>
- Eguiluz, T. 1978. Ensayo de Integración de los Conocimientos sobre el Género Pinus en México. Tesis profesional (Ing. Agr.) Universidad Autónoma

de Chapingo, Depto. De Enseñanza, Investigación y Servicio en Bosques. México.

- Rzedowski, J. 1992. La vegetación de México. Limusa, México, D. F
- CONAFOR. (1996). Pino Douglasiana Martínez. SIRE, 1, 6.
- Gobierno de Navarra. Departamento de Desarrollo Rural, Industria, Empleo y Medio Ambiente; Olabe Velasco, F.; Val Hernández, Y.; Varela de la Cruz, P. y Cabrero Ballarín, J.M. (2010). ""Construir con madera"". Navarra: Gobierno de Navarra. Departamento de Desarrollo Rural, Industria, Empleo y Medio Ambiente
- Novedades Quintana Roo. (Noviembre 9 2014). Crecimiento demográfico de Cancún. Enero 31 2019, de Grupo SIPSE Sitio web: <https://sipse.com/novedades/crecimiento-demografico-habitantes-servicios-poblacion-empleo-cancun>

## **GLOSARIO.**

**Agentes degradadores:** Son aquellos agentes o bien de tipo biótico o biológico (hongos e insectos xilófagos y xilófagos marinos) o de tipo abiótico o ambiental (humedad, insolación y fuego), que deterioran la madera.

**Albura:** parte joven de la madera, corresponde a los últimos ciclos de crecimiento del árbol.

**Anisotropía:** es la propiedad general de la materia según la cual determinadas propiedades físicas, tales como: elasticidad, temperatura, conductividad, velocidad de propagación de la luz, etc. varían según la dirección en que son examinadas.

**Aserrado perpendicular:** la dirección del aserrado es perpendicular a los anillos de crecimiento de las tablas.

**Aserrado plano:** la dirección del aserrado es paralela a los anillos de crecimiento de las tablas.

**Aserrado:** proceso por el cual los troncos o madera virgen es transformada en tablas. Existen dos tipos de aserrados en función de la utilización, apariencia y estabilidad de los leñosos.

**Autoclave:** olla a presión de gran talla, utilizada para cocimiento en procesos industriales. En la industria maderera se utiliza para tratar la madera para construcciones en exterior.

**Biocida:** ingrediente activo empleado por sus propiedades insecticidas o fungicidas en el formulado de productos fitosanitarios, de control de plagas, etc.

**CCA:** sales hidrosolubles que contienen arsénico, como uno de sus principales ingredientes activos. Prohibidos en Europa desde el inicio del año 2002. Se siguen empleando en EE.UU.

**CCB:** sales hidrosolubles que contienen cobre y boro, como principales ingredientes activos, así como cromo, empleado para fijar el boro, producto muy deslavable.

**Clases de usos:** agrupación de las maderas dependiendo de las condiciones a las que estén expuestas (interior, exterior, expuestas o no a la humedad, en contacto o no con el suelo). Se reconocen 5 clases de uso: clase I, II, III, IV y V.

**Cobres orgánicos:** Producto con base de agua, que contiene carbonato de cobre, asociado a moléculas orgánicas habitualmente de la familia de los azoles.

**Compresión:** es la presión que se ejerce en la madera que tiende a causar una reducción de volumen.

**Conductividad acústicas:** debido a la contención de aire entre las fibras huecas que forman la madera, el sonido se queda retenido aportando principalmente dos propiedades a la madera: absorción del sonido y escasa transmisión del mismo.

**Conductividad térmica:** la madera es un mal conductor del calor debido a una escasez de electrones libres. Esto implica que la madera no se dilata y por lo tanto no varía su estructura ante temperaturas altas.

**Coníferas:** árbol que produce conos en lugar de flores, de color verde, con un tronco por lo general de aspecto cónico y hojas alargadas.

**Corteza:** es la capa más externa del árbol. Está formada por células muertas del mismo. Esta capa sirve de protección contra los agentes atmosféricos.

**Creosota:** producto químico empleado en el tratamiento en autoclave de la madera derivado de los alquitranes de hulla.

**Deck:** Terraza exterior en madera.

**Densidad:** se define como la relación entre la masa y el volumen de la madera, y es necesario referirla a un determinado volumen de humedad, generalmente el 12%.

**Disolvente orgánico:** disolvente de tipo "white spirit", derivado del petróleo, y empleado para productos de impregnación en clases de uso II y III. No se emplea habitualmente en autoclaves vacío-presión-vacío, sino en autoclaves de vacío-vacío y pulverización.

**Durabilidad:** es periodo de tiempo en el cual la madera conserva intactas sus propiedades sin deteriorarse.

**Duramen:** parte de la madera localizada en la zona central del tronco. Representa la parte más antigua del tronco.

**Dureza:** es la resistencia ejercida por la madera a la penetración de cuerpos extraños como ciertas herramientas, clavos, tornillos, etc.

**Flexibilidad:** capacidad de la madera para ser curvada o doblada.

**Fronosas:** árbol o arbusto de hoja plana.

**Higroscopicidad:** propiedad de la madera de absorber o perder agua según las condiciones del ambiente.

**Hinchazón:** la variación del contenido de la humedad produce una variación de sus dimensiones. Cuando aumenta dicho contenido, se hincha.

**Humedad:** el contenido de agua en la madera,  $h$ , se define como la masa de agua contenida en la madera expresada como el porcentaje de la masa anhidra.

**Impregnabilidad:** es la capacidad de la madera de retener un líquido inyectado en su interior.

**Impregnación por inmersión:** Sistema de impregnación que no hace uso ni del vacío ni de la presión para obtener una mayor penetración en la madera. Se realiza generalmente en cubas o en depósitos abiertos. La penetración del producto en la madera es superficial.

**Índice de penetración:** índice normalizado que clasifica de P1 a P9 los niveles de penetración en la madera. El nivel P9 indica una penetración profunda, del 100% de la albura hasta los primeros mm. del duramen.

**Leñoso:** aquel material compuesto por células que forman fibras huecas con forma tubular.

**Madera maciza:** son aquellas maderas que proceden directamente del tronco. Son piezas integrales que están compuestas sola y exclusivamente de madera.

**Madera:** material orto trópico que forma el principal contenido de los troncos de los árboles.

**Maderas blandas:** son las pertenecientes a los árboles de crecimiento rápido, perennes y coníferas. Se denominan blandas porque son mejores para trabajarlas y porque son más dúctiles.

**Maderas duras:** son maderas cuya transformación y trabajo es más complejo. Son maderas menos lisas y con más irregularidades, sin embargo, son más resistentes.

**Merma:** la variación del contenido de la humedad produce una variación de las dimensiones. Cuando disminuye dicho contenido, se contrae o merma.

**Nudos:** tejido leñoso dejado por el desarrollo de una rama, cuyo aspecto y propiedades son diferentes a las de la madera de la zona circundante.

**Protección media:** se refiere a la aplicación de producto en disolventes orgánicos, principalmente, por medio de autoclaves como sistema vac-vac. Nivel de protección eficaz para alcanzar la clase de III.

**Protección por diseño:** Sistema constructivo en madera que tiende a limitar la incidencia de la humedad y evitar puntos de acumulación de agua o trampas de agua, mejorando así la durabilidad de la construcción.

**Protección profunda:** nivel de protección necesario para garantizar una protección adecuada y duradera en las clases de uso IV y V. los productos protectores (sales hidrosolubles o creosota) se inyectan en la madera por medio de autoclave con sistemas vac-vac y vacío-presión-vacío.

**Protección superficial:** nivel de protección que sólo cubre la clase I. Su poder de penetración es muy limitado, se refiere a la aplicación de productos como lasures, barnices, pinturas o lacas.

**Resistencia:** capacidad de la madera para resistir una fuerza de una intensidad dada sin quebrarse.

**Rollizo:** madera en rollo o redondeada.

**Sales hidrosolubles:** Productos fabricados a partir de los años 1950, con base acuosa, que contienen como principal ingrediente el carbonato de cobre, así como los arseniatos, boro y cromo, este último por sus cualidades de fijador. Han evolucionado en los años 1990 hacia formulados llamados "cobres orgánicos".

**Secado:** periodo de almacenamiento de la madera anterior al proceso de impregnación. Este secado es necesario para eliminar el exceso de agua de la madera para conseguir buenos resultados en el tratamiento. El nivel que se requiere es un 20% máximo.

**Tabla:** elemento constructivo de madera lineal que trabaja principalmente a flexión.

**Tanalith:** producto protector de la madera compuesto por sales hidrosolubles, libre de cromo y arsénico. Se utiliza para cualquier tipo de aplicación en madera para clase de uso III y IV.

**Tracción:** fuerza que tira. Bajo tensión, la madera se estira y recupera su longitud original si la fuerza no supera el límite elástico de esta.

**Tratamiento:** es la aplicación de productos protectores de madera dotándola de mayor resistencia a los agentes deterioradores, por lo que aumenta su durabilidad en exposiciones en exterior. Existen diferentes clases de tratamientos: superficial (lasures, pinturas, barnices, etc.), media (leve inmersión o pulverización) y profunda (sistemas de autoclave).

**Viga:** pieza de madera plana, alargada y rectangular de caras paralelas, más larga que ancha y más ancha que alta.