

Universidad Nacional de Misiones. Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales. Secretaría de Investigación y Postgrado. Maestrías en Madera, Celulosa y Papel

Maestranda
Teresa María Suirez

Efecto de la impregnación con CCA (*chromo-cobre-arsénico*) sobre las propiedades físicas y mecánicas de la madera de *Pinus taeda* L. implantado en la provincia de Misiones

Tesis de Maestría presentada para obtener el título de “Magíster en Ciencias de la Madera, Celulosa y Papel”

OTM

Director
Ing. Raúl Alberto González

Co-Director
MSc. Ing. Obdulio Pereyra

Posadas, 2000



Esta obra está licenciada bajo Licencia Creative Commons (CC) Atribución-NoComercial-Compartir Igual 4.0 Internacional <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE MISIONES
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES**

**EFECTO DE LA IMPREGNACION CON CCA (CROMO-
COBRE-ARSENICO) SOBRE LAS PROPIEDADES FISICAS
Y MECANICAS DE LA MADERA DE PINUS TAEDA L.
IMPLANTADO EN LA PROVINCIA DE MISIONES**

TERESA MARIA SUIREZS

Tesis presentada a la universidad Nacional de Misiones, Facultad de Ciencias Forestales como exigencia parcial de la maestría en ciencias de la madera, celulosa y papel, orientación tecnología de la madera.

Director: Ing. Raul Alberto Gonzalez

Codirector: MSc. Ing. Pereyra Obdulio

Eldorado, Misiones.

Noviembre 2000

DEDICO

A mi esposo Julio, que me alentó y me apoyo en todo momento, a mis hijas Flavia, Laura, y Lucia que son la razón de mis esfuerzos, a mis padres y hermanos por el cariño manifestado.

AGRADECIMIENTOS

- Al profesor Ing. Raúl A. González, por su apoyo, orientación y motivación durante la elaboración de este trabajo.
- Al profesor MSc. Ing. Obdulio Pereyra, por su apoyo y motivación durante la elaboración de este trabajo.
- Al Ing. Julio Cesar Bernio, por colaborar en la instalación del autoclave y transportar las probetas.
- Al Sr. Miguel Arrúa, por el aporte del material de ensayo.
- Al Sr. Carlos Fritz, por colaborar en el corte de las probetas de ensayo.
- A las autoridades del Centro tecnológico de la madera de Montecarlo, por permitir el aserrado y elaboración de las probetas.
- A los Sres. Vogel H., Bulffe A., Benites y Venialgo por aserrar, estibar y cepillar el material.
- Al Ing. Ernesto Miott, por donar los accesorios de autoclave.
- Al Empresario Gruber, por la donación del producto CCA.
- A la Ing. Paula Ferrere por su apoyo brindado en el análisis estadístico de los resultados.
- A las autoridades de la Facultad de Ciencias Forestales por darme la posibilidad de perfeccionarme.

RESUMEN

Este trabajo tuvo por objetivo, estudiar el comportamiento de las propiedades físicas y mecánicas de la madera de *Pinus taeda L.* sin impregnar e impregnada por vacío-presión con preservador CCA (Cromo, Cobre, Arsénico) con tres retenciones, 5, 10 y 15 kg/m³ y la comparación entre ambas.

Para el estudio, se utilizaron seis árboles con catorce años de edad con un DAP (Diámetro altura del pecho) medio de 31 centímetros, proveniente de Caragatay, departamento de Montecarlo, provincia de Misiones.

El proceso de impregnado fue realizado en un autoclave de laboratorio, aplicándose el método Burnett, para hidrosolubles; el procedimiento consistió en realizar vacío inicial de - 0.5 kg/cm² (-381 mm de Hg) durante 30 minutos, aprovechando este vacío se llenó el autoclave con el preservante y se aplicó 7 kg/cm² de presión por un lapso de tres horas. Luego se descargó el producto y se extrajeron las probetas para su estacionamiento y secado bajo cubierta.

Los ensayos de las propiedades físicas y mecánicas se determinaron según lo establecen, las Normas técnicas IRAM (Instituto Argentino de Racionalización de materiales), ASTM (American Society for Testing and Materials) y DIN (Deutsche Industrie Norm). Para ello se usaron una balanza Metler de precisión, balanza digital, calibres, estufas, desecadores y una maquina universal de ensayos SIFIC, de 10 toneladas de capacidad.

Los valores obtenidos de las propiedades de la madera sin impregnar e impregnadas con las diferentes retenciones fueron procesados estadísticamente y analizados. Del análisis de los resultados, sobre las propiedades físicas y mecánicas, se determinaron las siguientes conclusiones:

- 1) Las propiedades físicas como ser los pesos específicos a distintos porcentajes de humedad no son afectadas por las retenciones de CCA en la madera.
- 2) Las contracciones tanto en el sentido tangencial como radial en las maderas impregnadas son menores, significando esto una ventaja para las mismas.

- 3) Las propiedades mecánicas de resistencia a la flexión estática, compresión paralela a las fibras, tracción perpendicular a las fibras, dureza Janka radial y tangencial y corte paralelo radial, no han denotado diferencias estadísticamente significativas con respecto a la madera sin impregnar, Sin embargo el tratamiento ha producido un efecto positivo en la dureza Janka transversal y en el corte paralelo a las fibras tangencial.

SUMMARY

This work had by objective, to study the behavior of the physical and mechanical properties of the wood of *Pinus taeda L.* without impregnating and impregnating by empty - pressure with preserving CCA (Chrome, Copper, Arsenic) with three retentions, 5, 10 and 15 kg/m³ and the comparison between both.

For the study, were used six fourteen years old trees with a midle DAP (height Diameter of the chest) of 31 centimeters, originating from Caraguatay, department of Montecarlo, Misiones province.

The process of impregnation was accomplished in an autoclave of laboratory, being applied the Burnett method, for hidrosolubles. The procedure consist of accomplishing initial vacuum of - 1 kg/cm² (- 381 mm of Hg) during 30 minutes; taking advantage of this vacuum, the autoclave was filled with the preservative and a pressure of 7 kg/cm² was applied pressure during three hours. Then, the product and was unloaded and the samples extracted for dryieng under cover.

The samples of the physical and mechanical properties were determined according to establish it, the technical Procedures IRAM (Argentine Institute for Rationalization of materials), ASTM (American Society for Testing and Material) and DIN (Deutsche Industrie Norm). For this were used a of precision scale Metler, digital scale, calipers, stoves, driers and schemes and an Universal machine of trials SIFIC, of 10 tons capacity.

The values obtained from the properties of the wood without impregnation and impregnated with the different retentions, were estadístically processed and analyzed. Of the analysis of the results, on the physical and mechanical properties, were determined the following conclusions:

- 1) The physical properties as the specific weights to different percentages of humidity not affected by the retentions of CCA in the wood.
- 2) The shrinkage so much in the tangential sense as radial in the impregnated woods are smaller, meaning this an advantage for the same.

3) The mechanical resistance properties to the static flexion, parallel compression to the fibers, perpendicular traction to the fibers, hardness tangential and radial Yanka and parallel radial cut, they have not denoted statistically meaningful differences with respect to the wood without impregnation, however the treatment has produced a positive effect in the hardness transverse Yanka and in the parallel cut to the tangential fibers.

CONTENIDO

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
RESUMEN	iv
SUMMARY	vi
CONTENIDO	viii
LISTAS DE TABLAS	xi
LISTAS DE FIGURAS	xii
LISTAS DE FOTOS	xiii
LISTAS DE ABREVIATURAS Y SIGLAS	xiv
1 – INTRODUCCION	1
2 - REVISION BIBLIOGRAFICA	3
2.1 Superficies forestales cultivadas de Argentina y Misiones	3
2.2 Características de las maderas	3
2.2.1 Características microscópicas de las maderas de coníferas ...	4
2.2.2 Estructura de la madera del <i>Pinus taeda L</i>	5
2.3 Factores que afecta la impregnación de la madera	5
2.3.1. Características anatómicas de la madera	5
2.3.2 Características del producto preservante	6
2.3.3 Efecto del proceso de tratamiento	6
2.3.4 Factores que mejoran el tratamiento	6
2.4 Importancia de las coníferas en la industria forestal	7
2.4.1 Usos de la madera del <i>Pinus taeda L</i>	7
2.5 Maderas impregnadas, su aplicación	8
2.5.1 Características de las maderas impregnadas	8
2.5.2 Características de las maderas impregnadas con CCA	11
2.6 Productos preservantes de la madera	12
2.6.1 Requisitos de un preservante	12
2.6.2 Clasificación de los preservantes para la madera	13

2.6.3	Características del preservante CCA (Arseniato de cobre cromatado)	13
2.6.4	Retenciones del CCA en la madera	14
2.6.5	Fijación del CCA en la madera	15
2.6.6	Reglamentaciones para el uso de productos preservante	17
2.7	Métodos de impregnación	17
2.8	Plantas industriales de impregnación	21
2.9	Aspectos económicos en la preservación de la madera	21
2.10	Propiedades físicas y mecánicas de la madera de <i>Pinus taeda L</i>	22
3	MATERIALES Y METODOS	23
3.1	Características de la plantación de la que se extrajo el material	23
3.1.1	Ubicación	23
3.1.2	Características climáticas	23
3.2	Característica del autoclave y del preservante utilizado	26
3.2.1	Proceso de impregnación	26
3.3	Ensayos físicos	31
3.3.1	Determinación del contenido de humedad	32
3.3.2	Determinación del peso específico aparente estacionado, anhidro y básico de la madera	32
3.3.2.1	Peso específico aparente estacionado	32
3.3.2.2	Peso específico aparente anhidro	33
3.3.2.3	Peso específico básico	33
3.3.3	Contracción de la madera	33
3.3.3.1	Contracción total.....	34
3.3.3.2	Coefficiente de retractabilidad	34
3.3.3.3	Anisotropía de contracción	34
3.3.3.4	Punto de saturación de las fibras	34
3.4	Ensayos mecánicos	35
3.4.1	Flexión estática	36
3.4.1.1	Módulo de rotura a la flexión estática	37
3.4.1.2	Módulo de elasticidad	37
3.4.2	Compresión paralela a las fibras	38
3.4.2.1	Módulo de rotura a la compresión	38
3.4.2.2	Módulo de elasticidad	39

3.4.3	Dureza Janka	40
3.4.4	Corte o cizallamiento paralelo a las fibras	41
3.4.5	Tracción perpendicular a las fibras	42
3.4.6	Clivaje o rajadura	42
3.5	Procesamiento de los datos	44
4	RESULTADOS Y DISCUSION	45
4.1	Propiedades físicas de la madera	45
4.1.1	Pesos específicos	45
4.1.2	Contracción total	46
4.2	Propiedades mecánicas de la madera	49
4.2.1	Flexión estática	49
4.2.2	Compresión paralela a las fibras	51
4.2.3	Dureza Janka	52
4.2.4	Corte paralelo a las fibras	54
4.2.5	Tracción perpendicular a las fibras	55
4.2.6	Clivaje o rajadura	56
5	CONCLUSIONES	57
	BIBLIOGRAFIA	59
	ANEXO 1 Flexión estática, valores de cargas y deformaciones de algunas probetas ensayadas con sus respectivas curvas	63
	ANEXO 2 Compresión paralela a las fibras, valores de cargas y deformaciones de algunas probetas ensayadas con sus respectivas curvas	72
	ANEXO 3 Análisis de variancia, tabla de medias y comparación de medias de los ensayos realizados	80

LISTA DE TABLAS

2.1	Tipo y grado de penetración en el duramen de algunas especies	10
2.2	Clasificación del CCA según el % de óxidos que lo componen	14
2.3	Métodos de impregnación por presión	19
2.4	Propiedades físicas y mecánicas de la madera de <i>Pinus taeda</i> refo- restado en la provincia de Misiones	22
4.1	Pesos específicos: estacionado, anhidro y básico de la madera de <i>Pinus taeda</i> L. sin impregnar e impregnada con retenciones de kg/m ³ 5, 10 y 15	45
4.2	Contracción tangencial, radial y axial, coeficiente de retractabilidad tangencial y radial y anisotropía de contracción de la madera de <i>Pinus taeda</i> L. sin impregnar e impregnada con retenciones de 5, 10 y 15 kg/m ³	47
4.3	Módulo de rotura y de elasticidad para la flexión estática de la madera de <i>Pinus taeda</i> L. sin impregnar e impregnada con retenciones de 5, 10 y 15 kg/m ³	50
4.4	Módulo de rotura y de elasticidad para compresión paralela a las fibras de la madera de <i>Pinus taeda</i> L. sin impregnar e impregnada con retenciones de 5, 10 y 15 kg/m ³	51
4.5	Dureza Janka tangencial, radial y transversal de la madera de <i>Pinus taeda</i> L. sin impregnar e impregnada con retenciones de 5, 10 y 15 kg/m ³	52
4.6	Corte paralelo a las fibras tangencial y radial de la madera de <i>Pinus taeda</i> L. sin impregnar e impregnada con retenciones de 5, 10 y 15 kg/m ³	54
4.7	Tracción perpendicular a las fibras en el sentido tangencial y radial de la madera de <i>Pinus taeda</i> L. sin impregnar e impregnada con retenciones de 5, 10 y 15 kg/m ³	55
4.8	Clivaje o rajadura en el sentido tangencial y radial de la madera de <i>Pinus taeda</i> L. sin impregnar e impregnada con retenciones	

de 5, 10 y 15 kg/m ³	56
---------------------------------------	----

LISTA DE FIGURAS

2.1 Equipos principales que forman parte del método de impregnación a presión	18
2.2 Proceso de impregnación a célula llena, Bethell	20
2.3.1 Proceso de impregnación a célula vacía, Lowry	20
2.3.2 Proceso de impregnación a célula vacía, Rueping	20
3.1 Proceso de impregnación Burnett	29
3.2 Etapas del proceso de impregnación realizadas de este trabajo	30
4.1 Comparación de medias del peso específico básico de la madera de <i>pinus taeda</i> L. sin tratar y tratado con 5, 10 y 15 kg/m ³	46
4.2 Comparación de medias de contracción tangencial de la madera de <i>pinus taeda</i> L. sin tratar y tratado con 5, 10 y 15 kg/m ³	48
4.3 Comparación de medias de contracción radial de la madera de <i>pinus taeda</i> L. sin tratar y tratado con 5, 10 y 15 kg/m ³	49
4.4 Comparación de medias del módulo de elasticidad a la flexión estática de la madera de <i>pinus taeda</i> L. sin tratar y tratado con 5, 10 y 15 kg/m ³	50
4.5 Comparación de medias del módulo de rotura a la compresión paralela a las fibras de la madera de <i>pinus taeda</i> L. sin tratar y tratado con 5, 10 y 15 kg/m ³	52
4.6 Comparación de medias de dureza Janka tangencial de la madera de <i>pinus taeda</i> L. sin tratar y tratado con 5, 10 y 15 kg/m ³	53
4.7 Comparación de medias de dureza Janka transversal de la madera de <i>pinus taeda</i> L. sin tratar y tratado con 5, 10 y 15 kg/m ³	54

LISTA DE FOTOS

3.1	Toras de pinos con tarjetas identificatorias	24
3.2	Viguetas secándose bajo cubierta	25
3.3.1	Autoclave de impregnación cargada con probetas de <i>Pinus taeda L.</i> para ser impregnadas	27
3.3.2	Autoclave de impregnación; donde pueden observarse sus accesorios, termómetro, barómetro, valvula de seguridad	28
3.4	Probetas impregnadas secándose bajo cubierta	31
3.5	Probetas impregnadas y sin impregnar para determinaciones de los pesos específicos y las contracciones de la madera del <i>Pinus taeda L.</i>	35
3.6	Máquina universal para ensayos mecánicos	36
3.7	Probeta para ensayo de flexión estática; ubicada en la máquina universal de ensayos	38
3.8	Probeta para ensayo de compresión paralela a las fibras, se observa la rótula que ejerce presión sobre la madera apoyada sobre una base de metal	39
3.9	Probeta para ensayo dureza Janka, se observa una impronta producida por la semiesfera de acero y el dispositivo de bronce que contiene la semiesfera	40
3.10	Probeta ensayada de corte paralelo a las fibras, encerrada en la armadura de acero	41
3.11	Probeta de tracción perpendicular a las fibras dentro de la armadura de acero preparada para el ensayo	43
3.12	Probeta de clivaje en el momento de su rajadura, se observan los accesorios que producen la rotura	44

LISTA DE ABREVIATURAS

ANOVA: Análisis de varianza

CCA: Oxido de cobre, trióxido de cromo, pentóxido de arsénico

CV: Caballo vapor

cm: centímetro

cm²: centímetro cuadrado

cm³: centímetro cúbico

DAP: diámetro altura pecho

gr: gramos

gr/cm³: gramos por centímetro cúbico

Hg: mercurio

kg: kilogramos

kg/cm: Kilogramos por centímetro

kg/cm²: Kilogramos por centímetro cuadrado

kg/m³: Kilogramos por centímetro cúbico

m: metro

min: minuto

mm: milímetro

RPM: revoluciones por minuto

1 INTRODUCCION

Es necesario que el uso de las maderas de mediana y larga durabilidad natural provenientes del bosque nativo, sea lo más racional posible, debido a su escasez y tendencia a desaparecer como material para la construcción.

La tecnología de la preservación de la madera puede contribuir de manera efectiva para atenuar el problema.

Las maderas impregnadas de especies de rápido crecimiento proveniente de reforestaciones, principalmente coníferas y las especies secundarias de bajo valor comercial, pueden ser utilizadas para la construcción.

El *Pinus taeda L.* es una especie que tiene un crecimiento aproximado de 30 m³ por hectárea y por año en nuestra provincia, normalmente se reforesta con una densidad de 1100 a 1500 ejemplares por hectárea; a los 7 años se realiza un corte de aclareo obteniéndose materia prima para pasta celulósica, y a los 12 años ya se obtiene materia prima para aserrar con destino a la construcción, encofrados, revestimiento y material para la producción de vigas multilaminadas, con tratamientos siviólicas destinados a realizar la tala rasa a los 16 años de edad.

La madera del *Pinus taeda L.* tiene escasa durabilidad natural, en condiciones de uso exterior y en contacto con el suelo. Se ha comprobado en otros países que la madera impregnada con C.C.A. alcanza una vida útil de aproximadamente 30 años.

En la Argentina el uso de maderas impregnadas con preservantes ha sido muy limitado, pero en los últimos años se vio incrementado.

En países desarrollados la utilización de maderas impregnadas con preservante tienen multiplicidad de usos, principalmente viviendas, además de pérgolas, luminarias, cercos divisorios, barreras de contención y muebles de jardín.

Si bien las propiedades físicas y mecánicas de las maderas de coníferas provenientes de reforestaciones son adecuadas para la construcción, de acuerdo a los resultados obtenidos en ensayos realizados en diversos Institutos del país y al uso creciente por empresas de la construcción, no es menos cierto que estas maderas son de corta durabilidad natural y fácilmente degradadas por agentes bióticos, (hongos e insectos xilófagos) a menos que sean preservadas con productos químicos adecuados.

La vida útil de una pieza de madera en servicio es afectada por las condiciones ambientales a la que está expuesta y por las características inherentes a la madera especialmente su resistencia natural.

En el caso de madera impregnada, además de estos factores, se considera la toxicidad del preservante, tratabilidad de la madera, cantidad del preservante absorbido, macro distribución del preservante, micro distribución del preservante, afinidad química entre el preservante y la madera, característica propia del preservante, como estabilidad química, lixiviabilidad, volatilidad, etc.

La decisión de tomar esta especie para su estudio, se debió a la gran existencia de plantaciones en la región, por su rápido crecimiento y aumento de su participación como madera para el aserrío y productos remanufacturados.

OBJETIVO GENERAL

Estudiar el comportamiento de las propiedades físicas y mecánicas de la madera del *Pinus taeda* L. sin impregnar e impregnadas por vacío-presión con CCA.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

Realizar los ensayos físicos y mecánicos de las probetas impregnadas y no impregnadas con CCA.

Determinar si existe variación en las propiedades físicas y mecánicas de la madera impregnada con distintas retenciones de CCA.

2 - REVISION BIBLIOGRAFICA

2.1 Superficies forestales cultivadas de Argentina y Misiones

La implantación de bosques comienza a tener auge en la Argentina, en la década del 40 y hoy cubren una superficie de 900000 hectáreas. La provincia de Misiones cuenta con 260000 hectáreas de plantaciones forestales, en su mayoría coníferas (pinos y araucaria). El 55% de los pinos del país corresponden a Misiones. SAGPyA, (1999).

Misiones es la provincia forestal más importante aportando entre el 35 - 50 % de la producción de madera anual. MINISTERIO DE ECOLOGIA Y R.N.R. (1999).

En la Argentina el *Pinus taeda* se encuentra ampliamente difundido en las reforestaciones de las provincias de Misiones, Corrientes y en menor escala Córdoba. Esta especie comenzó a tener importancia en cuanto a superficies anuales cultivadas a mediados de la década del 70, considerando su participación en aproximadamente 50 % de las 260000 hectáreas existentes. GONZALEZ, R. PEREYRA, O. SUIREZS, T., (1993).

Actualmente en Misiones la tendencia es el cultivo del *Pinus taeda M.* por su rápido crecimiento. MINISTERIO DE ECOLOGIA Y R.N.R. (1999).

El *Pinus taeda* con plantines de origen seleccionados pueden llegar a un crecimiento de más de 40 m³ /ha./año. Se lo cultiva con densidades de 2000, 1600 y 1100 plantines/ha. MINISTERIO DE ECOLOGIA Y R.N.R. (1999).

2.2 Características de la madera.

Según Hughes citado por MUÑIZ, (1993) El objetivo principal de la investigación anatómica de la madera, es verificar la relación que existe entre sus características estructurales y de uso.

Las maderas están clasificadas en dos grupos principales: maderas blandas o de gimnospermas y maderas duras o de dicotiledóneas. Sus estructuras son distintas

“ pero no son necesariamente diferentes en el grado de densidad y la dureza”. Las maderas de gimnospermas son más fáciles de trabajar porque su estructura es homogénea; siendo por lo general sus elementos largos y rectos. Las dicotiledóneas varían mucho en sus estructuras, encontrándose, desde las de muy baja densidad y blandas hasta las de alta densidad y duras, siendo estas últimas las más usadas comercialmente. ESAU, (1993).

La madera es un material orgánico con la particularidad de ser compleja y variable, su estructura está formada por diferentes tipos de células con paredes de espesores variados y disposiciones distintas según las especies lo que explica su naturaleza heterogénea y anisótropa. CORONEL, (1994).

Las propiedades que poseen las maderas están vinculadas con la disposición y orientación de los materiales que componen la pared celular y su composición química. CORONEL, (1994).

Esau, citado por MUÑIZ, (1993), afirma que las propiedades físicas de las maderas y su aptitud para el uso comercial dependen de la composición del leño, de la estructura y de la organización de sus elementos.

2.2.1 Características microscópicas de las maderas de coníferas

Las coníferas tienen un xilema más simple que el de la mayoría de las dicotiledóneas. La madera de las coníferas está compuesta en su mayor parte de traqueidas alargadas y angostas de 2 a 5 mm de longitud. En el leño temprano las fibrotraqueidas tienen puntuaciones aeroladas con aperturas internas circulares. En el leño tardío las traqueidas o fibrotraqueidas, tienen areolas reducidas con apertura interna ovales. Los pares de puntuaciones entre las traqueidas generalmente tienen torus. En las maderas de algunas coníferas, como ser las Podocarpaceae, Taxodiaceae y Cupresaceae existen gran desarrollo de parénquima. En las Araucareaceae, Pinaceae y Taxaceae el parénquima se encuentra poco desarrollado o ausente. En los géneros Pinus, Picea, Larix, Pseudotsuga el parénquima se encuentra asociado a los canales resiníferos. Los canales resiníferos aparecen en los sistemas radiales y axiales. Generalmente los radios de las coníferas son de una célula de ancho y de una a catorce células de alto, los radios están formados por células parenquimáticas o

traqueidas de los radios, estas traqueidas se parecen a las células parenquimáticas en su forma, pero tienen paredes secundarias con puntuaciones areoladas. ESAU, (1993).

2.2.2 Estructura de la madera del *Pinus taeda*.

El *Pinus taeda* presenta una transición brusca entre el leño temprano y tardío. Las traqueidas del leño inicial presentan paredes más delgadas, que las del leño tardío. Las puntuaciones areoladas son más frecuentes y sus diámetros son mayores en el leño temprano que en el tardío. Predominan los radios uniseriados con una a catorce células de altura. Se encuentran canales resiníferos radiales y axiales, de origen esquizógeno, de una a más capas de células epiteliales. Los canales resiníferos axiales se encuentran cerca de la corteza. MUÑIZ, (1993).

2.3 Factores que afectan la impregnación de la madera

2.3.1 Características anatómicas de la madera

Según KRAMER (1958), la impregnación en la madera con duramen rojo, es insignificante pero la albura se impregna con facilidad. Las coníferas (duramen no diferenciado), ofrecen dificultades al ser impregnadas con creosota. Las maderas con duramen difícil de diferenciar a simple vista de la albura, son aptas para todo tipo de impregnación, pero puede ocurrir que una vez cortado el árbol, pueden cerrar los vasos por tálides e impedir la impregnación. Las maderas que tienen grandes vasos en el leño de primavera, se caracterizan por tener abiertos solamente los vasos de los últimos años y los demás se encuentran cerrados por incrustaciones y son consideradas maderas no aptas para la impregnación a presión. Cuando los vasos grandes están distribuidos irregularmente pueden ser impregnados a bastante profundidad. Los radios medulares son importantes cuando la impregnación se realiza por métodos de desplazamiento de savia. El tejido parenquimático es más fácil de impregnar con productos hidrosolubles que oleosos. Los canales resiníferos no dificultan la impregnación, salvo casos extraordinarios, que exista gran cantidad de resina. Las maderas con densidades muy altas son difíciles de impregnar, excepto en pequeñas dimensiones.

2.3.2 Características del producto preservante

Cuando la viscosidad de la solución es mayor, menor será su penetración en la madera; los productos oleosos deben ser usados con temperaturas entre 80 y 90°C para facilitar de esta forma su penetración. Algunos productos hidrosolubles también presentan inconvenientes en la penetración, ya sea por las formaciones de productos insolubles o por reacciones que ocurren entre el preservante y los extractivos de la madera. LEPAGE, (1986).

2.3.3 Efecto del proceso de tratamiento

Los procesos donde se realizan presiones logran una mayor penetración, pero se debe tener en cuenta que elevadas presiones pueden producir colapso en algunas especies de madera. LEPAGE, (1986).

2.3.4 Factores que mejoran el tratamiento

Uno de los factores que mejora el tratamiento son las incisiones, pero son contraproducente porque afectan la resistencia de la madera. El vapor también mejora la permeabilidad de la madera. LEPAGE, (1986).

2.4 Importancia de las coníferas en la industria forestal.

Las coníferas tienen importancia como maderas aserradas para la construcción, por su estabilidad estructural y por su resistencia a la rajadura al ser clavadas. En muchas partes del mundo son demandadas para molduras, marcos de ventanas, puertas etc. SAGPyA, (1999).

Además se ha demostrado que muchas coníferas implantadas de rápido crecimiento presentan buenas resistencias mecánicas, las que la hacen aptas para varios usos y también hay que destacar la resistencia en relación a su peso, ya que es una madera medianamente liviana.

2.4.1 Usos de la madera de *Pinus taeda*.

Los productos de los raleos son utilizados en la industria de trituración para la fabricación de pasta celulósica y paneles aglomerados. Los rollizos de mayor diámetro para aserrío empleándose en carpintería de obra, revestimiento de interiores, tarimas livianas, envases, cajonería, y en la industria del debobinado para la fabricación de maderas compensadas. CELULOSA Argentina S. A., (1973).

En la actualidad se ha diversificado e incrementado el uso de la madera de *Pinus taeda*, ya sea para vigas multilaminadas, tableros de listones, tirantes para techos, etc. Además la madera de esta especie con un tratamiento previo podría ser utilizada para la construcción de viviendas.

2.5 Maderas impregnadas, su aplicación

Según PELAGALLO, (1997), el uso de la madera impregnada está poco difundida en la Argentina. La proporción de la misma en la producción de pino no llega al 5%.

Aunque en los últimos años se aprecia un gran aumento en la utilización de maderas impregnadas con varios fines; las maderas impregnadas con hidrosolubles pueden ser usadas en las construcciones exteriores de las viviendas, en cercos, plantaciones de vid, postes, además en la construcción de vigas multilaminadas.

Las maderas tratadas con productos químicos no deben ser cepilladas, perforadas, etc. con el fin de evitar cualquier tipo de contaminación ambiental; por ese motivo se recomienda realizar todo tipo de taladrado, perforado y otros cortes antes del impregnado.

HARTFORD, (1976), estimó que en Estados Unidos, en el período de 1909 a 1974, hubo una economía de 4×10^9 árboles destinados a la producción de postes, por el uso de la madera adecuadamente preservada.

Según CHIANI, (1999), en Estado Unidos se impregnan bajo vacío - presión 15 millones de metros cúbicos de madera aserrada por año, el 78% con el preservante hidrosoluble CCA.

2.5.1 Características de las maderas impregnadas

Según TINTO, (1980), las maderas tratadas con preservantes hidrosolubles no presentan inconvenientes en la aplicación de pinturas, barnices y lustres siempre que el material esté seco. La incorporación de productos preservantes en la masa leñosa afecta a sus propiedades en sentido positivo, dándole mayor resistencia frente al ataque de los agentes destructores, pero a veces aparecen reacciones negativas, como ser la reducción de sus resistencias mecánicas, porque la madera se vuelve quebradiza; esto depende del tratamiento y la concentración del producto.

La higroscopicidad natural de la madera impregnada puede ser modificada de acuerdo con el tipo de preservante utilizado. Los productos oleosos (creosota y los formados a base de fenoles) disminuyen la higroscopicidad debido a que la masa leñosa queda parcialmente impermeabilizada. Las sales preservadoras incrementan, en general, la higroscopicidad de la madera, siendo este incremento mayor en las sales ignífugas por las altas dosis de retención recomendadas, 20 a 40 kg/m³, TINTO, (1980).

La penetrabilidad de una madera puede medirse por la profundidad alcanzada en la misma, a esto se lo denomina grado de penetración y la forma que penetra, tipo de penetración. Para realizar una clasificación sobre las maderas de especies nativas e implantadas en Misiones, se impregnaron con el método Lowry probetas de sección cuadrada de 50 mm x 50 mm y 100 mm de largo, con un contenido de humedad del 15%, con creosota- gasoil (50%) a temperatura ambiente y presión de 10 kg/cm².

A) Grado de penetración:

- a) Maderas fácilmente penetrables: cuando el impregnante penetra longitudinalmente más del 80% del largo de la probeta.
- b) Maderas moderadamente penetrables: cuando el impregnante penetra entre el 50 y el 80%.
- c) Maderas poco penetrables: cuando el impregnante penetra del 25 al 50%.

d) Maderas difícilmente penetrables: cuando el impregnante penetra del 10 al 25%.

e) Maderas impenetrables: cuando el impregnante penetra menos del 10%.

B) Tipo de penetración:

a) Maderas con penetración lineal: cuando el impregnante se introduce en la madera en forma de líneas, más o menos paralelas al eje longitudinal de la probeta.

b) Maderas con penetración difusa: cuando el impregnante entra en la madera en forma continua y en todo el espesor de la probeta.

c) Maderas con penetración irregular: cuando el impregnante se introduce en la madera en forma de líneas, bandas longitudinales y áreas separadas.

En la tabla 2.1 se presenta la clasificación de tipo y grado de penetración.

TINTO, (1980).

Tabla 2.1: Tipo y grado de penetración en el durámen de algunas especies.

Madera	Tipo de penetración	Grado de penetración
Ambay-guazú	Difusa	Muy penetrable
Anchico colorado	Irregular	Poco penetrable
Cancharana	Lineal	Poco penetrable
Carne de vaca	Difusa	Muy penetrable
Caroba	Difusa	Muy penetrable
Cedro	Irregular	Poco penetrable
Eucalipto saligna	-	Impenetrable
Grapia	Irregular	Poco penetrable
Guatambú blanco	Irregular	Penetrable
Guayaibí blanco	Difusa	Muy penetrable
Guaica	Difusa	Muy penetrable
Incienso	Difusa	Poco penetrable
Kiri	Difusa	Penetrable
Laurel amarillo	Difusa	Penetrable
Laurel negro	Irregular	Medianamente penetrable
Laurel ayuí	Irregular	Poco penetrable
Lapacho	Difusa	Poco penetrable
Loro blanco	Difusa	Penetrable
María preta	Irregular	Medianamente penetrable
Marmelero	Lineal	Medianamente penetrable
Mora colorada	-	Impenetrable
Paraíso	-	Poco penetrable
Persiguero bravo	Irregular	Poco penetrable
Peteribí	Irregular	Medianamente penetrable
Pino ellioti	Irregular	Medianamente penetrable
Pino taeda	Irregular	Medianamente penetrable
Pino misionero	Difusa	Muy penetrable
Rabo itá	Difusa	Poco penetrable
Rabo molle	Irregular	Penetrable
Sabuguero	Irregular	Penetrable
Sota caballo	Difusa	Poco penetrable
Tarumá	Irregular	Medianamente penetrable
Timbó colorado	Irregular	Poco penetrable
Vasuriña	Irregular	Medianamente penetrable
Virapitá	Irregular	Medianamente penetrable
Viraró	Irregular	Poco penetrable

Características de las maderas impregnadas con CCA

Las maderas impregnadas con el hidrosoluble CCA se tornan verdosas y cuanto mayor es la retención del producto adquieren un color más oscuro. Se pueden realizar acabados superficiales, como ser el barnizado, laqueado, pintado etc. en las maderas impregnadas con este producto

Según WILKINSON, (1979), para evitar que la madera impregnada se torne verdosa, se la debería proteger de la exposición directa de los rayos solares o agregar pigmentos al producto para mantener el color de la madera.

Una vez impregnadas las maderas, estas deben estacionarse como mínimo siete días a 25°C para que se produzcan todas las reacciones químicas, logrando su fijación dentro de la madera, por lo tanto deben estar protegidas de la lluvia en ese intervalo de tiempo, evitando de esta manera que se diluya el producto que se encuentra en la superficie de la madera antes de su fijación. Después de seca, la madera puede ser manejable sin riesgo para el hombre y los animales domésticos. WILKINSON, (1979)

Las maderas tratadas con CCA son más duras, favoreciendo en este caso su uso como durmientes para ferrocarriles, como se ha demostrado en un estudio realizado en Nigeria sobre la instalación de durmientes impregnados con CCA: Después de haber estado 15 años en uso estos se encontraban en perfectas condiciones. WILKINSON, (1979)

Un documento citado en British Wood Preserving Association Treatment Specifications state en 1975 dice que la madera tratada con CCA logra una vida útil de 15, 30 y hasta 40 años en servicio, como ser torres de enfriamiento, muelles, postes, etc. WILKINSON, (1979).

La impregnación influye sobre el posterior procesamiento de la madera y su comportamiento. Uno de ellos es la medición de la humedad de la madera impregnada, ya que la medición con xilohigrómetro se basa en la relación entre la humedad de la madera y sus propiedades eléctricas. El preservante CCA afecta las

propiedades eléctricas de la madera, ya que las lecturas de la humedad dan valores superiores a los reales. RAMIREZ, (1996).

Pizzi, A. et al, citado por LEPAGE, (1986), afirma que la madera impregnada con CCA pierde resistencia a la tenacidad. Esta pérdida está relacionada positivamente con el aumento de la retención.

La comparación de la resistencia de la madera sin impregnar con la impregnada ha demostrado ganancias en algunas propiedades y pérdidas en otras. Las propiedades afectadas negativamente son, resistencia al pandeo, compresión, tracción. En la práctica la madera reduce la capacidad de carga y se debe tener precaución en las solicitaciones de carga importantes como ser, puentes, soporte de construcciones y minas. WILKINSON, (1979).

Las maderas impregnadas con CCA son menos ignífugas que las maderas sin impregnar, pero una de sus características es que, una vez iniciado el fuego, tiene la tendencia a continuarlo y por esa razón se le agregan aditivos ignífugos en su composición.

2.6 Productos preservantes de la madera

2.6.1 Requisitos de un preservante

Los preservantes son sustancias químicas que, aplicadas adecuadamente a la madera la protegen de los agentes destructores, otorgándole una vida útil prolongada.

Una sustancia química es considerada como preservante de madera si cumple con los siguientes requisitos: 1- **Toxicidad:** debe ser tóxico la actividad de los agentes biológicos que destruyen a la madera. 2- **Penetrabilidad:** debe penetrar con facilidad en la madera y alcanzar la máxima profundidad. 3- **Permanencia:** los productos no deben ser lixiviables ni volátiles. 4- **Inocuidad:** una vez que la madera esté impregnada, no deben ser nocivos para el hombre y animales domésticos. 5- **No corrosivos:** no deben oxidar a los metales que sirvan de uniones entre las maderas. 6- **No combustibles:** No deben favorecer la combustión en la madera. 7- **No**

fitotóxicos: las maderas impregnadas, cuando deben ser usadas en la producción agrícola no deben afectar a sus productos. 8- **Fácil aplicación:** el producto no debe presentar dificultades para su aplicación en la madera. 9- **Permitir acabados:** debe permitir la pintura y el laqueado de la madera. 10- **Económicos y accesibles.** WILKINSON, (1979).

2.6.2 Clasificación de los preservantes para la madera

Los preservantes se clasifican por su origen o naturaleza en: 1-**Creosota**, patentada en Inglaterra por Jhon Bethell en julio de 1838, su aplicación fué en postes y durmientes; la madera impregnada con este producto no permite acabados superficiales. 2- **Orgánicos** (oleosolubles), estos productos son de fácil penetración y permiten el laqueado y pintado de la madera. 3- **Inorgánicos** (hidrosolubles), en este grupo de preservantes se encuentran las sales metálicas simples, dobles y múltiples. TUSET Y DURAN, (1979).

2.6.3 Características del preservante, CCA (Arseniato de cobre cromatado)

El CCA es un producto hidrosoluble que combina el efecto fungicida del cobre con el insecticida del arsénico y una sal alcalina de cromo con el fin de obtener una alta fijación de los principios activos de los componentes mencionados. TUSET Y DURAN, (1979).

El CCA (Arseniato de cobre cromatado) se ha comenzado a usar desde 1930 y su aplicación ha sido creciente desde entonces. Su formulación ha cambiado. Se lo puede obtener en forma de sales cristalinas, pastas o líquidos concentrados, FAHLSTROM, (1978).

Según A.W.P.A., (1996), establece tres tipos de formulaciones distintas del CCA, clasificados según el porcentaje de óxidos en su composición, en A, B y C presentados en la tabla 2.2.

Tabla 2.2: Clasificación del CCA según los % de óxidos que lo componen.

Componente	Tipos (%)		
	A	B	C
Cr O ₃	65.5	35.3	47.5
Cu O	18.1	19.6	18.5
As ₂ O ₅	16.4	45.1	34.0

Esta clasificación fue establecida por AWWPA después de varios experimentos realizado por Smith, D.N.R. y Williams, A.I. quienes verificaron que la máxima eficiencia no coincide con la máxima fijación de cobre y arsénico. LEPAGE, (1986).

Después de realizar investigaciones se comprobó que no hay peligro de contaminación del suelo por lixiviación, sin embargo se ha determinado que existe volatilización del arsénico, por lo que se recomienda no utilizar las maderas impregnadas en ambientes cerrados y con calefacción por tiempo prolongado.

Un estudio realizado en el Reino Unido sobre maderas impregnadas con CCA en servicio por 11 años en torre de enfriamiento, no ha mostrado signo de lixiviación. WILKINSON, (1979).

Las soluciones del CCA no corroen el metal, son inodoras y químicamente estables a temperaturas normales. No deben exponerse a temperaturas superiores a 50°C por tiempos prolongados, porque se producen precipitados insolubles similares a los formados cuando se fijan en la madera. WILKINSON, (1979)

2.6.4 Retenciones del CCA en la madera

Según Normas IRAM 9600/92: los valores nominales mínimos de retención para maderas de coníferas, en zonas con riesgo de termitas deben ser de 4 kg/m³ de óxidos para maderas sin contacto con el suelo; y 6.4 kg/ m³ para maderas en contacto con el suelo. En zonas sin riesgo de termitas los valores nominales mínimos de retención para coníferas son de 5 kg/m³, sin contacto con el suelo y 8.5 kg/m³ en contacto con el suelo. Para ajustar los valores nominales de retención según la densidad aparente de la madera de coníferas, se utiliza la siguiente fórmula:

$$Re = \frac{Rn \times \delta}{Px}$$

Siendo:

Re: Valor ajustado de retención del preservante, kg/m³

Rn: Valor nominal de retención del preservante, kg/m³

δ: Densidad aparente de la madera anhidra, kg/m³

Px: Densidad aparente de referencia de la madera anhidra, igual a 0.50 kg/dm³.

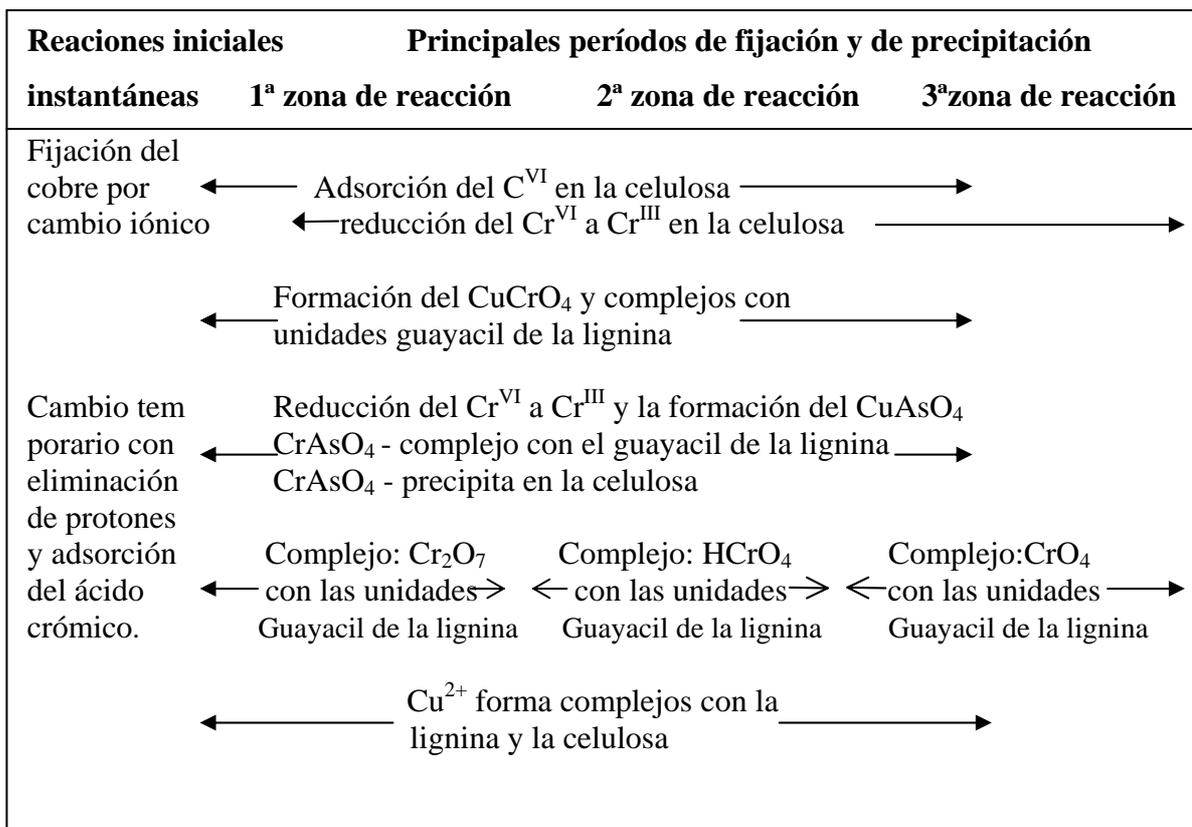
Según Norma AWWA, (1984), para lograr una protección efectiva de la madera se requiere una retención neta mínima de óxidos de CCA de 6 a 9.6 kg/m³, y recomienda, según el uso final de las maderas, las siguientes retenciones mínimas de componentes activos (óxidos): 1) Para madera de uso exterior sin contacto con el suelo, en condiciones secas o húmedas, retenciones de 6 kg/m³. 2) Para madera de uso exterior, en contacto directo con el suelo se requiere una retención de 8 a 12 kg/m³. 3) Para maderas en torres de enfriamiento, se requiere una retención de 10 a 16 kg/m³.

2.6.5 Fijación del CCA en la madera.

Según PIZZI, (1984), al reaccionar el CCA con la madera, se produce una disminución del PH, cuya magnitud depende de la concentración del producto. Se le atribuye esa baja a la fijación del cobre por cambio iónico con liberación de protones. Después de esta disminución instantánea del PH comienza a aumentar con la formación de los complejos lignino-ácido crómico o lignina –cromato de cobre y también se produce la reducción del cromo. La mayor parte del cobre se fija en la capa S1 de la pared celular, reaccionando con la lignina en un 80 % a 90 % y otra parte reacciona con la celulosa.

Según SMITH y WILLIAM, (1973), la mayor fijación del CCA se produce con la siguiente relación de sus componentes: Cr/As > 1.9 y Cr/Cu = 1.7.

Hartford, Fahlstrom y Colley (1979) presentaron en su trabajo el siguiente esquema de la fijación del CCA en la madera:



En síntesis, los productos que se forman cuando el CCA reacciona con la madera son:

$CuCrO_4$: (10 a 15 %) forma complejo estable con la lignina

$CrAsO_4$: forma complejo con la lignina

Precipitado inorgánico de $CrAsO_4$ en la celulosa

$Cr(OH)_4CrO_4$: precipitado inorgánico en la celulosa

40 a 70% forma complejo con la lignina

Cu: 5 a 20 % absorbido físicamente en los componentes de la madera.

10 a 20 % forma complejo con la celulosa y con los grupos guayacil de la lignina

Según Hartford citado por LEPAGE, (1986), el cromo reacciona en la madera formando complejos bivalentes y trivalentes. La forma trivalente, confiere a la madera su repelencia al agua y eficiencia al CCA. La forma trivalente reacciona con el arsénico formando $CrAs_2O_4$, en la madera tratada casi el 85% del arsénico reacciona

con el cromo y el restante forma complejos relativamente solubles con la lignina y celulosa.

2.6.6 Reglamentaciones para el uso de productos preservantes

Desde 1989 funciona en el ámbito de la Secretaría de Agricultura, Pesca y Alimentación (SAGPyA), el registro de productos preservantes con carácter obligatorio. Esto significa que todo producto para preservación de maderas que se comercialice deberá estar registrado en la SAGPyA, para la cual debe cumplimentar todos los requisitos que ese organismo solicite. De esta manera se brinda protección al usuario y al medio ambiente, RAMIREZ, (1996).

Las industrias que trabajan con sustancias tóxicas están obligadas a registrarse en la Dirección Nacional de Seguridad e Higiene en el trabajo. Esta reglamentación tiene vigencia desde 1991 y obliga a las plantas de impregnación (al igual que otras industrias) a presentar la documentación pertinente. Los riesgos de una planta de impregnación están relacionados no sólo con la toxicidad del preservante que se está empleando; también depende si se trata de un producto sólido o líquido, tipo de envase, cómo se prepara la solución de tratamiento y cómo se aplica a la madera. Por lo tanto, el cumplimiento de las normas y reglamentaciones vigentes aseguran un producto final confiable, no sólo desde el punto de vista técnico, sino también en lo referente a la salud y medio ambiente, RAMIREZ, (1996).

2.7 Métodos de impregnación

Los métodos para impregnar la madera se clasifican de la siguiente manera:

- 1- **Sin presión**, este método es el más sencillo no requiere de equipamientos caros y los productos son aplicados con brochas, rodillos y aspersores, por inmersión, baño caliente-frío, y difusión.
- 2- **Con presión**, en este caso pueden ser reguladas las penetraciones y retenciones del producto; se requiere como equipo básico un autoclave, tanques de almacenamiento y de mezcla; bomba de vacío, de presión. Figura 2.1.
- 3- **Procesos especiales**, la impregnación se realiza por desplazamiento de savia, denominado método de Boucherie, exclusivo para tratamiento de albura y

durámen permeable de madera rolliza verde recién cortada. TUSET y DURAN, (1979).

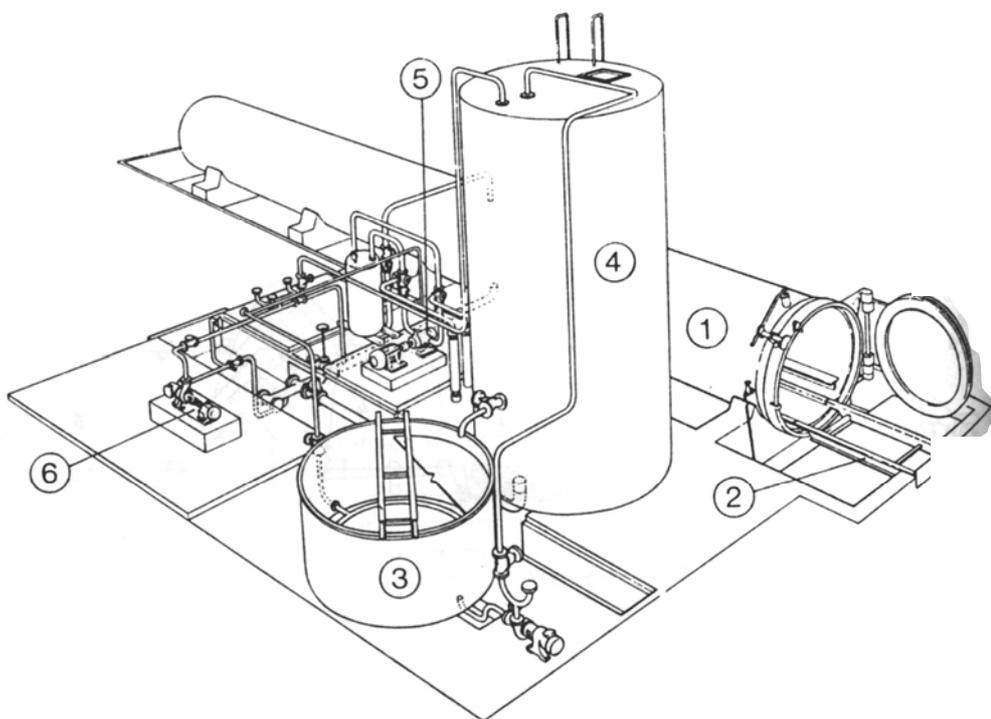


Figura 2.1 Equipos principales que forman parte del método de impregnación a presión.

- 1- Autoclave con puerta de cierre rápido.
- 2- Rieles para el carro transportador.
- 3- Tanque de mezcla.
- 4- Tanque de almacenamiento.
- 5- Bomba de vacío.
- 6- Bomba de presión.

El francés Jean Robert Bréant, patentó en 1831 un proceso para aplicar en la madera preservantes con presión en cámara cerrada. Fue el precursor de todos los sistemas actuales de aplicación de preservantes con presión. En 1838 John Bethell patentó un proceso de célula llena para la aplicación de creosota a presión MARTINEZ, (1952).

En 1838 Burnett patentó el proceso para impregnar maderas a presión (Célula llena) con preservantes hidrosolubles. KRAMER, (1958).

Los desarrollos más importantes en la aplicación a presión de preservantes fueron: la creación del proceso Boulton en 1881 por Samuel Bagster Boulton y los procesos a célula vacía en 1902 por Max Rüeping y en 1906 por C. B. Lowry. HUNT y GARRAT, (1953).

Según MARTINEZ, (1952) los procedimientos empleados para aplicar antisépticos a la madera, por presión, en autoclave, se reducen en esencia a tres: Bethell o Burnett, Lowry y Rüeping, ya que todos los demás no son más que una modalidad o combinación de éstos. En la tabla 2.3 se resumen los métodos de impregnación por presión.

Tabla 2.3 Métodos de impregnación por presión

Procedimiento de presión en autoclave	Introducción del antiséptico, con vacío inicial	Antiséptico oleosos	Procedimiento Bethell
		Soluciones acuosas	Procedimiento Burnett
	Introducción del antiséptico, a presión	Toda clase de antisépticos	Procedimiento Lowry
	Introducción del antiséptico, con presión de aire	Toda clase de antisépticos	Procedimiento Rueping

En la figura 2.2 se observa el proceso de impregnación Bethell o celula llena que recibe este nombre porque se logra la máxima retención. Este se realiza en un autoclave donde se carga la madera, se produce un vacío inicial, carga del preservante, presión, descarga del producto y vacío final. TINTO, (1980).

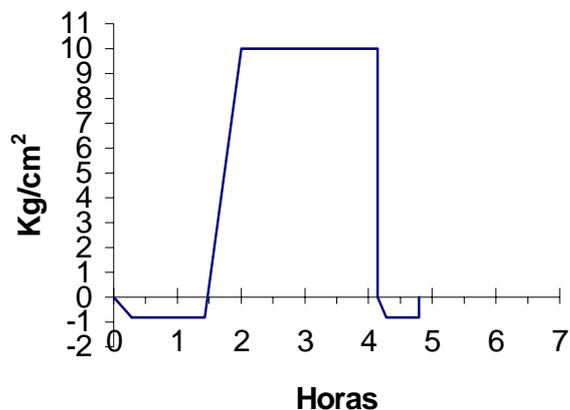


Figura 2.2: Proceso de impregnación Bethell o célula llena.

Los procesos a célula vacía se pueden apreciar en las figuras 2.3.1 y 2.3.2 Lowry y Rueping respectivamente. En estos no se produce el vacío inicial con el fin de economizar preservante. Estos procesos son similares, siendo la única diferencia, que en el método Rueping se aplica presión al aire de la madera antes de la introducción del preservante. TINTO, (1980).

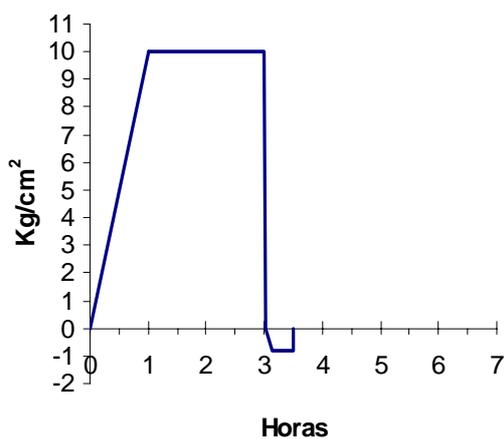


Figura 2.3.1: Proceso de impregnación Lowry o célula vacía.

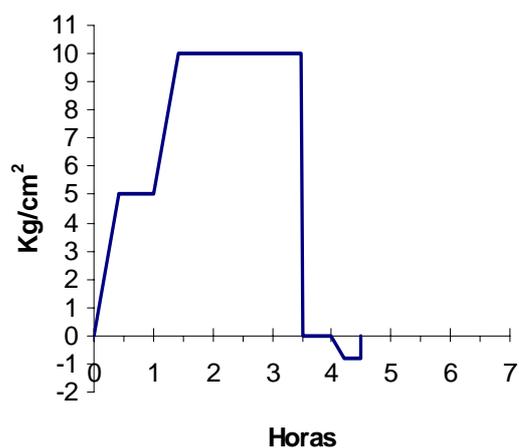


Figura 2.3.2: Proceso de impregnación Rueping o célula vacía.

En los procesos de impregnación por presión es muy importante que se realice el vacío final, para recuperar el remanente que queda sobre la superficie de la

madera y además evitar que la misma contamine el suelo al ser extraída del autoclave.

2.8 Plantas industriales de impregnación.

Las plantas de impregnación deben contar con instalaciones, tales que el proceso de impregnado sea un ciclo cerrado. El preservante de la madera, luego de impregnarla debe ir a un tanque donde se lo vuelve a concentrar y reutilizarlo. Debe contar con los equipamientos de seguridad para el operario, como ser botas de gomas, delantal de goma, guantes de goma y mascarilla.

Según la SAGPyA (1998), existen 308 industrias de impregnación en el País, con una capacidad instalada de 60800 m³/año y la producción en el año es de 33567 m³.

En la provincia de Misiones existen cinco plantas industriales para impregnación de madera con CCA, siendo este el producto de mayor uso en la zona, debido a la disponibilidad en el mercado.

2.9 Aspectos económicos en la preservación de la madera

Si bien la madera tratada tiene un costo de producción mayor que la madera sin tratar, a largo plazo las tareas de mantenimiento son menores en las maderas tratadas. En resumen el costo anual que representa al valor total de la inversión inicial más el interés dividido por el número de años de vida útil de la madera tratada, es inferior al costo anual de cualquier otro material.

$$A = p (1+r)^n / (1+r)^n - 1$$

Siendo:

A= Costo anual

P = Costo del material instalado

r = Tasa de interés expresada en fracción decimal

n = Número de años en servicio

De acuerdo a la fórmula, para la misma inversión inicial, cuando mayor es la vida útil, menor es el costo anual. LEPAGE, (1975).

2.10 Propiedades físicas y mecánicas de la madera de *Pinus taeda*.

GONZALEZ, R. PEREYRA, O. SUIREZS, T., (1993), al estudiar las propiedades físicas y mecánicas de la madera de *Pinus taeda* de 13 y 14 años de edad reforestado en Misiones, departamento Iguazú; obtuvieron los resultados presentados en tabla 2.4

Tabla 2.4 Propiedades físicas y mecánicas de la madera de *Pinus taeda*, reforestada en la provincia de Misiones.1993.

Propiedades físicas y mecánicas		
Densidades aparentes (gr/cm ³)	Estacionada	0.47
	Anhidra	0.44
	Básica	0.39
Retracciones totales (%)	Tangencial	6.1
	Radial	3.8
	Volumétrica	10.4
Flexión estática (Kg/cm ²)	Módulo de rotura	776
	Módulo de elasticidad	67784
Corte o cizallamiento paralelo a las fibras (Kg/cm ²)	Tangencial	106
	Radial	94
Tracción perpendicular a las fibras (Kg/cm ²)	Tangencial	30,7
	Radial	37,7
Clivaje o rajadura (Kg/cm)	Tangencial	37,6
	Radial	41
Dureza Janka (Kg/cm ²)	Tangencial	320
	Radial	307
	Transversal	377

Fuente: Yvyrareta N° 4. 1993.

3 MATERIALES Y METODOS

El material utilizado para la confección de las probetas de madera ensayadas en este trabajo, fueron obtenidas de 6 árboles de *Pinus taeda L.* provenientes de una plantación de 14 años de edad en un suelo rojo profundo, complejo 9, situado en el Municipio de Caraguatay, Departamento: Montecarlo, Provincia de Misiones.

3.1 Características de la plantación de la que se estrajo el material

Especie:	<i>Pinus taeda L.</i>
Origen:	Sud-Este de los Estados Unidos
Edad de la plantación:	14 años
Tratamientos silvícolas:	2 raleos a los 9 y 11 años
Distancia inicial de la plantación:	3 m por 1.5 m
Superficie de la plantación:	20000 m ²
DAP medio de árboles extraídos:	31 cm (< 28 cm y > 34 cm)

3.1.1 Ubicación

Latitud Sur:	25°10" y 27° 20"
Longitud Oeste:	55° 40" y 54° 10"
Altitud:	400 msnm.

3.1.2 Características climáticas

Precipitación media anual:	1900 mm/año.
Temperatura media anual:	21°C
Vientos predominantes:	S.E.

En el proceso de selección, los árboles fueron numerados y marcado el norte en su corteza.

Una vez apeados, se seccionaron toras, desde la base hasta 1.20 m. denominada tora A, y de 1.20 m. a 2.40 m. tora B. En los extremos de cada tora se demarcaron cuatro viguetas de sección cuadrada de 7 x 7 cm, indicando el número de árbol, denominación de la tora y ubicación (N - S - E - O), foto 3.1



Foto 3.1: Toras de pinos con tarjetas identificatorias.

Las 12 toras fueron aserradas en las instalaciones del CTM (Centro Tecnológico de la Madera de Montecarlo), obteniéndose de cada una, cuatro viguetas, dando un total de cuarenta y ocho, las que fueron estacionadas bajo cubierta para su secado natural, en la foto 3.2 se pueden observar las mismas.



Foto.3.2: Viguetas secándose bajo cubierta, Montecarlo, febrero 1999.

A los treinta días de estacionado las viguetas se encontraban con un contenido de humedad de aproximadamente 15 %, fueron cepilladas a las dimensiones finales, con sección cuadrada de 5 cm de lado; sobre las mismas se dibujaron las probetas según las direcciones establecidas por las Normas Técnicas, y estas fueron preparadas en la carpintería del Centro Tecnológico de la Madera de Montecarlo.

Las probetas fueron llevadas al Laboratorio de Tecnología de la Madera de la Facultad de Ciencias Forestales de Eldorado, donde se las acondicionaron, clasificaron y separaron, tomando dos probetas por árbol, para cada ensayo y tratamiento.

Las probetas fueron divididas en cuatro grupos de tal manera que en cada uno de ellos estuvieran representados los seis árboles seleccionados. Un grupo fue usado como testigo, las restantes fueron impregnadas con el preservante CCA a tres concentraciones distintas, tales que permitiera retenciones de 5, 10 y 15 kg/m³. Previo a dichas impregnaciones, se midieron los volúmenes y pesos de las probetas, con el fin de corroborar la retención de cada una de ellas.

Las impregnaciones de las probetas se realizaron en un autoclave para ensayos de laboratorio, como se ven en las fotos 3.3.1 y 3.3.1, en el departamento de

Tecnología e Industrias de la madera, de la Facultad de Ciencias Forestales, de la ciudad de Eldorado.

Para determinar la absorción de la madera del *Pinus taeda L.*, se realizó un ensayo en blanco con agua, usando: el mismo tipo de probetas, vacío inicial y presión que se utilizaría en las impregnaciones definitivas, obteniéndose una absorción media de 600 kg/m^3 de agua, la que fue utilizada para calcular las diluciones del preservante, (0.83; 1.66 y 2.5 % de concentración) y obtener así, las retenciones deseadas (5, 10 y 15 kg/m^3).

3.2 Características del autoclave y del preservante utilizado

Autoclave de laboratorio:	24 cm de diámetro, 120 cm de largo.
Presión máxima:	15 kg/cm^2
Vacío máximo:	-1 kg/cm^2 (-760 mm Hg)
Bomba de vacío:	Dosivac, CV1/3, 0.26 v/min.
Bomba dosificadora y presión:	CV 1/2, RPM 1420, Cos ϕ 0.68
Producto utilizado:	CCA (CrO ₃ ; CuO; As ₂ O ₅)
Composición del CCA:	Cr=28.5%, As=20.4%, Cu=11.10%
	Inertes + agua = 40%
Concentración del CCA:	60 %

3.2.1 Proceso de impregnación

Concentraciones del CCA

diluido para impregnar:	0.83 %, 1.66 % y 2.5 %
Retenciones logradas:	5, 10 y 15 kg/m^3
Vacío inicial:	-0.5 kg/cm^2
Tiempo de vacío:	30 minutos
Presión:	7 kg/cm^2
Tiempo de presión:	3 hs.
Temperatura:	20 °C

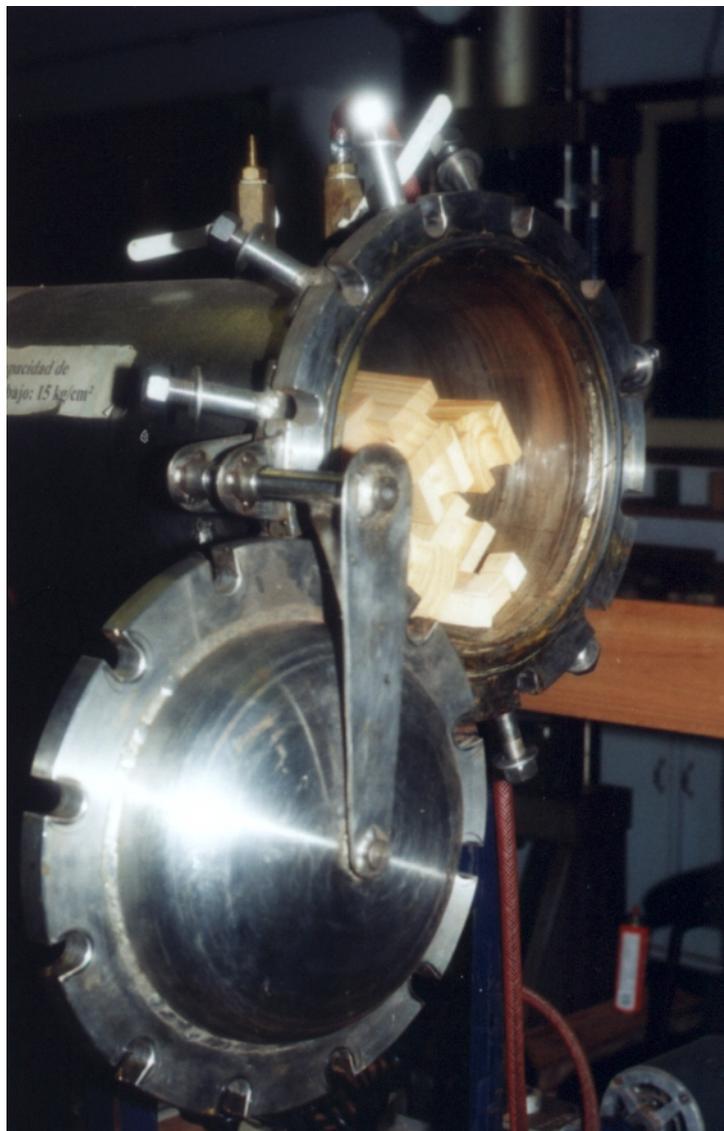


Foto 3.3.1: Autoclave de impregnación cargada con probetas de *Pinus taeda* L. para ser impregnadas, Eldorado, diciembre 1999.

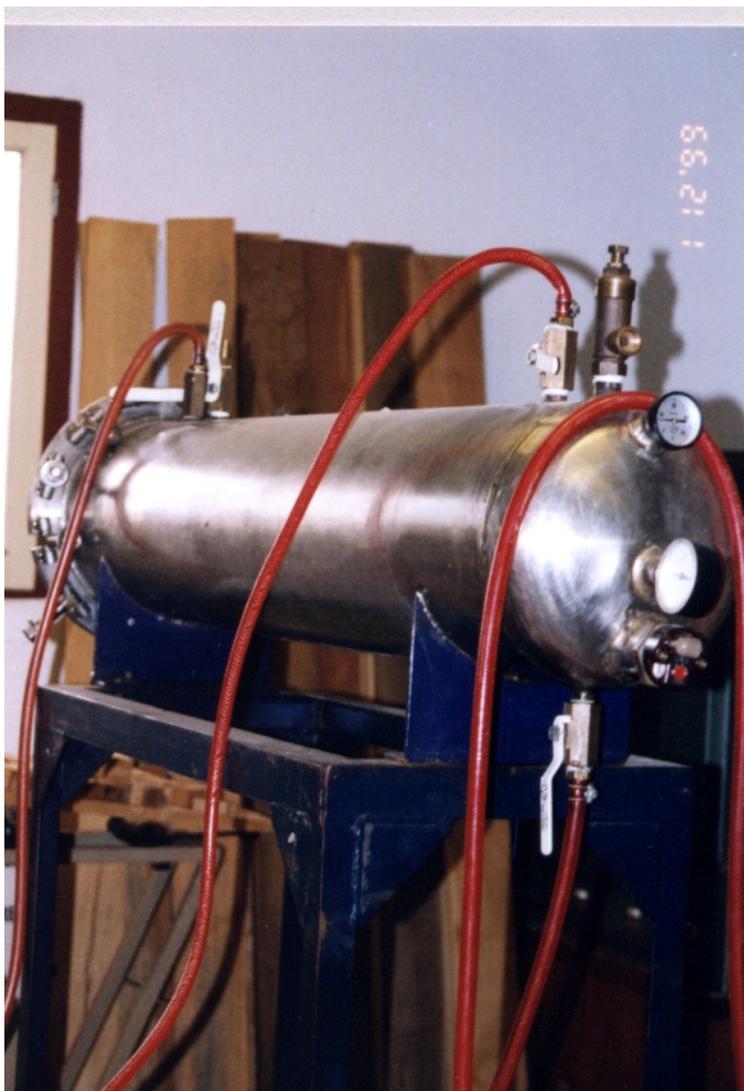


Foto 3.3.2: Autoclave de impregnación; donde pueden observarse sus accesorios, termómetro, barómetro, válvula de seguridad.

El proceso de impregnado de la madera se realizó según el método de Burnett, figura 3.1, para preservantes hidrosolubles, que consiste en la realización de un vacío inicial con el objetivo de eliminar todo el aire que contiene la madera, y aprovechando este vacío se carga el preservante y luego se le aplica presión que puede ser desde 5 a 14 kg/cm², manteniéndola por aproximadamente 3 horas, se descarga el producto y se efectúa el vacío final con el fin de recuperar el remanente que queda sobre la superficie de la madera.

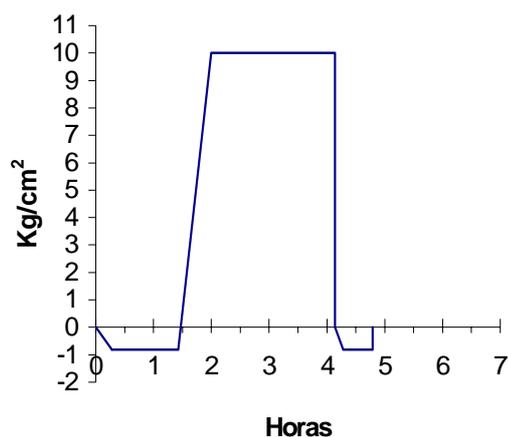


Figura 3.1: Proceso de impregnación Burnett

Las probetas para cada tratamiento fueron introducidas juntas en el autoclave, a fin de ser sometidas a las mismas condiciones de vacío, presión, tiempo y concentración del preservante.

Las tres impregnaciones realizadas con el objeto de obtener las retenciones programadas, tuvieron las mismas condiciones de impregnación: 1) vacío inicial hasta, -0.5 kg/cm^2 (-381 milímetros de mercurio) que se mantuvo por un tiempo de 30 minutos; 2) carga del autoclave con el producto preservante (CCA) diluido a la concentración determinada, aprovechando el vacío; 3) aplicación de una presión de 7 kg/cm^2 (100 libra/pulgada²), durante 3 horas; 4) descarga del preservante; 5) extracción de las probetas. Siguiendo el método de impregnación patentado por Burnett para hidrosolubles, en este trabajo se realizó la variante de no aplicar el vacío final, para asegurarse la retención deseada. En la figura 3.2 se muestra las etapas de las impregnaciones realizadas para este trabajo.

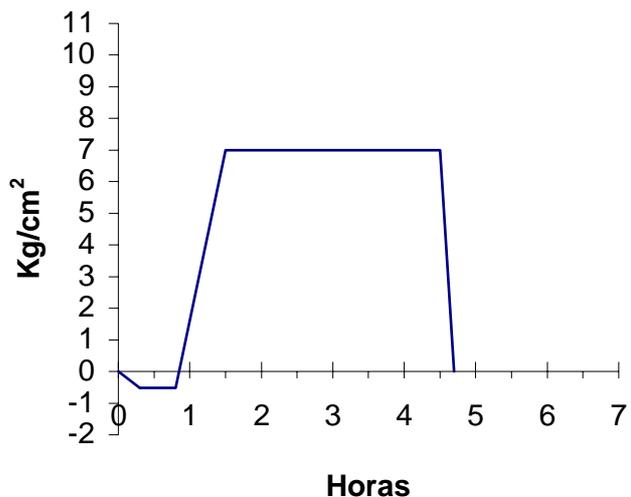


Figura 3.2: Etapas del proceso de impregnación realizadas en este trabajo.

Finalizado el proceso de impregnación, la solución restante fue descargada a un tanque de reserva, para permitir la extracción de las probetas impregnadas, las que fueron nuevamente pesadas y estibadas bajo cubierta, para su secado natural como se pueden observar en la foto 3.4.

El tiempo de secado, posterior a la impregnación fue de aproximadamente 15 días. Una vez lograda la humedad deseada se clasificaron las probetas, ya que algunas se agrietaron durante el secado, las que tuvieron que descartarse, lográndose un total de 10 probetas para cada ensayo y tratamiento, dándose inicio a los ensayos físicos y mecánicos de las probetas.



Foto 3.4: Probetas impregnadas, secándose bajo cubierta, Eldorado, 1999.

Para determinar las retenciones de cada una de las probetas impregnadas, se utilizó la siguiente fórmula:

$$R = (pf - pi) / V \cdot c$$

Siendo:

R: Retención, en kg/m^3

pf: Peso de la probeta impregnada, en kg.

pi: Peso de la probeta antes de impregnar, en kg.

V: Volumen de la probeta en m^3

c: Concentración del preservante diluido.

3.3 Ensayos físicos

Para los ensayos físicos de humedad, pesos específicos aparentes y contracciones se utilizaron: una balanza Mettler, capacidad 160 gramos, con precisión de 0.1 miligramos; calibre con precisión de 0.02 milímetros; estufa de secado con termostato, para regular temperaturas de $103 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$; desecadores y cubetas.

3.3.1 Determinación del contenido de humedad.

El contenido de humedad se determinó en todas las probetas ensayadas y en el caso de las probetas para propiedades mecánicas se tomó una porción próxima a la rotura; para ello se utilizó la fórmula que establece la Norma IRAM N° 9532.

$$H\% = ((Ph-Po)/Po)100$$

Siendo:

H% = Humedad de la madera, en %.

Ph = Peso de la muestra húmeda, en gr.

Po = Peso de la muestra seca, en gr.

3.3.2 Determinación del peso específico aparente estacionado, anhidro y básico de la madera

Los pesos específicos de la madera fueron determinados según lo establece la Norma IRAM N° 9544, utilizándose para ellos, cubos de 2 centímetros de sección, como se ve en la foto 3.5, probetas: 1 y 5 impregnada y sin impregnar respectivamente. Se realizaron 16 repeticiones en las determinaciones de los pesos específicos.

3.3.2.1 Peso específico aparente estacionado

Para la obtención del peso específico aparente estacionado, el peso y el volumen fueron medidos en las mismas condiciones de humedad. El peso se obtuvo en una balanza Mettler y el volumen por mediciones con calibre. La fórmula usada fue la siguiente:

$$De = Pe/Ve$$

Siendo:

De = Peso específico aparente estacionado, en gr/cm³

Pe = Peso de la muestra estacionada, en gr.

Ve = Volumen de la muestra estacionada, en cm³

3.3.2.2 Peso específico aparente anhidro

El peso y volumen de las probetas se determinaron al 0 % de humedad, después de haber estado veinticuatro horas en estufa a 103 ± 2 °C, hasta peso constante.

$$D_o = P_o/V_o$$

Siendo:

D_o = Peso específico aparente anhidro (seca), en gr/cm^3

P_o = Peso de la muestra seca, en gr.

V_o = Volumen de la muestra seca, en cm^3 .

3.3.2.3 Peso específico básico

El peso específico básico se determinó relacionando el peso seco de la muestra con su volumen saturado. El volumen se midió una vez que se aseguró la saturación de las muestras, estando en agua por aproximadamente siete días.

$$D_b = P_o/V_s$$

Siendo:

D_b = Peso específico básico, en gr/cm^3

P_o = Peso de la muestra seca, en gr.

V_s = Volumen de la muestra saturado, en cm^3 .

3.3.3 Contracción de la madera.

En las determinaciones de las contracciones tangencial, radial y axial se han utilizado probetas de 2 centímetros de sección por 5 centímetros de longitud como indica la Norma IRAM N° 9543. Las dimensiones en todos los casos fueron medidas con calibre, tomándose dos por cada probeta, lado A y lado B, promediándose su valor. En la foto 3.5, probetas: 2, 3 y 4 impregnadas, 6, 7 y 8 sin impregnar para determinar contracción tangencial, radial y axial respectivamente, se observan en las probetas los clavos, la dimensión tomada corresponde a la distancia entre los mismos. Se realizaron 10 repeticiones para cada una de las direcciones estudiadas.

Para los cálculos de la contracción total, coeficiente de retractabilidad y anisotropía de contracción se utilizaron las siguientes fórmulas:

3.3.3.1 Contracción total

$$Ct = (Ls - Lo) / Ls \cdot 100$$

Siendo:

Ct = Contracción total, en %.

Ls = Longitud saturada, en cm.

Lo = Longitud anhidra, en cm.

3.3.3.2 Coeficiente de retractabilidad

El coeficiente de retractabilidad se determinó en los tres sentidos de la madera, axial, radial y tangencial, utilizando la siguiente formula:

$$Cr = C / H\%$$

Siendo:

Cr = Coeficiente de retractabilidad

C = Contracción desde el estado estacionado (H=12 %) al anhidro.

H% = Humedad de la probeta estacionada, en %.

3.3.3.3 Anisotropía de contracción

El coeficiente de anisotropía se calculó con la siguiente fórmula:

$$Ac = \beta_t / \beta_r$$

Siendo:

Ac = Anisotropía de la contracción

β_t = Contracción tangencial

β_r = Contracción radial

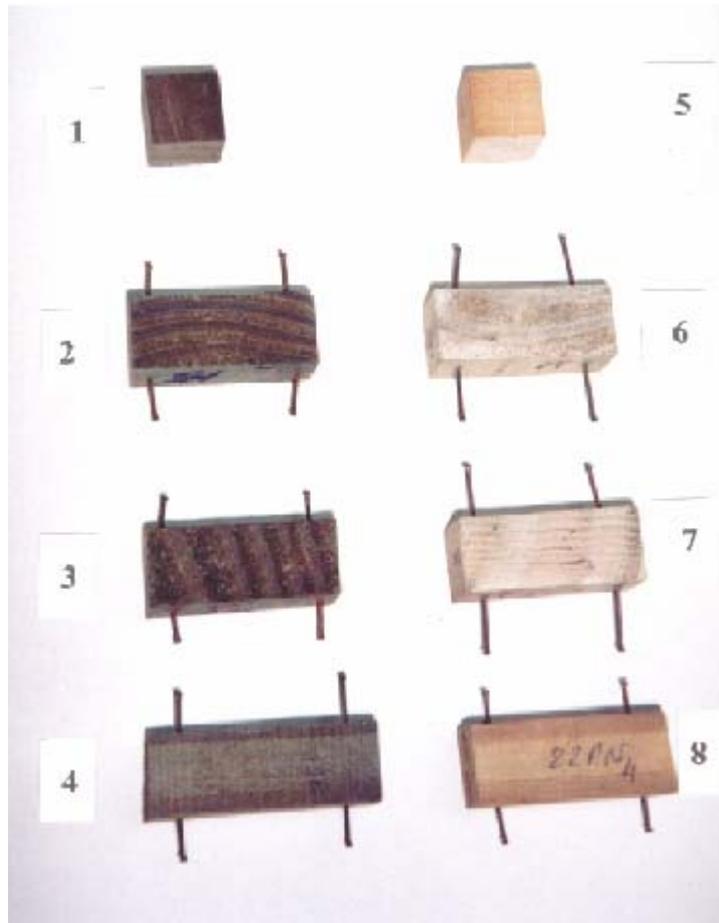


Foto 3.5: Probetas impregnadas y sin impregnar para determinaciones de pesos específicos y contracciones. Probetas: 1 y 5 para determinar pesos específicos; 2 y 6 contracción tangencial; 3 y 7 contracción radial; 4 y 8 contracción axial.

3.4 Ensayos mecánicos

Los ensayos mecánicos de flexión estática, compresión paralela a las fibras, dureza Janka, corte o cizallamiento paralelo a las fibras, tracción perpendicular a las fibras, clivaje o rajadura, fueron realizados según lo establecen las Normas DIN (Deutsche Industrie Norm) y ASTM (American Society for Testing and Materials). Se hicieron 10 repeticiones en cada caso. Para ello, se utilizó una máquina universal de ensayos, capacidad máxima de carga de 10 toneladas, con cuatro escalas de operación, 1, 2, 5 y 10 toneladas, conectada a un gabinete de trabajo y control de la misma fabricación, que permite apreciar cargas mínimas de 2.5 kilogramos. Posee

cilindro inscriptor de curvas de flexión y compresión y sus distintos accesorios permiten realizar los ensayos citados, la misma se presenta en la foto 3.6

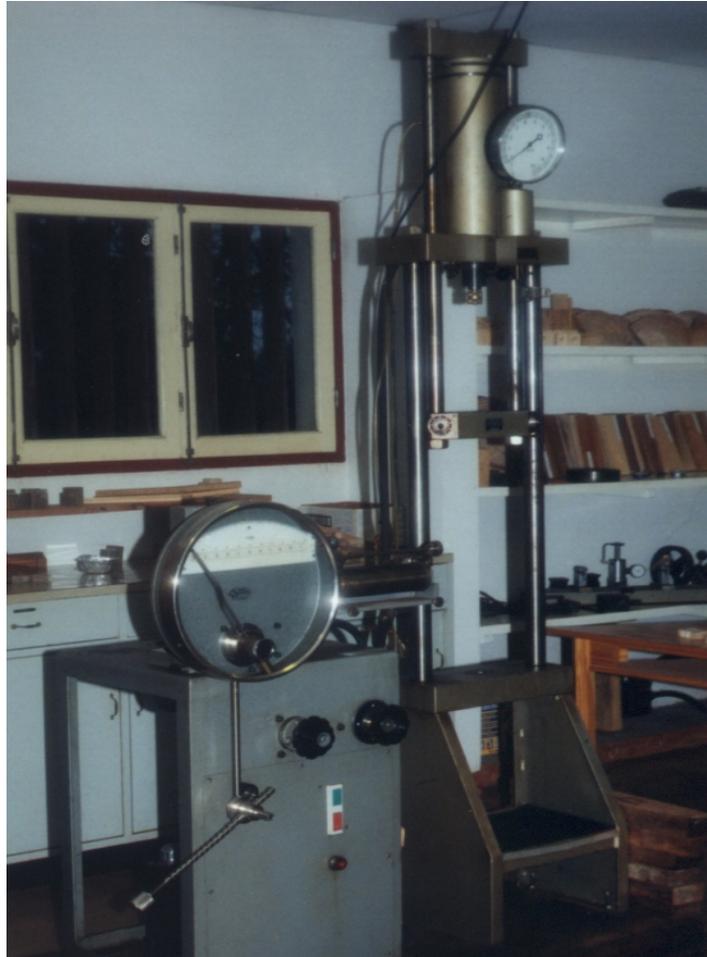


Foto 3.6: Maquina universal para ensayos mecánicos, Eldorado, 1999.

3.4.1 Flexión estática

Los ensayos fueron realizados según la Norma DIN N° 52186 (Deutsche Industrie Norm) que establece las siguientes dimensiones de las probetas: sección cuadrada de 2 cm de lado; longitud total de 36 cm; distancia entre apoyos de 30 cm. La carga debe ser aplicada tangencialmente a los anillos de crecimiento, a una velocidad de 400 a 500 kg/cm² por minuto. (Foto 3.7).

3.4.1.1 Módulo de rotura a la flexión estática

El módulo de rotura se calculó con la fórmula:

$$MR = 3PL/2bh^2$$

Siendo:

MR = modulo de rotura, en kg/cm².

P = Carga de rotura, en kg.

L = Longitud entre apoyos, en cm.

b = Base, en cm.

h = Altura, en cm.

3.4.1.2 Módulo de elasticidad

La carga en el límite proporcional y la deformación se determinaron con la ayuda de las curvas de elasticidad para cada probeta ensayada. En el anexo 1 se presentan los valores de cargas y deformaciones con sus correspondientes gráficos.

El módulo de elasticidad se calculó con la siguiente fórmula:

$$ME = P'L^3/4bh^3f$$

Siendo:

ME = Modulo de elasticidad, en kg/cm².

P' = Carga en el límite proporcional elástico, en kg.

L = Longitud entre apoyos, en cm.

b = Base, en cm.

h = Altura, en cm.

f = Deformación, en cm.

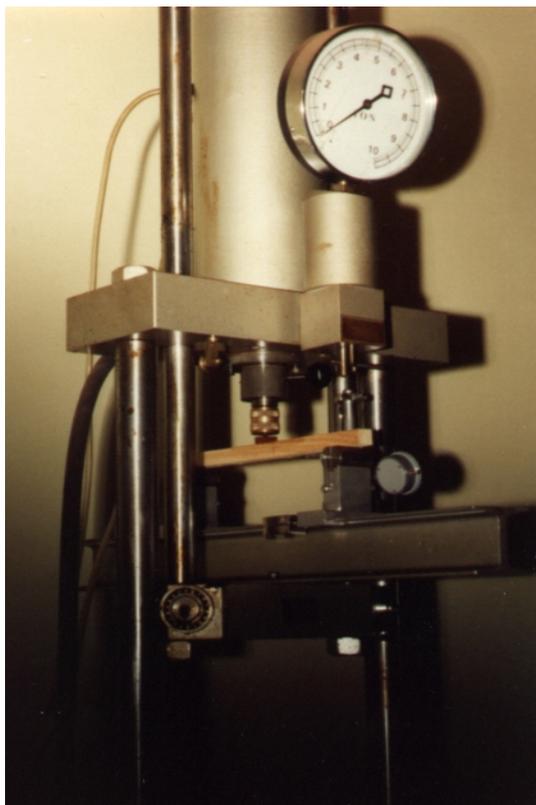


Foto 3.7: Probeta para ensayo de flexión estática ubicada en la maquina universal de ensayos, se observan los dispositivos y los apoyos móviles.

3.4.2 Compresión paralela a las fibras

Este ensayo se realizó según lo establece la norma DIN N° 52186, utilizando probetas de sección cuadrada de dos centímetros de lado y seis centímetros de longitud; (foto 3.8). La velocidad de avance del cabezal fue de 0.6 milímetro por minuto.

3.4.2.1 Modulo de rotura a la compresión

La tensión de rotura se determinó según la formula siguiente.

$$MR = P/S$$

Siendo:

MR = Modulo de rotura, en kg/cm^2 .

P = Carga de rotura, en kg.

S = Sección, en cm^2 .

3.4.2.2 Módulo de elasticidad

Para la determinar el módulo de elasticidad a la compresión, se construyeron las curvas de elasticidad para todas las probetas ensayadas, con el fin de obtener de ellas, las cargas y deformaciones en el límite proporcional. En el anexo 2 se presentan valores de carga, deformación y gráfico.

La fórmula usada fue la siguiente:

$$ME = P'L/Sf$$

Siendo:

ME = Modulo de elasticidad, en kg/cm².

P' = Carga en el límite proporcional elástico, en kg.

L = Longitud de la probeta, en cm.

S = Sección de la probeta, en cm².

f = Deformación, en cm.

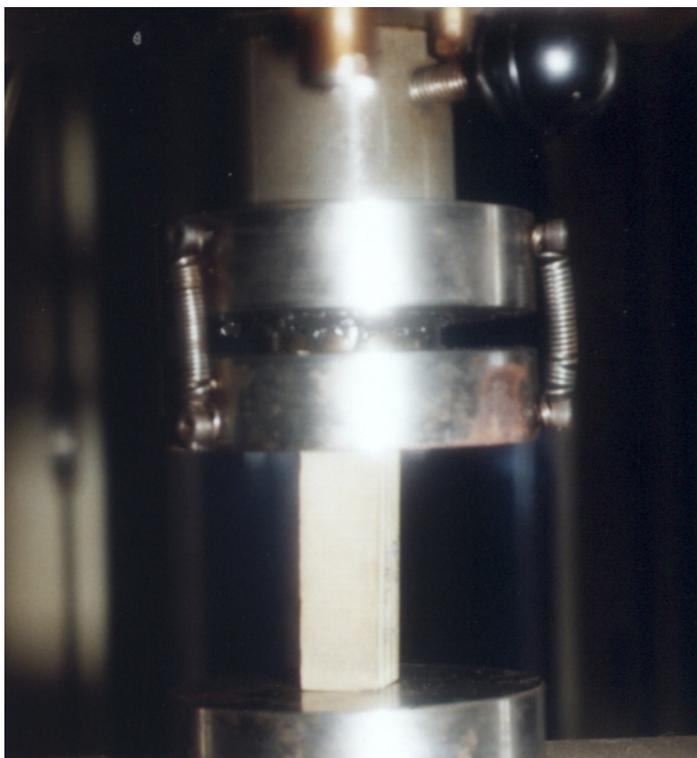


Foto 3.8: Probeta para ensayo de compresión paralela a las fibras, se observa la rótula que ejerce la presión sobre la madera apoyada sobre una base de metal.

3.4.3 Dureza Janka

Los ensayos de dureza se determinaron según establece la Norma ASTM 143/52, utilizándose probetas de sección cuadrada de 50 mm. de lado y 150 mm. de longitud, orientadas, de tal forma que las caras opuestas tengan dos superficies tangenciales, dos radiales y dos transversales. Se realizó un ensayo en cada superficie, obteniéndose medias para cada una de las superficies.

El ensayo consiste en la introducción de una semiesfera de acero de 11.28 mm de diámetro, que deja una impronta de sección circular de un centímetro cuadrado de superficie, en la foto 3.9 se observar la misma en una probeta durante el ensayo.

La dureza se expresa en kg/cm^2 . La velocidad de carga del ensayo fue de 6 mm/min.

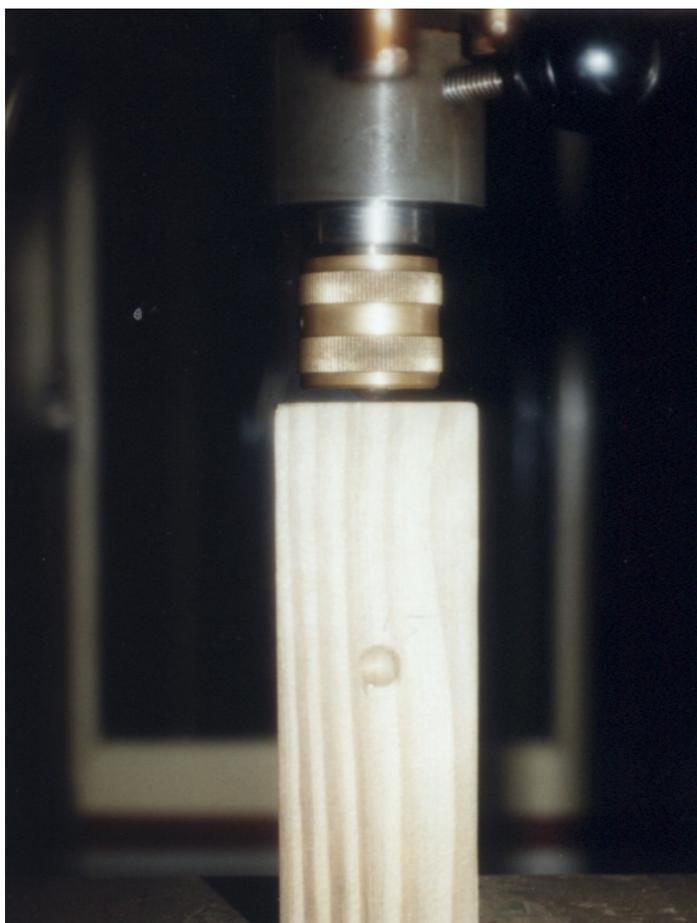


Foto 3.9: Probeta para ensayo de dureza Janka, se observa una impronta producida por la semiesfera de acero y el dispositivo de bronce que contiene la semiesfera.

3.4.4 Corte o cizallamiento paralelo a las fibras

Este ensayo se realizó aplicando la Norma ASTM 143/52, que establece las siguientes dimensiones para las probetas: 62.5 mm de longitud, presentando un escalón en uno de sus extremos de 19 mm de base por 12.5 mm de altura y longitud de 50 mm, donde se aplica la carga por medio de un pistón. El conjunto se encuentra en una armadura de acero como se puede ver en la foto 3.10.

La velocidad de ensayo según estipula la Norma, es 0.6 mm/min.

La tensión de corte se calculó de la siguiente forma:

$$T_c = P/S$$

Siendo:

T_c = Tensión de corte, en kg/cm^2 .

P = Carga de rotura, en kg.

S = Sección de la probeta, en cm^2 .

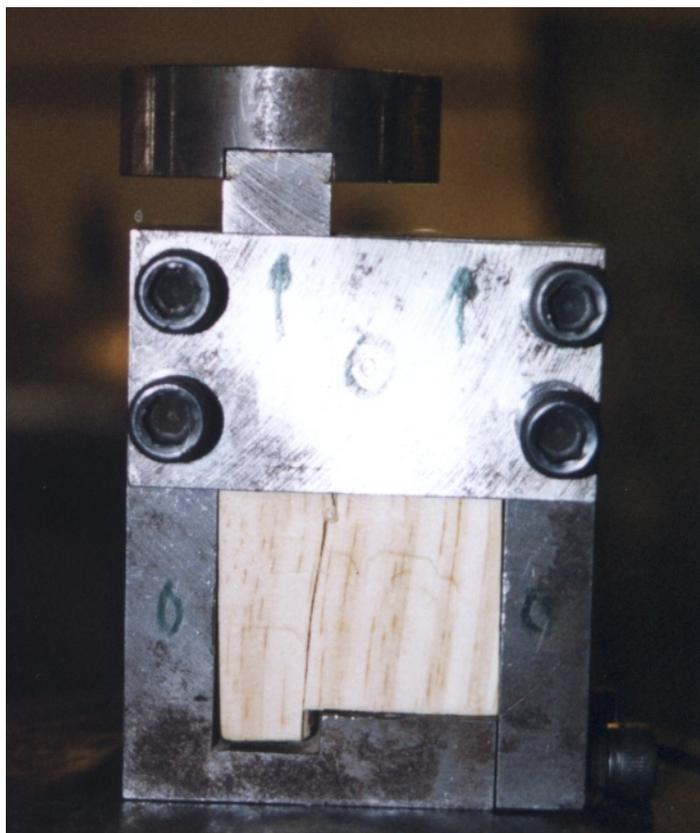


Foto 3.10: Probeta ensayada, corte paralelo a las fibras encerrada en la armadura de acero.

3.4.5 Tracción perpendicular a las fibras

Los ensayos se han realizado según Norma ASTM 143/52, que establece como velocidad de ensayo, 2.5 mm/min.

Las probetas deben ser de sección cuadrada de 50 mm de lado por 63 mm de longitud. En ambos extremos existen escotaduras de 25 mm de diámetro, donde se fijan las mordazas de tracción. Los centros se encuentran a 6 mm de las superficies transversales. La sección de tracción es de 25 mm por 50 mm que es el ancho de la probeta. Foto 3.11.

La tensión se calculó con la siguiente formula:

$$T_t = P/S$$

Siendo:

T_t = Tensión de corte a la tracción, en kg/cm^2

P = Carga de rotura, en kg.

S = Sección de la probeta, en cm^2 .

3.4.6 Clivaje o rajadura

Fue utilizada la Norma ASTM 143/52 que establece una velocidad de ensayo de 2.5 mm/min; requiere probetas prismáticas de sección cuadrada de 50 mm de lado y de 95 mm de longitud, uno de sus extremos cuenta con una escotadura de 25 mm de diámetro cuyo centro se ubica a 6 mm de la superficie transversal. Foto 3.12

Las probetas fueron preparadas de tal forma, que permitieron aplicar la tensión en el sentido radial y tangencial respecto a los anillos de crecimiento.

La tensión se calculó con la siguiente formula:

$$T_r = P/L$$

Siendo:

T_r = Tensión de corte a la rajadura, en kg/cm

P = Carga de rotura, en kg.

L = Longitud de la escotadura, en cm.

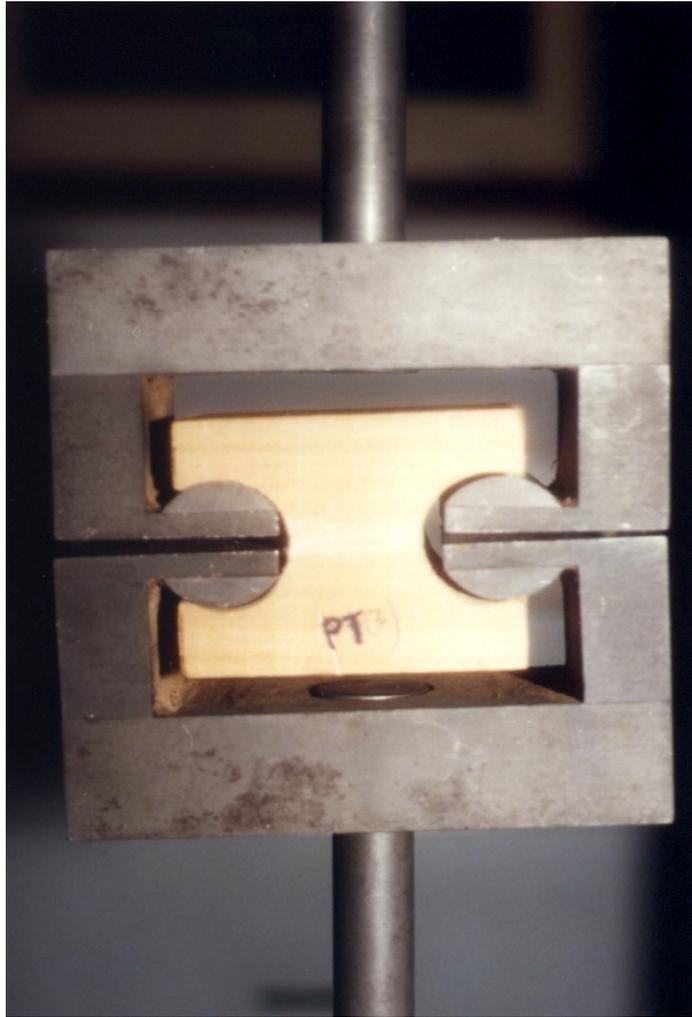


Foto 3.11: Probeta para ensayos de tracción perpendicular a las fibras dentro de la armadura de acero.

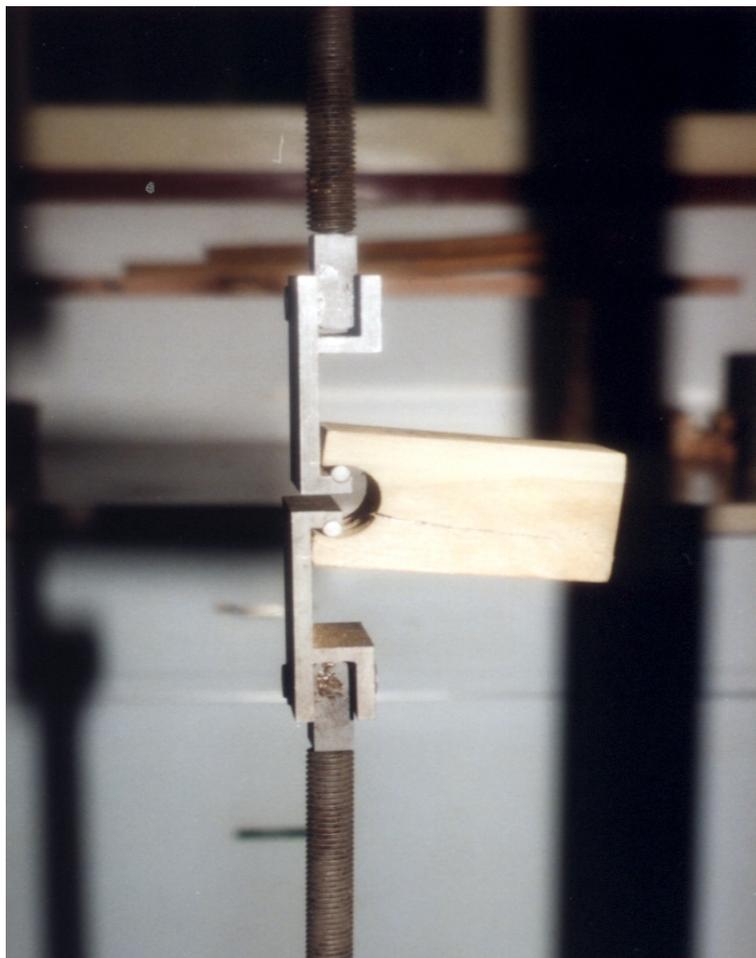


Foto 3.12: Probeta de clavaje en el momento de su rajadura, se observan los accesorios que producen la rotura.

3.5 PROCESAMIENTO DE LOS DATOS

Los valores de las propiedades físicas y mecánicas de las maderas sin impregnar e impregnadas de *Pinus taeda L.* fueron procesados en planillas de cálculo obteniéndose la media, el desvío standard y coeficiente de variación. Los análisis de varianza, se determinaron utilizando un programa estadístico.

4. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 Propiedades físicas de la madera

4.1.1 Peso específico

Los valores promedios obtenidos en la determinación de los pesos específicos aparente, anhidro y básico de la madera sin impregnar e impregnada a distintas concentraciones, se presentan en la tabla 4.1.

Tabla 4.1: Peso específico aparente, anhidro y básico (gr/cm^3) de la madera de *Pinus taeda L.* no impregnada e impregnada con retenciones de 5, 10 y 15 kg/m^3 .

Propiedades físicas		Madera sin impregnar	Madera impregnada con CCA		
			5 Kg/m^3	10 Kg/m^3	15 Kg/m^3
Pesos específicos (gr/cm^3)	Aparente	0,51	0,49	0,50	0,52
	D S	0,06	0,05	0,05	0,07
	C V (%)	11	11	10	13
	Anhidro	0,50	0,48	0,49	0,50
	D S	0,07	0,07	0,06	0,06
	C V (%)	13	15	12	13
	Básico	0,43	0,43	0,45	0,46
	D S	0,05	0,06	0,05	0,06
	C V (%)	11	13	12	12

DS= Desvío standard

CV= Coeficiente de variación

No se observan diferencias en las medias de los pesos específicos aparente y anhidro de las maderas impregnadas con respecto a la no impregnada.

El peso específico básico presenta un valor medio superior, en las maderas impregnadas con 10 y 15 kg/m^3 como se puede observar en la tabla 4.1 y en la figura 4.1. Esas diferencias no son estadísticamente significativas al 5 % de probabilidad. El aumento se debe a la retención del producto en la madera aumentando su peso mientras el volumen se mantiene constante.

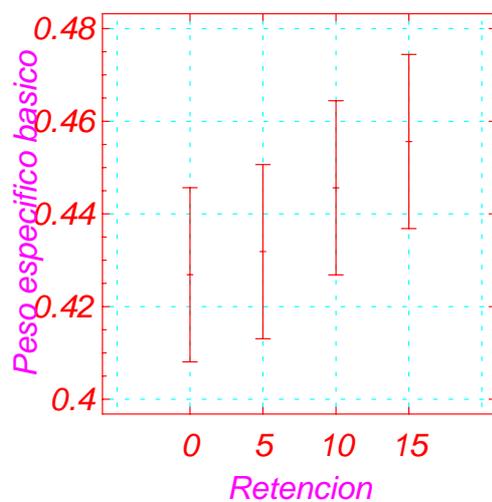


Figura 4.1: Comparación de medias del peso específico básico de la madera de *pinus taeda L.* sin tratar y tratado con 5, 10 y 15 kg/m³.

4.1.2 Contracción total

Los valores medios obtenidos de las contracciones lineales máximas, tangencial, radial, axial, coeficiente de contracción y anisotropía de contracción de las probetas ensayadas de *Pinus taeda L.* sin impregnar e impregnadas con distintas retenciones son presentados en la tabla 4.2.

Tabla 4.2: Contracción tangencial, radial y axial, coeficiente de retractabilidad tangencial y radial y anisotropía de contracción de la madera de *Pinus taeda L.* no impregnada e impregnada con CCA con retenciones de 5, 10 y 15 kg/m³.

Propiedades físicas		Madera sin impregnar	Madera impregnada con CCA		
			5 Kg/m ³	10 Kg/m ³	15 Kg/m ³
Contracciones totales (%)	Tangencial	6,24	5,90	5,54	5,80
	D S	1,11	0,94	1,14	0,71
	C V (%)	18	16	21	12
	Radial	3,82	3,77	3,54	3,57
	D S	0,81	0,88	0,61	0,58
	C V (%)	21	23	17	16
	Axial	0,48	0,39	0,35	0,41
	D S	0,15	0,15	0,16	0,16
	C V (%)	32	39	46	38
Coeficiente de retractabilidad	Tangencial	0,18	0,17	0,18	0,20
	D S	0,029	0,020	0,034	0,036
	C V (%)	15	11	18	17
	Radial	0,14	0,14	0,13	0,15
	D S	0,034	0,033	0,028	0,019
	C V (%)	24	23	21	12
Anisotropía de contracción	Rt/Rr	1,63	1,56	1,56	1,62

DS= Desvío standard

CV= Coeficiente de variación

Ct= Contracción tangencial

Cr= Contracción radial

En las contracciones tangenciales y radiales se observa una tendencia a disminuir las mismas al aumentar la retención del producto en las probetas ensayadas, pero esas diferencias no son estadísticamente significativas para niveles de confianza del 95 %. En las figuras 4.2 y 4.3 se pueden apreciar la disminución en las contracciones tangencial y radial.

La contracción en el sentido axial de las probetas con retenciones de 5 y 10 kg/m³ disminuyen sus medias en comparación a las probetas impregnadas con 15 kg/m³. Arrojando medias mayores las probetas sin impregnar y las impregnadas con la mayor retención. La diferencia es estadísticamente significativa al 5 % de probabilidad.

El coeficiente de contracción radial muestra diferencias significativas.

En el coeficiente de contracción tangencial la diferencia es significativa al 5% de probabilidad entre la madera sin impregnar y la impregnada con mayor retención.

En las maderas impregnadas la diferencia aparece entre las de menores retenciones (5 y 10 kg/m³) con la de mayor retención (15 kg/m³).

La anisotropía de contracción se mantiene prácticamente constante para todos los tratamientos.

En general puede observarse que las contracciones tangencial, radial son menores en las maderas impregnadas, coincidiendo con Tinto (1980) que cita que las maderas impregnadas con algunos preservantes son menos higroscópicas, y Hartford donde dice que las maderas impregnadas con CCA repelen el agua, por la formación de complejos trivalentes del cromo al fijarse en la madera.

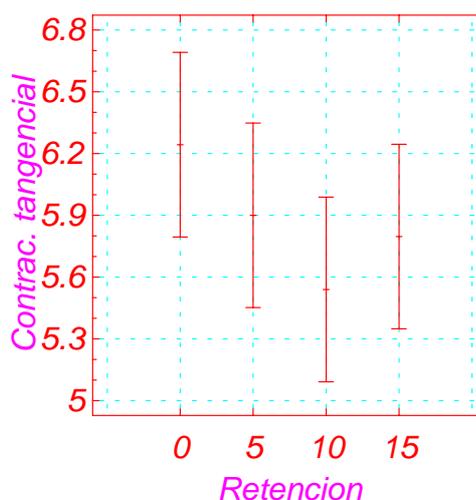


Figura 4.2: Comparación de medias de contracción tangencial de la madera de *pinus taeda* L. sin tratar y tratado con 5, 10 y 15 kg/m³.

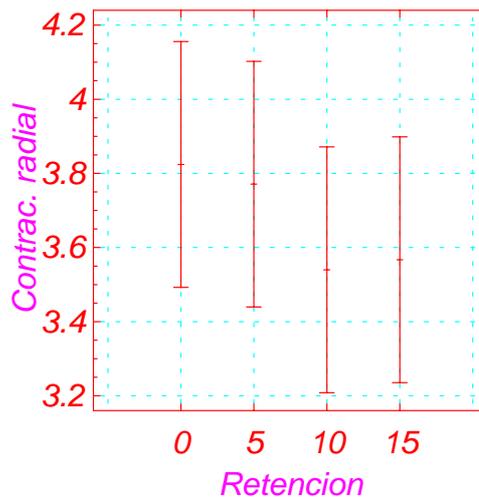


Figura 4.3: Comparación de medias de contracción radial de la madera de *pinus taeda L.* sin tratar y tratado con 5, 10 y 15 kg/m³.

4.2 Propiedades mecánicas de la madera

4.2.1 Flexión estática

Los valores medios obtenidos en los ensayos mecánicos de flexión estática con las maderas impregnadas y no impregnadas son presentados como módulo de rotura y módulo de elasticidad en la tabla 4.3.

Tabla 4.3: Modulo de rotura y de elasticidad para flexión estática de la madera de *Pinus taeda L.* no impregnada e impregnada con CCA con retenciones de 5, 10 y 15 kg/m³.

Propiedades mecánicas		Madera sin impregnar	Madera impregnada con CCA		
			5 Kg/m ³	10 Kg/m ³	15 Kg/m ³
Flexión estática (Kg/cm ²)	Módulo de Rotura	547.06	466,87	474.30	468.52
	D S	175.68	104,56	173.38	139.44
	C V (%)	32	22	37	30
	Módulo de elasticidad	39260.54	32023.72	40346.83	42228.58
	D S	10858.30	12173.71	1487.36	14243.37
	C V (%)	28	38	37	34

Se observa que los módulos de rotura a la flexión estática en las maderas impregnadas disminuyen sus medias respecto a la madera no impregnada, las diferencias no son significativas. La pérdida de resistencia al módulo de rotura determinada coincide con Pizzi, A. et al, quién manifiesta que las maderas impregnadas pierden tenacidad.

Los módulos de elasticidad incrementan en la madera impregnada, con 10 y 15 kg/m³, estadísticamente no son significativos, como se ve en la figura 4.4.

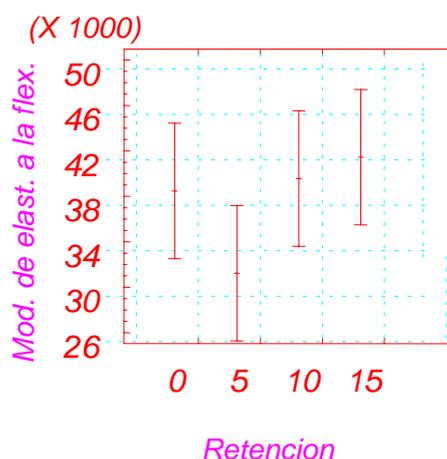


Figura 4.4: Comparación de medias del módulo de elasticidad a la flexión estática de la madera de *Pinus taeda L.* sin tratar y tratada con 5, 10 y 15 kg/m³.

4.2.2 Compresión paralela a las fibras

Los resultados obtenidos en los ensayos mecánicos de compresión paralela a las fibras de *Pinus taeda L.* son presentados como módulo de rotura y módulo de elasticidad en la tabla 4.4.

Tabla 4.4: Modulo de rotura y modulo de elasticidad para compresión paralela a las fibras de la madera de *Pinus taeda L.* no impregnada e impregnada con CCA, con retenciones de 5, 10 y 15 kg/m³.

Propiedades mecánicas		Madera sin impregnar	Madera impregnada con CCA		
			5 Kg/m ³	10 Kg/m ³	15 Kg/m ³
Compresión paralela a las fibras (Kg/cm ²)	Módulo de Rotura	357.62	336.95	321.42	297.06
	D S	99.78	81.36	65.77	83.07
	C V (%)	28	24	20	28
	Módulo de elasticidad	31360.93	24349,38	19417,64	18399.40
	D S	1192.86	8518,47	7338,18	4755.55
	C V (%)	38	35	38	26

En los módulos de rotura para la compresión paralela a las fibras se observa una leve disminución en las medias de las maderas impregnadas respecto a la no impregnada, concide con Wilkinson, (1979).

Los módulos de elasticidad a la compresión disminuyen en las maderas impregnadas. Aparecen diferencias significativas entre las maderas sin impregnar y las impregnadas con 5, 10 y 15 kg/m³.

En general, se puede decir que la impregnación disminuye la resistencia a la compresión, como puede observarse en la figura 4.5. Coincidiendo con wilkinson (1979).

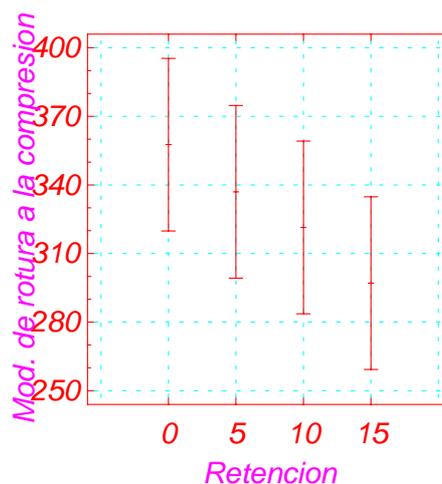


Figura 4.5: Comparación de medias del módulo de rotura para la compresión paralela a las fibras de la madera de *pinus taeda* L. sin tratar y tratada con 5, 10 y 15 kg/m³.

4.2.3 Dureza Janka

Los valores obtenidos en los ensayos de dureza Janka en la superficie transversal, tangencial y radial se presentan en la tabla 4.5.

Tabla 4.5: Dureza Janka tangencial, radial y transversal de la madera de *Pinus taeda* L. no impregnada e impregnada con CCA con diferentes retenciones por m³.

Propiedades mecánicas		Madera sin impregnar	Madera impregnada con CCA		
			5 Kg/m ³	10 Kg/m ³	15 Kg/m ³
Dureza janka (Kg/cm ²)	Tangencial	297.25	294.30	354.10	325.2
	D S	85.61	40.07	75.0	81.95
	C V (%)	29	14	21	25
	Radial	261.50	277.90	296.70	251.00
	D S	48.16	35.02	46.90	64.30
	C V (%)	18	13	16	26
	Transversal	299.45	359.00	462.40	462.60
	D S	44.03	62.31	90.72	84.64
C V (%)	15	17	20	18	

Las maderas impregnadas presentan medias mayores que la madera no impregnada a la dureza en la superficie tangencial, como se ve en la figura 4.6.

En la dureza radial se observa un pequeño aumento en las medias de las maderas impregnadas. No es estadísticamente significativa.

La dureza transversal presenta diferencia significativa, entre la madera sin impregnar y las impregnadas con 10 y 15 kg/m³; entre las maderas impregnadas la diferencia ocurre con la de menor retención (5 kg/m³) y las de 10 y 15 kg/m³, presentando estas últimas valores superiores, en la figura 4.7 se pueden apreciar esas diferencias.

La dureza de la madera aumenta con las mayores retenciones del producto lo que concuerda con Wilkinson (1979).

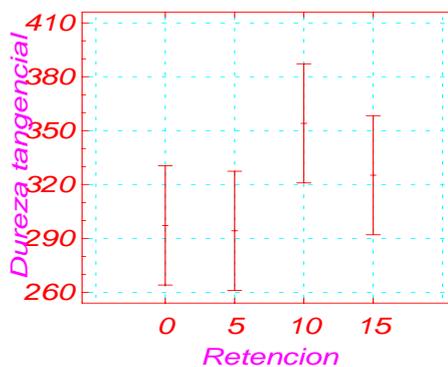


Figura 4.6: Comparación de medias de dureza Janka tangencial de la madera de *pinus taeda* L. sin tratar y tratada con 5, 10 y 15 kg/m³

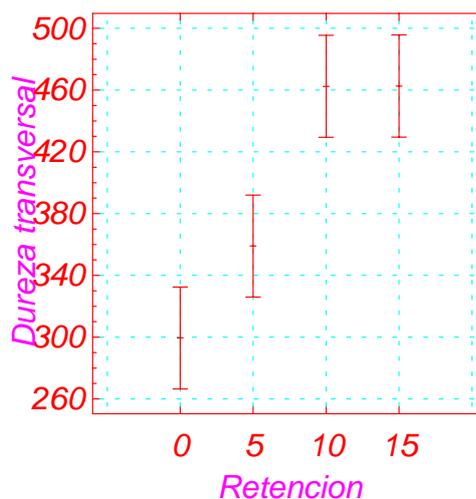


Figura 4.7: Comparación de medias de dureza Janka transversal de la madera de *Pinus taeda* L. sin tratar y tratada con 5, 10 y 15 kg/m³

4.2.4 Corte paralelo a las fibras

Los resultados obtenidos en los ensayos mecánicos de corte paralelo a las fibras, en el sentido tangencial y radial se pueden ver en la tabla 4.6.

Tabla 4.6 Corte paralelo a las fibras tangencial y radial de la madera de *Pinus taeda* L. no impregnada e impregnada con CCA con retenciones de 5, 10 y 15 kg/m³.

Propiedades mecánicas	Madera sin impregnar	Madera impregnada con CCA			
		5 Kg/m ³	10 Kg/m ³	15 Kg/m ³	
Corte o cizallamiento paralelo a las fibras (Kg/cm ²)	Tangencial	100.36	105.57	106.74	104.66
	D S	5.40	15.69	8.67	11.94
	C V (%)	5	15	8	11
	Radial	93.09	92.29	93.89	92.39
	D S	11.81	8.48	14.72	18,34
	C V (%)	13	9	16	20

En el corte tangencial la resistencia es mayor en las maderas impregnadas en relación con la madera sin impregnar, estadísticamente no es significativo.

La resistencia al corte radial no muestra variaciones entre los valores de las maderas impregnadas y no impregnadas.

4.2.5 Tracción perpendicular a las fibras

Los resultados obtenidos en los ensayos a la tracción perpendicular a las fibras, son presentados en la tabla 4.7.

Con el aumento de la retención los valores de la resistencia a la tracción en el sentido radial aumentan pero no existe diferencia significativa, sin embargo en el sentido tangencial la resistencia disminuye al aumentar la retención pero sin diferencia significativa. Este resultado se asemeja con lo expuesto por Wilkinson, (1979).

Tabla 4.7: Tracción perpendicular a las fibras en el sentido tangencial y radial de la madera de *Pinus taeda* L. no impregnada e impregnada con CCA con retenciones de 5, 10 y 15 kg/m³.

Propiedades mecánicas		Madera sin impregnar	Madera impregnada con CCA		
			5 Kg/m ³	10 Kg/m ³	15 Kg/m ³
Tracción perpendicular a las fibras (Kg/cm ²)	Tangencial	35.86	31.08	31.68	31.74
	D S	5.49	3.59	7.18	7.41
	C V (%)	15	12	23	23
	Radial	41.19	38.77	43.62	43.36
	D S	5.33	6.33	7.01	8.59
	C V (%)	13	16	16	20

4.2.6 Clivaje o rajadura

Los resultados se presentan en la tabla 4.8. La resistencia al clivaje, en el sentido tangencial, de la madera sin impregnar es superior que las maderas impregnadas, la diferencia es significativa; entre las maderas impregnadas, la diferencia ocurre con la menor retención y las de mayores retenciones.

En el sentido radial la resistencia es mayor en la madera sin tratar y se aprecia una leve disminución de la resistencia al clivaje en las maderas impregnadas. Entre la madera testigo y la madera impregnada con 5 kg/m³ se observan diferencias significativas.

Tabla 4.8: Clivaje o rajadura tangencial y radial de la madera de *Pinus taeda L.* no impregnada e impregnada con CCA con retenciones de 5, 10 y 15 kg/m³.

Propiedades mecánicas		Madera sin impregnar	Madera impregnada con CCA		
			5 Kg/m ³	10 Kg/m ³	15 Kg/m ³
Clivaje o rajadura (Kg/cm)	Tangencial	41.78	28.44	36.42	37.89
	D S	4.43	2.84	4,28	4.61
	C V (%)	11	10	12	12
	Radial	48.11	40.52	45.51	42.07
	D S	8.58	8.36	5.49	6.59
	C V (%)	18	21	12	16

En el ANEXO 3 se presentan para cada una de las propiedades las tablas de ANOVA, tabla de medias y comparación entre medias.

5 CONCLUSIONES

Del análisis de los resultados del presente trabajo, en el que se estudia el efecto de la impregnación a presión con CCA con distintas retenciones en la madera, sobre las propiedades físicas y mecánicas de la madera del *Pinus taeda L.* se concluye:

- 4) Las propiedades físicas de la madera, como ser los pesos específicos aparente estacionado, anhidro y básico no son afectadas con las retenciones del CCA.
- 5) Las contracciones tanto en el sentido tangencial como radial en las maderas impregnadas son menores, significando esto una ventaja para las mismas.
- 6) Las propiedades mecánicas de resistencia a la flexión estática, compresión paralela a las fibras, tracción perpendicular a las fibras, dureza Janka radial y tangencial y corte paralelo radial, no han denotado diferencias estadísticamente significativas con respecto a la madera sin impregnar, Sin embargo el tratamiento ha producido un efecto positivo en la dureza Janka transversal y en el corte paralelo a las fibras tangencial.

El módulo de rotura a la flexión estática de las maderas impregnadas ha experimentado una pequeña disminución en sus valores.

El módulo de elasticidad a la flexión estática logró un leve aumento en sus valores.

El módulo de rotura y el módulo de elasticidad a la compresión paralela a las fibras de las maderas impregnadas fueron afectadas negativamente al reducir sus resultados.

En los ensayos de dureza, en las superficies Tangencial, Radial y transversal, la impregnación con el CCA actuó positivamente aumentando sus valores.

La resistencia al corte paralelo a las fibras ha incrementado sus valores.

La tracción perpendicular a las fibras en el sentido tangencial de las maderas tratadas obtuvo una influencia negativa.

La tracción perpendicular a las fibras en el sentido radial ha mostrado un pequeño aumento en sus valores.

La resistencia al clivaje o rajadura fue afectado en forma negativa por la impregnación dando valores menores.

Desde el punto de vista de la construcción la madera del *Pinus taeda L.* no es afectada en sus propiedades con las retenciones de 5, 10 y 15 kg/m³ impregnada a una presión de 7 kg/cm².

BLIBLIOGRAFIA

ASTM (American Society for Testing and Materials), ASTM- D 143-65- small clear specimens of timber.

AWPA (American Wood Preservers Asociation), AWPA Standard P5/86 - Standards for waterborne Preservatives.

Cavalcante, M.S.: "Manual de preservacao de madeiras". Volumen I. Instituto de pesquisas tecnológicas do estado de Sao Paulo. Pg. 9- 31. (1986).

Celulosa Argentina S.A. "Esencias Forestales no autóctonas cultivadas en la Argentina de aplicación ornamental y/o industrial" (1993).

Coronel, E. O.: Fundamentos de las propiedades físicas y mecánicas de las maderas. Primera parte: Fundamentos de las propiedades físicas de la madera. Instituto de tecnología de la madera, Facultad de ciencias forestales. Santiago del Estero. Argentina. 1994. Pg. 187.

Coronel, E. O.: Fundamentos de las propiedades físicas y mecánicas de las maderas. Segunda parte: Fundamentos de las propiedades mecánicas de la madera. Instituto de tecnología de la madera, Facultad de ciencias forestales. Santiago del Estero. Argentina. 1994. Pg. 335.

Chiani, R. G. : "Sistemas de preservación de maderas". Vetas, N° 205, (1999). Pg. 20-24

DIN (Deutsch Industrie Norm) N° 52186.

Esau, K.: Anatomía de las plantas con semilla. Universidad de California, Santa Barbara, California. E.U.A. 1993. Pg. 512

Fahlstrom, G.B.: "Copfer - Chrome - Arsenate Wood preservatives" a study of the influence of composition on service perfomance. Repr. Proceedings of American Wood peservers Association. Pg. 6 (1978).

Gonzalez, R. A.; Pereyra, O.; Suirezs, T.M.: "Propiedades Físicas y Mecánicas de la madera de Pinus elliottii reforestado en la provincia de Misiones, Argentina". Yvyraretá Año 3 – N° 3. Pg.5 - 19. (1992).

Gonzalez, R. A.; Pereyra, O.; Suirezs, T.M.: "Propiedades Físicas y Mecánicas de la madera de Pinus taeda reforestado en la provincia de Misiones, Argentina". Yvyraretá Año 4- N° 4, Pg. 4-8. (1993).

Hartford, W.H.: " Chemical and Physical Propierties of wood Preservatives and Wood - Peservatives systems. Wood deterioration and its prevention ly preservite treatmentss. Volumen II, Presrvatives and presrvatives systems. Syracuse University Press. Pg. 118, (1973).

Hartford, W.H.: "The environmental impact of wood preservation". Repr. American Wood Preservs Association. Pg. 7. (1976).

Hunt, G.M.; Garaatt, G.A.: " Wood preservation ". 2^{da} ed., New York, Mc Graw - Hill Book company, Inc., (1953). 417 p.

IRAM 9515. Características de los preservantes solubles en agua. (1991).

IRAM 9532. Método de determinación de la humedad. (1963).

IRAM 9543. Método de determinación de las contracciones totales; axial, radial y tangencial y el punto de saturación de las fibras. (1966).

IRAM 9544. Método de la determinación de la densidad aparente. (1973).

IRAM 9600. Madera aserradas preservadas por los métodos presión o de presión vacío. (1992).

IRAM 9601. Parte I. Madera para construcción preservada contra los agentes biológicos. (1991).

IRAM 9601. Parte II. Madera para construcción preservada contra los agentes biológicos. (1991).

Kramer K. G.: Compendio de la conservación de maderas, Santander 1958. Pg.526

Lepage, E.S.: "Manual de Preservacao de madeiras". Volumen I. Instituto de pesquisas tecnológicas do Estado de Sao Paulo. Pg.1-7. (1996).

Martinez, J.B.: "Conservación de madera en sus aspectos teóricos, industrial y económico". Volumen I. Ministerio de Agricultura. Instituto forestal de investigaciones y experiencias. Madrid. Pg.550. (1952).

Muñiz, G. I.: Caracterizacao e desenvollvimento de modelos para estimar las propiedades e o comportamiento na secagem da madeira de Pinus elliottii Engellm. e Pinus taeda L. Curitiba 1993. Pg.235.

Pelagallo, A.: "La impregnación ofrece seguridad para usar madera en la construcción". Asora N°11, Año 3, Argentina. Pg.38- 40. (1997).

Pizzi, A. et alii. : “ Experimental variations in the distribution of CCA preservative in lignin and holocellulose as a function of treating conditions (temperature, concentration, Ph, species and time). Stockholm. The international research Group on Wood Preservation. Working Group III: Preservatives and methods of treatment. Pg. 22. (1984).

Ramirez, I. G. : "El proceso de preservación contribuye a prolongar la vida útil de la madera". Asora (Asociación de fabricantes y representantes de maquinas, equipos y herramientas para la industria de la madera). Año 2, N° 7, Pg.18-20, (1996)

Ramirez, I. G. : "La preservación contribuye a prolongar la vida útil y el valor de la madera". Asora. Año 2, N° 8, Pg. 28-30, (1996).

Ramirez, I. G. : "Características físicas y mecánicas de maderas cultivadas". Asora, Año 2, N° 9. Pg. 26-27 (1996).

SAGPyA: Argentina, oportunidades de inversión en bosques cultivados. Proyecto forestal de desarrollo, Buenos Aires, 1999. Pg. 77.

SAGPyA: Extracción forestal y producción en la Argentina. Guía forestal. Segunda edición 1999. Pg. 69.

SAGPyA: Dirección de forestación. Area de economía e información. Industria de impregnación. 1996. Pg. 19.

Tinto, J.C. : "Aporte del sector forestal a la construcción de viviendas". Folleto técnico forestal N° 44. Cuadro N° 7, Pg. 140, (1977).

Tinto, J.C. : "Manual para tratamiento protectores de productos forestales". Consejo General de inversiones. Argentina. Pg. 62. (1980).

Tuset, R. Y Duran, F.: Manual de maderas comerciales, equipos y procesos de utilización. Editorial Agropecuaria, Hemisferio Sur S.R.L. Montevideo.1979.

Wilkinson, J. G. : Industrial Timber preservation. Associated business press. London. Pg. 532. (1979).