

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 máquina 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.

Palabras clave: *Pinus taeda*, impregnación con CCA, propiedades físico-mecánicas,

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 middle diameter 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 were 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 were smaller, meaning this an advantage for the same.
- 3) The mechanical resistance properties to the statics flexion, parallel compression to the fibers, perpendicular traction to the fibers, hardness tangential and radial Yanka and paralell 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.

Key words: *Pinus taeda*, impregnation with CCA, Physics and mechanical proprieties.

DETERMINACIÓN DE TIEMPOS DE SECADO POR DIFUSIÓN EN CÁMARAS CONVENCIONALES PARA *Pinus taeda* IMPLANTADO DE MISIONES

DETERMINATION OF DRYING TIME BY DIFFUSION IN CONVENTIONAL KILNS FOR *Pinus taeda* IMPLANTED IN MISIONES

M.Sc.Ciencias de la Madera, Celulosa y Papel
Orientación: Tecnología de la madera

Constantino Zaderenko

Directo : Mter. Ing. José María Paz; Codirector : Dra. Graciela Inés Bolzón de Muñiz

RESUMEN

El secado es un proceso importante para la conservación, estabilidad dimensional, resistencia mecánica y procesos de remanufactura de la madera. Las cámaras de secado más utilizadas en la industria de la madera son de temperatura convencional, mientras que el secado en cámaras de alta temperatura se limita a madera estructural.

El proceso de secado se controla mediante programas que definen condiciones de temperatura y humedad relativa que se van modificando en función del contenido de humedad alcanzado por la madera o del tiempo transcurrido, lo que provoca la eliminación gradual del contenido de humedad de la madera. El avance de programas por tiempo resulta más práctico por razones operativas y económicas. La determinación de programas de secado con avance por tiempo se realiza empleando el método de prueba y error para conocer el comportamiento de la madera y de la cámara de secado lo que demanda repetidos ensayos, pone en riesgo la calidad de grandes volúmenes de madera y reduce la producción de madera seca durante el período de pruebas.

La aplicación de la ecuación, que se deduce de considerar el secado de la madera como un proceso de difusión pura, permite acelerar la obtención de programas de secado con avance por tiempo y la evaluación de la eficiencia de programas en uso. Esta ecuación, propuesta por Tuttle en 1925, fue desarrollada y aplicada por Kollmann en 1935 y por Hildebrand en 1970. Malmquist profundizó los estudios de esta tema entre 1974 y 1991 y aplicó con éxito el concepto de secado por difusión en la confección de programas con avance por tiempo, que se están utilizando en Suecia desde el año 1981.

En el presente trabajo de Tesis se realizó el ajuste estadístico de la ecuación para la determinación de tiempo del modelo matemático de secado por difusión, que relaciona la humedad inicial, el espesor de la madera y los parámetros del programa de secado con la duración de este proceso.

Se emplearon muestras testigo de *Pinus taeda* de una forestación de 14 años de la localidad de Montecarlo, Misiones. Se seleccionó madera con contenidos de humedad inicial entre 80 % y 180 %, de diferentes espesores en medidas estándar de ½" (15 mm) a 2" (57 mm), utilizando programas de secado en el rango de temperaturas comprendido entre 70°C y 90°C, con potenciales de secado de 3 a 15, y con una velocidad de circulación de aire de 4 m/s.

Los datos obtenidos se procesaron estadísticamente mediante análisis de regresión no lineal, y se obtuvo un 96 % de ajuste de la ecuación. La ecuación que permite estimar, dentro de los niveles analizados de las variables, el tiempo "Z" de secado de *Pinus taeda* implantado de la provincia de Misiones en cámaras convencionales, conociendo el contenido de humedad inicial, contenido de humedad

final, espesor de la madera, temperatura y potencial de secado es:

$$Z = \frac{1}{0,0499} \cdot \left(\ln \frac{CHI}{CHF} \right) \cdot \left(\frac{e}{25} \right)^{0,45} \cdot \left(\frac{65}{\theta} \right)^{0,58} \cdot \left(\frac{8}{C_s} \right)^{0,32}$$

Donde:

CHI: contenido de humedad inicial (%)

CHF: contenido de humedad final (%)

e: espesor (mm)

θ : temperatura (°C)

C_s : Potencial de secado

El coeficiente "α", característico de la especie y del equipo de secado utilizado, determinado para *Pinus taeda* en un secadero convencional de la más reciente tecnología, fue de 0,0499.

Los exponentes de los factores de corrección por espesor, temperatura y potencial de secado obtenidos fueron 0,45, 0,58 y 0,32 respectivamente.

El valor medio de densidad, determinado para la madera de *Pinus taeda* ensayada, fue 0,402g/cm³ y para el punto de saturación de las fibras 27,9 %.

El control de calidad realizado sobre las 83 muestras testigo ensayadas dio un 2,4 % de defectos en el secado, inferior al 5 %, considerado aceptable en la industria.

Se establecieron distintas formas de aplicación práctica de la ecuación, en forma gráfica o analítica, con el objetivo es reducir tiempos de secado en forma significativa, sin modificar la calidad de secado, con la consiguiente reducción de necesidad de inversión en equipos de secado y costos operativos de proceso.

Las principales aplicaciones de la ecuación de tiempos de secado por difusión son:

- 1- Conversión de programas de secado con avance por contenido de humedad de la madera a programas de avance por tiempo.
- 2- Ajuste del tiempo de secado de acuerdo al contenido de humedad inicial de la madera.
- 3- Evaluación de programas de secado empíricos en uso.
- 4- Confección de nuevos programas de secado.

Palabras clave: Densidad de *Pinus taeda*, Misiones, calidad de secado de madera.

SUMMARY

Drying of wood is an important process for its conservation, dimensional stability, mechanical resistance and further processes of remanufacture. The kilns that find the most extensive application in wood industry are of the conventional temperature type, while the use of high temperature drying kilns is limited to structural wood.

The drying process is controlled following schedules which establish changing conditions of

temperature and relative humidity modified according to the humidity content reached by the wood or of the elapsed time, which causes a gradual elimination of the humidity content of the wood. Advancing schedules by time is more convenient from operative and economic standpoint. Determination of drying schedules advanced by time is normally carried out using the "try and error" method, to establish the behavior of wood and of the drying kiln, which demands repeated rehearsals, puts under risk the quality of large volumes of wood and reduces production of dry wood during tests periods. Application of the equation derived from considering the drying of wood a pure diffusion process permits to accelerate the definition of drying schedules advanced by time and also to evaluate the efficiency of programs in use. This equation, proposed by Tuttle in 1925, was further studied and applied by Kollmann in 1935 and by Hildebrand in 1970. Malmquist conducted research of this topic between 1974 and 1991 and have successfully applied the concept of diffusion drying in developing schedules advanced by time which are successfully used in Sweden since 1981.

In this present thesis work a statistical adjustment of the equation for the determination of drying time was carried out for the mathematical model of drying by diffusion which relates initial humidity, thickness of the wood and the parameters of the drying schedule, with the duration of this process.

The study was done using drying samples of *Pinus taeda* taken from wood of a 14 years old afforestation in the department of Montecarlo, Misiones. Wood was selected having different initial humidity contents ranging from 80% to 180% and thickness in standard increasing dimensions from ½" (15 mm) to 2" (57 mm).

The study was conducted in industrial scale utilizing a drying kiln of modern technology, with 120 m³ of wood capacity, temperatures from 70°C to 90°C, drying potentials between 3 and 15 and air circulation speed of 4 m/s.

Obtained data was statistically processed by means of a non lineal regression analysis, and 96 % adjustment of the equation was achieved.

The equation that permits to estimate, inside the analyzed variables range, the drying time "Z" for *Pinus taeda*, planted in the Province of Misiones, dried in conventional kilns, knowing the initial humidity content, final humidity content, thickness of the wood, temperature and drying potential is:

$$Z = \frac{1}{0,0499} \cdot \left(\ln \frac{CH_i}{CH_f} \right) \cdot \left(\frac{e}{25} \right)^{0,45} \cdot \left(\frac{65}{\theta} \right)^{0,58} \cdot \left(\frac{8}{C_s} \right)^{0,32}$$

Where:

CH_i: Initial humidity content (%)

CH_f: Final humidity content (%)

e: Thickness (mm)

θ: Temperature (°C)

C_s: Drying potential

The "alpha", coefficient, characteristic of the species and of the drying system used, for *Pinus taeda* from Misiones, with conventional drying in a kiln of the most recent technology, was determined as equal to 0,0499.

The correction factors exponents for: thickness, temperature and drying potential were 0,45, 0,58 and 0,32 respectively.

The average density value for *Pinus taeda* wood, was 0,402 g/cm³ and fiber saturation point 27,9 %.

Quality control performed on 83 drying samples showed 2,4 % of drying defects, less than the 5 % considered acceptable in industry.

Different practical application of this equation were proposed, in analytic or graphic forms, with the objective to reduce drying time significantly, without modifying drying quality, allowing important savings in equipment investment, and process operation costs. The main applications of the equation for drying time determined by diffusion are:

1- Conversión of drying schedules advanced by humidity content to schedules advanced by time.

2 - Adjustment of drying time in an existing schedule, according to the initial humidity content of the wood.

3 - Evaluation of performance for empiric drying schedules in use.

4 - Establishing new drying schedules.

Key words: *Pinus taeda* density, Misiones, Drying quality of wood.