



CONCURSO

# INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN

MEMORIAS, INVESTIGACIONES PATENTES,  
PROYECTOS DE TÍTULOS

La VII Versión del Concurso, tiene como objetivo destacar a aquellos alumnos de las carreras de ingeniería y construcción civil que hayan desarrollado o se encuentren desarrollando memorias de título, proyectos de título, investigaciones o patentes en torno a la madera.





GABRIEL RODRIGO SOTO ALVAREZ

JOSÉ GUILLERMO CHAVEZ GODOY

**APLICACIÓN DEL MÉTODO  
DE CARBONIZACIÓN EN  
MADERAS NATIVAS  
CHILENAS PARA UNA  
POSIBLE  
IMPLEMENTACIÓN EN  
REVESTIMIENTO  
EXTERIOR EN ZONAS  
COSTERAS Y SUR DE  
CHILE**

# Resumen

La presente investigación llamada “APLICACIÓN DE LA TÉCNICA DE CARBONIZACIÓN EN MADERAS NATIVAS CHILENAS PARA UNA POSIBLE IMPLEMENTACIÓN COMO REVESTIMIENTO EXTERIOR”, se centra en la técnica japonesa de carbonización de la madera la cual consiste en el quemado de la madera previa a su instalación como revestimiento exterior, la ejecución de este método se caracteriza por el quemado de la cara externa de la madera que será expuesta a la intemperie, dándole una durabilidad extra a la madera, resistencia a ataques agentes xilófagos, mejor resistencia al fuego y a hongos por motivos de humedad.

Esta investigación consiste en determinar, entre las maderas nativas de Chile, una o más especies que presenten buen comportamiento físico al aplicarles el método de carbonización. Estableciendo ensayos de dureza se determinara si las maderas nativas chilenas no alteran sus propiedades mecánico físicas.

# Planteamiento del problema

- Costas chilenas, al ser preferentemente construidas en hormigón armado, albañilería y madera (Ministerio del desarrollo social, 2011). Estos materiales presentan graves deterioros.
- Al momento de escoger un material como revestimiento para el exterior de una vivienda.
- Existe la técnica de carbonización de madera la cual es utilizada como revestimiento exterior mejorando sus propiedades
- El cedro japonés es una especie de madera que no puede ser obtenida en Chile (GITC, 2017).
- Chile cuenta con bosques con 14 millones de hectáreas corresponde a bosque nativo, rico en Coihue, Lenga, Ñirre y otras especies. (Gideon Long, 2009).

# Justificación

- Mejora sustantivamente la resistencia de la madera tratada
- El proceso químico del quemado de la madera, mejoran sus propiedades
- La madera es y ha sido siempre un material de excelencia para la construcción
- Actualmente, Chile es uno de los países más importantes en el desarrollo de la madera, (Masisalab, 2017).
- En la implementación de la madera carbonizada tiene factores positivos en implementarla a futuros programas SERVIU en beneficio de viviendas unifamiliares en las zonas costeras chilenas, modernizando la calidad de vida de las personas, brindando seguridad, durabilidad, inocuidad y belleza en la vivienda.

# Objetivos

## Objetivo general

- Determinar las maderas nativas comerciales chilenas que por sus características técnicas y conducta física la aplicabilidad del método de carbonización como revestimiento exterior sea más efectivo

## Objetivos específicos

- Establecer el procedimiento técnico más efectivo para ejecutar cada una de las etapas del método de carbonización de la madera.
- Ejecutar el método de carbonización a las maderas nativas comerciales chilenas previamente seleccionadas.
- Verificar las maderas nativas comerciales chilenas que presenten mejor comportamiento físico al aplicar pruebas de dureza posterior a la ejecución de método de carbonización.

# Hipótesis

Es posible encontrar y determinar, entre las maderas nativas comerciales en Chile, una o más especies que presenten tanto buena conducta técnica y mecánica tanto al someterlas al método de carbonización, como posteriormente a su aplicación.



# Marco teórico

## Descripción del método de carbonización.

El método desarrollado por los japoneses consiste en quemar la madera por la cara exterior a un nivel parejo en toda la superficie hasta obtener una capa carbonizada, luego sellarla de manera natural con agua fría y según el acabado que se desee se cepilla la muestra y para finalizar se aplica aceite natural para proteger al acabado, este método es aplicado a la madera antes de ser instalada como revestimiento exterior.





# Marco teórico

## Características de la madera para el método de carbonización.

Una de las claves del éxito del método de carbonización desde el punto de vista de la durabilidad es que la profundidad de la capa carbonizada sea suficiente y no desaparezca con la exposición a la intemperie (María Sánchez, 2019).

- Porcentaje de humedad en la madera
- Densidad de la madera
- Durabilidad natural de la madera
- Fibras en la madera

Madera	
Nombre común	Nombre científico
- Roble	<i>Nothofagus obliqua</i> (MIRB) BL
- Ciprés de las Guaiteras	<i>Cupressus vixiera</i> (D. DON)
- Alerce	<i>Fitzroya cupressoides</i> (MOL) JOHNSTON
- Raulí	<i>Nothofagus alpina</i> (POEPP. ET ENDL.) OERST
- Lengua	<i>Nothofagus pumilio</i> (POEPP. ET ENDL.) KRASSER
- Lingue	<i>Persea lingue</i> (NEES)
- Canelo	<i>Quercus winteri</i> FORST
- Coigüe	<i>Nothofagus dombeyi</i> (MIRB) BL
- Tineo	<i>Weinmannia trichosperma</i> CAV.
- Ulmo	<i>Eucrobia cordifolia</i> CAV
- Araucaria	<i>Araucaria araucana</i> (MOL.) C. KOCHR.
- Eucalipto	<i>Eucalyptus globulus</i> LABILL.
- Laurel	<i>Laurelia sempervirens</i> (R. PAV) TUL
- Mañío hembra	<i>Saxegothaea conspicua</i> LINDL.
- Mañío macho	<i>Podocarpus nubigenus</i> LINDL.
- Álamo	<i>Populus alba</i> , <i>Populus nigra</i> L. <i>Populus tremuloides</i> L.
- Olivillo	<i>Aextoxicum punctatum</i> (R. ET PAVON)
- Pino insigne	<i>Pinus radiata</i> D. DON
- Tapa	<i>Laurelia philippiana</i> LOOSER

# Marco teórico

Proceso para la ejecución de la técnica de carbonización en la madera.

La técnica de carbonización se compone de tres pasos, quemado de la madera, sellado de la madera y por último el cepillado para darle un acabado a elección.



# Marco teórico

Normas chilenas aplicadas en revestimientos exteriores en madera

Los revestimientos exteriores parte de los procesos de la edificación, deben cumplir con la normativa vigente, la cual debido las condiciones climáticas que son expuestos se establecen diferentes parámetros descritos a continuación:

- la NCh174.Of2007 Maderas- Unidades, dimensiones nominales, tolerancias y especificaciones para piezas de madera aserradas y cepilladas secas. Esta clasifica los perfiles elaborados de revestimiento vertical como (RV1 al RV21), revestimientos horizontales (RH1 al RH20) y los revestimientos tinglados (T1 al T15). Aunque esta norma no diferencia entre revestimientos exteriores e interiores, debe dejarse establecido que los revestimientos exteriores no deben ser menores en su espesor a 20mm.

# Marco teórico

Características de maderas nativas chilenas.

- Densidad.
- Durabilidad natural.
- Modulo de rotura.
- Dureza.

Clasificación de especies nativas para el método de carbonización:

Maderas nativas	Densidad (Kg/M <sup>3</sup> )	Vida útil (años)	Resistencia flexión (MPa)	Resistencia compresión (MPa)
<b>Rango de selección</b>	407 - 495	>5	52 - 70	30 - 44
Roble	610	>20	78	46
Ciprés de las Guaitecas	480	>20	65	38
Alerce	480	>20	65	38
Raulí	610	>15 <20	78	46
Lenga	480	>15 <20	65	38
Lingue	480	>15 <20	65	38
Canelo	480	>10 <15	65	38
Coigue	610	>10 <15	78	46
Tineo	610	>10 <15	78	46
Ulmo	770	>10 <15	94	55
Araucaria	610	>5 <10	78	46
Eucalipto	940	>5 <10	110	65
Laurel	480	>5 <10	65	38
Mañío hembra	480	>5 <10	65	38
Mañío macho	480	>5 <10	65	38
Álamo	390	<5	55	32
Olivillo	480	<5	65	38

# Metodología

La investigación es de carácter mixta, se da a conocer la situación en el transcurso de los años de la técnica de carbonizado, sus inicios en Japón y como se ha propagado a occidente y distintos lugares del mundo, se estudian los beneficios de la técnica en la madera y como puede ser incorporada en las maderas nativas chilenas para la implementación de un revestimiento exterior.

Para la correcta ejecución del método de carbonización se estudian los tres pasos principales de la técnica, quemado de la madera, sellado de la madera y por último el cepillado, estos puntos contienen distintas características que se tomaron al ejecutar, como el tiempo de quemado, espesor de quemado y una humedad inicial en la madera.

# Metodología

## Método de trabajo y puntos a evaluar en carbonización de las maderas.

- Se utilizaron 5 probetas de madera cepillada seca al 12% de humedad en cada una de las especies de Mañío y Lengua con una dimensión estándar de 1x2”.
- Tiempos de quemado: 2 minutos, 3 minutos, 4 minutos.
- Espesor de quemado: 1,5 milímetros a 4 milímetros.
- Aroma de quemado: agradable o desagradable.
- Nivel de quemado: parejo o irregular.
- Nivel de separación de fibras: alta, media o baja.
- Nivel de lijado: sin lijar, lijado medio, lijado intenso.
- Tipo de acabado: suyaki, gendai, pika-pika.
- Vetas de la madera: sin vetas, con vetas.

# Metodología

Carbonización de la madera.



Paso 1.

- Quemado de la madera
- Regulación soplete medio
- Quemado tipo abanico



Paso 2.

- Sellado de la madera



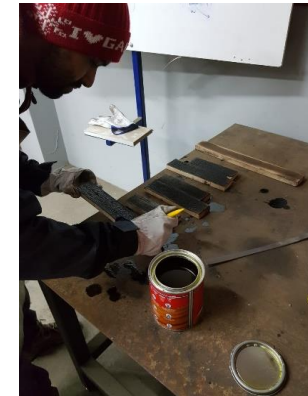
Paso 3.

- Cepillado de la madera



Paso 4.

- Separación de la pieza para verificar espesor.



Paso 5.

- Aplicación aceite de linaza.

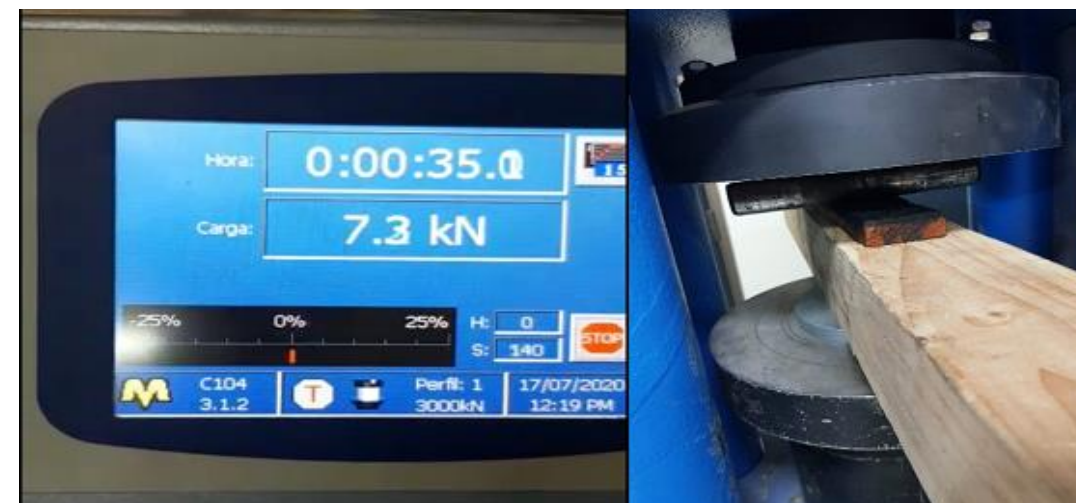
# Metodología

Metodología de trabajo ensayo de dureza en las maderas.

Las pruebas de dureza fueron realizadas en Centro de Transferencia Tecnológica de la Construcción de la Universidad Autónoma de Chile en prensa de compresión de probetas marca Matest. El ensayo consiste en someter cada probeta o pieza a una prensa a una carga de 100 KP (1KN), a través de un cilindro de acero de 30 mm de diámetro, en el cual ejercerá presión constante sobre cada pieza, en donde la prensa indica el momento de penetración de cada madera en constantes de carga (KN) y tiempo (s).

Se considerará positivo los resultados de dureza si:



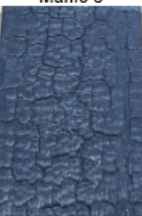
- Fuerza de penetración lenga carbonizada con un rango de variación u oscilación de 0,2 kN con respecto a lenga natural.
- Fuerza de penetración mañío carbonizada con un rango de variación u oscilación de 0,2 kN con respecto a mañío natural.








# Resultados

Cuadro comparativo de los tres niveles de quemado en la madera.

MADERAS - CARACTERÍSTICAS	TIEMPO DE QUEMADO	ESPESOR DE QUEMADO	AROMA DE QUEMADO	NIVEL DE QUEMADO	NIVEL DE SEPARACION EN FIBRAS DE LA MADERA
<p>Maño 1</p> 	Tiempo de quemado constante aplicado de 2 minutos.	Espesor de quemado 2 milímetros.	Aroma al quemar agradable.	Nivel de quemado parejo.	Nivel en fibras alta.
<p>Maño 2</p> 	Tiempo de quemado constante aplicado de 3 minutos.	Espesor de quemado 3 milímetros.	Aroma al quemar agradable.	Nivel de quemado parejo.	Nivel en fibras alta.
<p>Maño 3</p> 	Tiempo de quemado constante aplicado de 4 minutos.	Espesor de quemado 3,5 milímetros.	Aroma al quemar agradable.	Nivel de quemado parejo.	Nivel en fibras alta.

<p>Lenga 1</p> 	Tiempo de quemado constante aplicado de 2 minutos.	Espesor de quemado 1,5 milímetros.	Aroma al quemar desagradable.	Nivel de quemado parejo.	Nivel en fibras media.
<p>Lenga 2</p> 	Tiempo de quemado constante aplicado de 3 minutos.	Espesor de quemado 3 milímetros.	Aroma al quemar desagradable.	Nivel de quemado parejo.	Nivel en fibras media.
<p>Lenga 3</p> 	Tiempo de quemado constante aplicado de 4 minutos.	Espesor de quemado 4 milímetros.	Aroma al quemar desagradable.	Nivel de quemado irregular.	Nivel en fibras alta.

# Resultados

Gráficos de barra indicando tiempo de quemado por el espesor de quemado para análisis de proporcionalidad.

Tipo	Espesor de quemado (mm)	Tiempo de quemados (min)
mañío 1	2	2
mañío 2	3	3
mañío 3	4	3,5

Tipo	Espesor de quemado (mm)	Tiempo de quemados (min)
Lenga 1	2	1,5
Lenga 2	3	3
Lenga 3	4	4



# Resultados

Cuadro comparativo distintos niveles de acabado en el proceso de carbonización.

MADERAS - CARACTERÍSTICAS	TIEMPO DE QUEMADO	CEPILLADO	NIVEL DE LIJADO	TIPO DE ACABADO	VETAS DE LA MADERA
Maño C1 	Tiempo de quemado constante aplicado de 2 minutos.	Cepillado aplicado	Sin lijado	Suvaki	Sin vetas en la madera
Maño C2 	Tiempo de quemado constante aplicado de 2 minutos.	Cepillado aplicado	Lijado medio	Gendai	Sin vetas en la madera
Maño C3 	Tiempo de quemado constante aplicado de 2 minutos.	Cepillado aplicado	Lijado intenso	Pika-pika	Con vetas en la madera

Lenga C1 	Tiempo de quemado constante aplicado de 2 minutos.	Cepillado aplicado	Sin lijado	Suvaki	Sin vetas en la madera
Lenga C2 	Tiempo de quemado constante aplicado de 2 minutos.	Cepillado aplicado	Lijado medio	Gendai	Sin vetas en la madera
Lenga C3 	Tiempo de quemado constante aplicado de 2 minutos.	Cepillado aplicado	Lijado intenso	Pika-pika	Sin vetas en la madera

# Resultados

Cuadro indicando la penetración en la madera en kilo newton y el tiempo de penetración en segundos para saber si las maderas alteran su dureza natural.

PROBETA CARBONIZADA	KILO NEWTONS MADERA CARBONIZADA (KN)	KILO NEWTONS MAÑO NATURAL (KN)	VARIACIÓN	<= VARIACIÓN DE 0,2 KN
Maño 1	7,3 kN	7,3 kN	0 kN	Aceptada
Maño 2	7,3 kN	7,3 kN	0 kN	Aceptada
Maño 3	7,4 kN	7,3 kN	+0,1 kN	Aceptada
Maño C3	7,4 kN	7,3 kN	+0,1 kN	Aceptada
PROBETA CARBONIZADA	KILO NEWTONS MADERA CARBONIZADA (KN)	KILO NEWTONS LENGA NATURAL (KN)	VARIACIÓN	<= VARIACIÓN DE 0,2 KN
Lenga 1	7,3 kN	7,4 kN	-0,1 kN	Aceptada
Lenga 2	7,3 kN	7,4 kN	-0,1 kN	Aceptada
Lenga 3	7,4 kN	7,4 kN	0 kN	Aceptada
Lenga C3	7,3 kN	7,4 kN	-0,1 kN	Aceptada

# Discusión

La lenga logra buenos resultados en la separación de sus fibras en los tres tiempos de quemados marcando una diferencia en el tiempo de 4 minutos donde se puede ver una separación más clara, no obstante lo anterior, se observa que con el mayor tiempo de quemado no se logra un buen control en su carbonizado provocando un espesor de quemado poco regular, finalmente cabe señalar que en el proceso de carbonización de la lenga el aroma que expele es desagradable en el momento de quemado el cual es un punto no menor si se trabaja con dimensiones mayores de maderas. En el caso del mañío al momento de carbonizar se logran buenos carbonizados en los 3 tiempos de quemados, es una madera que posee total control al minuto de ser carbonizada logrando quemados parejos, sus fibras al momento de ser quemadas se separan con claridad logrando un acabado tipo la piel de cocodrilo, lo cual se indica que es bueno puesto que la celulosa más externas se queman dejando la lignina ennegrecida, por último el nivel estético que logra el mañío en la carbonización es muy notorio, logra una simetría en la separación de fibras, posee una textura de quemado bello y un color en su carbonizado lustroso.

# Discusión

En los resultados de dureza las maderas logran valores dentro de los rangos establecidos en una variación mayor o igual a 0,2 kN en el resultado de la madera carbonizada con respecto de la madera natural, en el caso de la lenga, esta disminuye en 0,1 kN en lenga 1, lenga 2 y lenga C3 a diferencia, el mañío mejora su dureza en dos de sus caso en 0,1 kN en mañío 3 y mañío C3 con respecto al resto de los casos sus durezas son iguales, estos valores dan notorias mejoras en el mañío carbonizada, puesto que iguala y aumenta sus durezas.

# Conclusión

- A la luz de los resultados de esta investigación con la especie mañío, se puede asegurar que la madera de conífera tiene mejores posibilidades de uso con el método de carbonización, tanto por su mejor acabado estético, como por su mejor conducta mecánica.
- El estudio da suficiente respaldo al uso de método de carbonización para la mejor conservación de maderas exteriores expuestas a humedad y agentes de daño, como los existentes en zonas costeras y sur de Chile.
- Queda abierta una interesante línea de investigación que permita confirmar si maderas de coníferas comerciales, como pino insigne y pino Oregón, presentaran una buena conducta al ser sometidas al proceso de carbonización.