

UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA

FACULTAD DE AGRONOMIA

EVALUACION DE RETARDANTES DEL FUEGO●
EN MADERA ASERRADA SOLIDA DE PINO (*Pinus taeda*)
Y EUCALIFTO (*Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden)

por

Adriana WILSON CUELLO

TESIS presentada como uno de
los requisitos para obtener el
título de Ingeniera Agrónoma

MONTEVIDEO
URUGUAY
1999

Tesis aprobada por:

Director: _____
Ing. Agr. Carlos Enrique Mantero Alvarez

Ing. Agr. Juan Andrés Burgueño Ferreira

Gabriela Meroni Toledo

Fecha: _____

Autora: _____
Adriana Wilson Cuello

AGRADECIMIENTOS

- Al Ing. Agr. Carlos Mantero por haber sido una guía permanente durante toda la realización del trabajo.

- Al Ing. Agr. Juan Burgueño por haber realizado el análisis estadístico del trabajo.

- A Gabriela Meroni, docente de la Cátedra de Química, por aportar material valiosísimo para la tesis, al que de otra manera no hubiera podido acceder.

- A mis padres, por el apoyo que me brindaron durante mi carrera universitaria y siempre, y especialmente a mi padre por ayudarme con la traducción de la mayoría de los artículos que en el presente estudio se reflejan.

- A mi amigo Alejandro Castroman, quien me acompañó durante la realización de las pruebas de ignición.

- A Robert White, Jefe de Planeamiento del Forest Products Laboratory, Madison, Estados Unidos, que como experto en investigación sobre tecnología de productos forestales, gentilmente respondió a todas las preguntas que le formulé.

- A Carlos A. Cámara, Gerente de ventas de Química Bosques S.A.I.C., por la información brindada sobre su producto DIRETH IGNIFUGO para maderas.

- A Danila Balbi que me facilitó el trabajo en el laboratorio.

- Al Ing. Agr. Amadeo Almada, a Mabel Matos y a Alicia García del Banco de Seguros del Estado.

- A la Q. F. Julia Torres, al Arq. Juan Deal, a la Dra. Lourdes Gadea, a la Dra. Carmen Ciganda, a la Ing. Agr. Raquel Hayashi, a los Ings. Agrs. Gustavo Uriarte y Fernando Irisity, y a todos aquellos que de una u otra forma hicieron posible esta investigación.

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro Nº	Página
1	Características químicas 6
2	Costo (en pesos uruguayos por Kilogramo) de químicos retardantes del fuego 36
3	Análisis de varianza y contrastes para las variables y efectos considerados en <u>Eucalyptus grandis</u> 59
4	Promedios y Mínimas diferencias significativas, según tratamientos, en <u>Eucalyptus grandis</u> 60
5	Análisis de varianza y contrastes para las variables y efectos considerados en <u>Pinus taeda</u> 63
6	Promedios y Mínimas diferencias significativas, según tratamientos, en <u>Pinus taeda</u> 64
7	Cuadro comparativo entre las propiedades toxicológicas de diversos productos 77
Gráfica Nº	
1	Pérdida de peso en función de la retención de Bórax-ácido bórico y Fosfato de diamonio en <u>Eucalyptus grandis</u> 68
2	Pérdida de peso en función de la retención de Bórax-ácido bórico y Fosfato de diamonio en <u>Pinus taeda</u> 68
Figura Nº	
1	Probetas de ensayo 54
2	Autoclave para impregnación, por métodos de vacío-presión 54
3	Cuadro de alambre, escudo de llamas y estructura armada para aplicar la norma ASTM E160 .. 57

4	Probetas de <u>Eucalyptus grandis</u> , luego de ser sometidas a la prueba ASTM E160, según tratamientos	61
5	Probetas de <u>Eucalyptus grandis</u> , luego de ser sometidas a la prueba ASTM E160, según tratamientos	61
6	Probetas de <u>Eucalyptus grandis</u> , pintadas con ignífugo Direth para maderas, luego de ser sometidas a la prueba ASTM E160	62
7	Probetas de <u>Pinus taeda</u> , luego de ser sometidas a la prueba ASTM E160, según tratamientos	65
8	Probetas de <u>Pinus taeda</u> , luego de ser sometidas a la prueba ASTM E160, según tratamientos	65
9	Probetas de <u>Pinus taeda</u> , pintadas con ignífugo Direth para maderas, luego de ser sometidas a la prueba ASTM E160	66

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PAGINA DE APROBACION	II
AGRADECIMIENTOS	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES	IV
1. <u>INTRODUCCION</u>	1
2. <u>REVISION BIBLIOGRAFICA</u>	2
2.1. ANTECEDENTES GENERALES	2
2.2. CARACTERISTICAS DE LAS MADERAS	5
2.3. DESCRIPCION DE LOS PRODUCTOS	11
2.4. FUENTE DE EFECTIVIDAD DE LOS IGNIFUGOS	17
2.5. CARACTERISTICAS QUE DEBE REUNIR UN BUEN RETARDANTE DEL FUEGO	21
2.6. RETARDANTES DEL FUEGO	24
2.6.1. <u>Fosfato de diamonio</u>	25
2.6.2. <u>Bórax/ácido bórico</u>	28
2.6.3. <u>Fosfato de diamonio y bórax/ácido bórico</u> .	34
2.6.4. <u>Coberturas retardantes del fuego</u>	37
2.6.4.1. Direth ignífugo	38
2.7. METODOS DE APLICACION DE LOS RETARDANTES DEL FUEGO	40
2.8. CONCENTRACIONES A ENSAYAR	44
2.9. PRUEBAS DE IGNICION	47

3.	<u>MATERIALES Y METODOS</u>	50
3.1.	PROBETAS DE ENSAYO	51
3.2.	DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD Y PESO ANHIDRO	51
3.3.	DETERMINACION DEL VOLUMEN PROMEDIO DE LAS PROBE- TAS DE PINO Y DE EUCALIPTO	51
3.4.	PESOS ESPECIFICOS APARENTES	52
3.5.	DETERMINACION DE LA ABSORCION PROMEDIO DE PINO Y DE EUCALIPTO	52
3.6.	DETERMINACION DE LAS CONCENTRACIONES A EXPERI- MENTAR	53
3.7.	PREPARACION DE LAS SOLUCIONES E IMPREGNACION	53
3.8.	REALIZACION DEL TEST DE IGNICION ASTM E160	55
3.9.	ANALISIS ESTADISTICOS	58
4.	<u>RESULTADOS</u>	59
5.	<u>DISCUSION</u>	69
6.	<u>CONCLUSIONES</u>	79
7.	<u>TRABAJOS FUTUROS</u>	81
8.	<u>RESUMEN</u>	84

9. <u>SUMMARY</u>	84
10. <u>BIBLIOGRAFIA</u>	85
11. <u>GLOSARIO</u>	91
12. <u>ANEXO</u>	95

1. INTRODUCCION

Casi siempre se atribuye la responsabilidad de la gravedad del fuego a la presencia de la madera en la construcción (Devlieger et al., 1969).

La ignifugación de maderas es un tratamiento destinado a reducir al mínimo el fenómeno de propagación de la combustión, llegando incluso a impedirlo (Senyszyn, 1990). Es uno de los principales procedimientos para mejorar el comportamiento entre el fuego y la madera (Soto, 1969).

Esta tecnología, de uso corriente en varios países donde la edificación en madera está ampliamente difundida, no ha sido utilizada en el Uruguay (Carlos Mantero, com. pers.).

La ignifugación de maderas para la construcción de viviendas, podría considerarse de interés, por el aumento significativo que ha tenido la forestación en los últimos años.

El presente estudio tuvo dos objetivos principales, que fueron:

A) evaluar de la efectividad de tres productos ignífugos en madera sólida aserrada, de dos especies muy utilizadas en nuestro país: una conífera (Pinus taeda) y una latifoliada (Eucalyptus grandis); y

B) señalar criterios para la selección de los retardantes del fuego, tomando en cuenta que la madera fuegorretardada se destinaría a la construcción de viviendas.

Los retardantes del fuego evaluados en este trabajo fueron: soluciones acuosas de fosfato de diamonio y de bórax/ácido bórico en concentraciones de 5, 10 y 15% m/v, aplicadas por métodos de vacío-presión, y "Direth ignífugo" (una cobertura de marca registrada) que fue aplicada con pincel.

2. REVISION BIBLIOGRAFICA

2.1. ANTECEDENTES GENERALES

El uso de madera para la construcción en el Uruguay

En nuestro país, la historia marca un escepticismo hacia la incorporación de piezas de madera en la construcción a causa de factores culturales, técnicos, reglamentarios, urbanísticos, tecnológicos y económicos.

Según José Tinto (1978), los grupos étnicos de origen latino (españoles e italianos) unen el concepto de "madera" al de precariedad o corta duración. En la población uruguaya estos grupos son mayoritarios y sus pautas culturales con respecto a la vivienda los llevan a la construcción de mampostería tradicional, o las derivadas de su evolución tecnológica.

Las reglamentaciones son excesivamente limitacionistas con respecto a la madera, como por ejemplo, se exige que una casa de madera construida en Montevideo, tenga la pared exterior de ladrillos. Además, el empleo de la pared medianera está vedado a la madera (Juan Deal, com. pers.).

La Ley Nº 13870 dice lo siguiente:

"Art. 35 - Para quedar comprendidos en el régimen de incorporación establecido en el presente capítulo los edificios destinados a vivienda deberán tener los elementos estructurales de los entresijos, escaleras comunes, los muros divisorios y los techados constituidos por materiales incombustibles, quedando excluidos los elementos leñosos, fibrocemento, zinc, aluminio y similares. Los edificios de más de tres pisos deberán tener obligatoriamente estructura de material incombustible.

El cumplimiento de dicho requisito se acreditará por certificación del Municipio correspondiente."

A todo esto se suman las elevadas primas de seguro. En el Uruguay, la prima del seguro contra incendio para una casa de madera no tratada prefabricada es más de 10 veces superior a la de una casa de material con techo de planchada o chapa (Departamento de Administración de Riesgos de Incendios, Banco de Seguros del Estado).

Comportamiento de la madera frente al fuego

En un incendio las construcciones de madera arden puesto que la madera es un combustible. Pero ha sido demostrado que el mayor peligro de fuego en cualquier clase de edificios se encuentra usualmente en el mobiliario y otros contenidos. La inflamación de la madera (alrededor de 250 - 275°C) puede resultar sólo de un calentamiento importante y durable, producido por la combustión de sustancias más inflamables y de poder calórico mayor (papel, tejidos, gasolina, alfombras, cortinas, plásticos) (Devlieger et al., 1969; Hunt y Garratt, 1953).

El carácter combustible de la madera no es motivo para rechazarla a priori como material de construcción ya que, correctamente utilizada, puede ofrecer condiciones adecuadas de seguridad. Mientras que varios de los materiales de construcción usados hoy día no tomarán fuego, ninguno de ellos es "a prueba de fuego", ya que están sujetos a perjuicio cuando se exponen a calor excesivo (Senyszyn, 1990; Hunt y Garratt, 1953).

Los elementos en madera son menos peligrosos que aquellos metálicos que a la temperatura del incendio se dilatan, pierden rápidamente sus mayores resistencias mecánicas y se deforman antes de desplomarse en forma espectacular. Lo mismo ocurre con estructuras en concreto o de albañilería que por efecto del calor pierden humedad, se agrietan y se despegan, especialmente si son enfriadas repentinamente, por ejemplo por el agua de una manguera destinada a extinguir el fuego (Devlieger et al., 1969; Senyszyn, 1990; Hunt y Garratt, 1953).

Cuando una madera se calienta sufre un proceso de dilatación cuyo coeficiente es de 1/10 a 1/3 menor que el de los metales, el cemento o el vidrio. Por otra parte, la dilatación que sufre una madera por la acción del calor, queda compensada con la contracción que experimenta con la pérdida de humedad (Tuset y Durán, 1979).

En un incendio normal, la velocidad de combustión de la madera es aproximadamente 1 cm cada 15 minutos. Así un elemento no protegido de 25 mm de espesor, puede resistir 20 minutos y un tirante de 75 mm de espesor puede resistir alrededor de 1 hora. La madera, pues, arde lentamente y una pieza de escuadría grande conserva durante cierto tiempo sus características mecánicas, aún a temperaturas de 1000 ó 1200°C (temperaturas máximas normales en un incendio). En cambio, el acero se debilita y deforma entre 315°C y 420°C y el aluminio entre 100°C y 315°C (Senyszyn, 1990).

Cuando ignicionan, las vigas y columnas de madera grandes en estructuras de "madera dura" (mill construction), desarrollan pronto una capa carbonizada que retarda la combustión en un alto grado. Pruebas actuales han mostrado que estas maderas pesadas poseen mayor resistencia al fuego que los soportes de acero estructural no protegidos (Hunt y Garratt, 1953).

La madera también tiene la ventaja de advertir por ciertos ruidos característicos el momento de ceder (Devlieger et al., 1969).

Métodos para disminuir el riesgo de incendio en construcciones de madera

El peligro de la rápida destrucción de los edificios de madera por el fuego puede ser minimizado: (a) por detalles de diseño y construcción que pueden causar que un fuego se sofoque a sí mismo o por lo menos retarde la expansión de las llamas y de esta manera dé tiempo para poner los aparatos extinguidores en acción, (b) por instalación de regadores automáticos, o (c) tratando la madera de manera de hacerla altamente resistente al quemado (Hunt y Garratt, 1953).

Es posible incrementar económicamente la resistencia de la madera a la acción del fuego, como un medio de disminuir los riesgos de un incendio. Si bien resulta caro llegar a una máxima incombustibilidad de la madera se puede, en cambio, lograr a costos razonables una marcada reducción de la permanencia de la llama y la casi total extinción instantánea de la brasa, no bien desaparezca la fuente de combustión inicial. Es decir que se logrará convertir la madera en un material carbonizable, pero no trasmisor del fuego (Tinto, 1978).

Desde tiempos antiguos se han hecho intentos para reducir la inflamabilidad de la madera y otros materiales orgánicos. Ernest Hartman en un Simposio de Preservación de la Madera, el 20 de marzo de 1933, en un breve resumen histórico de los primeros intentos de hacer "ignífugos", reportó que los romanos usaron vinagre como retardante del fuego tan temprano como cuatrocientos años A.C. y más tarde emplearon soluciones de alumbre con el mismo propósito. Una patente británica, implementada en 1625, cubría un método para hacer madera, velas y cuerdas de barco "a prueba de fuego". Desde estos tiempos se han hecho recomendaciones, se han dado patentes, se han publicado discusiones en volumen creciente y literalmente cientos de fórmulas y procesos han sido propuestos, aunque sólo unos pocos de ellos han tenido suficiente mérito para garantizar la aplicación comercial actual (Hunt y Garratt, 1953).

2.2. CARACTERISTICAS DE LAS MADERAS

Eucalyptus grandis

Excelentes maderas, de grano derecho, bastante duras y medianamente pesadas (Pe 0,65 - 0,80), aunque fáciles de trabajar, se dejan clavar bien y adquieren buen lustre. De color rosado pálido, apreciadas para trabajos de carpintería, embarcaciones, puertas y ventanas, parquet, envases, tornería, madera terciada, mueblería y pasta para papel (Cátedra de Tecnología Forestal, 1979).

Todas las maderas de los eucaliptos cultivados presentan problemas durante el estacionamiento debido a la fuerte tendencia que acusan al colapso. La presencia de albura en las piezas aserradas exige la aplicación de productos insecticidas para evitar el "apolillado". E. grandis es poco durable frente a hongos, su albura es susceptible al ataque de insectos, en cambio, su duramen es resistente (Tinto, 1978).

La madera del género Eucalyptus (Myrtaceae), es de porosidad difusa. Los poros están esparcidos o diseminados en todo el ancho del anillo y son de tamaño sensiblemente uniforme: zonación poco demarcada (madera de leño homogéneo) (Senyszyn, 1990).

En este género las "vestiduras" (vestures) de pared a veces ocluyen la apertura de las puntuaciones intervasculares y se extienden sobre los vasos (Butterfiel y Meylan, 1980).

Pinus taeda

Pertenece al grupo de pinos conocidos como "pinos del sur", originarios de la costa sureste de Estados Unidos, que poseen características tecnológicas similares.

Madera semipesada a muy pesada (Pe 0,50 - 0,90), dura a muy dura, resistente y de buena durabilidad. Textura mediana a gruesa, grano derecho y vetado bien perceptible, que tiene su origen en la coloración fuerte, rojiza, del leño tardío, caracterizado por la gran cantidad de resina que contiene. Albura más o menos bien definida, de coloración blanco-amarillenta, duramen más oscuro, amarillo pardo, castaño rosado a rojizo, castaño oscuro. Se trabaja con cierta dificultad, aunque se pule y lustra bien, obteniéndose excelentes superficies lisas (Cátedra de Tecnología Forestal, 1979).

El pino amarillo del sur (Pinus taeda) y el abeto Douglas, son dos especies comunmente tratadas con químicos retardantes del fuego. Como estas especies normalmente no sostienen bien la pintura o los colores sólidos, se deben seguir estrictamente los procedimientos de acabado o terminación recomendados (Cassens y Feist, 1991).

Es poco durable frente a hongos y tanto su albura como su duramen son susceptibles al ataque de insectos. La madera proveniente de plantaciones, se seca sin mayores problemas físicos, aunque es muy sensible al ataque de hongos productores de manchas. Por ser maderas de penetrabilidad media, se recomienda recurrir a sistemas de vacío-presión para conseguir absorciones adecuadas (Tinto, 1978).

Características químicas

Este aspecto tecnológico incluye la evaluación de la presencia de sustancias extractivas (saponinas, aceites esenciales, alcaloides, taninos, resinas, quinonas, gomas) que pueden afectar el comportamiento de las maderas en los procesos de maquinado, terminación, impregnación y uso. También comprende el grado de combustibilidad que acusarán las maderas, en función de la existencia de sustancias que puedan retardar o favorecer la acción del fuego, juntamente con la influencia de la compacidad del material leñoso.

Otras veces los contenidos celulares obstruyen la luz de los vasos, impidiendo o dificultando la impregnación del duramen, aún en maderas de elevada porosidad, como por ejemplo en el Eucalyptus grandis que tiene el duramen muy poco permeable (Tinto, 1978).

CUADRO Nº 1

Características químicas

ESPECIES	Contenidos celulares	Combustibilidad	Grado de compacidad (%)
E. grandis	Gomas-quinonas	Combustión fácil	37,3
Pinus taeda ...	Resina	Combustión rápida	30,6

FUENTE: Tinto, 1978

Peso específico aparente

El peso específico aparente se define como el cociente entre la masa y el volumen de la madera (Senyszyn, 1990). Constituye una de las propiedades físicas más importantes de la madera, pues de ella dependen la mayoría de sus características físicas y mecánicas (Coronel, 1994).

Es posible distinguir diversas expresiones del peso específico aparente (Pe), según el contenido de humedad (CH) al cual se determina: (Senyszyn, 1990)

$$\text{Pe normal} = \frac{\text{Peso a 12\% CH}}{\text{Volumen a 12\% CH}}$$

$$\text{Pe corriente} = \frac{\text{Peso anhidro}}{\text{Volumen a 12\% CH}}$$

$$\text{Pe anhidro} = \frac{\text{Peso anhidro}}{\text{Volumen anhidro}}$$

El peso específico es decisivo en la cantidad de impregnante que puede admitir una madera, ya que cuanto más densa sea ésta tanto menor volumen de poros contendrá y por lo tanto admitirá menor cantidad de impregnante (Kollmann, 1959).

Según E. Coronel (1994), el contenido máximo de humedad (CH máx) que puede admitir la madera se estima mediante la siguiente fórmula:

$$\text{CH máx} = 0,28 + \frac{1,50 - \text{Pe anhidro}}{1,50 \times \text{Pe anhidro}}$$

Absorción y permeabilidad de las maderas

La absorción de preservantes está afectada por la permeabilidad de la madera, la forma de la madera a ser tratada, y los procedimientos de tratamiento (Koch, 1972).

Bajo condiciones comerciales normales existen cuatro clases de maderas, a saber: muy permeables, permeables, resistentes, e intratables. Con las tres clases que se consideran tratables, habrá variaciones relativamente amplias, no sólo entre las especies sino también entre partidas diferentes de la misma especie. Aquellas maderas detalladas como comercialmente intratables, no pueden penetrarse más que en una delgada capa, aún bajo períodos de presión prolongados (Manual de tratamiento Koppers, s/f).

La profundidad de penetración de los impregnantes depende más de la diferencia entre las maderas de duramen y albura, la constitución de los vasos o las traqueidas, la existencia de canales resiníferos, que del peso específico aparente (Kollmann, 1959).

En general, la albura y el duramen se comportan diferente en relación a la penetración de líquidos. Como ejemplo se pueden mencionar algunos eucaliptos cuya albura es fácilmente preservada pero cuyo duramen ofrece una considerable resistencia a la penetración, que sólo puede ser obtenida aplicando presiones muy elevadas (Tuset y Durán, 1979).

En especies de coníferas se pueden observar al microscopio, numerosas puntuaciones en las paredes radiales de las traqueidas lo que permite un flujo adecuado de líquidos en sentido tangencial pero no en el radial, ya que el número de puntuaciones en las paredes tangenciales de las traqueidas es escaso. En éstas maderas, los canales resiníferos también contribuyen a la penetración de los líquidos siempre y cuando posean un tamaño adecuado, no presenten obstrucciones y su número sea suficiente para favorecer una distribución homogénea del producto (Tuset y Durán, 1979).

La albura de pinos del sur es relativamente permeable, por ejemplo, permite el pasaje de fluidos bajo presión. Los lúmenes de las traqueidas de pinos del sur no están ocluidos, las membranas de las puntuaciones (pit) entre las células de albura contienen aberturas relativamente grandes. La aspiración de la puntuación generalmente no es suficientemente severa para cortar el flujo. La absorción y penetración obtenida por tratamientos profundos varía significativamente dentro y entre árboles de pinos del sur (Verrall, 1965 citado por Koch, 1972).

El material de baja densidad usualmente muestra mayores retenciones que la madera de alta densidad cuando se realiza vacío porque, como ya habíamos dicho, la madera de baja densidad tiene mayor volumen de poros. Aunque experiencias generales con tratamientos de presión con pinos del sur, indican que muestras de baja densidad frecuentemente son las más difíciles de penetrar. Verrall (1965) reportó que la infección de madera de pinos del sur con varios mohos, manchas y hongos de pudrición incrementan tanto la absorción de aceite como la de agua (Koch, 1972).

En las maderas de latifoliadas la vía de entrada de líquidos se hace fundamentalmente a través de los vasos leñosos distribuyéndose posteriormente al resto de los tejidos por las puntuaciones, que pueden observarse en gran número en sus paredes. Se deduce entonces que el tipo de porosidad de una madera tiene influencia en la penetración del preservante y también en su distribución. En maderas con porosidad difusa, caracterizadas por tener poros numerosos y homogéneamente distribuidos en todo el ancho del anillo de crecimiento, se puede lograr buena penetración y posterior distribución de sustancias preservadoras. Lo expresado anteriormente vale siempre y cuando

no existan obstrucciones en los vasos leñosos debido a diversos tipos de contenidos celulares, resultado de la actividad fisiológica del árbol (Tuset y Durán, 1979), como ocurre en el género *Eucalyptus*.

Combustibilidad

Existen maderas más combustibles que otras. Las más livianas que poseen mayor volumen de poros, arden más de prisa que las más pesadas porque desprenden los gases con más rapidez. Las maderas de latifoliadas de porosidad difusa (eucalipto) arden más rápidamente que las de porosidad circular (paraíso) por el mismo motivo. En el caso de las maderas de coníferas, el desprendimiento de gases se ve dificultado por la pared gruesa de las traqueidas del leño tardío (Senyszyn, 1990).

Se llama poder calórico, al calor desprendido por kilogramo de combustible en combustión completa a la presión y temperatura atmosférica normal, que es lo mismo que el calor bruto de combustión (Coronel, 1994).

Teniendo en cuenta los componentes de la madera, se puede indicar que el poder calorífico de la lignina es superior al de la celulosa, por su mayor porcentaje de carbono y menor contenido de oxígeno y es de unas 6.100 Kcal/Kg (Coronel, 1994). Los valores más altos de calor bruto de combustión para extractivos, lignina y holocelulosa son consistentes con sus contenidos de carbono (White, 1986).

Por eso, las coníferas debido a su mayor porcentaje de lignina poseen un poder calorífico mayor que las latifoliadas, esto desde luego sujeto a las excepciones que surgen de la composición de la madera (Coronel, 1994; White, 1986).

Los extractivos elevan el calor bruto de combustión de las muestras de madera. En adición al mayor contenido de lignina, se considera que las coníferas tienen mayor calor bruto de combustión a causa de sus contenidos de resina o extractivos. Chandler et al. (1983) reportó el valor más alto de calor bruto de combustión como 7.720 cal/g (13,896 Btu/lb). También describió terpenos y resinas como las dos clases de extractivos que afectan significativamente el comportamiento del combustible forestal (White, 1986).

Entre las coníferas, las especies resinosas poseen valores superiores pues el poder calorífico de las resinas es del orden de 8.500 a 9.100 Kcal/Kg (Coronel, 1994).

La quema de pino del sur se acelera si la madera está seca, es de partículas de tamaño pequeño y está rodeada por suficiente oxígeno, tiene alto contenido de extractivos, baja densidad, textura superficial rugosa y está expuesta a alta temperatura desde una fuente externa sostenida de calor en presencia de una llama de ignición (Koch, 1972).

Wang y Huffman (1982) hicieron un estudio de los efectos de extracción con varios solventes en el contenido de calor de la madera, corteza, ramas y hojas de Melaleuca quinquenervia y Eucalyptus grandis. El efecto de los extractivos fue medido por diferencia entre los valores calóricos de muestras extractadas y no extractadas. Los extractivos éter o cloroformo producen más calor por gramo cuando son quemados que los extractivos metanol o los componentes estructurales de la biomasa de la muestra. El efecto de los extractivos en el valor de calor de los materiales fue pequeño.

2.3. DESCRIPCION DE LOS PRODUCTOS

Los datos que se presentan a continuación fueron cedidos por QUIMICA BOSQUES S.A.I.C.

DIRETH IGNIFUGO

CARACTERISTICAS FISICO-QUIMICAS*

ASPECTO: líquido translúcido.

COLOR: ámbar claro.

COLOREADO DEL SUSTRATO: no produce.

OLOR: inoloro.

CONTENIDO DE MATERIA ACTIVA: 18,5%

DENSIDAD: 1,100

pH: levemente ácido.

ACCION INHIBITORIA: cumple ensayo.

* Las características físicas pueden variar aleatoriamente entre partidas dentro de pequeños rangos sin afectar la eficacia del producto.

En este trabajo se comprobó que Direth ignífugo es soluble en agua.

La siguiente información, fue tomada de las Hojas de seguridad de Mallinckrodt Baker, Inc. (1996), del Manual de Perry para Ingenieros Químicos (1984) y del libro Análisis Químico Cuantitativo de Kolthoff et al. publicado en 1979.

ACIDO BORICO (H₃BO₃) Sinónimos: ácido borácico; ácido ortobórico.

Identificación de peligros

Salud: moderado.

Inflamabilidad: ninguno.

Reactividad: ninguno.

Contacto: moderado.

Equipo de protección para laboratorio

Anteojos protectores, uniforme para laboratorio; campana de gases; guantes apropiados.

Efectos potenciales sobre la salud

Inhalación: causa irritación de las membranas mucosas del tracto respiratorio. Puede absorberse a través de las membranas mucosas y dependiendo de la magnitud de la exposición podría causar náuseas, vómitos, diarrea, somnolencia, sarpullido, dolor de cabeza, caída de la temperatura corporal, baja presión sanguínea, daño renal, cianosis, coma y muerte.

Ingestión: los síntomas son análogos a los de la absorción por inhalación. La dosis letal reportada para adultos es 5 a 30 gramos.

Contacto con la piel: causa irritación cutánea. No es significativamente absorbido por la piel intacta. Absorbido fácilmente por la piel dañada o quemada. Los síntomas de la absorción cutánea son análogos a los de la inhalación e ingestión.

Contacto con los ojos: causa irritación, enrojecimiento y dolor.

Exposición crónica: la absorción prolongada causa pérdida de peso, vómitos, diarrea, sarpullido cutáneo, convulsiones y anemia. El hígado y particularmente los riñones pueden ser susceptibles. En perros y ratas infertilidad y daño testicular.

Empeoramiento de las condiciones existentes: las personas con desórdenes cutáneos ya existentes o problemas oculares o función hepática, renal o respiratoria deteriorada, pueden ser más susceptibles a los efectos de esta sustancia.

Medidas contra incendios

Incendio: no se considera riesgoso ante el fuego.

Explosión: una mezcla de potasio y ácido bórico puede explotar con el impacto.

Medios extintores de incendio: se debe utilizar cualquier medio apropiado para extinguir fuego alrededor.

Información especial: en el evento de un fuego, usar vestidos protectores completos y aparato respiratorio autónomo con mascarilla completa operando en la demanda de presión u otro modo de presión positiva.

Manejo y almacenamiento

Se recomienda almacenar en recipientes fuertemente cerrados en un área fresca, seca. Los recipientes de acero al carbono o de aluminio son apropiados para almacenamiento. Se necesita acero inoxidable en la mayoría de las condiciones.

Controles de exposición / protección personal

Límites de exposición aérea: _ OSHA 15 mg/m³ total polvo y 5 mg/m³ fracción respirable para polvos.

- ACGIH Threshold Limit Value (TLV) 10 mg/m³ polvo total no conteniendo asbestos y < 1% sílica cristalina para partículas no clasificadas de otra manera.

Propiedades físicas y químicas

Peso molecular: 61,84 g/mol

Densidad: 1,435 Kg/m³ a 15°C

Aspecto: polvo blanco o gránulos.

Olor: sin olor.

Punto de fusión: 185°C

Punto de ebullición: se descompone.

pH: 5.1 solución acuosa (0,1 M)

Solubilidad - en agua fría a 0°C = 2,66

en 100 partes - en agua caliente a 100°C = 40,2

de solvente - en etiléter a 25°C = 0,24

- en glicerol a 20°C = 22,2

% de volátiles por volumen a 21°C: 0

Presión de vapor (mmHg): 2,6 a 20°C

Estabilidad y reactividad

Estabilidad: no se debe almacenar sobre pisos de madera. En presencia de humedad, el ácido bórico puede corroer el hierro.

Productos peligrosos de descomposición: cuando se calienta pierde agua combinada químicamente formando ácido metabórico a 100-105°C, luego ácido pirobórico a 140-160°C y anhídrido bórico a temperaturas mayores.

Incompatibilidades: potasio, anhídrido acético, álcalis, carbonatos, e hidróxidos.

Información toxicológica

Datos toxicológicos: LD50 oral en ratas: 2660 mg/Kg; ha sido investigado como tumorigeno, mutagénico y causante de efectos reproductivos.

Toxicidad reproductiva: ver exposición crónica.

Información ecológica

Toxicidad ambiental: los valores EC50/48-horas para daphnia son superiores a 100 mg/l. Este material puede ser tóxico para la vida acuática.

TETRABORATO DE SODIO DECAHIDRATADO (Na₂B₄O₇·10H₂O)
(Usualmente la forma comercial) Sinónimos: bórax; borato de sodio; borato de sodio decahidratado; piroborato de sodio.

Identificación de peligros

Salud: moderado.

Inflamabilidad: ninguno.

Reactividad: ninguno.

Contacto: leve.

Equipo de protección para laboratorio

Anteojos protectores, uniforme para laboratorio.

Efectos potenciales de salud

Inhalación: causa irritación del tracto respiratorio con síntomas como tos, falta de respiración.

Ingestión: puede causar náuseas, vómitos, diarrea y espasmos musculares, embotamiento, letargo, depresión circulatoria, depresión del sistema nervioso central, choque, daño renal, coma y muerte. La dosis letal estimada es 15 a 20 gramos.

Contacto con la piel: causa irritación de la piel. Los síntomas incluyen enrojecimiento, prurito y dolor. Se puede absorber a través de la piel con posibles efectos sistémicos.

Contacto con los ojos: causa irritación, enrojecimiento y dolor.

Exposición crónica: la ingestión o absorción cutánea prolongada y repetida puede causar anorexia, pérdida de peso, vómitos, diarrea leve, sarpullido, convulsiones y anemia.

Medidas contra incendios

Incendio: no se considera riesgoso ante el fuego.

Explosión: no es considerado ser peligro de explosión.

Medios extintores de incendio: debe utilizarse cualquier medio apropiado para extinguir fuego alrededor.

Información especial: en el evento de un fuego, usar vestidos protectores completos y aparato para respiración autónomo con mascarilla completa operando en la demanda de presión u otro modo de presión positiva.

Manejo y almacenamiento

Se recomienda guardarlo en un envase herméticamente cerrado y almacenarlo en un área fresca, seca y bien ventilada.

Controles de exposición / protección personal

Límites de exposición aérea

- NIOSH límite recomendado de exposición: 1 mg/m³ (TWA)

- ACGIH Threshold Limit Value (TLV): 5 mg/m³ (TWA)

Propiedades físicas y químicas

Peso molecular: 381,43 g/mol

Densidad: 1,73 Kg/m³

Aspecto: cristales estriados color blanco, gris, azulado o blanco verdoso.

Olor: sin olor.

Punto de fusión: 75°C

Punto de ebullición -10H₂O = 200°C

pH: alcalino.

Solubilidad - agua fría 0,5°C = 1,3 (anhidro)

en 100 partes - agua caliente 80°C = 20,3 (anhidro)

de solvente - agua a 40°C = 8,79 (anhidro)

- glicerol (glicerina) = soluble

- alcohol absoluto (95% etanol) = insoluble

% de volátiles por volumen a 21°C: 0

La deliquescencia no es de temer en el bórax.
A HR < 39% el bórax eflorace (pierde agua).
25% < HR < 39% es estable.
Si HR < 25% eflorace para dar la sal anhidra.
39% < HR < 99% a 20°C el decahidrato es estable.

Estabilidad y reactividad

Estabilidad: no debe almacenarse sobre pisos de madera.

Productos peligrosos de descomposición: los gases y vapores tóxicos pueden estar liberando si se involucra en un fuego.

Incompatibilidad: ácidos, alcaloides y sales metálicas.

Condiciones a evitar: incompatibles.

Información toxicológica

Hidrato: LD50 oral en ratas: 2660 mg/Kg. Ha sido investigado como mutagénico, causante de efectos reproductivos. Anhidrido: ha sido investigado como causante de efectos reproductivos.

Información ecológica

Cuando se elimina en el suelo, este material puede filtrarse en aguas subterráneas.

Toxicidad ambiental: no se dispone de información.

FOSFATO ACIDO DE AMONIO [(NH₄)₂HPO₄] Sinónimos: Fosfato de diamonio, fosfato de amonio dibásico.

Identificación de los peligros

Salud: leve.

Inflamabilidad: ninguno.

Reactividad: leve.

Contacto: leve.

Equipo de protección para laboratorio

Anteojos protectores, uniforme para laboratorio.

Efectos potenciales de salud

Inhalación: causa irritación del tracto respiratorio con síntomas como tos, falta de respiración.

Ingestión: causa irritación del tracto gastrointestinal. Los síntomas pueden ser náuseas, vómitos y diarrea.

Contacto con la piel: causa irritación de la piel. Los síntomas incluyen enrojecimiento, prurito y dolor.

Contacto con los ojos: causa irritación, enrojecimiento y dolor.

Exposición crónica: no se encontró información.

Medidas contra incendios

Incendio: no es considerado ser peligro de fuego.

Explosión: no es considerado ser peligro de explosión.

Medios extintores de incendio: se recomienda utilizar cualquier medio apropiado para extinguir fuego alrededor.

Información especial: usar ropa protectora y equipo de respiración apropiado contra el fuego de los alrededores.

Manejo y almacenamiento

Se recomienda guardar en envase cerrado herméticamente y almacenar en un área fresca, seca y bien ventilada, proteger contra daños físicos y aislar de las sustancias incompatibles.

Controles de exposición / protección personal

Límites de exposición aérea: ninguno establecido.

Propiedades físicas y químicas

Peso molecular: 132,07 g/mol

Densidad: 1,619 Kg/m³

Aspecto: cristales blanco.

Olor: sin olor.

pH: 8.0

% de volátiles por volumen a 21°C: 0

Punto de ebullición: no aplicable.

Punto de fusión: 155°C se descompone.

Solubilidad - en agua fría a 15°C = 131

en 100 partes - en agua caliente ____

de solvente - otros solventes = insoluble en acetona

Estabilidad y reactividad

Estabilidad: no se debe almacenar sobre pisos de madera. Pierde gradualmente un 8% de amoníaco si se expone al aire.

Productos peligrosos de descomposición: cuando se quema puede producir amoníaco y óxidos de fósforo.

Incompatibilidades: hipoclorito de sodio.

Condiciones a evitar: incompatibles.

2.4. FUENTE DE EFECTIVIDAD DE LOS IGNIFUGOS

La madera posee 85% de materias volátiles, porcentaje muy superior al de todos los carbones. Debido a ello, su combustión se realiza en dos fases:

- la primera, que se puede llamar desgasificación, con pérdida de vapor de agua inicialmente y de gases después, que arden si hay suficiente aire. A la vez, se va produciendo carbón vegetal.

- la segunda, es la combustión de este carbón vegetal (Senyszyn, 1990).

De acuerdo con un artículo de Truax (1931), investigaciones en el campo de la destilación y combustión de la madera indican que la descomposición de la madera sujeta a temperaturas crecientes sigue los pasos: vaporización de la humedad en la madera (encima de los 100°C); volatilización de materiales extraños (93 a 149°C o más); ardor (scorching) y la lenta evolución de gases inflamables (149 a 204°C); carbonización con evolución más rápida de gases inflamables, acompañados por resplandor y eventual llameado (204 a 371°C); y rápida ignición de gases inflamables e incandescencia del carbón (371 a 510°C) (Hunt y Garratt, 1953).

La pirólisis puede ser rápida o lenta dependiendo de un gran número de factores, tales como temperatura, presión, tiempo y condiciones ambientales.

La pirólisis rápida que ocurre cuando la madera se quema, produce más gases inflamables y alquitranes, en cambio en la pirólisis lenta se produce más carbón (que forma una capa aislante) y menos gases inflamables, por lo que los productos empleados en la preservación de la madera contra el fuego, tendrán como cometido favorecer la pirólisis lenta como forma de protección (Tuset y Durán, 1979).

Según Senyszyn (1990), los procedimientos ignífugos consisten en evitar:

a. La destilación masiva de gases inflamables, es decir, evitar la destilación de la madera:

- por aislamiento térmico, recubriendo la madera con yeso (que absorbe el calor) o con fibrocemento (que impide el paso del mismo);

- por aumento del contenido de humedad; las sales ignífugas son a veces higroscópicas (silicatos alcalinos), pero aparece el riesgo de ataque de hongos;

- evitando en lo posible las pequeñas escuadrías, las aristas vivas y las superficies rugosas.

b. La inflamación rápida de estos gases, bajando la temperatura de los gases combustibles:

- por recubrimiento con pinturas metalizadas (a base de polvo de aluminio o de silicato de sodio), que constituyen una capa superficial resistente.

c. La combustión con llama y su propagación, es decir, suprimir el comburente (oxígeno), para evitar el comienzo del fuego:

- suprimiendo aereación y ventilación;

- alejando el aire, diluyéndolo en los gases inertes incombustibles, mediante sales ignífugas que contienen o desprenden anhídrido carbónico, helio, bicarbonato, urea o amonio;

- absorbiendo el oxígeno y el monóxido de carbono antes de que tomen contacto con la madera con: sulfatos, carbonatos y fosfatos amónicos;

- por acción antioxidante de ciertas sales metálicas (tananos, molibdatos, arsenitos).

d. La persistencia de la incandescencia, o sea, aislar la madera en ignición:

- impregnándola con sales fusibles (bórax, ácido bórico, fosfatos de amonio), que funden a temperaturas inferiores a las de la combustión activa, rellenando los poros de la madera, impidiendo así el acceso de aire a su interior y la salida de gases combustibles.

e. La inhibición química de la combustión; ésta es una reacción en cadena en la que tienen mucha importancia los grupos hidróxido de la celulosa:

- los halógenos (F, Cl, Br, I) actúan sobre estos grupos dando productos inertes o menos reactivos.

Aunque se han hecho numerosos intentos para determinar cómo actúan los químicos en hacer la madera resistente al quemado, no se ha llegado a una conclusión (Hunt y Garratt, 1953).

A continuación se presentan discusiones sobre el tema.

Hunt y Garratt (1953):

Cuatro reacciones posibles a alta temperatura, han sido sugeridas como contribución a la efectividad del fuego-retardante, ésto es, (a) liberación de agua de cristalización, (b) evolución de gases no combustibles, (c) la propiedad de fundirse a una masa viscosa y (d) reducción de la cantidad de gases inflamables producidos por la madera en carbonización.

Cuando la madera impregnada con químicos teniendo un alto porcentaje de agua de cristalización es expuesta a altas temperaturas, el agua es sacada en la forma de vapor y tiende a diluir el gas combustible formado por la descomposición de la madera. La investigación ha indicado, sin embargo, que cualquier acción como ésta no es una causa primaria de resistencia al fuego, porque no se encontraron relaciones consistentes cuando la efectividad de varios químicos fueron diagramados contra su agua de cristalización. En realidad, un gran número de los químicos más eficientes, incluyendo los fosfatos de amonio, están completamente desprovistos de agua de cristalización, mientras algunas de las sustancias menos eficaces contienen una gran cantidad de ella (Hunt et al., 1932).

Algunos de los químicos investigados se descomponen cuando son calentados, dando gases no inflamables que pueden diluir los gases emitidos por la madera lo suficiente, como para interferir con la combustión de los gases. Estas características no parecen ser de importancia sobresaliente para reducir la susceptibilidad de la madera al quemado, aunque eso puede contribuir al efecto fuego-retardante de los químicos.

Una acción química que parece ser más importante en controlar la combustión es la de fundirse a hasta formar un líquido viscoso que tiende a cubrir la superficie de la madera y de esta forma cortar el suministro de oxígeno necesario para el quemado continuo. Los fosfatos de amonio, bórax y ácido bórico poseen esta propiedad en alto grado. Sin embargo, hay otros químicos más o menos efectivos, incluyendo el sulfato de amonio, cloruro de amonio, sulfato de aluminio, bromuro de amonio y fosfato de monomagnesio, que no se funden a altas temperaturas.

Los resultados de un estudio realizado por Richardson (1937) indican que con un tratamiento químico efectivo, menos madera es transformada en gases inflamables y más de ella queda como carbón.

Koch (1972):

Además de las explicaciones tentativas de cómo los tratamientos químicos retardantes del fuego reducen la inflamabilidad de la madera hay teorías de que ellos: (1) se descomponen para liberar gases que extinguen la llama; (2) forman capas impermeables o aislantes para prevenir la pirólisis y liberación de gases inflamables; (3) mejoran la conductividad térmica o consumen calor para experimentar cambios físicos y químicos durante la pirólisis que retardan la ignición de la madera; o (4) que ciertos productos de la descomposición química limitan la inflamabilidad disponiendo de la mezcla combustible de aire-gas liberada sobre la superficie de la madera. Varios de estos efectos pueden estar involucrados en algunos de los sistemas retardantes.

La teoría más ampliamente aceptada, basada en estudios básicos recientes, es que los químicos se descomponen justo por debajo de las temperaturas normales de carbonización de la madera y liberan un ácido o base fuerte. Estos productos químicos reaccionan con los componentes de la madera, particularmente la celulosa y hemicelulosa, para deshidratarlas durante la pirólisis y formar carbón y agua, en lugar de los productos normales levoglucosan-alquitrán, que son responsables del llameado de la madera.

LeVan y Tran (1990):

Los retardantes del fuego para madera, alteran las propiedades de combustión de la misma para reducir la expansión superficial de la llama. Estos químicos, causan reacciones de deshidratación ácida catalizada en la madera, para facilitar la formación de carbón y reducir el calor de combustión efectivo, resultando en menor liberación de calor y expansión de la llama. Los compuestos de boro tienen un bajo punto de fusión y forman también películas vidriosas (glassy films) que pueden inhibir el flujo de combustibles volátiles a la superficie expuesta al fuego.

Cassens y Feist (1991):

La acción de los fuego-retardantes depende de reacciones químicas complicadas. En general, los químicos fuego-retardantes reaccionan a temperaturas por debajo del punto de ignición de la madera para producir gases no combustibles y vapor de agua. Estos productos diluyen los gases normales inflamables producidos durante los estados iniciales de la combustión y por eso enlentecen el proceso de combustión. Al mismo tiempo, una capa de carbón se produce sobre la superficie de la madera aislándola contra el calentamiento posterior y la liberación de más gases inflamables.

2.5. CARACTERISTICAS QUE DEBE REUNIR UN BUEN RETARDANTE DEL FUEGO

Los requerimientos de una formulación ideal, pueden ser resumidos como sigue:

- 1) Efectividad en el retardo de las llamas y las brasas.
- 2) Bajo costo.
- 3) Baja toxicidad para los humanos y animales domésticos.
- 4) Ambientalmente aceptable.
- 5) Alta fijación en la madera.
- 6) Inodoro.
- 7) Que no manche u oscurezca la madera.
- 8) Que no sea corrosivo de metales.
- 9) Que no afecte en forma negativa:
 - las resistencias mecánicas de la madera,
 - su contenido de humedad,
 - los procesos de encolado, maquinado y pintado,
 - la durabilidad natural de la madera frente a hongos o su resistencia a insectos.
- 10) Que sea estable y de fácil disolución.
- 11) De fácil adquisición en el mercado local.
- 12) De fácil aplicación.

Los siguientes párrafos son una revisión hecha por Hunt y Garratt (1953) y Koch (1972), quienes abordaron prácticamente todos los temas que preocupan y que han sido investigados sobre los problemas que presentan los retardantes del fuego para madera.

Efectividad de los químicos

Además de ser efectivos y de costo razonable, los químicos fuego-retardantes deben ser de tal naturaleza que no impartan alguna característica marcadamente objetable a la madera tratada.

Resistencia

Algunos de los químicos usados en soluciones retardantes del fuego tienen un marcado efecto sobre las propiedades de resistencia de la madera.

La National Lumber Manufacturers Association, reduce las unidades de fatiga tolerables en un 10% comparado con la madera no tratada.

Gerhards (1970) concluyó que las reducciones observadas en fuerza de curvatura de la madera tratada con retardantes, son consistentes con el 10% de reducción en la fatiga del diseño recomendado para la madera tratada con retardantes del fuego.

Efectos corrosivos

Los químicos que son fuertemente corrosivos para metales, no solamente causan serios daños al equipo de tratamiento sino que pueden además tener un efecto dañino sobre el metal de sujeción y herrajes colocados en contacto con la madera tratada en servicio.

Se encontró que los fosfatos de amonio comerciales, usados solos o en mezcla con sulfato de amonio, causaban rápido deterioro de los aparatos de tratamiento. Sin embargo es posible, superar parcialmente esta desventaja por el agregado de químicos inhibidores de la corrosión a estas sales.

Absorción de la humedad

Las sales higroscópicas, durante períodos de tiempo húmedo, pueden causar que grandes cantidades de agua se acumulen sobre la superficie de la madera tratada, como una condición de fomento de la corrosión de los clavos, tornillos, cerrajería y acorta la vida media de pinturas y barnices de recubrimiento. Aunque químicos de este carácter puedan ser altamente retardantes del fuego, son completamente inapropiados para hacer madera "a prueba de fuego".

Maquinado

La madera tratada con sales retardantes del fuego tiene un efecto abrasivo en las herramientas de corte convencionales, es más difícil de aserrar y cepillar que el material no tratado, ya que los químicos causan bordes cortantes que desgastan rápidamente las herramientas y se necesita un afilado frecuente de las mismas.

La cantidad e químico presente tiene una relación directa en la calidad del trabajo de la madera y la naturaleza de la sustancia también puede tener algún efecto. Mientras estas desventajas no pueden ser eludidas, pueden ser minimizadas por el uso de herramientas especialmente diseñadas para estos propósitos como cuchillas y sierras de tungsteno-carbono y, tal vez, por la apropiada selección de químicos. También es deseable que antes de aplicar el retardante del fuego, se lleven las piezas de madera lo más cerca posible de la forma final.

Encolado

Algunos químicos tienen un efecto adverso en las propiedades de encolado de la madera. El grado en que cualquiera de estas sustancias dificulta el tener buenas juntas encoladas es una consideración importante en la determinación de su conveniencia para tratar madera o enchapados que serán usados en la manufactura de productos como puertas, muebles y artefactos.

Para ensambles estructurales como son los tirantes y vigas

encoladas, las colas y las técnicas de encolado presentes, generalmente no dan tan buenas uniones con madera tratada como con la no tratada.

Pintado

Los tratamientos retardantes del fuego para madera generalmente no interfieren con la adhesión de pinturas para uso interior excepto a altos contenidos de humedad de equilibrio. Preferentemente el contenido de humedad de la madera tratada debe ser 12% o menos al momento de pintar. Exposiciones prolongadas a altas humedades relativas pueden causar la aparición de cristales de sal sobre la superficie de las capas de pintura en las maderas que contienen altas retenciones de sal.

Las terminaciones al natural generalmente no son prácticas para la madera tratada con retardantes del fuego ya que los químicos causan frecuentemente oscurecimiento y manchado irregular.

Toxicidad

Varios arsenatos y arsenitos son altamente efectivos en el retardo del fuego pero no pueden ser recomendados, porque la madera que los contiene despiden humos peligrosos cuando es sujeta a altas temperaturas. Químicos de este carácter, si se presentan en cantidades sustanciales, podrían sumarse a los peligros a los cuales son expuestos los bomberos y ocupantes de los edificios en llamas.

Permanencia

Todos los químicos generalmente recomendados para propósitos fuegorretardantes, son solubles en agua y gradualmente se lixivian de la madera tratada en contacto con el suelo húmedo o expuestos a la lluvia. Se han hecho numerosos intentos para confeccionar soluciones tratantes que formen compuestos insolubles cuando la madera sea secada después de la impregnación. Se han alcanzado algunos progresos en este sentido, aunque ningún método ha logrado aún éxito comercial.

El desarrollo de un tratamiento económico, no lixiviable y efectivo, podría incrementar mucho el campo de usuarios de retardantes de fuego para madera. Aplicaciones sustanciales de pintura u otras coberturas hidrófugas, resistentes a la temporización, sobre la madera tratada, harán mucho para retardar la tasa de lixiviación cuando la madera se encuentra en exteriores. La lixiviación no tiene consecuencias, por supuesto, en la madera tratada que no entra en contacto directo con los factores climáticos.

2.6. RETARDANTES DEL FUEGO

Además de algunos artículos y capítulos de libros, se revisaron alrededor de 200 resúmenes de artículos publicados en el Forest Products Abstracts (1983, 1990-1991, 1993-1995), CAB Abstracts (1996-10/97) y TREECD (1939-1998), sobre varios aspectos relacionados con retardantes del fuego. En todos los libros y más de 55 resúmenes, se hacía referencia al uso de fosfatos de amonio y/o boratos, superando ampliamente a los demás ignífugos, comprobándose de esta manera que son los que despiertan mayor interés a nivel mundial.

Se observó que muchas fórmulas comerciales de retardantes del fuego, contienen fosfatos de amonio y/o boratos, lo que concuerda con Koch (1972), que afirma que los químicos retardantes del fuego comerciales comunes, incluyen fosfato de mono y diamonio, sulfato de amonio, cloruro de zinc, bórax y ácido bórico.

Varios autores, como por ejemplo Tinto (1978), los recomiendan juntos: "Para maderas que se impregnan con facilidad y a "célula llena" se aconsejan soluciones acuosas de productos compuestos del tipo "fosfo-amonio-bóricos", en concentraciones variables entre 10 y 30% , con retenciones medias de 20 a 40 kg por m³ de madera. Dentro de las sales simples a utilizar se recomienda la elección de fosfatos amónicos por no incrementar la higroscopicidad de la madera tratada, si bien resultan de mayor costo que otras sustancias tales como sulfato de amonio, con similares propiedades ignífugas, pero con superior higroscopicidad."

La eficacia retardante del fuego del fosfato de diamonio ha sido reconocida por los investigadores (Hunt y Garratt, 1953).

La mezcla bórax/ácido bórico, además de poseer cualidades retardantes del fuego, tiene otros efectos benéficos: efectividad preservante, menor impacto en las propiedades mecánicas, entre otros (LeVan y Tran, 1990).

La cobertura de origen argentino, -Direth ignífugo para maderas-, es el único ignífugo patentado, que se sepa, a la venta en comercios uruguayos.

Las coberturas ignífugas, pueden brindar considerable protección contra el fuego (Hunt y Garratt, 1953; Koch, 1972; White, 1984 y 1992); pueden ser una alternativa económica cuando mejoran la resistencia al fuego de construcciones ya existentes (Koch, 1972; White, 1984); y se pueden usar en maderas que no admiten una razonable impregnación total (Tinto, 1978).

En la actualidad, están siendo desarrolladas coberturas ignífugas que pueden competir con algunos materiales tratados a presión (Cassens y Feist, 1991).

2.6.1. Fosfato de diamonio

El proceso comercial "a prueba de fuego" originalmente empleado en los Estados Unidos, se reportó que fue desarrollado por Max Bachert, a quien fue asignada la patente de U.S. 502.867, cubriendo el uso de fosfato de amonio y sulfato de amonio y cedido a Lina Schüler el 8 de agosto de 1893. El proceso de Bachert fue subsecuentemente patentado en Inglaterra (Brit. Pat. 2.821, mayo 24, 1895) y se dice que inició la industria de ignífugos en aquel país en 1897 (Hunt y Garratt, 1953).

La indicada superioridad de los fosfatos dibásicos y monobásicos es generalmente reconocida por los investigadores. El ácido fosfórico es también sobresaliente en su habilidad para prevenir llameado y brasas de la madera (Hunt y Garratt, 1953).

Puede apreciarse el gran poder retardante del fosfato di-amónico a retenciones relativamente bajas. Utilizando el "Método Oficial Francés de Reacción al Fuego", con 25,60 Kg/m³ logra una clasificación de medianamente inflamable. Con una retención de 52,70 Kg/m³ da una clasificación de no inflamable categoría a la cual no alcanzó ninguno de los otros productos evaluados, ni aún con las retenciones más altas (Soto, 1969).

De los químicos individuales evaluados por el método de túnel de 8 pies, ASTM E286 (discontinuado desde 1991), el fosfato de monoamonio fue el más efectivo en reducir el índice de expansión de la llama. Los valores de expansión de la llama fueron reducidos desde 115 para madera terciada no tratada a damente 55 a una retención de 2 libras por pie cúbico (32 Kg/m³), 35 a 3 libras (48 Kg/m³), 20 a 4 libras (64 Kg/m³) y nivelado a alrededor de 15 para retenciones de 4,5 libras (72 Kg/m³) y mayores. El cloruro de zinc fue generalmente el siguiente en efectividad, pero requirió una retención de aprox. 5,5 lb/pie³ (88 Kg/m³) para llegar a la efectividad de 3 libras (48 Kg/m³) del fosfato de monoamonio. A 7 lb/pie³ (112 Kg/m³), el cloruro de zinc reduce el índice de expansión de la llama a 25 (Koch, 1972).

Fojutowski (1996) examinó la efectividad de protección fuego-retardante de ocho preparaciones salinas, desarrolladas para ser usadas por el método de vacío como agentes fuego-retardantes de madera terciada. Usó el método de fuego de tubo de acuerdo con Metz, sobre listones (slats) de albura de pino escocés (Pinus sylvestris) que contenían agentes de protección retardantes del fuego en cantidades en el rango desde 10 a 100 Kg/m³. La variación en la efectividad de protección contra el fuego, ocurrió solamente a retenciones del agente en la madera menores o iguales que 40 Kg/m³. La preparación fosfato-amonio se encontró que era la más efectiva.

Koch (1972) encontró que dos de los químicos más efectivos en reducir la expansión de la llama, fosfato de monoamonio y cloruro de zinc, incrementaron grandemente los índices de densidad de humo para madera terciada a retenciones encima de 2 lb/pie³ (32 Kg/m³). Sin embargo, Saxena et al. (1990), encontraron que una cobertura intumescente, hecha de fosfato de amonio, fue muy efectiva en reducir la tasa y la cantidad de humo generado.

Las sales fosfato de amonio y cloruro de zinc usadas solas, pueden corroer metales. Para reducir la corrosión se agregan frecuentemente a las formulaciones dicromato de sodio u otros inhibidores de la corrosión, pero un exceso de estos inhibidores promueve la formación de brasas (Koch, 1972).

El fosfato de amonio causa carbonización prematura de los productos de madera, cuando se exponen a temperaturas relativamente altas durante el procesado (Koch, 1972).

Según Winandy et al. (1991), los problemas de degradación de la madera fuego-retardada ocurridos en el campo, se deben a la degradación ácida de los carbohidratos de la madera, a causa de los químicos fuego-retardantes acidificados. Encontraron que el fosfato de monoamonio, fue el principal componente químico usado en la madera terciada, tratada con retardantes del fuego, que experimentó fallos inducidos térmicamente en techados. El ácido fosfórico es el ácido disociado desde el fosfato de monoamonio. Antes de la exposición a temperaturas elevadas, el proceso de tratamiento con fosfato de monoamonio causa una reducción inicial de la resistencia comparado con la madera terciada no tratada.

Tinto (1978), recomienda entre las sales simples a utilizar como retardantes del fuego a los fosfatos amónicos aduciendo que no incrementan la higroscopicidad de la madera tratada.

Goldstein y Dreher (1961), impregnaron la madera con D:P, una solución acuosa de dicianidamida y H₃PO₄, indicando que las propiedades de estos retardantes del fuego son similares a aquellas de los fosfatos de amonio a retenciones comparables. En pruebas con soluciones al 13%, el hinchamiento y la captación de humedad de pino ponderosa se redujeron enormemente comparado con la madera no tratada. La resistencia al corte de la madera y los terciados de pino del sur se incrementó, la resistencia al impacto se redujo levemente.

Schaeffer (1967), hizo una comparación de la calidad de unión usando 3 colas comerciales resorcinol-resina sobre: (a) pino del sur tratado con sales amonio y (b) no tratado. Las pruebas mostraron que las juntas no tratadas tuvieron significativamente mayor resistencia al corte y al quiebre de la madera y menor delaminación, que aquellas tratadas. En las muestras tratadas, la

sal de amonio aparentemente reaccionó con las colas.

Sin embargo, más tarde, Terent e Ivanova (1988) hicieron investigaciones sobre el encolado de madera de pino (Pinus sylvestris) y abedul (Betula alba) impregnada con un compuesto preservante estándar ruso conteniendo fosfato de diamonio, sulfato de amonio, fluosilicato de amonio y agua (23,5, 23,5, 3,0 y 200 partes por peso) y concluyeron que para encolar pino con abedul y pino con pino, fue posible usar resina resorcinol-formaldehido con contenido normal y aumentado de endurecedor. Ellos señalan que después de la impregnación con el compuesto preservante, la madera debe ser secada al contenido de humedad apropiado antes del encolado por la técnica normal.

Como los fosfatos de amonio, no tienen propiedades preservantes notorias, se han usado en mezcla con fungicidas e insecticidas.

Shukla et al. (1987) llevaron a cabo tratamientos preservantes y retardantes del fuego sobre muestras de 5 hojas preparadas con resina PF; el preservante fue 4% cobre-cromo-arsénico (CCA) y el retardante del fuego 9% fosfato de amonio/sulfato de cobre/dicromato de sodio (4:1:1), ambos usando la técnica de vacío-presión. Encontraron que ni el preservante, ni el retardante del fuego afectaron la calidad de cohesión.

2.6.2. Bórax/ácido bórico

El retardo al fuego de los compuestos de boro, ha sido apreciado desde hace bastante tiempo (LeVan y Tran, 1990).

Poco antes de la Segunda Guerra Mundial, la División de Productos Forestales de Australia (CSIRO), usó el ácido bórico y boratos contra insectos xilófagos (*Lyctus*) con gran éxito. A partir de ese momento, se desarrollaron numerosas investigaciones normalizándose el uso del ácido bórico como preservante de madera utilizada en la construcción de viviendas y muebles (Tuset y Duran, 1979).

Nueva Zelanda tiene 35 años de experiencia usando sales de boro en tratamientos preservantes de madera. Durante este período más de 9 millones de m³ de *Pinus radiata* han sido tratados de esta manera para proteger la madera de construcción, del ataque de insectos y la degradación por hongos (Forest Research Institute, 1990 a).

Gracias a sus efectos benéficos, los compuestos de boro son a menudo considerados buenos retardantes de la llama. Estos efectos benéficos incluyen efectividad preservante, pH neutro y menor impacto en las propiedades mecánicas comparado con otros químicos retardantes del fuego (LeVan y Tran, 1990).

El tratamiento con boro fue establecido como el método preferido para preservar madera para situaciones de bajo riesgo. El método de tratamiento es relativamente barato, simple y fácilmente monitoreable para propósitos de control de calidad. Los químicos tienen baja toxicidad para humanos pero son tóxicos para insectos xilófagos (ej., *Anobium punctatum*) y hongos de degradación. Son también incoloros, limpios, inodoros y causan baja corrosión. Además, la madera tratada puede ser fácilmente pintada y encolada. Hoy, los compuestos de boro son usados en la preservación del 25% de la madera tratada en el mundo (Forest Research Institute, 1990 a).

Sin embargo, los compuestos de boro no son fijados en la madera y se lixivian si son expuestos a condiciones de humedad y por lo tanto, en edificios, son solo deseables para uso interior (Eaton y Hale, 1993).

El pentaborato de sodio se perfila como muy conveniente por su acción retardante del fuego y su probado efecto fungicida e insecticida. Éste se obtiene a partir de bórax y ácido bórico (Universidad de Chile, 1964).

Considerando el efecto ignífugo del pentaborato de sodio y el "Timber A" (marca registrada) resulta más satisfactorio el

primero pues para lograr un grado igual de eficacia se requiere una retención menor (Soto, 1969).

La adición de boratos como tratamiento químico retardante del fuego fue encontrada significativamente mitigante de la degradación térmica (Winandy, 1997).

Los compuestos de boro también han sido probados como agentes antimancha, particularmente en latifoliadas, y han sido aplicados junto con gamma-HCH y pentaclorofenato de sodio.

Otras formas de tratamiento de boro incluyen remedios con glicol ésteres de boro, como es triexileno-glicol-borato, que es soluble en solventes orgánicos y boratos preparados en mono-etileno glicol. Un desarrollo reciente en Nueva Zelandia es el pretratamiento de la madera con organo-boratos vaporizados (Burton et al. 1990). El desarrollo en el uso de compuestos de boro para pre tratamientos y tratamientos remedio de la madera han sido extensivamente revisados por Dickinson y Murphy (1989) (Eaton y Hale, 1993).

Es factible hacer la madera resistente a la degradación y al fuego, por el uso de preservantes que tengan propiedades retardantes del fuego o por inclusión de fórmulas de sales fuegorretardantes, que son tóxicas a los hongos de pudrición de la madera; ambos medios son comunmente empleados en la práctica comercial. El bórax, ácido bórico, y cloruro de zinc son preservantes además de fuego-retardantes (Hunt y Garratt, 1953).

Según Williams (1984), el poliborato más ampliamente usado para tratamiento de madera, es el octaborato de disodio tetrahidratado ($\text{Na}_2\text{B}_8\text{O}_{13} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, como TIM-BOR). TIM-BOR es una marca registrada de US Borax and Chemical Corporation, Los Angeles, California. El compuesto es etiquetado corrientemente para prevención de hongos de la degradación y los siguientes escarabajos que infectan la madera almacenada y en uso: Anobium punctatum, Lyctus brunneus, e Hylotrupes bajulus. TIM-BOR no es recomendado comunmente para la protección contra termitas o para el tratamiento de madera que estará en contacto con el suelo o expuesta a la lixiviación por la lluvia. Dicha lixiviación, sin embargo, puede ser prevenida por un acabado como la pintura.

En la Universidad de Chile (1964), investigando la eficacia del octaborato disódico frente al ataque de termitas, encontraron que Reticulitermes flavipes es muy sensible a este antiséptico, aún en concentraciones muy diluidas. Se prevé que una retención de 0,3% de ácido bórico (basada en peso seco de la madera) protegería razonablemente la madera contra el ataque de este insecto xilófago, siempre y cuando ella sea protegida del lavado. Esta cifra correspondería a una retención de sal de 1,06 Kg/m³ de madera.

En la misma publicación de la Universidad de Chile (1964), se ensayó la impregnación por inmersión en pentaborato de sodio contra el ataque de termitas. De los resultados obtenidos se deduce que la concentración del antiséptico, así como su forma de aplicación dieron protección suficiente tanto a las partes externas como internas de la madera. La retención promedio de ácido ortobórico hallada al interior de las probetas de ensayo fue de 0,98% (basada en el peso anhidro de la madera).

La vida media de los postes redondos de pino del sur amarillo, tratados con bórax/ácido bórico 50:50, fue de 10,6 años para una retención promedio de 14,74 Kg/m³ (con una retención máxima de 21,15 Kg/m³ y una mínima de 10,25 Kg/m³), en cambio la vida media de los postes no tratados fue de 3,3 años (Clorogil S.A., 1971). La vida media de las estacas de pino del sur (de 4 x 18 pulgadas y espesor variable, generalmente de 2 pulgadas) tratadas con bórax/ácido bórico 60:40 partes en peso es de 6 años para una retención de 48 Kg/m³ y de 6,5 años para una retención de 100 Kg/m³. La vida media de las estacas no tratadas fue de 2,2 años (Gjovik y Davidson, 1979) (Anexo Nº 2). Entonces en ambos casos, la vida media de la madera de pino del sur tratada con distintas proporciones de bórax/ácido bórico, fue aproximadamente 3 veces mayor que la de los controles no tratados.

Kininmonth (1963) sostiene que hay evidencia de que parte del ácido bórico se pierde desde la tabla durante el secado al horno, especialmente a altas temperaturas. Dice que la volatilización en forma de vapor parece ser la causa de esta pérdida de preservante.

Winandy y Schmidt (1995), para incrementar la penetración de un tratamiento terapéutico de borato (sin el uso excesivo de agua que puede lixiviar el químico fuego-retardante), aplicaron los boratos en una mezcla de glicol/agua en madera terciada de pinos del sur. Los resultados preliminares indicaron que los tratamientos terapéuticos borato/glicol pueden intervenir parcialmente en la degradación térmica de la madera terciada tratada con fuego-retardantes y evitar la lixiviación.

Dulat (1980), estudiando los efectos de preservantes y retardantes del fuego boratados, impregnó bloques de madera de pino escocés con soluciones acuosas de 5, 10 y 15% tetrahidrato octaborato de disodio, 5% de bórax y 5% ácido bórico. Los resultados demostraron que ninguno de los boratos incrementó el contenido de humedad de equilibrio normal de la madera. El ácido bórico causó una leve reducción en el contenido de humedad de equilibrio; el efecto se atribuyó a la unión electrostática entre las fibras y el ácido. Los boratos no tuvieron efectos significativos en la tasa de secado.

Varias propiedades mecánicas de tableros de fibra de densidad media (MDF), tableros de partículas y strandboard orientados (OSB) fueron investigados por Hashim et al. (1994), después que los tableros fueron tratados a dos niveles de retención de ácido bórico, aplicado con un sistema de fase de vapor. Las retenciones de la prueba representan niveles apropiados para protección contra ataques biológicos y fuego. Las conclusiones a las que llegaron indican que el tratamiento de vapor de boro resultó en efectos positivos o neutrales en la mayoría de las propiedades mecánicas de los tableros, excepto por una reducción general en la resistencia al impacto, a la más alta retención de ácido bórico.

Gankov y Tsocheva (1980), impregnaron chapas de Haya y Alamo, con una solución acuosa al 20% de tetraborato de sodio. Los tratamientos con bórax causaron reducciones en la fuerza de cohesión un 34-56% en la prueba seca y alrededor de un 80% en la prueba húmeda; en el test de hervido, la madera terciada se delaminó después de 30 - 45 min.

Stanger (1962), señala que las dificultades encontradas en el encolado de la madera, a veces, han sido atribuidas a la presencia de preservantes. Para probar esta suposición, preparó juegos de juntas encoladas de albura tratada de pino radiata y por medio de un test tipo clivaje, comparó sus resistencias con las de controles apareados no tratados. Los preservantes fueron: (a) poliborato, (b) cobre-zinc-cromo-arsénico y (c) cobre-cromo-arsénico; fueron aplicados por tratamientos a presión. Las colas usadas fueron urea-formaldehído, melamina-urea-formaldehído y resorcinol-formaldehído (todas fueron formuladas para ser curadas a temperatura ambiente). La investigación mostró que ninguna de las resistencias de las juntas fue afectada, concluyendo que los estándares de las técnicas de encolado para cada pegamento pueden ser mantenidos.

Proporción de la mezcla bórax/ácido bórico

La proporción en que conviene usarlos, es un problema a resolver, ya que el bórax y el ácido bórico han sido mezclados en distintas cantidades y cada autor, propone una explicación diferente para ello.

Hunt y Garratt (1953) y Koch (1972) hacen referencia a la mezcla retardante del fuego de bórax/ácido bórico en una proporción de 40:60 respectivamente.

Gerardo Soto Urbina (1969), de la Universidad Austral de Chile, señala que el pentaborato de sodio, se obtiene haciendo reaccionar químicamente y en proporciones estequiométricas, el

bórax y el ácido bórico. Y agrega que el pentaborato de sodio tiene un mejor efecto ignífugo que la mezcla "Timber" porque el primero es más oxidante que los productos de los cuales se obtiene (bórax y ácido bórico) y a que cristaliza con un mayor número de moléculas de agua.

Cabe recordar que Hunt et al. (1932) no encontraron relaciones consistentes cuando la efectividad de varios químicos fue diagramada contra su agua de cristalización.

Según Tuset y Durán (1979) como el ácido bórico tiene acción corrosiva para metales, se le ha usado en mezcla con bórax en la proporción de 39,4% de ácido bórico y 60,6% de bórax decahidratado. Afirman además que cuando se mezclan el bórax con el ácido bórico se logra una mayor cantidad de radicales activos que si se disolviera cada uno por separado, proporcionando mayor efectividad en la protección de la madera tratada.

Koch (1972) entiende que el ácido bórico es particularmente efectivo como retardante de llama y que éste aumenta los índices de humo. Además dice que los boratos, reducen notablemente los valores de índice de humo.

LeVan y Tran (1990) consideran que el bórax tiende a reducir la expansión de la llama pero puede promover brasas o fuego lento sin llama y con humo. Por otra parte, el ácido bórico suprime estas brasas pero tiene un pequeño efecto sobre la expansión de la llama. Por eso estos compuestos se usan normalmente juntos.

La solubilidad de la mezcla también es tomada en cuenta al momento de elegir la proporción a usar.

McQuire y Goudie (1972), recomiendan mantener la concentración de la solución por debajo de 15% p/v H_3BO_3 equivalente para de este modo poder almacenar la solución (poliborato) sin calentamiento y sin riesgo de precipitación.

Tuset y Durán (1979) señalan que se está usando un borato de gran solubilidad cuya composición aproximada es disodio octaborato tetrahidratado ($Na_2B_8O_{13} \cdot 4H_2O$). Según Tamblin (1985) citado por Eaton y Hale (1993), el ácido bórico (H_3BO_3) y el bórax ($Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$) preparados en una mezcla de 46:54 forman disodio octaborato tetrahidrato ($Na_2B_8O_{13} \cdot 4H_2O$).

Según Harrow K.M. (1951), citado por Cella et al. (1996), la proporción en que el óxido de sodio y el óxido de boro están presentes en una solución de bórax y ácido bórico, o sea la proporción molecular de $Na_2O:B_2O_3$, afecta marcadamente la solubilidad del óxido de boro en agua. La máxima solubilidad se alcanza con la relación 1:3,8: pero en este punto la solución no

es particularmente estable. Un exceso en la proporción de bórax podría aportar un exceso de Na_2O , llevando la relación a 1:3; ocasionando un repentino descenso de la solubilidad. Por esta razón se formulan soluciones levemente menores al pico de máxima solubilidad, con una relación de 1:4. Esta relación se obtiene mezclando bórax y ácido bórico, en una proporción 1,54:1 en peso (esto es 60,6% de bórax y 39,4% de ácido bórico).

Intentando aclarar de alguna forma estas opiniones encontradas que anteceden, Robert White, Jefe de Planeamiento del Forest Products Laboratory (Madison, Estados Unidos), en una comunicación personal, respondió de la siguiente manera:

"... Susan LeVan en su artículo "The Chemistry of Fire Retardancy" en el libro de la Am. Chem. Soc. de 1984 "Chemistry of solid wood", editado por Roger Rowell discutió el producto conocido como poliborato que tiene la fórmula general de $\text{Na}_2\text{B}_8\text{O}_{13} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ "Cuando se agrega bórax a una solución saturada de ácido bórico, la solubilidad se incrementa. La polimerización de los poliboratos remueve los iones de ácido bórico y boratos de la solución, permitiendo de esta forma que más ácido bórico o bórax se disuelvan. Esta solución resultante (que es cercana a la relación $\text{Na}_2\text{O}/\text{B}_2\text{O}_3$ de máxima solubilidad) es poliborato. Este material se disuelve rápidamente en agua para formar una solución saturada". El poliborato fue usado como preservante y como retardante del fuego.

En el trabajo reciente de LeVan y Winandy sobre degradación térmica a temperaturas elevadas de madera tratada con retardantes del fuego, fue usado 60% de bórax y 40% de ácido bórico.

En el trabajo de 1970 sobre aislación celulósica, fue usada una mezcla de 1:1 ácido bórico/bórax.

En otro artículo sobre aislación celulósica, fue citada una referencia que para una concentración de 10% de bórax, se necesitó un incremento de ácido bórico de 7,5 a 20% .

Se necesita preferentemente más ácido bórico para un producto como aislante celulósico que tiene un problema mayor de humeado (smoldering) ya que ha sido agregado para reducir el humeado, que es incrementado por el uso de bórax para reducir las llamas.

El AWWA Standard P17-98 da fórmulas para dos productos comerciales que usan ácido bórico pero no bórax. El ácido bórico está en una mezcla de 30% de ácido bórico más 70% de fosfato de guanilurea y en otra con 18% de éste + 58% de fosfato P_2O_5 + 24% de amonio NH_3"

2.6.3. Fosfato de diamonio y bórax/ácido bórico

Kim (1982), en estudios sobre secado con prensa en madera terciada fuegorretardada, probó soluciones al 20% de sulfato de amonio, fosfato de monoamonio, fosfato de diamonio, bórax/ácido bórico y Minalith (*). Y encontró que la pérdida de peso con el tratamiento fue en el orden: fosfato de diamonio < fosfato de monoamonio < sulfato de amonio < Minalith = bórax/ácido bórico. La efectividad retardante del fuego estuvo en el orden: fosfato de diamonio > sulfato de diamonio = fosfato de monoamonio > bórax/ácido bórico = Minalith.

Lee et al. (1989), determinaron los Indices de Oxígeno (la mínima concentración de oxígeno necesario para soportar combustión con llama y por eso una inversa de la medida de inflamabilidad) por el método "Up and Down" de Dixon y Massey en madera terciada tratada con cinco químicos retardantes del fuego comerciales. Los índices de oxígeno fueron 28,4% para madera tratada con sulfato de amonio, 28,7% para fosfato de monoamonio, 43,4% para fosfato de diamonio, 30,1% para bórax/ácido bórico, 32,4% para Minalith y 25,6% para agua. Esto sugirió que el fosfato de diamonio fue el mejor retardante del fuego.

Jain y Ananthanarayana (1981), probaron la eficacia de veinte químicos por el método de fuego de tubo en el tratamiento de tres especies con baja resistencia natural al fuego. Los fosfatos de amonio monobásicos y dibásicos fueron los retardantes más efectivos seguidos por el ácido bórico y bórax que fueron los mejores de estos químicos que además poseen propiedades preservantes.

La incorporación de los retardantes del fuego fosfato monoamónico, ácido bórico o bórax a 10, 15 ó 20% del peso de chips secados antes del encolado, mejoran la resistencia a la propagación del fuego de los tableros. El mejor tratamiento fue al 20% de ácido bórico que mejoró el índice de resistencia a la propagación del fuego, en más de 50% (Abdul Rashid, 1987).

El pentaborato de sodio y el "Timber A" presentan propiedad ignífuga a niveles altos de retención pudiéndose lograr iguales grados de eficacia que con el fosfato di-amónico (Soto, 1969).

(*) Minalith está compuesto por fosfato de diamonio, sulfato de amonio, bórax y ácido bórico (10:60:10:20 respectivamente).

LeVan y otros (1990) examinaron los efectos de seis formulaciones retardantes del fuego (ácido fosfórico, fosfato de monoamonio, bórax/ácido bórico, sal orgánica fosfatada, sistema amino resina, ester fosfato-orgánico) sobre las propiedades mecánicas de la madera sólida de pinos del sur. Las muestras tratadas con ácido fosfórico fueron severamente degradadas y el módulo de ruptura (MOR) y el trabajo a máxima carga (WML) fueron reducidos de un 20% a un 50% comparado a las muestras no tratadas. Las muestras tratadas con fosfato de monoamonio también mostraron degradación térmica sustancial aunque no tan severa como las muestras tratadas con ácido fosfórico. Las muestras tratadas con otros retardantes del fuego fueron menos degradadas que las tratadas con fosfato de monoamonio o ácido fosfórico (White, 1992).

Hirata et al. (1992), hicieron pruebas de toxicidad de los gases de combustión, higroscopicidad y fuerza adhesiva para madera contrachapada tratada con fuego-retardantes. La madera contrachapada fue preparada de chapas tratadas con fosfato de diamonio y bromuro de amonio, y de goma mezclada con fosfato de amonio. Las tablas de madera contrachapada fueron además cubiertas con ácido bórico. Los contenidos altos de fosfato de amonio y bajos de bromuro de amonio con la cobertura de ácido bórico dieron la mayor reducción de la toxicidad en la combustión. La influencia de casi todos los tratamientos sobre la higroscopicidad, no fue significativa. En todos los tratamientos fuego-retardantes, la fuerza adhesiva seca y la fuerza adhesiva en ebullición cíclica fue leve y considerablemente reducida, respectivamente.

Abdul Rashid (1993), hizo un estudio sobre la pirólisis de 3 maderas de Malasia (Koompassia malaccensis; Dipterocarpus baudi; y Agathis borneensis) tratadas con fosfato monoamónico y bórax. Después del test de propagación del fuego, la pérdida de peso de la madera tratada con fosfato monoamónico fue menor que la de aquella tratada con bórax. Sin embargo, la presencia de material resinoso en Dipterocarpus baudi afectó la resistencia a la propagación del fuego del fosfato monoamónico, pero no la del bórax. El fosfato monoamónico y el bórax se comportan diferente a varios rangos de temperatura. El fosfato monoamónico incrementó la liberación de volátiles a temperaturas por debajo de los 300°C.

En un estudio llevado a cabo por Gjovik y Davidson (1979), observaron que, estacas tratadas a presión con formulaciones fuego-retardantes conteniendo fosfato de amonio y sulfato de amonio duraron, en promedio, solamente 2 a 3 años en Mississippi. Con estas sales de amonio más bórax y ácido bórico, las estacas instaladas en 1943 duraron un promedio de alrededor de 4 años. La formulación fuego-retardante con bórax y ácido bórico solos,

proveyó una protección contra la pudrición y las termitas por un promedio de alrededor de 6 años. La adición de cloruro de zinc y compuestos de cromo a combinaciones de sales de boro y amonio en fuego-retardantes mejoró la protección contra el deterioro fúngico y las termitas (Anexo Nº 2).

El costo relativo de los químicos, basados en las cantidades que deben ser inyectadas dentro de la madera para dar el grado requerido de resistencia al fuego es de suma importancia en la determinación de la conveniencia de estas sustancias para tratamientos comerciales retardantes del fuego. El costo por libra de fosfato de amonio es relativamente alto y no son ampliamente usados para este propósito, menospreciando su alta efectividad. El cloruro de zinc, el sulfato de amonio, el bórax y el ácido bórico son más comunmente usados (Hunt y Garratt, 1953).

A continuación se presenta una tabla conteniendo los precios por kilogramo de distintos productos químicos (calidad técnica a menos que se especifique lo contrario) que tienen propiedades retardantes del fuego, en Uruguay:

CUADRO Nº 2

Costo (en pesos uruguayos por kilogramo) de químicos retardantes del fuego (Diciembre de 1998)

PRECIOS (\$/Kg IVA inc.)

	DROGUERIA A	DROGUERIA B
Acido bórico	30,00	40,60 (puro)
Bórax	53,00	40,60 (puro)
Cloruro de zinc	84,30 \$/litro	-
Dicromato de sodio	50,50	47,97
Fosfato de diamonio	63,00	49,20
Sulfato de amonio	9,80	15,99

2.6.4. Coberturas retardantes del fuego

Coberturas para madera retardantes del fuego, son aquellas que reducen la expansión de la llama en el modo de fuego de pre estallido, como oposición a las coberturas del fuego ignífugas que mejoran la resistencia al fuego de los sustratos protegidos, más allá del tiempo de estallido (White, 1984).

Un retardante del fuego o una cobertura retardante de llama demora la ignición y la combustión del sustrato cuando la cobertura es expuesta al fuego (White, 1988).

En general, las coberturas ignífugas tienen un mayor tiempo total de resistencia al fuego que las coberturas retardantes del fuego. Se espera que las coberturas retardantes del fuego disminuyan solamente la expansión de la llama (White, 1984).

"Las coberturas retardantes del fuego han sido evaluadas de acuerdo a la ASTM E84 y coberturas ignífugas han sido evaluadas de acuerdo a la ASTM E119. Fueron varias las experiencias con vendedores representantes de la industria de las coberturas que no conocen la distinción" (White, 1988).

El grado de protección que puede ser obtenido por la aplicación de coberturas retardantes del fuego depende sobre todo de la composición, la cantidad y la minuciosidad de la aplicación, la severidad de la exposición al fuego (Koch, 1972), y del tamaño y tipo de madera a proteger (White, 1984).

El comportamiento de las coberturas mejora cuando el espesor de las mismas se incrementa (White, 1984).

Varias de las coberturas que limitan la expansión de la llama deben su efectividad a compuestos solubles en agua, como el fosfato de amonio, bórax y silicato de sodio. También están disponibles coberturas retardantes del fuego a base de aceite, dependiendo del borato de zinc, trióxido de antimonio, parafina clorata y elastómeros para darles retardo al fuego (Koch, 1972).

Además de los químicos retardantes del fuego, varias de estas coberturas tienen características intumescentes; la cobertura se espuma y se expande en una gruesa capa cuando se expone al calor, aislando y protegiendo la superficie de la madera de la descomposición térmica (Koch, 1972). Cuando la expansión es sustancial, la espuma escurre o se desprende de las mismas. Mientras gran parte de la espuma a veces se desprende, la base de la capa de espuma permanece unida a la madera. Después de una exposición continua al fuego, el resto de la capa espumosa se quema o se desprende (White, 1984). Esta característica intumescente se obtiene por combinación de ciertos carbonatos, vinil-acetatos, almidones, fosfatos ácidos, aminoaldehídos, tung, o aceites de isano como parte de la formulación de la cobertura (Koch, 1972).

Muchos autores opinan que la mayor protección contra el fuego se logra tratando la madera en profundidad, aunque otros tantos, han encontrado que algunas coberturas retardantes del fuego proveen buena protección contra el fuego.

Cassens y Feist (1991) afirman que actualmente están siendo desarrolladas coberturas fuego-retardantes que pueden competir con algunos materiales tratados a presión.

White (1984, 1988) encontró que las coberturas ignífugas pueden proveer protección significativa a la madera expuesta a las condiciones ASTM E119.

Según una publicación inglesa de la Fire Protection (1950), "Flame-seal", una cobertura retardante del fuego manufacturada por la Corporación Química Stallton, Ciudad de Long Island, Nueva York, fue aplicada al Abeto Douglas, Idaho, Pino ponderosa y pino amarillo y sometida a pruebas. Madera virgen, protegida con una capa de esta cobertura pudo soportar un soplete a 1093°C durante 30 minutos sin ninguna extensión de llama; la cobertura forma una costra blanca que crea una dura pared protectora, por lo menos 8 veces más gruesa que la cobertura original. La exposición a la llama del soplete, sobre un punto, por más de 30 minutos, resulta en algún carbonizado, pero no en combustión. Indican que además es hidrófuga, a prueba de termitas y que no es tóxica durante su aplicación o cuando es expuesta al fuego.

Nikolov et al. (1984) probaron una resina polyester insaturada, especialmente desarrollada con un átomo de fósforo en la molécula, para la protección de albura de pino escocés contra el fuego. Hallaron que el compuesto de madera plástica se quemó dos veces más lento que la madera no tratada.

2.6.4.1. Direth ignífugo

MODO DE ACCION: El producto actúa produciendo la inhibición de llama de forma tal de evitar la propagación del fuego más allá de la zona de incidencia directa de una llama externa (según indica el fabricante).

Al ser Direth ignífugo una marca registrada, la reserva sobre la composición del producto fue absoluta. Sin embargo, Química Bosques S.A.I.C. cedió los resultados de ensayos sobre la eficacia del producto, realizados por un ente oficial argentino, CITEMA (Centro de Investigación Tecnológica de Madera y Afines): "... Los ensayos fueron realizados en madera de pino, de acuerdo a la Norma IRAM 11910, con la que se determina un índice superficial de propagación de llama por un método específico denominado Panel Radiante.

La tabla indica los valores y su clasificación correspondiente:

CLASE	DENOMINACION	INDICE DE PROPAGACION SUPERFICIAL DE LLAMA
RE 1	Incombustible	-
RE 2	Muy baja propagación de llama	0 a 25
RE 3	Baja propagación de llama	26 a 75
RE 4	Mediana propagación de llama	76 a 150
RE 5	Elevada propagación de llama	151 a 400
RE 6	Muy elevada propagación de llama	> 400

La madera de pino resinoso, pertenece a la categoría RE 5, Elevada propagación de llama con un índice de 260,90.

La aplicación de DIRETH IGNIFUGO transformó a la madera en un material de Baja propagación de llama, con un índice de 28,68, valor que se encuentra en el límite con la clase RE 2, de muy baja propagación de llama. La aplicación del producto en las probetas fue realizada por el CITEMA, de acuerdo a las indicaciones de la etiqueta utilizando el método de pincelado.

La Norma 11910, coincide con la Norma ASTM E162 y las clasificaciones de índice de propagación de la llama coinciden también con algunas clases de la Norma brasileña ABNT-ME-24. ..." (Esta última no se encontró en el Instituto Uruguayo de Normas Técnicas).

Otros datos se obtuvieron de indicaciones del fabricante:

El ignífugo DIRETH para maderas no preserva la madera del ataque de hongos ni de insectos. Para dicho fin recomiendan utilizar el Preservador y Curador para maderas DIRETH.

Para asegurar un alto efecto residual de este ignífugo, especialmente en exteriores, la madera deberá ser protegida con algún tipo de recubrimiento (barnices, pinturas sintéticas, etc).

FORMAS DE APLICACION:

Pincelado: Aplicar dos manos del producto en forma abundante con un intervalo mínimo de 3 horas entre mano y mano.

Aspersión: Utilizar pico fino y baja presión hasta punto de chorreado. Realizar dos aplicaciones con un intervalo mínimo de 3 horas.

Inmersión: Sumergir la pieza de madera íntegramente por un período de 1 minuto.

ESTE PRODUCTO NO DEBE SER DILUIDO PARA SU APLICACION

Rendimiento aproximado: 8 a 10 m² por litro.

2.7. METODOS DE APLICACION DE LOS RETARDANTES DEL FUEGO

Existen dos métodos posibles para mejorar el comportamiento de la madera frente al fuego: (1) impregnando la madera con químicos solubles en agua y (2) pintando coberturas retardantes del fuego sobre la superficie. De los dos, la impregnación es usualmente más efectiva y durable. La impregnación es usada, por lo tanto, cuando se tratan los materiales antes de la construcción. Para madera en estructuras existentes, la aplicación en superficie de coberturas retardantes del fuego es el principal proceso (Koch, 1972).

Se recomienda la impregnación total, cuando la penetrabilidad de las maderas lo permite, con sistemas de vacío-presión en autoclave (Tinto, 1978).

Los métodos usados para inyectar químicos de resistencia al fuego dentro de la madera son sustancialmente los mismos que aquellos empleados con las sales preservantes, la principal diferencia radica en la alta retención requerida con los fuego-retardantes (Hunt y Garratt, 1953).

Las retenciones de ignífugos deben ser altas para ser efectivas, estando entre 2,5 a 5 libras de químico seco por pie cúbico de madera cerca de la superficie (40 a 80 Kg/m³). Para madera que debe ser reconocida como igual a los materiales "no combustibles", el retardante del fuego debe penetrar completamente todas las secciones (Koch, 1972).

Excepto por el hecho de que los hornos de secado deben estar previstos para secar ciertas clases de material, el equipamiento requerido para tratamiento de madera con ignífugos, es básicamente el mismo que el que es usado en una planta de preservación de madera regular (Hunt y Garratt, 1953).

Como el pino del sur es fácilmente impregnado, es muy deseable para tratamientos retardantes del fuego que requieren penetración en profundidad. Normalmente no es necesario cortar la superficie para mejorar la penetración; pero las piezas que contienen duramen de alta densidad deben ser excluidas, por su dificultad de absorción (Koch, 1972).

Los tratamientos que pierden altas concentraciones de químico efectivo en las capas exteriores de la madera, brindan igualmente considerable protección, aunque el interior puede no estar impregnado. Sin embargo, es necesario obtener penetración en profundidad, si se requiere que el material pase los test de tubo, de cesto, u otras pruebas de aceptación. La penetración a través de toda la madera es esencial cuando será subsecuentemente cortada o manufacturada, ya que estas operaciones pueden de otra

manera exponer madera no tratada o pobremente tratada. Para evitar cualquier clase de falla, es particularmente deseable que la madera de especies refractarias sea modelada tan cerca como sea posible de su forma final y dimensiones, antes de ser impregnada. La mayoría de la madera fuego-retardada debe ser cepillada o lijada después del proceso, para remover la superficie rugosa manchada y prepararla para recibir el acabado. Estas operaciones de superficie deben ser practicadas lo más livianamente posible, porque reducen el espesor de la mayoría de las capas de la madera con mayor contenido de sales (Hunt y Garratt, 1953).

Los métodos de preservación que utilizan presión aplicada por medios mecánicos, requieren instalaciones costosas donde se necesita una gran producción que justifique la inversión realizada pero, a la vez, son métodos que proporcionan una efectiva protección a la madera bajo condiciones que pueden controlarse fácilmente (Tuset y Durán, 1979).

Hay dos métodos principales para inyectar preservantes a presión en la madera: el de célula llena y el de célula vacía (Koch, 1972).

Generalmente se emplea el proceso de célula llena, porque los métodos de célula vacía necesitarían el uso de soluciones mucho más concentradas y por otra parte, ofrecen pequeñas ventajas (Hunt y Garratt, 1953).

El objetivo en el proceso de célula llena es retener tanto líquido en la madera como sea posible, dejando los lúmenes celulares llenos de líquido preservante al final del ciclo de tratamiento, de aquí el nombre proceso de "célula llena" (Koch, 1972; Eaton y Hale, 1993).

En 1838, John Bethell patentó un sistema de vacío-alta presión (de célula llena) para la impregnación de creosota dentro de la madera. Este proceso, en forma modificada fue el precursor de muchos otros usados hoy (Eaton y Hale, 1993).

Los autoclaves para el método de célula llena son cilindricos a fin de soportar alta presión. Deben tener tuberías internas para calentamiento o el calor puede ser aplicado mediante una envoltura externa alrededor de la planta de tratamiento, aunque para tratamiento con químicos disueltos en agua, la temperatura de la solución debe mantenerse por debajo de 65,50C (Koch, 1972). Los cilindros de presión pueden ser de tamaño muy grande o pueden existir muy pequeñas plantas de laboratorio; las plantas comerciales más pequeñas pueden tener 0,5 m de diámetro a 6 m de largo; las plantas más grandes, pueden contar con puertas en ambos extremos, que permiten una mayor eficiencia, pueden llegar

a 3 m de diámetro y como máximo 50 m de largo (Eaton y Hale, 1993).

En nuestro país, la planta de impregnación a presión más importante, en cuanto a sus dimensiones y producción, se encuentra en el departamento de Tacuarembó y pertenece a UTE. Existen otras cuatro plantas de este tipo en el país y que se sepa, ninguna impregna la madera con retardantes del fuego (Carlos Mantero, com. pers.).

Antes de iniciarse el proceso de Bethell es fundamental que las maderas estén secas, presentando un tenor de humedad menor a 28% (Punto de Saturación de las Fibras), para permitir el acceso del preservante, evitando también que éste se diluya (Eaton y Hale, 1993).

El método consiste en lo siguiente: se introduce la madera dentro del cilindro de tratamiento que es cerrado herméticamente. A continuación, se pone en funcionamiento una bomba de vacío de modo de extraer el aire contenido en la madera, para así facilitar la entrada del líquido preservador (en general el valor del vacío es de 600 mm de mercurio). Aprovechando el vacío realizado, se llena el cilindro de tratamiento con el preservante, cuidando de evitar que entre aire, para lo que es necesario llenar el cilindro manteniendo en funcionamiento la bomba de vacío, por lo que ésta deberá tener un depósito suficientemente grande intercalado, de modo de impedir que eventualmente penetre preservante dentro de la misma, obligando a un desarme y limpieza de su mecanismo. Una vez lleno el cilindro con el preservante, se pone en funcionamiento una bomba de alta presión que fuerza cierta cantidad adicional de preservante y eleva la presión dentro del cilindro a un valor de 10 - 12 Kg/cm², presión que debe ser mantenida tanto tiempo como sea necesario para que el preservante penetre enteramente la madera. Completado el período de presión, el preservante es bombeado hacia el tanque de almacenamiento y finalmente, se hace un nuevo vacío con la finalidad de extraer el exceso de preservante de la superficie de la madera y dejar seca la madera para su más fácil manipulación (Tuset y Durán, 1979).

La madera de pino del sur se estaciona o seca al horno y luego se aplica un vacío por 15 a 60 minutos. La solución retardante del fuego, usualmente a una concentración de 12 a 18%, se introduce a una carga de madera completamente inmersa y se aplica una presión de 150 p.s.i. (10 bar) por 30 a 180 minutos dependiendo de las dimensiones de la madera. La carga entonces se retira, se drena el exceso de solución y se seca al aire o en horno, al contenido de humedad anticipado que el producto tendrá en servicio. En hornos de secado, la temperatura máxima no debe exceder 71°C. Temperaturas más altas pueden provocar una reacción

de degradación térmica del químico. La madera fuego-retardada se oscurece algo durante el secado. Si la madera debe ser cepillada después del tratamiento, debería retirarse una mínima cantidad de madera, porque la retención -así como la protección- es mayor en la zona externa. La madera terciada de pino del sur puede ser procesada adecuadamente con el mismo programa usado para madera sólida de pino del sur (Koch, 1972; Eaton y Hale, 1993).

El método de célula llena a alta presión usando presiones de 69 bar (1000 psi) ha sido empleado en Australia para tratamiento de eucaliptos refractarios con pentaclorofenol en aceite pesado a 70°C. Plantas especialmente diseñadas hechas de platos de acero de 48 mm fueron usadas para este propósito. También se consiguieron beneficios positivos experimentalmente, para roble blanco a más altas presiones (Akhtar y Walters, 1974, citados por Eaton y Hale, 1993).

Las retenciones reales obtenidas dependen de la concentración del preservante, tiempo de tratamiento, diferencias de presión, permeabilidad, relaciones duramen-albura y tamaño de los especímenes (Eaton y Hale, 1993).

2.8. CONCENTRACIONES A ENSAYAR

El retardo del fuego es función del nivel de concentración de los químicos (LeVan y Tran, 1990).

La efectividad general de cualquier tratamiento de impregnación con retardantes del fuego depende sobre todo de la clase de químico usado y de la cantidad inyectada dentro de la madera. Absorciones muy bajas, aún de los químicos más eficientes, no brindarán mucha protección (Hunt y Garratt, 1953).

Los retardantes del fuego, entran en la madera (en el método de Bethell, empleado en esta tesis), disueltos en agua. Se puede saber cuánta solución absorbió la madera por su diferencia de peso antes de ser impregnada y después de la impregnación. Se supone que cuando la madera se seca, el agua se evapora, pero el ignífugo permanece en su interior. Esta cantidad de químico que queda retenido dentro de la madera, se conoce como Retención Neta de Sal Seca y se mide en kilogramos por metro cúbico de madera.

Cabe mencionar, que Kininmonth (1963), sostiene que hay evidencias de que parte del ácido bórico inyectado dentro de la madera, se pierde durante el secado a altas temperaturas. Señala que la causa, parece ser la volatilización de este ignífugo en forma de vapor.

Como las pérdidas en cada caso deben ser diferentes (dependen de la temperatura de secado, el tipo de madera, el tamaño de las piezas), no se pueden cuantificar exactamente por métodos sencillos.

La concentración de la solución ignífuga y la retención que se logre de los productos en la madera están estrechamente ligadas, ya que una solución más concentrada, contiene más producto disuelto. Por lo tanto a una misma absorción (la de un determinado espécimen) quedará retenido más ignífugo dentro de la madera.

La fórmula que relaciona estos conceptos es la siguiente:

$$\text{Retención} = \text{Concentración de la sol. (Kg/L)} \times \text{Absorción (L/m}^3\text{)} \\ \text{(Kg/m}^3\text{)}$$

Para que el tratamiento retardante del fuego sea efectivo, se necesita que una cierta cantidad de ignífugo quede retenido en la madera. Dicha cantidad depende del tipo de madera, del ignífugo del que se trate y del grado de efectividad fuego-retardante exigido.

Por ejemplo, maderas cilíndricas o aserradas grandes, requieren menos retención por metro cúbico que las más pequeñas porque tienen menos superficie en proporción a su volumen. Las maderas aserradas, sin embargo frecuentemente requieren

tratamientos más pesados para asegurar que el duramen expuesto esté adecuadamente penetrado (Koch, 1972).

Las especies que se usaron en los experimentos que se presentan a continuación, no son siempre las mismas que las que se utilizaron en este estudio, pero sí lo son los ignífugos.

Soto (1969), determinó el "rango de eficacia" para fosfato de diamonio, pentaborato de sodio (que como ya vimos es una mezcla de bórax/ácido bórico) y Timber A (una marca registrada), usando el "Método Oficial Francés de Reacción al Fuego". Concluyó que: "... el tratamiento con Pentaborato de sodio al 5% con una retención promedio de 27,80 Kg/m³ no resulta eficaz pues se clasifica como fácilmente inflamable; con un 10% se logra una retención de 49,9 Kg/m³ dando clasificación de medianamente inflamable, límite superior, resultando espectacular en relación al testigo (IF = 4,25 contra 27,75 del testigo) pero no satisface la condición de difícilmente inflamable categoría en que se clasifican los tratamientos al 15 y 20% con 69,50 y 103,60 Kg/m³. La retención mínima efectiva debe mantenerse entonces entre 49,9 y 69,50 Kg/m³ pues con esta última retención se obtienen índices sensiblemente inferiores a la unidad y basta que sean iguales a 1 para clasificar el ensayo como satisfactorio. El tratamiento al 15% es realmente notable. Prácticamente no hay producción de llamas y la más alta fue de 3 cm.

En base a iguales consideraciones se establece el rango de retención eficaz para los otros dos productos resultando entre 57 y 90 Kg/m³ para la mezcla Timber A y entre 25 y 53 Kg/m³ para fosfato di-amónico.

Puede apreciarse el gran poder retardante del fosfato di-amónico a retenciones relativamente bajas. Con 25,60 Kg/m³ logra una clasificación de medianamente inflamable, límite superior resultando todos los índices, excepto uno inferior a la unidad. Con una retención de 52,70 Kg/m³ da una clasificación de no inflamable categoría a la cual no alcanzaron ninguno de los otros productos ni aún con las retenciones más altas. ..."

En su trabajo "El rol del boro en el retardo de la llama", Levan y Tran (1990), dicen:

"Nosotros estimamos que, niveles de concentración de al menos 7,5% (3 lb/ft³) (48 kg/m³) de bórax/ácido bórico, son necesarios en pino del sur, para alcanzar los requerimientos de la clase I, de la ASTM E84.

Los niveles de concentración usados a menudo para tratamientos preservantes (alrededor de 0,2 lb/ft³) (3,2 kg/m³), no imparten ninguna efectividad de retardo de llama a la madera. Hay un nivel mínimo de concentración de aproximadamente 5% de bórax/ácido bórico, necesario para alcanzar los requerimientos FSI de la clase II y 7,5% de nivel de concentración para alcanzar la clase I."

Koch (1972), basándose en un trabajo de Truax et al. (1930), anota que se requieren aproximadamente 9 libras (4 kilos) de fosfato de diamonio seco por cada 100 libras (45 kilos) de madera seca al aire de pinos del sur (3 libras por pie cúbico) (48 Kg/m³), para reducir sustancialmente la pérdida de peso total y las temperaturas máximas en el tope del tubo, según la norma ASTM E69. El ácido bórico fue particularmente efectivo como retardante de llama pero requirió una retención de 6 lb/pie³ (96 Kg/m³) para reducir el índice de expansión de la llama a 60.

Abdul Rashid (1993), condujo un estudio sobre la propagación del fuego y pirólisis de 3 maderas de Malasia tratadas con fosfato monoamónico y bórax. La retención de químicos requerida para retardo del fuego, fue obtenida para las tres especies por un proceso de impregnación con presión. El test de propagación del fuego se basó en BS 476: parte 6:1968. Concluyó que a un nivel de retención de 40-50 Kg/m³ ambos químicos mejoraron la resistencia a la propagación del fuego en las tres maderas.

Indra Dev y Ram Lal (1988) trataron muestras de madera terciada con cada uno de los dos retardantes del fuego (bórax/ácido bórico (3:2) y fosfato de monoamonio, a 5, 10 y 15%) bajo una presión de 3,5 Kg/cm² por 1 h. El comportamiento del fuego fue evaluado usando el test de fuego de tubo. Se presentaron datos sobre la retención de los retardantes y el tiempo para perder peso (durante la quema) desde 30 hasta 70%. La retención química y el comportamiento de la madera frente al fuego mejoraron incrementando la dosis. Los resultados indicaron que para cubrir los requerimientos estándar de 1200 segundos para la pérdida de peso desde 30 hasta 70%, los valores interpolados para la concentración de retardantes del fuego para madera terciada de 12 mm fueron 6 y 9% para fosfato de monoamonio y bórax/ácido bórico, respectivamente, con las retenciones correspondientes de 12 y 20 Kg/m³ (comparado con el recomendado 20 Kg/m³).

Se llevaron a cabo investigaciones para determinar la óptima retención de sales secas de sulfato de amonio y fosfato de amonio en madera terciada para soportar el test de inflamabilidad especificado en el Estándar Indú IS: 5509-1980. Los resultados mostraron que son necesarios 50 Kg/m³ de retención de sal seca (Shyamasundar, 1993).

2.9. PRUEBAS DE IGNICION

"... Es obviamente necesario, tener métodos bien definidos para medir la resistencia al fuego, si se desean hacer comparaciones reales de la efectividad de diferentes químicos, o procesos de tratamiento. Desafortunadamente, ningún procedimiento ha sido encontrado adecuado y prácticamente todos los investigadores han reclamado planificar un test nuevo y diferente. Esta situación es debida principalmente al hecho de que ninguno de los métodos mide la propiedad de resistencia al fuego en unidades básicas. Todos ellos son empíricos en carácter, y los resultados obtenidos varían de acuerdo al tamaño y forma de las muestras de madera usadas y los detalles exactos del procedimiento de prueba, los cuales son arbitrarios. Consecuentemente, los datos asegurados por diferentes investigadores, pueden no ser comparables en modo alguno; en los hechos, si no se toma gran cuidado, en cierta forma, la misma objeción puede caracterizar los resultados derivados por cualquier investigador en diferentes épocas ..." (Hunt y Garratt, 1953). Como los estándares son revisados cada cierto tiempo y pueden ser modificados, una misma norma publicada en distintos años puede resultar diferente.

Han sido diseñados gran número de métodos estandarizados para probar el comportamiento de los materiales expuestos al fuego (Koch, 1972; LeVan y Tran, 1990).

Algunos tests hechos a pequeña y otros a gran escala, fueron o están siendo usados en trabajo experimental o en pruebas de aceptación para madera tratada, tableros de fibras y productos similares, pero solamente unos pocos se han acercado al status de estándar. Pueden ser halladas en numerosas publicaciones, descripciones de muchísimas pruebas relativas a estudios sobre químicos retardantes del fuego, especificaciones comerciales o de venta, desarrollo de métodos de prueba y discusiones de propiedades fuego-retardantes.

Los test de pequeña escala son usuales para investigaciones de laboratorio, propósitos de inspección y comparaciones generales de madera a prueba de fuego; pero antes que cualquier químico o método de tratamiento pueda ser completamente evaluado o aprobado, deben ser hechos test adecuados, sobre ensambles reales, como puertas o secciones de piso o paredes. La American Society for Testing Materials tiene disponibles estándares para esas pruebas. En investigaciones posteriores de este tipo, las unidades estructurales fabricadas, comunmente son colocadas contra la abertura de un gran horno y calentadas de acuerdo con la curva estándar tiempo-temperatura, para determinar el tiempo requerido por la llama para penetrar en el ensamblado. Los test de extensión de la llama también fueron hechos a gran escala. En algunos casos, una carga especificada se coloca encima de un

panel de prueba, para determinar el lapso de tiempo antes de la ruptura. Todos estos métodos son necesariamente costosos y consumen tiempo por eso, la mayoría de los investigadores han preferido trabajar con tests de pequeña escala (Hunt y Garratt, 1953).

Hay gran cantidad de pruebas de fuego para evaluar el comportamiento del fuego de los materiales. Históricamente, los métodos de prueba de fuego de vieja generación fueron diseñados arbitrariamente para tratar de imitar la vida real. En seguida se dieron cuenta que los resultados de esas pruebas fueron solamente aplicables en pequeños rangos de productos y usos por la complejidad de los problemas del fuego (LeVan y Tran, 1990).

Las pruebas a pequeña escala no involucran una carga aplicada sobre las muestras. Se necesitan investigaciones adicionales para determinar el comportamiento de las coberturas sobre las estructuras ya armadas. Para obtener el comportamiento real en uso, deben ser considerados detalles de la construcción total (White, 1984).

"El estandar ASTM E119 es caro, pero aunque pruebas a pequeña escala pueden proveer información útil, estos test no son sustitutos de los de gran escala." (White, 1988).

El crib test fue desarrollado en la Universidad de Columbia alrededor del 1900 y más recientemente mejorado por W. J. Krefeld de la misma Universidad, convirtiéndose en el Estándar E160 de la American Society for Testing Materials. éste hace uso de 24 piezas de madera, cada una de 1/2 x 1/2 pulgada de sección transversal y 3 pulgadas de largo, las cuales se apilan en forma de cesto en un cuadro de alambre, en 12 hileras de dos piezas cada una. El "cesto" se coloca en un anillo soporte y debajo del mismo se pone en posición un quemador Meker. El quemador tiene una llama estandarizada de 10 pulgadas de alto y la altura del anillo soporte es aquella en la que el tope del quemador está 1y1/2 pulgadas por debajo del par más bajo de muestras. El calentamiento se continúa por 3 minutos y el quemador entonces se retira. Después que toda la llama y brasas cesaron, el residuo se pesa. La pérdida de peso, expresada como porcentaje del peso original de la madera, es tomado como una indicación de la susceptibilidad al quemado. La duración de la llama y brasas después de remover el quemador también se registra, como indicativo de la resistencia al quemado o efectividad del tratamiento retardante al fuego.

Los límites admisibles de pérdida de peso o duración de la llama o brasas deberían estar asentados en las especificaciones del comerciante o los requerimientos del código (Hunt y Garratt, 1953).

El "crib test", o "test de cesto" ASTM E160 está en desuso desde 1993. Consultada al respecto la ASTM vía internet (<http://www.astm.org>), respondió Robert White que "como parte del proceso de la ASTM, las normas deben ser revisadas cada 5 años y están sujetas a retirarse si no son reconfirmadas. Cuando E160 ingresó para renovación, decidimos retirarla más que reafirmarla. La razón fundamental fue la falta de uso. Al mismo tiempo, decidimos mantener el test de fuego de tubo, ASTM E69, ya que todavía es usado para propósitos de control de calidad. Nosotros, en el Forest Products Laboratory, no hemos usado el crib test E160 en los 20 años pasados. Las razones fundamentales son la necesidad de hacer las probetas que forman el cesto y la falta de correlación con el test de túnel ASTM E84 que regula la madera fuego-retardada en los Estados Unidos. A pesar de no ser un buen predictor del índice de expansión de la llama E84, el test de fuego de tubo involucra una sola pieza de madera y el resultado es la pérdida de peso residual el cual está ligado a la química de la madera fuego-retardada."

3. MATERIALES Y METODOS

Para evaluar los retardantes del fuego seleccionados (fosfato de diamonio, bórax/ácido bórico y Direth), se usó la norma ASTM E160 ya que estaban dadas todas las condiciones para su utilización. Cabe aclarar que las muestras estaban preparadas para la aplicación de esta prueba antes de que se me asignara el trabajo.

El diseño de ensayo fue:

- 2 especies (Pinus taeda y Eucalyptus grandis).

- 8 tratamientos:

* Testigo (madera sin tratar)

* DIRETH ignífugo (aplicado con pincel siguiendo las indicaciones del fabricante)

* soluciones de bórax/ácido bórico (2:3) al 5, 10 y 15%, aplicadas por el método Bethell

* soluciones de fosfato de diamonio al 5, 10 y 15%, aplicadas por el método Bethell

- 24 muestras por ensayo (ASTM E160).

- 2 repeticiones.

Se utilizaron 384 probetas de pino y otras tantas de eucalipto (8 tratamientos x 24 probetas x 2 veces).

Antes de comenzar los tratamientos se determinaron sobre las muestras de pino y eucalipto:

a) Contenido de humedad en base seca, en porcentaje (CH%).

b) Peso de todas las muestras que entraron en los ensayos, al momento de iniciarse el trabajo.

c) Peso anhidro calculado de las probetas.

d) Volumen promedio de las muestras de pino y de eucalipto, con el contenido de humedad inicial y volumen anhidro promedio.

e) Pesos específicos aparentes promedio.

f) Absorción promedio en el pino y en el eucalipto.

3.1. PROBETAS DE ENSAYO

Se usaron probetas de albura de Eucalyptus grandis, y albura y duramen de Pinus taeda, que cumplieran con las dimensiones especificadas en el test ASTM E160. Las muestras debían ser de 13 x 13 x 76 mm, con superficies aserradas lisas, al tamaño de $\pm 0,8$ mm. UTE proporcionó 600 piezas de E. grandis y 489 de P. taeda, que cumplieran con las exigencias. éstas se identificaron con números y letras para poder individualizarlas (Figura N° 1).

3.2. DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD Y PESO ANHIDRO

De acuerdo a la Norma Panamericana COPANT 460, se eligieron muestras al azar, representativas del lote. Se pesaron en una balanza con una precisión de 0,01 g (la misma usada durante todo el trabajo), 30 probetas de pino y 30 de eucalipto. éstas, se llevaron a un horno controlado termostáticamente, a una temperatura constante de $103 \pm 20^{\circ}\text{C}$, durante 24 horas. Luego se retiraron las muestras de la estufa, se dejaron enfriar en un desecador y se pesaron. Se repitió el tratamiento cada 2 horas hasta peso constante.

Luego se calculó el contenido de humedad de las muestras en base seca (CH).

Las muestras de pino tenían un CH promedio de 12,5%, un desvío estándar de 0,4% y un coeficiente de variación de 3,5%. Las probetas de eucalipto también presentaban un CH promedio de 12,5% con un desvío estándar de 0,3% y un coeficiente de variación de 2,4% (Anexo N° 1).

Asumiendo para todas las probetas un contenido de humedad inicial de 12% (arbitrariamente se aproximó por defecto) se pudo calcular su peso anhidro.

Se procedió a pesar todas las muestras de pino y eucalipto, a registrar sus pesos y calcular su peso anhidro aproximado. Conocer el peso anhidro permite determinar, mediante una pesada, el contenido de humedad de cualquiera de las muestras en cualquier momento durante los ensayos.

3.3. DETERMINACION DEL VOLUMEN PROMEDIO DE LAS PROBETAS DE PINO Y DE EUCALIPTO

Se midieron con calibre, 20 probetas de pino y 20 de eucalipto (conteniendo 12% de humedad), de la siguiente manera: se promediaron 3 medidas (dos cercanas a cada uno de los extremos y una en el centro de la pieza) para cada uno de los lados de los cuadrados que forman la base y se promediaron 2 medidas de la altura del prisma.

El volumen promedio para pino, resultó ser 15,23 cm³, con un

desvío estándar de 0,30 cm³ y un coeficiente de variación de 1,94%, mientras que las muestras de eucalipto, tenían 14,32 cm³, con un desvío estándar de 0,39 cm³ y un coeficiente de variación de 2,71% (Anexo Nº 4).

La determinación del volumen de las muestras antes de impregnarlas, es fundamental para poder calcular la absorción de las mismas, porque la cantidad total de solución que puedan retener, es función de su tamaño.

La determinación del volumen anhidro de las muestras, se realizó sobre 30 probetas de pino y 30 de eucalipto, secadas al horno hasta peso constante (según COPANT 460). Estas probetas se midieron con calibre, de la misma forma que se hizo con las probetas conteniendo 12% de humedad.

3.4. PESOS ESPECIFICOS APARENTES

Los pesos específicos aparentes, ayudaron a caracterizar las maderas con las que se trabajó. Para calcularlos, se utilizaron los pesos anhidros medidos sobre las probetas y pesos de probetas a 12% de CH, así como sus volúmenes correspondientes. En el capítulo 2.2., se explica la utilidad de conocer los pesos específicos aparentes y su forma de cálculo. También se muestran los pesos específicos promedio determinados en este trabajo, en el Anexo Nº 1.

3.5. DETERMINACION DE LA ABSORCION PROMEDIO DE PINO Y DE EUCALIPTO

Se hizo una impregnación por el método Bethell, utilizando únicamente agua, a fin de determinar la absorción promedio de las especies, para así poder saber que concentración de químicos se necesitarían para lograr las retenciones deseadas.

Se puede saber cuánta solución acuosa absorbió la madera por la diferencia de peso antes y después de ser impregnada, en relación a su volumen. Por lo tanto, la absorción se calcula:

$$\text{Absorción (L/m}^3\text{)} = \frac{\text{Peso después de impregnar (g)} - \text{Peso antes (g)}}{\text{Volumen (cm}^3\text{)}} \times 1000$$

Como la variabilidad en volumen de las probetas de pino y eucalipto fue muy poca, se usaron para los cálculos, los volúmenes promedio para pino y para eucalipto.

Las absorciones de pino y de eucalipto fueron 532 y 424 litros por metro cúbico de madera, respectivamente (datos de absorciones, Anexo Nº 3).

Durante todo el trabajo, se utilizaron estas mismas fórmulas, para hallar las absorciones de las muestras con cualquier tratamiento.

3.6. DETERMINACION DE LAS CONCENTRACIONES A EXPERIMENTAR

Se llegó a la conclusión de que las retenciones a ensayar, debían ser aproximadamente 25, 50 y 75 kilogramos por metro cúbico de madera.

Como el objetivo del trabajo fue comparar solamente los productos en cada madera por separado no interesó lograr exactamente las mismas retenciones para las dos especies; por eso, y para simplificar el trabajo práctico, ambas maderas se impregnaron juntas. Para realizar los cálculos de las concentraciones se usó una absorción arbitraria (500 L/m³) que es intermedia a la que se calculó para ambas especies.

El cálculo de las concentraciones para lograr las retenciones deseadas es:

$$\text{Concentración (\%)} = \frac{\text{Retención deseada (Kg/m}^3\text{)} \times 100}{\text{Absorción promedio calculada (L/m}^3\text{)}}$$

Suponiendo una absorción igual en todos los casos se prepararon, para cada ignífugo, soluciones concentradas a 5, 10 y 15% para obtener retenciones de 25, 50 y 75 Kg/m³, respectivamente.

3.7. PREPARACION DE LAS SOLUCIONES E IMPREGNACION

Los químicos para preparar las soluciones, se adquirieron en el mercado local (certificados de análisis, Anexo N^o 5).

El autoclave que se utilizó tenía un cilindro con un diámetro de 20 cm y 1 m de largo (volumen de 0,0314 m³) (Figura N^o 2). Por lo tanto, para llenarlo, se prepararon para cada impregnación 35 litros de solución.

En la manipulación de los químicos se tomaron todas las precauciones indicadas en las Hojas de seguridad de Mallinckrodt Baker, Inc. (1996).

Se prepararon tres soluciones de fosfato de diamonio al 5, 10 y 15% m/V y otras tres de la mezcla bórax/ácido bórico (40:60) de las mismas concentraciones (Anexo N^o 6).

El método Bethell necesita que la madera no contenga agua libre y para eso, debe tener menos de 28% de contenido de humedad. Las muestras de pino y eucalipto, tenían 12% de CH, lo que significa que no fue necesario secarlas antes de la impregnación.

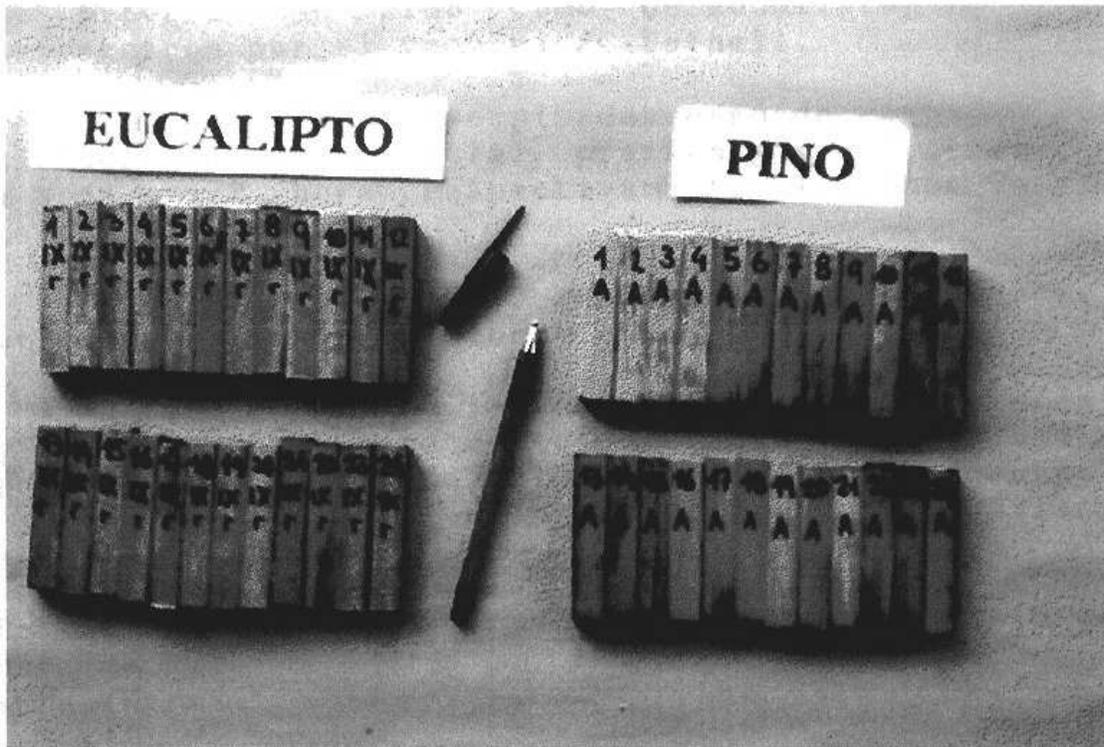


Figura N° 1.- Probetas de ensayo.

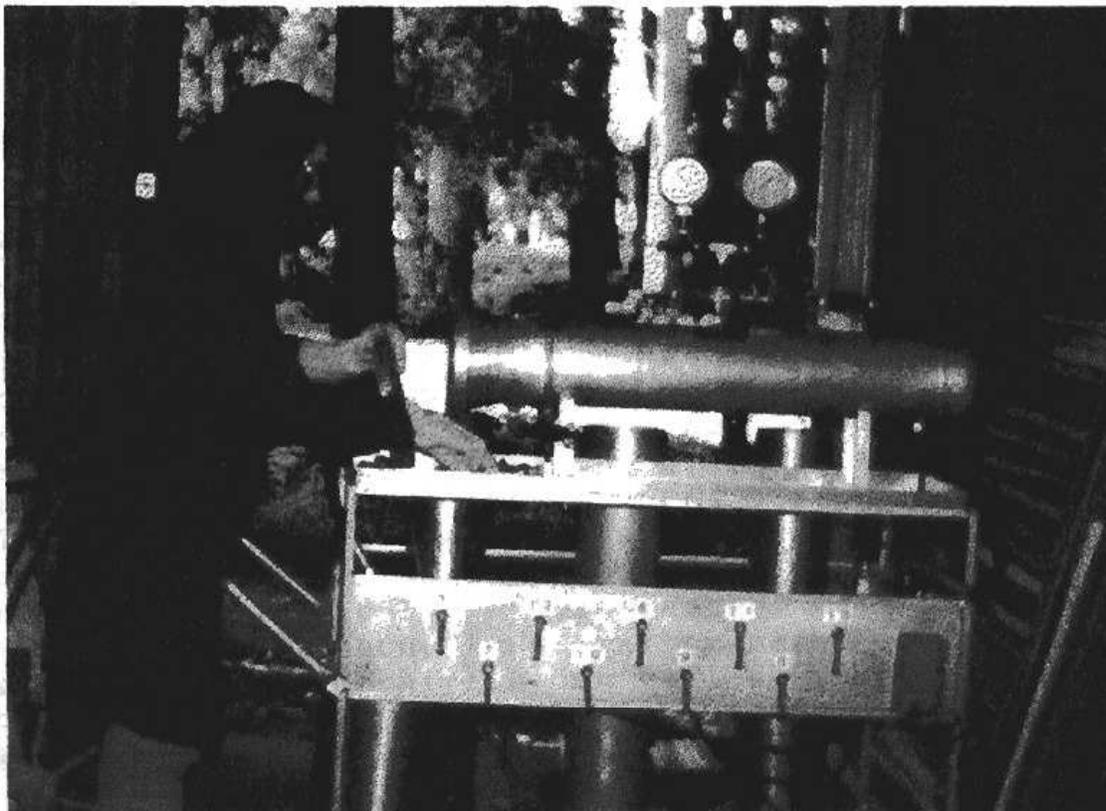


Figura N° 2.- Autoclave para impregnación, por métodos de vacío-presión.

Antes de iniciar cada tratamiento en el autoclave, tanto las 48 probetas de pino como de eucalipto, se pesaron y luego se impregnaron por el proceso de Bethell.

Como las probetas empleadas eran de pequeñas dimensiones, los tiempos de vacío inicial, presión y vacío final fueron 1/2 hora, 1 hora y 1/2 hora respectivamente (tiempos mínimos especificados).

En el Anexo N^o 7, se observa un esquema del autoclave utilizado y de su funcionamiento.

Una vez terminada la impregnación se recogieron las probetas y se pesaron, para calcular cuánta solución habían absorbido y poder así saber cuánta sal quedaría retenida dentro de ellas.

Se calculó la retención de químico que tendrían, mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Retención neta de sal seca (Kg/m}^3\text{)} = \frac{\text{concentración de la solución (\%)} \times \text{Absorción (l/m}^3\text{)}}{100}$$

Los datos de absorciones y retenciones se encuentran en el Anexo N^o 8.

3.8. REALIZACION DEL TEST DE IGNICION ASTM E180

Los aparatos que requiere el método son:

1. Cuadro de alambre y anillo de soporte (Wire Frame and Ring Stand) - Un cuadro de alambre apropiado para soportar las muestras apiladas en forma de cesto y un anillo de soporte de 6 in. (152 mm) de diámetro interno. El cuadro de alambre consiste de cuatro alambres verticales, con un espacio claro de 2 in. (51 mm) para formar una jaula o cesto con secciones cuadradas, sostenida en posición por el tope por alambres transversales sobre cada lado y provista con alambres transversales cerca de la base, que sirven como espaciadores y soportes para las muestras. Todos los alambres usados en el cuadro son de acero de 1/8 in. (3 mm) de diámetro y las conexiones fueron hechas por soldadura. El cuadro es vertical y los ganchos al final de los brazos de soporte están hechos de tal manera que el cuadro queda automáticamente centrado en cualquier colocación, con un mínimo de espacio para permitir el removido desde el anillo. Estos ganchos sirven como un dispositivo de autocentrado (Figura N^o 3).

2. Quemador (Meker burner) - Un quemador Meker con una rejilla perforada de 2 in. (51 mm) de diámetro (Figura N^o 3).

3. Escudo de llama (Flame Shield) - Un escudo de llama para calibrar y chequear la llama del quemador. El escudo consiste de una sección cilíndrica, 8 in. (203 mm) de diámetro y 12 in. (305 mm) de altura y un tope cónico con una abertura 2 3/4 in. (70 mm) de diámetro. Se monta una termocupla Chromel-Alumel calibre N^o 18 (1,02 mm) con sus juntas de 1/2 in. (13 mm) sobre el centro de la abertura superior del escudo para calibración de la llama del quemador. El escudo está hecho de lámina de acero de calibre N^o 24 (0,511 mm) y es soportado de manera que cuando el quemador se coloca directamente bajo el centro del escudo, la distancia desde el tope de la rejilla del quemador a la termocupla es de 17 in. (432 mm) (Figura N^o 3).

4. Balanza- con una precisión de al menos 0,1 g y provista de un platillo de escala apropiada.

5. Cronómetro- que registre minutos y segundos.

6. Horno- de secado controlado termostáticamente.

7. Medidor- Un potenciómetro o milivoltímetro para indicar la temperatura o fem de la termocupla.

Acondicionamiento de las muestras:

Luego de impregnadas, las muestras fueron secadas en horno, hasta contenido de humedad entre 4 y 10%, que es lo exigido por la norma.

El contenido de humedad de las probetas se determinó como se explicó anteriormente.

Los datos de contenido de humedad de las probetas, al momento de realizar el "crib test", pueden verse en el Anexo N^o 9.

Procedimiento indicado en el test:

El procedimiento que indica la norma ASTM E160 se encuentra en el Anexo N^o 10.

El procedimiento se llevó a cabo cumpliendo todas las especificaciones, excepto por la ausencia de un regulador gas-presión.

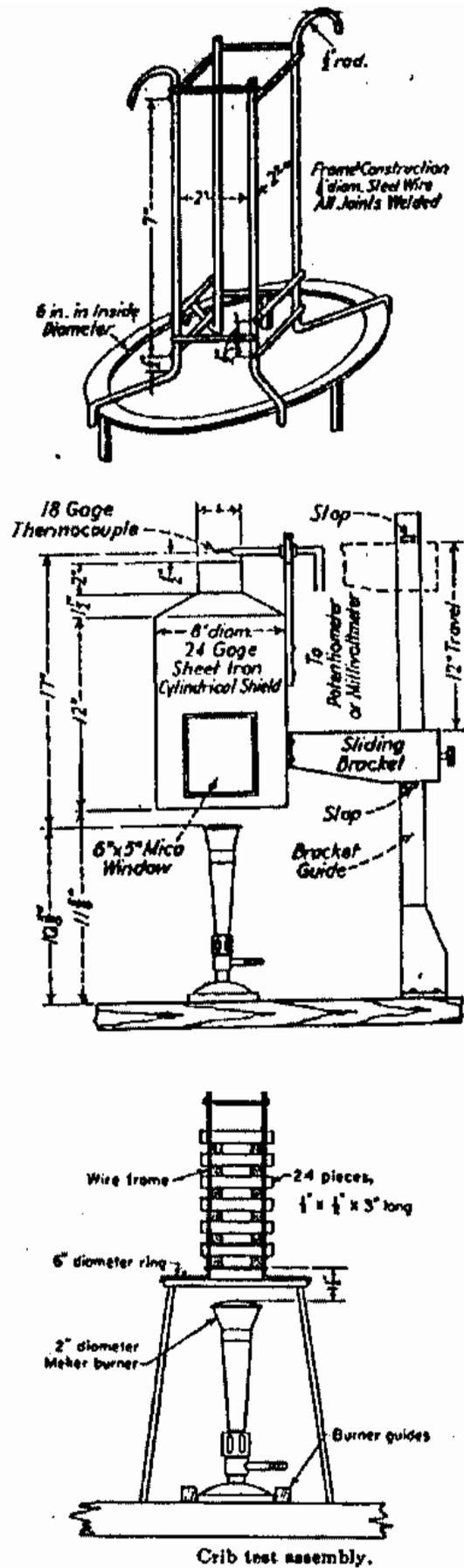


Figura N° 3.- Cuadro de alambre, escudo de llamas y estructura armada para aplicar la norma ASTM E160.

3.9. ANALISIS ESTADISTICOS

Se realizaron análisis de varianza para cada especie por separado de retención (Kg/m³), pérdida de peso (%), llama (min) y brasas (min), según un diseño completamente al azar considerando ocho tratamientos.

Se realizaron contrastes para estudiar el efecto de los productos y las concentraciones. Se comparó el promedio de la madera tratada contra el testigo, la cobertura contra cada una de las soluciones y las soluciones entre sí, las concentraciones y la interacción entre el producto y la concentración.

También se realizaron las pruebas de Dunnett y la de DMS con un nivel de significancia de 0,05.

4. RESULTADOS

En el siguiente cuadro se muestran los resultados de los análisis estadísticos:

CUADRO Nº 3

Análisis de varianza y contrastes para las variables y efectos considerados en Eucalyptus grandis

EUCALIPTO	Retención	Pérdida de peso	Tiempos de duración	
			llama	brasas
Tratamiento	0,0001	0,0001	0,0001	0,0118
Testigo vs Resto	.....	0,0001	0,0006	0,9686
Direth vs BAB	.....	0,0004	0,5163	0,0329
Direth vs FDA	.....	0,0001	0,0001	0,0014
BAB vs FDA	0,0230	0,0003	0,0001	0,0108
Concentración	0,0001	0,0001	0,0001	0,0862
Int. Prod*Conc	0,8926	0,0477	0,0001	0,0316
Media	45,3	76,3	5,21	22,41
CV (%)	3,5	3,2	14,80	27,23
Desvío del error	1,6	2,4	0,77	6,10

Retención

En E. grandis se retuvo más fosfato de diamonio que bórax/ácido bórico.

Pérdida de peso

No se observaron diferencias significativas entre la madera sin tratar (testigo) y el bórax/ácido bórico al 5% o la cobertura Direth. Los demás tratamientos disminuyeron la pérdida de peso comparados con la madera sin tratar.

A mayores concentraciones las soluciones fueron más efectivas en disminuir la pérdida de peso.

Existieron diferencias entre el promedio de los tratamientos con bórax/ácido bórico y el de fosfato de diamonio. Este último, disminuyó más la pérdida de peso de la madera que el primero. El fosfato de diamonio demuestra ser efectivo aún a bajas concentraciones lo que no logra el bórax/ácido bórico; pero

cuando se aumenta la concentración de fosfato de diamonio en la madera, no hay una respuesta demasiado evidente. En cambio, mayores cantidades de bórax/ácido bórico muestran una disminución significativa, en la pérdida de peso del *Eucalyptus grandis* que llega a igualar en efectividad al fosfato de diamonio (Gráfica Nº 1). Esto se logra con una concentración de 15% de bórax/ácido bórico (Figuras Nº 4, 5 y 6).

Duración de las llamas

Las soluciones de fosfato de diamonio al 5% y 10% mantuvieron las llamas encendidas por más tiempo que el testigo.

Entre el ignífugo Direth y la mezcla bórax/ácido bórico, no hubieron diferencias significativas. Direth, en cambio, tuvo menor duración de llama que el fosfato de diamonio.

Duración de las brasas

Todos los tratamientos resultaron similares al testigo.

La cobertura tuvo la mayor duración de brasas y fue significativamente diferente tanto del fosfato de diamonio como del bórax/ácido bórico.

En el cuadro que se presenta a continuación se resumen los resultados para el eucalipto.

CUADRO Nº 4

Promedios y Mínimas diferencias significativas, según tratamientos, en *Eucalyptus grandis*

QUIMICOS	CONCEN- TRACION (%)	RETENCION DE PRODUC (Kg/m ³)	PERDIDA DE PESO (%)	DURACION (min)	
				LLAMA	BRASAS
(madera no tratada)	....	....	93,3 A	3,09 C	22,15 BC
Fosfato de diamonio	5	25,2	73,7 CD	19,20 A	5,80 C
	10	46,9	69,5 D	9,98 B	15,39 C
	15	68,1	59,4 E	2,58 C	13,16 C
Mezcla de ácido bórico y bórax	5	23,0	87,8 AB	4,02 C	36,68 AB
	10	44,1	76,0 C	4,13 C	32,15 AB
	15	64,7	63,7 E	2,58 C	9,96 C
Direth	....	....	87,3 B	3,14 C	40,57 A

Medias precedidas de la misma letra son estadísticamente iguales (Prueba DMS, $p=0,05$)

FOSFATO DE DIAMONIO

EUCALIPTO

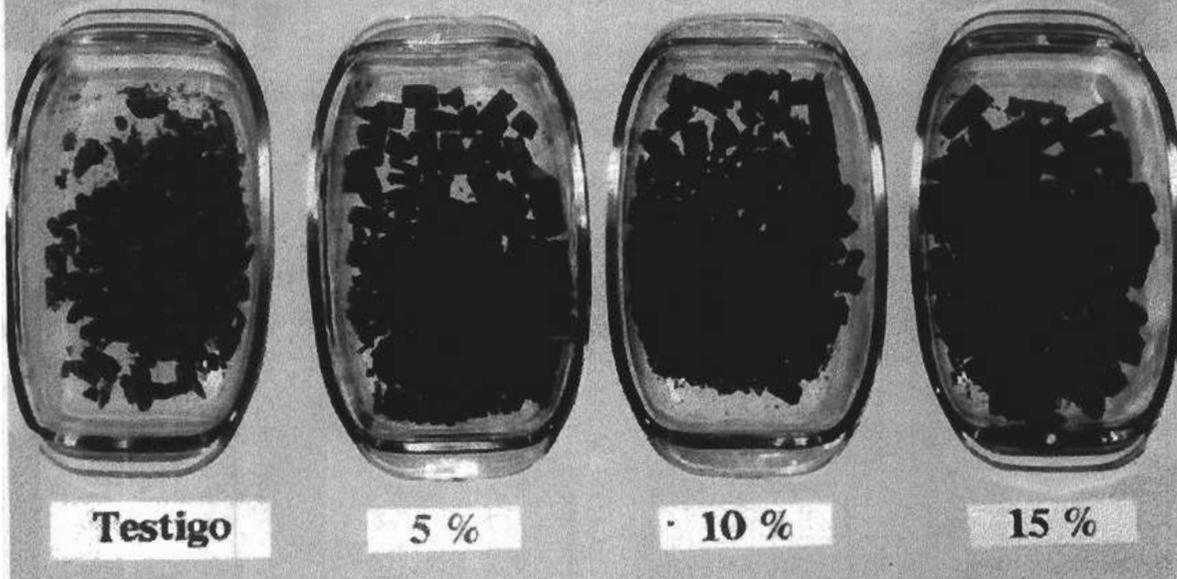


Figura N° 4.- Probetas de *Eucalyptus grandis*, luego de ser sometidas a la prueba ASTM E160, según tratamientos.

BORAX / ACIDO BORICO

EUCALIPTO

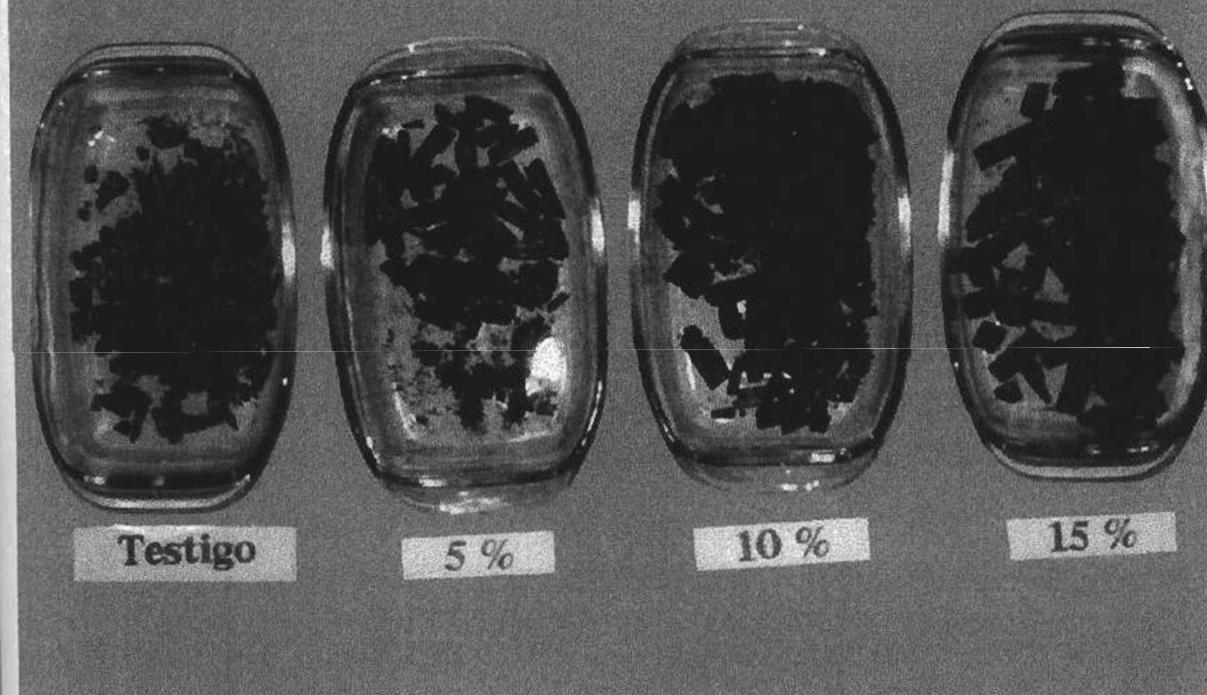


Figura N° 5.- Probetas de *Eucalyptus grandis*, luego de ser sometidas a la prueba ASTM E160, según tratamientos.



Figura N° 6.- Probetas de *Eucalyptus grandis*, pintadas con ignífugo Direth para maderas, luego de ser sometidas a la prueba ASTM E160.

CUADRO Nº 5

Análisis de varianza y contrastes para las variables y efectos considerados en Pinus taeda

PINO	Retención	Pérdida de peso	Tiempos de duración	
			llama	brasas
Tratamiento	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Testigo vs Resto	.....	0,0001	0,3143	0,3697
Direth vs BAB	.....	0,0169	0,1366	0,0005
Direth vs FDA	.....	0,0001	0,6244	0,1198
BAB vs FDA	0,1365	0,0001	0,0156	0,0006
Concentración	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Int. Prod*Conc	0,3258	0,0040	0,0001	0,0004
Media	68,5	62,9	3,09	8,92
CV (%)	2,0	3,6	7,79	32,04
Desvío del error	1,3	2,3	0,24	2,86

Retención

En Pinus taeda la absorción y por lo tanto la retención de la mezcla bórax/ácido bórico, fue igual que la de fosfato de diamonio.

Pérdida de peso

Todos los tratamientos fueron efectivos en disminuir la pérdida de peso de la madera.

Direth fue menos efectivo que el promedio de la mezcla bórax/ácido bórico y que el promedio del fosfato de diamonio.

La madera tratada con mayores concentraciones de bórax/ácido bórico y de fosfato de diamonio mostró mayores disminuciones en su pérdida de peso.

La respuesta al fosfato de diamonio y a la mezcla bórax/ácido bórico fue dependiente de sus dosis (Figuras Nº 7, 8 y 9). El fosfato de diamonio siempre fue mejor que la mezcla bórax/ácido bórico. A mayores concentraciones, la diferencia en efectividad retardante del fosfato de diamonio se vió aumentada con respecto al bórax/ácido bórico (Gráfica Nº 2).

Duración de llamas

Todas las soluciones de fosfato de diamonio fueron diferentes al testigo. La llama del tratamiento fosfato de diamonio 5% demoró más en extinguirse que la de la madera sin tratar. Las llamas de los tratamientos fosfato de diamonio 10% y fosfato de diamonio 15% se extinguieron antes que la del testigo.

El testigo fue igual al promedio de los tratamientos.

No hubo diferencias significativas entre el tiempo que duraron las llamas en la madera pintada con Direth y la impregnada con fosfato de diamonio o bórax/ácido bórico.

Las maderas tratadas con la mezcla bórax/ácido bórico y el fosfato de diamonio se comportaron diferente según sus concentraciones.

Duración de las brasas

El único tratamiento que se diferenció del testigo fue el de bórax/ácido bórico 5%, donde las brasas se mantuvieron por más tiempo.

El ignífugo Direth se comportó mejor que el bórax/ácido bórico, pero no tuvo diferencias significativas con el fosfato de diamonio.

Bórax/ácido bórico y fosfato de diamonio actuaron diferente dependiendo de sus concentraciones.

Para el pino el resumen de los resultados es el siguiente:

CUADRO Nº 6

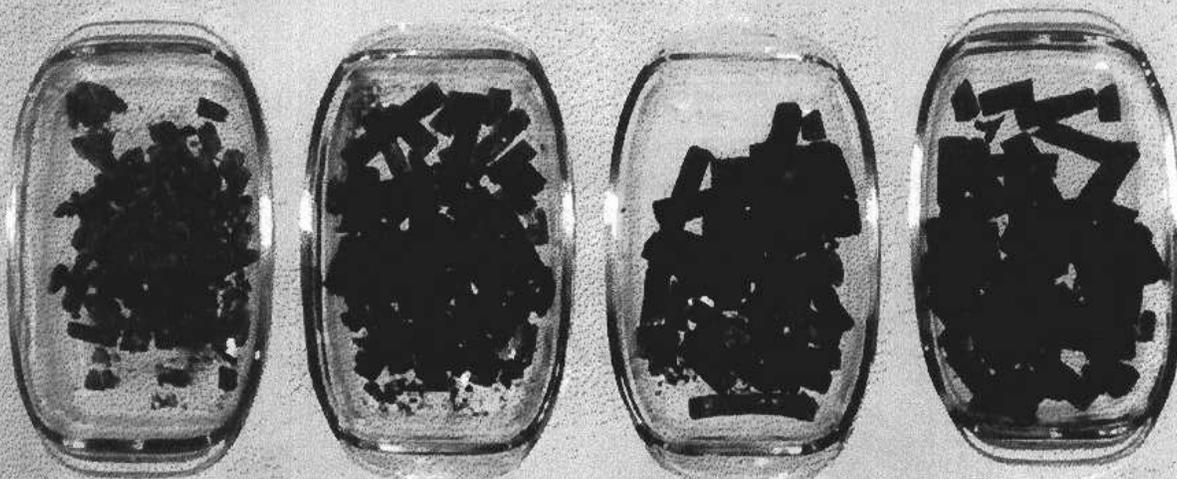
Promedios y Mínimas diferencias significativas, según tratamientos, en Pinus taeda

QUIMICOS	CONCEN- TRACION (%)	RETENCION DE PRODUC (Kg/m ³)	PERDIDA DE PESO (%)	DURACION (min)			
				LLAMA		BRASAS	
(madera no tratada)	....	....	89,6 A	2,92 C	7,13 BC		
Fosfato de diamonio	5	33,2	67,6 C	7,44 A	11,24 B		
	10	68,3	49,4 E	1,98 E	6,12 BCD		
	15	105,9	32,4 F	0,50 F	0,31 D		
Mezcla de ácido bórico y bórax	5	33,2	76,9 B	3,60 B	36,29 A		
	10	67,3	60,7 D	2,70 CD	5,96 BCD		
	15	102,9	56,2 D	2,35 DE	2,51 CD		
Direth	....	....	70,2 C	3,21 BC	1,83 CD		

Medias precedidas de la misma letra son estadísticamente iguales (Prueba DMS, p=0,05)

FOSFATO DE DIAMONIO

PINO



Testigo

5 %

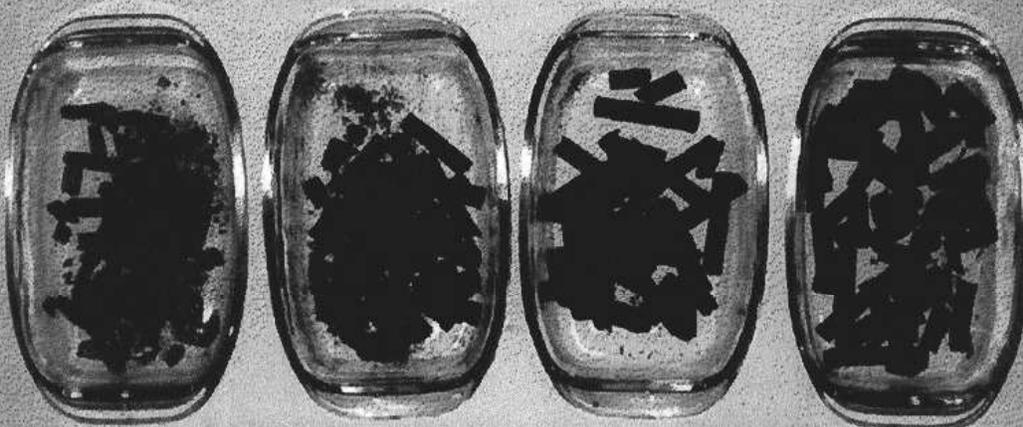
10 %

15 %

Figura N° 7.- Probetas de *Pinus taeda*, luego de ser sometidas a la prueba ASTM E160, según tratamientos.

BORAX / ACIDO BORICO

PINO



Testigo

5 %

10 %

15 %

Figura N° 8.- Probetas de *Pinus taeda*, luego de ser sometidas a la prueba ASTM E160, según tratamientos.

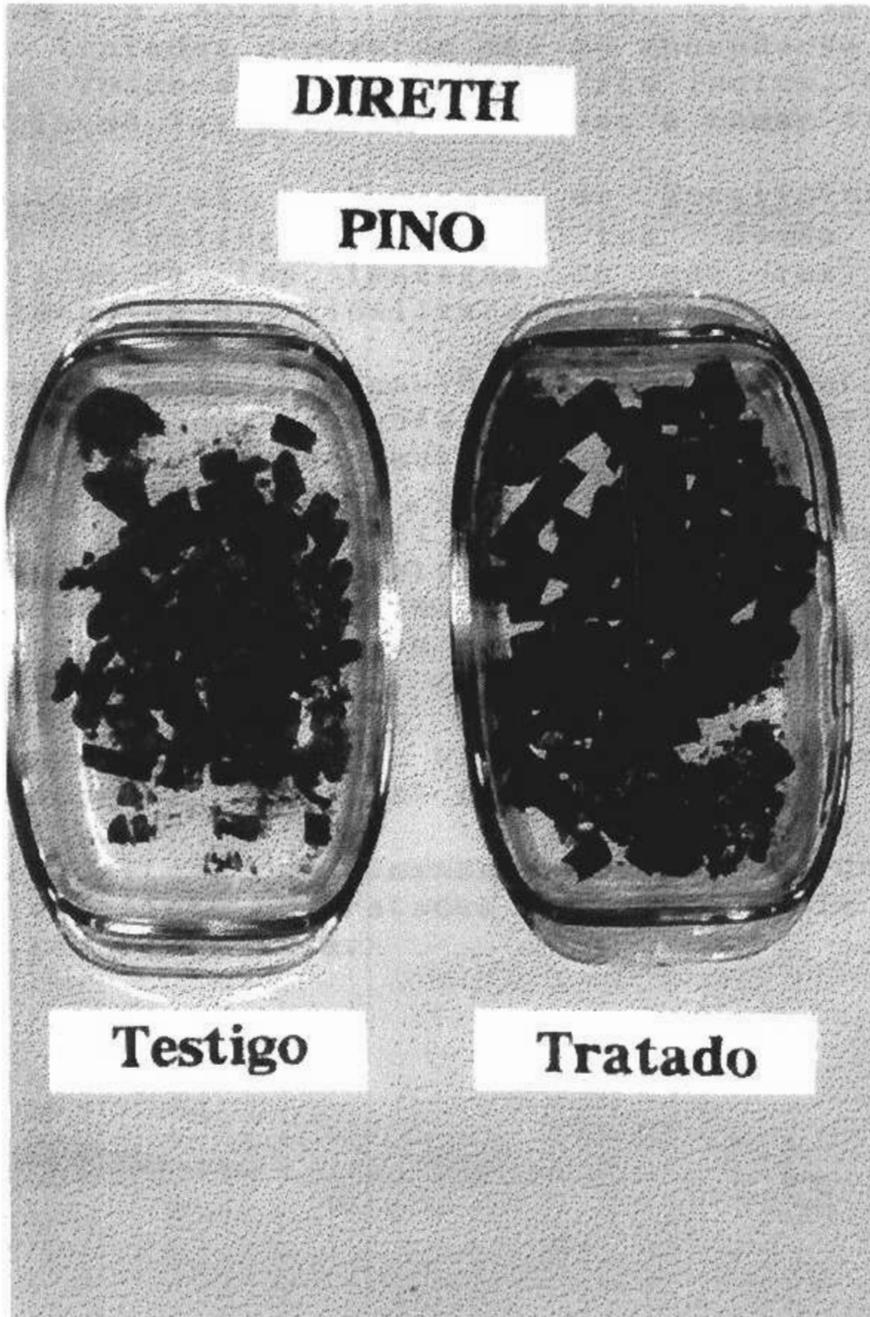


Figura N° 9.- Probetas de *Pinus taeda*, pintadas con ignífugo Direth para maderas, luego de ser sometidas a la prueba ASTM E160.

OBSERVACIONES

Además de los datos de pérdida de peso y tiempos de duración de llama y brasas se registraron percepciones visuales y olfativas para ambas especies.

Aunque los tiempos de duración de llama que se registraron, fueron tomados desde el momento en que se retiró el mechero (como lo indica la norma), se observó que las muestras de pino y eucalipto tratadas demoraron más en encenderse que las de los controles (madera no tratada). Esto indica, de cierta forma, la resistencia de las probetas tratadas a tomar fuego.

Excepto por el tratamiento de Eucalyptus grandis con la cobertura ignífuga Direth, los demás tratamientos se diferenciaron de los testigos en que los "cestos" quedaron armados luego de que finalizaron las brasas.

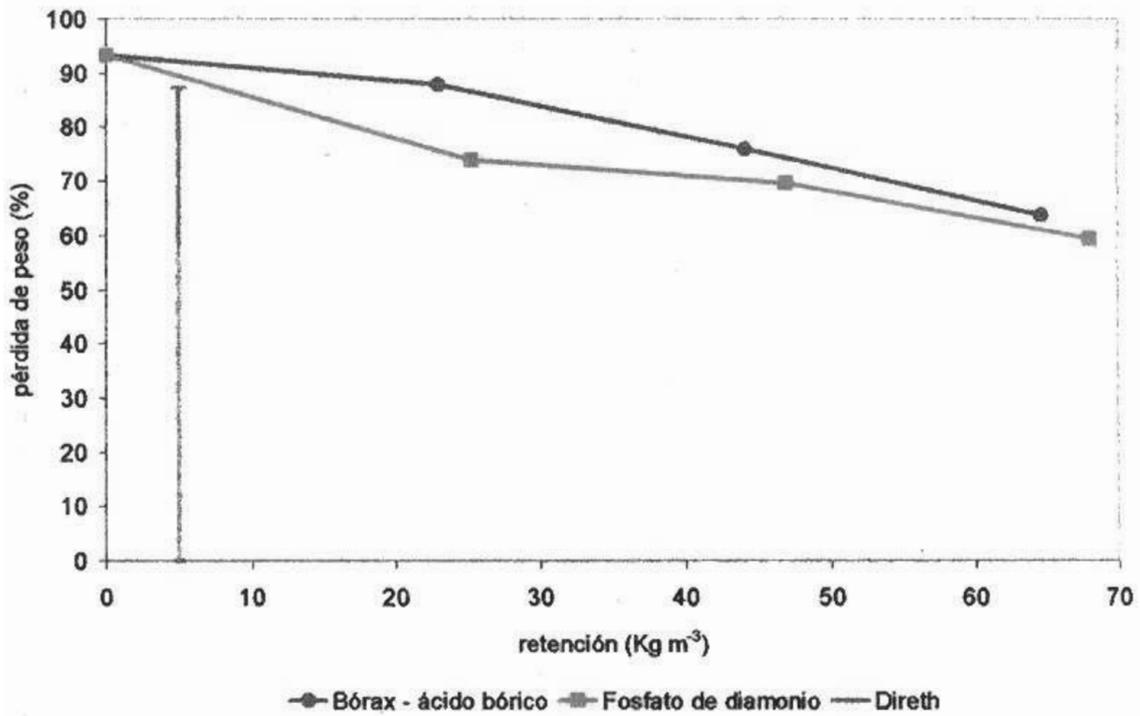
Se observó la formación de burbujas durante la quema de la madera tratada con la mezcla bórax/ácido bórico que prácticamente no produjo emanaciones de humo.

Cuando se realizó el test sobre las muestras pintadas con Direth se produjo gran cantidad de humo negro y espeso y un tizne pegajoso que salió en forma de burbujas, cubriendo completamente los soportes que estaban en contacto con las probetas.

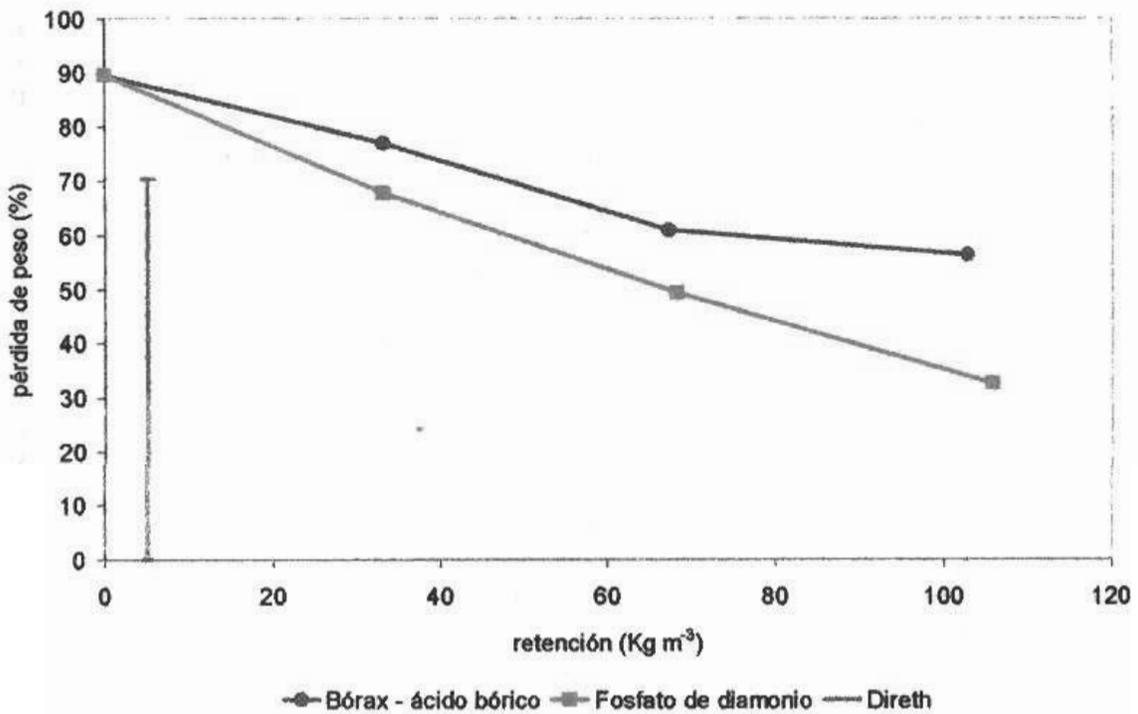
El fosfato de diamonio liberó considerables cantidades de humo blanco, con fuerte olor a amoníaco. También se observaron burbujas sobre la madera al ser calentada.

La gran altura que alcanzaron las llamas de las maderas de pino y eucalipto no tratadas fue muy notoria en comparación con la de la madera tratada.

Gráfica 1. Pérdida de peso en función de la retención de Bórax-ácido bórico y Fosfato de diamonio en *Eucalyptus grandis*



Gráfica 2. Pérdida de peso en función de la retención de Borax-ácido bórico y Fosfato de diamonio en *Pinus taeda*



5. DISCUSION

La retención de fosfato de diamonio en Eucalyptus grandis, fue mayor que la de bórax/ácido bórico, lo que no ocurrió en Pinus taeda.

Los factores que afectan la penetración de líquidos en el interior de la madera pueden ser de carácter anatómico, o estar determinados por la forma de preparación de la madera para su preservación, el tipo de preservador a utilizar y el tratamiento de preservación (Tuset y Durán, 1979). Como en todos los casos se utilizaron muestras de E. grandis de características similares, se descarta la posibilidad de las diferencias anatómicas o en la forma de preparación de la madera.

En lo que se refiere al tratamiento de preservación, se realizó cuidando todos los factores, aunque existe la posibilidad de un error experimental. La influencia que podría tener en este caso, el incumplimiento de los tiempos de impregnación exactos o la variación de la presión, se explicaría diciendo que, tal vez, el eucalipto absorbió más solución, si se aplicó más presión o tiempos más prolongados de impregnación, cuando se utilizaron las soluciones de fosfato de diamonio.

Queda intentar explicar por qué no ocurrió lo mismo con las probetas de pino, ya que ambas especies se impregnaron juntas. Lo que pudo suceder es que la madera de Pinus taeda, más permeable y por lo tanto más fácil de impregnar ya hubiera absorbido la cantidad máxima de solución posible en menos tiempo y requiriendo menores presiones que el eucalipto. Si tomamos en cuenta el contenido máximo de agua que puede retener una madera y su relación con su peso específico anhidro (Coronel, 1994), se puede calcular cuál es la cantidad máxima de agua (o de solución), que es capaz de absorber. Si esta cantidad, supera la que se absorbió en la práctica, sería posible aumentar la absorción y consecuentemente la retención, por aplicación de mayores tiempos de tratamiento o mayores presiones durante la impregnación.

Según MacLean (1960) citado por Koch (1972), usualmente, resultan mayores absorciones por la aplicación de presión moderada durante períodos de tratamiento más largos que por el uso de muy altas presiones durante períodos cortos. Esta afirmación podría aplicarse sin duda para Pinus taeda ya que Koch se refiere a los "pinos del sur". En cambio, se sabe que se ha experimentado con altas presiones para impregnar por el método Betheli eucaliptos refractarios en Australia, logrando buenos resultados (Eaton y Hale, 1993).

Esta diferencia en retenciones, también podría deberse al tipo de químico que se usó.

Como la madera se impregnó con soluciones acuosas de bórax/ácido bórico y de fosfato de diamonio, la viscosidad de

éstas no es un factor a considerar. Tal vez, ocurra alguna reacción química o algún proceso físico entre el fosfato de diamonio y la madera de E. grandis o sus contenidos (gomas, quinonas) que facilite la entrada de esta solución en los lúmenes celulares.

Si se confirmara en ensayos posteriores que las soluciones de fosfato de diamonio se absorben más que las de bórax/ácido bórico en madera de Eucalyptus grandis, sería una ventaja del primero en el tratamiento de esta especie, porque con soluciones de la misma concentración, el fosfato de diamonio se retiene más.

Lo anterior permitiría, quizás, que los tiempos de impregnación para madera de E. grandis fueran menores con fosfato de diamonio que con bórax/ácido bórico, lo que representaría una disminución en los costos de la planta de impregnación.

También podría plantearse que no se precisarían mayores retenciones del químico en la madera, lo que llevaría a una disminución en el gasto del producto.

Hay que tener en cuenta, que estos resultados son parciales, ya que en el experimento se utilizó solamente la albura de E. grandis porque el duramen es muy poco penetrable.

La cobertura Direth, en Eucalyptus grandis, no fue efectiva en disminuir la pérdida de peso de la madera, en cambio en Pinus taeda fue más efectiva que el testigo y aún más efectiva que la solución bórax/ácido bórico al 5% aplicada a presión, alcanzando una disminución de pérdida de peso significativamente igual a la que se logró con el tratamiento de fosfato de diamonio al 5% (Cuadros N^o 3, 4, 5 y 6).

No se conoce el motivo del comportamiento desigual del ignífugo frente a pino y eucalipto, y por tener éste secreto de formulación, es imposible teorizar sobre este aspecto.

En la prueba ASTM E160 aplicada a la madera pintada con Direth, se observó una gruesa capa espumosa, pegajosa, que se tornó negra y cubrió los soportes de las probetas tal como lo describe White (1984), por lo que se supone que esta cobertura es intumescente.

El fabricante de esta cobertura, refiriéndose a los ensayos realizados por un ente oficial argentino -CITEMA (Centro de Investigación Tecnológica de la Madera y Afines)- sobre la eficacia de su producto, informa que los mismos fueron realizados únicamente en madera de pino ya que es la más utilizada para la construcción de viviendas en su país.

En el informe presentado por CITEMA, se aclara que la norma que se usó (IRAM 11910) establece que: "...estos ensayos deben considerarse como representativos para medir y describir el comportamiento del material bajo condiciones controladas de

laboratorio, pero no se puede estimar cuál será su reacción si se modifican total o parcialmente estas condiciones...".

De los ensayos, concluyen que la aplicación de Direth ignífugo transformó la madera de pino (clasificada como un material de elevada propagación de llama) en un material de baja propagación de llama, con un índice que se encuentra en el límite con la clase de muy baja propagación de llama.

Como la razón fundamental para discontinuar la norma ASTM E160 fue su falta de uso (Robert White, com. pers.), no se encontraron datos de su aplicación para poder compararlos con los resultados de este trabajo. Y como además esta norma no especifica rangos de eficacia, no se pudo clasificar la madera fuego-retardada de este estudio.

De todos modos, los ensayos realizados sobre el producto argentino aplicando la norma IRAM 11910, podrían servir, hasta cierto punto, como una referencia.

Es importante recordar que ninguna prueba mide las propiedades de resistencia al fuego en unidades básicas y por lo tanto no pueden compararse; aunque algunos autores como Tran (1990) (citado por LeVan y Tran, 1990) han establecido buenas correlaciones entre diferentes pruebas.

Koch (1972) señala que para ser efectivas, las coberturas fuego-retardantes deben ser aplicadas en películas completas y espesas. Las coberturas recomendadas cubren generalmente 3 a 4 m² por litro que es alrededor de 3 veces la cantidad normal de pintura aplicada. Por eso, aunque el costo por litro de cobertura retardante del fuego sea levemente superior, las grandes cantidades requeridas incrementan el costo muy por encima del de las pinturas decorativas comunes. La dificultad en pintar sucesivamente aumenta los costos de trabajo.

Según el fabricante, para la aplicación con pincel de Direth ignífugo, se requieren dos manos en forma abundante y rinde aproximadamente 8 a 10 m² por litro (esto sería más del doble de rendimiento que las coberturas antes mencionadas).

El precio de venta en Química Bosques S.A.I.C. (la fábrica), es de 2,10 dólares el litro, en envases de 20 litros.

Los precios de venta en dos comercios uruguayos, expresados en pesos uruguayos (IVA incluido), en diciembre de 1998, eran los siguientes:

	Pinturería A	Ferretería B
1 litro	\$ 58	\$ 69
5 litros	\$ 234	\$ 257

Los costos comparativos pueden ser determinados sobre las bases de los costos del ciclo de vida, los cuales incluyen costos de servicio y mantenimiento así como también los costos de material inicial e instalación. Aquí no se hicieron análisis de costos, pero hay que tomar en cuenta que además de los costos de mano de obra y los de la cobertura ignífuga, se deben sumar los del Preservador y Curador Direth, si se desea proteger la madera contra hongos e insectos y la aplicación de barnices para evitar el lavado de los productos en aplicaciones exteriores.

Además del grado de protección térmica, hay otras cosas que considerar antes de usar una cobertura ignífuga: durabilidad a temperaturas normales, durabilidad a temperaturas elevadas, peligros del humo y gases tóxicos, extensión de la llama y estabilidad estructural. La cobertura debe adherir resistencia estructural a los miembros de madera o mejorar la acústica de la construcción. Estas propiedades pueden ser más completamente consideradas, una vez que la aplicación específica ha sido identificada.

Un grupo de trabajo de la National Forest Products Association (NFPA) consideró la viabilidad de las coberturas ignífugas. Éste concluyó que hay más preguntas que respuestas. Las preguntas incluyen mercadeo, viabilidad económica y problemas de adhesión-cohesión. Agregó que, la investigación necesaria debe estar determinada por los intereses de los fabricantes (White, 1988).

En cuanto a las soluciones impregnadas por el método Bethell, como se esperaba, el fosfato de diamonio, en promedio, siempre fue superior que la mezcla bórax/ácido bórico en disminuir la pérdida de peso en ambas especies. A su vez, estas soluciones fueron en promedio, superiores al ignífugo Direth (Gráficas N^o 1 y 2). Por lo tanto, tomando en cuenta únicamente la efectividad en reducir la pérdida de peso de la madera, sería preferible la impregnación por métodos de vacío-presión con fosfato de diamonio tanto en el tratamiento de madera de Pinus taeda como de Eucalyptus grandis.

Estos resultados son similares a los de varios autores. Por ejemplo, Soto (1969), en experimentos realizados sobre tablas machimbradas de Pino insigne, encontró que con una retención de 52,70 Kg/m³ de fosfato de diamonio se alcanza una clasificación de material no inflamable (según el "Método Oficial Francés de Reacción al Fuego") que no se logra con la mezcla bórax/ácido bórico, ni aún a las retenciones más altas.

En el presente trabajo, como se suponía, el incremento de las dosis de fosfato de diamonio y de bórax/ácido bórico produce una disminución en la pérdida de peso de la madera. El grado de

disminución, a su vez, depende del producto y de la especie que se trate (Cuadros Nº 3, 4, 5 y 6).

Se observó que el fosfato de diamonio en madera de pino fue siempre mejor que el bórax/ácido bórico a cualquier dosis y la diferencia a favor del fosfato de diamonio fue mayor a mayores concentraciones (Gráfica Nº 2). Esto último no ocurrió en madera de eucalipto ya que con una retención de 64,7 Kg/m³ de bórax/ácido bórico se logran resultados significativamente iguales que una retención de 68,1 Kg/m³ de fosfato de diamonio (Cuadro Nº 4 y Gráfica Nº 1).

El objetivo principal del trabajo de LeVan y Tran (1990), fue evaluar la influencia de los niveles de bórax/ácido bórico sobre el comportamiento del fuego de maderas sin defectos y madera terciada de pinos del sur usando pruebas estándares. Ellos estimaron que se necesitan al menos 48 Kg/m³ de bórax/ácido bórico para alcanzar los requerimientos de la clase I de la norma ASTM E84.

En el estudio presente, una retención de 23 Kg/m³ de bórax/ácido bórico en E. grandis no fue efectiva. En Pinus taeda, en cambio, la mínima retención lograda de esta mezcla fue 33,2 Kg/m³ y tuvo diferencias significativas con el testigo (Cuadros Nº 4 y 6).

La influencia de estos retardantes en disminuir el tiempo de duración de las brasas y las llamas también debe ser considerado.

En el ensayo ASTM E160 sobre E. grandis, las probetas tratadas con soluciones al 5 y 10% de fosfato de diamonio demoraron más en apagarse que el resto de la madera tratada y sin tratar (Cuadro Nº 4). En esta misma prueba, realizada sobre madera de Pinus taeda, el tratamiento con fosfato de diamonio al 5% demoró más en extinguir las llamas que el testigo pero los tratamientos de mayores concentraciones de fosfato de diamonio (10 y 15%) tuvieron significativamente menor duración de la llama (prueba de Dunnett).

No hubo diferencias significativas entre el testigo y la media de los tratamientos en el tiempo de duración de las brasas para E. grandis, pero el ignífugo Direth demoró más tiempo en dejar de resplandecer que el fosfato de diamonio o la mezcla bórax/ácido bórico (Cuadros Nº 3 y 4).

En Pinus taeda el único tratamiento que se diferenció del testigo fue el de bórax/ácido bórico al 5% que mantuvo las brasas encendidas por más tiempo (Cuadro Nº 6).

El pino del sur, cuando es tratado con químicos retardantes del fuego apropiadamente formulados, se autoextingue, por ej: cesan rápidamente las llamas o brasas cuando se retira o se agota la fuente primaria de calor (Koch, 1972).

LeVan y Tran (1990), también trabajando sobre pinos del sur, dicen: "La ignición de las muestras, coincide con la elevación aguda en la tasa de liberación de calor medida. Los tiempos de ignición se incrementan con niveles crecientes de químicos. Como era de esperarse, la tasa de liberación de calor disminuye con el incremento de los niveles de concentración."

Los resultados de este trabajo fueron confusos en cuanto al tiempo de duración de la llama y las brasas.

Hay que tener en cuenta que en pino, los tratamientos más efectivos en cuanto a disminuir la pérdida de peso también fueron los de menores tiempos de brasas y llama pero los tratamientos a menores concentraciones, aunque disminuyeron la pérdida de peso, tuvieron mayor duración de llama o brasas. Esto podría deberse a que las muestras demoraron en prenderse fuego o a que la llama y brasas, aunque estuvieron más tiempo prendidas, se encontraban a una temperatura menor. No fue posible medir la temperatura de las llamas o brasas, porque se carecía de termocuplas que soportaran temperaturas de más de 600°C.

Se supone que no influiría de la misma forma en la quema de la madera una llama pequeña y débil, aunque dure más tiempo, que una gran llama caliente, o pocas, que muchas brasas.

Las muestras sin tratar produjeron una llama muy alta y probablemente más caliente que la de la madera tratada y que por lo tanto consumiría rápidamente las muestras (combustible), al igual que las brasas abundantes y resultarían en gran pérdida de peso.

En E. grandis se observó que la duración de las brasas con Direth fue mayor que la de los otros tratamientos. Podría ser debido a esto, que el Direth no fue efectivo en disminuir la pérdida de peso del eucalipto.

Los puntos de fusión del ácido bórico (185°C), del bórax (75°C) y del fosfato de diamonio (155°C) están por debajo de las temperaturas de combustión activas de la madera (250°C). Se supone que la formación de burbujas observada durante la quema de ambas maderas tratadas con bórax/ácido bórico y con fosfato de diamonio corresponde al fenómeno de fusión de los químicos, que rellenarían los poros de la madera, aislándola del oxígeno necesario para su combustión.

También se percibió olor a amoníaco cuando se quemó la madera tratada con fosfato de diamonio. El amoníaco, que es un gas incombustible, tiene efecto retardante del fuego por dilución del oxígeno del aire y el fosfato absorbe oxígeno antes de que entre en contacto con la madera.

Mas allá de que el amoníaco sea un gas incombustible, habría que considerar también que es un gas tóxico para los seres humanos.

Entonces, la elección de uno u otro retardante del fuego, no debería depender solamente de su efectividad, sino además, de muchas otras variables, mencionadas en el capítulo 2.5.

Los tres retardantes del fuego evaluados en el presente estudio son actualmente de fácil adquisición en el mercado local, son poco tóxicos para los seres humanos o animales domésticos, no generan mayores problemas ambientales, no manchan ni oscurecen la madera pero su aplicación estaría restringida al interior de una edificación ya que se lavan con el agua de lluvia, por ejemplo.

Se han hecho numerosos estudios para intentar disminuir la lixiviación de los químicos de la madera, por ejemplo, Lewin (1964), citado por Koch (1972), ha logrado a través de la brominación de la madera, un tratamiento retardante del fuego, resistente al agua. Winandy y Schmidt (1995) aplicaron boratos disueltos en una mezcla de glicol-agua en pino del sur, que dicen resiste al lavado.

Se ha ensayado la solubilidad del bórax y el ácido bórico en agua y en otros solventes como glicerina o glicerol (glicol) y aparentemente, estos compuestos tendrían más dificultades para disolverse en agua (a la que hay que calentar para lograr soluciones de más de 15% m/V), que de solubilizarse en glicerina.

El fosfato de diamonio en cambio, es muy fácil de disolver en agua, pudiendo lograrse soluciones muy concentradas.

El ignífugo Direth es sencillo de aplicar en comparación con las soluciones de fosfato y borato, que requieren métodos de vacío-presión para alcanzar las retenciones requeridas, pero según los resultados de este trabajo, sólo podría aplicarse en pino. Para decidir cuál retardante conviene aplicar, deberían hacerse análisis de costo-efectividad considerando el agregado de preservantes, si se desea proteger la madera contra hongos e insectos, excepto en el caso de la mezcla bórax/ácido bórico. Esta mezcla, probó en muchas oportunidades, que brinda buena preservación, aún a la madera en contacto con el suelo, que es una de las condiciones más severas a las que ésta puede ser expuesta. Las retenciones requeridas para lograr efectividad preservante son mucho menores que las que se necesitan para alcanzar retardo al fuego, entonces la aplicación de soluciones relativamente concentradas de bórax/ácido bórico, conseguiría ambos propósitos.

White (1992) en su trabajo "Flame retardancy of wood: present status, recent problems, and future fields", hace una revisión muy interesante, sobre el tema de la combinación de tratamientos retardantes y preservantes. Expresa: "...Hay un mercado potencial significativo, para tratamientos combinados fuegorretardantes - preservantes y coberturas ignífugas. ..."

"... Varias combinaciones fuegorretardantes y preservantes son siempre efectivas para uso interior. Sin embargo todavía no se ha desarrollado una combinación exitosa para uso exterior, de tratamientos preservantes-fuegorretardantes. El mayor problema con el tratamiento combinado para exterior, es que la mayoría de las combinaciones de retardantes del fuego y preservantes son químicamente incompatibles. Más aún, la mayoría de los retardantes del fuego son susceptibles a la lixiviación cuando son expuestos a condiciones exteriores. Además, varios preservantes resistentes a la lixiviación, imparten un color inaceptable a la madera. ..."

Como el fosfato de diamonio corroe metales y no posee propiedades preservantes notorias, muchas veces se ha usado en combinaciones con dicromato de sodio o potasio, que son inhibidores de la corrosión, efectivos preservantes y poseen propiedades ignífugas. En cuanto al agregado de estos preservantes, existe un problema mayor que el de la coloración que puedan impartir a la madera que es su toxicidad para los seres humanos y el deterioro ambiental que podrían causar. Las sales CCA, se han combinado al fosfato de diamonio. Dichas sales contienen dicromato de sodio o potasio, sulfato de cobre y pentóxido de arsénico (Koppers Co., 1982). En Uruguay este último compuesto, tiene prohibida su venta en droguerías, por lo peligroso que es para la salud humana, pero no existen reglamentaciones o prohibiciones para productos de uso industrial (Carmen Ciganda, com. pers.).

En las Hojas de seguridad de Mallinckrodt Baker, Inc., entre otras muchas advertencias sobre el dicromato de potasio, identifican sus peligros como:

Salud:	Extremo (causante de cáncer)
Reactividad:	Severa (oxidante)
Contacto:	Severa (vida)

Información ecológica: Este material se puede bioacumular en cierto grado.

Identificación de peligros del sulfato de cobre:

Información ecológica: No se espera que este material se biodegrade cuando se elimina en el suelo y en el agua. Se espera que se bioacumule significativamente y que sea muy tóxico para la vida acuática.

CUADRO Nº 7

CUADRO COMPARATIVO ENTRE LAS PROPIEDADES TOXICOLOGICAS DE
DIVERSOS PRODUCTOS

INGREDIENTES ACTIVOS	PROPIEDADES TOXICOLOGICAS Dosis Letal Oral LD 50 - Ratones o Ratas
Pentaclorofenato de sodio	218 mg/Kg
Sulfato de cobre	300 mg/Kg
Tribromofenato de sodio	1.400 mg/Kg
Acido bórico	2.660 mg/Kg
Borato de sodio	2.660 mg/Kg
Sal común de cocina	3.750 mg/Kg

FUENTE: elaboración propia a partir de datos de Hojas de Seguridad de Mallinckrodt Baker y de Boletines Técnicos de Montana Química S.A.

No se encontraron datos para el fosfato de diamonio.

Hay pruebas, de que empresas uruguayas de reconocido prestigio utilizan en la construcción maderas provenientes de Brasil, tratadas con pentaclorofenol (un poderoso preservante). En un estudio realizado por Peredo (1993) se señala que el pentaclorofenato de sodio genera dioxinas, las que causan grandes transtornos de salud. En la Unión Europea, ya desde 1991, se restringió el uso de la madera tratada con pentaclorofenato de sodio y en varios de estos países está totalmente prohibido.

En dos comunicaciones personales, la Q. F. Cousillas, de la Cátedra de Toxicología de la Facultad de Química, expresó que el pentaclorofenato de sodio y el pentaclorofenol, a primera vista, causarían los mismos efectos.

Aunque no existan reglamentaciones, en lo que respecta a la utilización de productos de uso industrial, no deberían usarse químicos que representen un riesgo ambiental o humano elevado, por los perjuicios que causan y porque es un tema decisivo en la colocación de productos elaborados en mercados exigentes.

Los fosfatos de amonio como se vió en capítulos anteriores, fueron identificados como los retardantes del fuego, que causaron mayores disminuciones en las resistencias mecánicas de la madera. Ésto debería tomarse en cuenta, si la madera se destinara a formar parte de la estructura de las construcciones y en ese caso, el aumento en el tamaño de las escuadrias podría ser lo indicado.

La misma consideración debe hacerse en el caso del encolado, donde debe estudiarse la conveniencia de usar retardantes del

fuego, ya que algunos causan una mala adhesión-cohesión. Pero no debe importarle en la elección de retardantes del fuego, que serán utilizados en madera sólida.

Entonces, se debe conocer el uso que se le dará a la madera, para poder maximizar la efectividad del proceso en su conjunto.

La madera es el único material de construcción renovable y presenta una serie de ventajas frente a otros.

El mejorar los tratamientos de preservación llevará no sólo a la utilización de maderas, que en la actualidad no son durables ni adecuadas, bajo ciertas condiciones y a aprovechar en mejor forma los recursos forestales, sino también a destinar las especies más valiosas a los usos más nobles.

Un grupo de investigadores de la Universidad de Chile (1964), afirma que cualquiera sea el país donde la investigación relacionada con la preservación de maderas pueda prolongar la vida de los productos derivados del bosque, aún por pocos años, la cantidad total de dinero economizada alcanza a cifras hasta cierto punto sorprendentes.

6. CONCLUSIONES

+ Ninguno de los retardantes del fuego evaluados en este trabajo (fosfato de diamonio, bórax/ácido bórico y Direth ignífugo) brindan protección duradera en exteriores, a menos que la madera se "aisle" adecuadamente con pinturas, barnices, o selladores.

+ Para hacer una mejor selección de un retardante del fuego, debe tomarse en cuenta la especie botánica a la que pertenece la madera sobre la cual se aplicará, el tipo de que se trate (si es madera sólida, terciada, tableros de partículas, de fibras) y el uso final que se le dará (estructural, decorativo).

+ El comportamiento ante el fuego de las maderas tratadas de pino y eucalipto depende del ignífugo y la concentración utilizada.

+ El fosfato de diamonio que fue efectivo en todos los casos, puede usarse en la ignifugación de maderas sólidas de pino y eucalipto; la concentración de la solución dependerá del grado de protección deseado.

+ La cobertura Direth ignífugo aplicada con pincel en dos manos abundantes, puede utilizarse en Pinus taeda pero no en Eucalyptus grandis si quiere lograrse algún grado de efectividad fuego-retardante.

+ En construcciones de madera de pino ya establecidas, puede aplicarse Direth ignífugo para disminuir el riesgo de incendios.

+ Todas las soluciones de fosfato de diamonio son las más efectivas en disminuir la pérdida de peso de la madera de Pinus taeda y a mayores concentraciones la efectividad se distancia más de los otros ignífugos evaluados resultando, por lo tanto, el retardante del fuego más conveniente a aplicar en esta especie.

+ En madera de Eucalyptus grandis las soluciones al 15% de fosfato de diamonio y de bórax/ácido bórico alcanzaron significativamente los mismos resultados. La mezcla bórax/ácido bórico ha llamado la atención de muchos investigadores por sus efectos preservantes y retardantes del fuego además de su baja toxicidad para los seres humanos y animales domésticos, entre otras buenas cualidades. Probablemente, el uso de bórax/ácido bórico en eucalipto proporcionará mayores beneficios que la utilización de fosfato de diamonio, aunque se necesitan retenciones del al menos 44,1 Kg/m³ de la mezcla.

+ Si bien la madera tratada con bórax/ácido bórico presenta un mayor costo que la madera sin tratar, la vida útil que se

obtiene puede ser más de tres veces superior a la de la madera sin impregnar, lo que constituye una economía a largo plazo. En cambio, el fosfato de diamonio por si solo (que es más caro que la mezcla bórax/ácido bórico) no preserva la madera.

+ Hay muchísimas pruebas para evaluar el retardo del fuego en la madera fuego-retardada pero ninguna puede evaluar el comportamiento de ésta en las condiciones de un incendio real; las pruebas que más se acercan a estas condiciones son pruebas a gran escala, que son caras, pero son las únicas admisibles en la certificación de la madera tratada con ignífugos en algunos países.

+ En nuestro país se requiere la preparación de normas en conjunto con todos los sectores involucrados.

+ En el tratamiento de maderas, se debe lograr a los menores costos posibles, las mayores efectividades, cuidando la salud de las personas y el ambiente. Es necesario medir, evaluar y planificar acciones en aspectos de eficiencia productiva, preocupándose de todas las operaciones concernientes a la producción.

7. TRABAJOS FUTUROS

Se deberían estudiar los problemas que afronta la industria maderera nacional mediante la realización de investigación aplicada que involucra el empleo de distintos productos químicos comerciales y la experimentación de variadas técnicas de preservación para con todo ello sacar conclusiones de orden práctico.

Para maximizar todos los aspectos de la preservación de maderas, deberían realizarse estudios tendientes a obtener información fundamental, referente a la aptitud de las maderas que van a ser impregnadas y secadas. Por ejemplo: el duramen del Eucalyptus grandis ofrece considerable resistencia a la penetración de líquidos, los que sólo pueden penetrar aplicando presiones muy elevadas. Entonces, si se desean lograr buenos tratamientos (tanto retardantes del fuego como preservantes) en la madera aserrada de esta especie, se debe conocer primero un método efectivo para su impregnación total (albura y duramen).

Según Kollmann (1959) la profundidad de penetración es inversamente proporcional al tiempo que tarda el líquido en vencer la resistencia de una serie de punteaduras y ese tiempo está en razón inversa con la presión, por lo tanto la profundidad de penetración variará en razón directa a la presión a igualdad de las demás circunstancias. Debido a que las membranas de las punteaduras experimentan una cierta dilatación al aumentar la presión, disminuirían las resistencias. Por esto tiene gran importancia la costumbre práctica de realizar un estufado (vaporizado) previamente a la impregnación, con lo que se eleva la plasticidad de los tabiques celulares y con ello la dilatabilidad de las membranas de las punteaduras. Simultáneamente, el calor apoya el proceso, disminuyendo la resistencia a la tracción y reduciendo asimismo el equilibrio higroscópico y la hinchazón, tan perturbadora en este caso.

Entonces, se debería intentar estandarizar el tratamiento de las especies que necesitan ser tratadas (preservadas o ignifugadas) y que presentan problemas durante la impregnación o el secado.

En un artículo de 1990 del Forest Research Institute, "Vapour Boron treatment", se señala que se está investigando la impregnación de maderas refractarias y de difícil tratamiento. En esa investigación están utilizando una forma gaseosa del boro para el tratamiento de la madera aserrada y compuestos panel. Indican que es un proceso extremadamente rápido y puede lograr una distribución uniforme del boro a través de la madera.

Otro artículo publicado por la misma revista y en el mismo año, titulado "Thickened boron "Diffusol" -a new approach to a traditional wood treatment-" se refiere a un producto para tratar madera, pero no por métodos de presión. Asegura que el producto (Diffusol), aumenta la difusión del boro y que alrededor de 40

plantas de preservación de madera en Nueva Zelanda lo adoptaron.

Hay que tomar en cuenta, que estos artículos se refieren exclusivamente a tratamientos con boro como preservante y, como ya se mencionó, los tratamientos retardantes del fuego requieren mayores retenciones de químico (habría que ver si funcionan igual si se requiere que penetren mayores cantidades de boro).

Otra solución al problema de maderas que no admiten impregnación total, es la aplicación de coberturas ignífugas, que pueden tener propiedades preservantes o no.

El duramen del Eucalyptus grandis, que es muy poco penetrable, es resistente frente al ataque de insectos, por lo tanto podría impregnarse su albura con productos preservantes y luego aplicar una cobertura ignífuga sobre la madera aserrada. Lamentablemente, la aplicación de Direth ignífugo en esta madera no brinda significativo retardo al fuego, pero podrían probarse otras coberturas sobre esta especie.

Winandy et al. (1990), hacen referencia a sales orgánicas comerciales retardantes del fuego para exteriores e interiores. Estas sales son: guanilurea fosfato-ácido bórico (GUP) para uso interior y diazinidamida-fosfórica ácida-formaldehído (DPF) para uso exterior.

Los productos para uso exterior seguramente son resistentes a la temporización, pero probablemente sean más caros y por eso se usan los dos tipos.

Otro tema que debe ser considerado es el de tener madera fuegorretardada y además preservada contra hongos e insectos con tratamientos que sean resistentes a la lixiviación. White (1992) en su trabajo "Flame retardancy of wood: present status, recent problems, and future fields" hizo una revisión muy interesante y completa del tema.

Podrían probarse métodos para que la mezcla bórax/ácido bórico no se lixivie, como por ejemplo preparar las soluciones en una mezcla de agua y glicerina o glicerol.

Para las investigaciones de la resistencia al fuego, se usan métodos a pequeña escala. Deberían elegirse pruebas de fácil realización, baratas y que estén siendo ensayadas a nivel internacional, para que puedan compararse los resultados con los de otros investigadores. Una vez que se seleccionan retardantes del fuego para su uso en la industria, la madera tratada con éstos, debería pasar pruebas de gran escala por ser las que más se asemejan a las condiciones de un incendio real.

Sobre estas pruebas a gran escala, Woeste y Schaffer (1981) indican lo siguiente:

La efectividad de ensamblajes estructurales -paredes, pisos, cielorrasos- para actuar como barreras al desarrollo del fuego se mide usando el test de duración del fuego de la American Society for Testing and Materials (ASTM) E-119. Este método requiere que

un ensamble con carga típico, sea expuesto al fuego y se registra el tiempo hasta que falle. Un ensamble que mantiene su integridad por 30 minutos o más, se dice que tiene una clasificación de duración al fuego de 30 minutos. El procedimiento de clasificación es usado por códigos para regular los diseños de fabricación de ensambles para edificios para variados fines. El Department of Housing and Urban Development (HUD), por ejemplo, especifica que las paredes exteriores deben tener una clasificación al fuego de 20 minutos de duración y los pisos de 10 minutos en residencias de una o dos familias.

Una vez que la investigación ha demostrado la bondad de un sistema de preservación, el siguiente paso es experimentar en una escala semi-comercial y luego su aplicación en gran magnitud. Por lo tanto es de gran importancia una estrecha colaboración entre los organismos que desarrollan investigación científica con los productores y consumidores.

Habría que estudiar también los métodos de control de una buena impregnación según el retardante del fuego utilizado. Se pueden encontrar antecedentes en los estándares de la American Wood-Preservers' Association.

Si la madera a tratar va a formar parte de estructuras, debería medirse la resistencia mecánica de la madera tratada, porque como ya se dijo anteriormente los retardantes del fuego disminuyen estas resistencias. Estas resistencias pueden medirse por métodos tradicionales o por métodos de evaluación no destructiva, que serían interesantes probar. Winandy et al. (1991) investigaron dos técnicas de evaluación no destructiva (NDE) que consideran bastante promisorias por ser de bajo costo y fácil interpretación.

8. RESUMEN

Usando la prueba ASTM E160, se evaluó la efectividad retardante del fuego de la cobertura ignífuga Direth (marca registrada) aplicada con pincel, y de las soluciones acuosas de fosfato de diamonio y de bórax/ácido bórico aplicadas por métodos de vacío-presión, ambas en concentraciones de 5, 10 y 15%, en madera sólida de Pinus taeda y Eucalyptus grandis. Las soluciones de fosfato de diamonio, en promedio, siempre fueron las más efectivas. La mezcla bórax/ácido bórico le siguió en efectividad y cuando las soluciones tenían una concentración de 15%, se comportaron significativamente igual en E. grandis. La cobertura Direth fue efectiva solamente en P. taeda y en promedio, fue menos efectiva que las soluciones aplicadas a presión.

9. SUMMARY

Using the ASTM E160 Test Procedure, was evaluated the Fire retardant effectiveness of Direth (a Registered Trade Mark fire resistive coating) applied with brush, and the aqueous solutions of Diammonium phosphate and Borax/boric acid, both at 5, 10 and 15% concentrations, applied using vacuum-pressure methods, on Pinus taeda and Eucalyptus grandis clear wood sticks. Diammonium phosphate solutions, in average, were always more effective. Borax/boric acid solutions mix, followed in effectiveness and both solutions at 15% concentration had significantly the same performance on E. grandis. Direth was effective only when it was applied on P. taeda wood and in average was less effective than the vacuum-pressure applied solutions.

KEY WORDS: fire-retardants, fire-resistance, fire-tests, fireproofing, wood, Eucalyptus, Pinus.

10. BIBLIOGRAFIA

- ABDUL RASHID, A.M. 1987. Fire retardant study on comercial chipboards - Part 1. Fire propagation performance. Kepong, Malaysia; Forest Research Institute Malaysia FRIM Occasional Papel (1987) Nº 2 / 87, 11 + 8 pp. Tomado de: Forest Products Abstracts 13 (5): 1838. 1990.
- ABDUL RASHID, A.M. 1993. Pyrolysis and heat release of inorganic flame-retardants. Journal of Tropical Forest Science 5 (3) 322-336. Tomado de: Forest Products Abstracts 17 (4): 1652. 1994.
- ASTM E160. 1980. Standard test method for combustibile properties of treated wood by the Crib Test. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA.
- BUTTERFIEL, B.G., MEYLAN, B.A. 1980. Tree-dimensional structure of wood: an ultrastructural approach. 2ª ed. London, Chapman and Hall. 103 p.
- CASSENS, D.L.; FEIST W.C. 1991. Exterior Wood in the South: Selection, Applications, and Finishes.. General Technical Report FPL-GTR-69. Madison, WI: US Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 56 p.
- CATEDRA DE TECNOLOGIA FORESTAL. 1979. Principales maderas exóticas cultivadas en el Uruguay. Facultad de Agronomía. Montevideo, Uruguay. 33 p.
- CELLA CELLA, D.; JAUME del CAMPO, L.; MALBOT MEREL, D. 1996. Impregnación de escuadrias de álamo (Populus deltoides) y eucalipto (Eucalyptus grandis W. Hill ex Maiden) por el método de inmersión instantánea. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía. 50 p.
- CLOROGIL S.A. INDUSTRIAS QUIMICAS O pentaclorofenol (gilopen ol) como preservativo de madeira. A posição do pentaclorofenol no Brasil e no exterior em 1970/1971. Relatório 17-10, 1970/1971. Sao Paulo, Brasil.
- COPANT 460. 1972. Maderas. Método de determinación de la humedad. Comisión Panamericana de Normas Técnicas. Buenos Aires, Argentina.
- CORONEL, E. O. 1994. Fundamentos de las propiedades físicas de la madera. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Nacional de Santiago del Estero. Argentina. 187 p.

- DEVLIEGER, F.; BECKER, N.; ROGEL, A.; MÜLLER, T. Comportamiento de diferentes materiales derivados de la madera frente al fuego. In Jornadas Forestales de Chile. (5tas., 26 de setiembre de 1969). 5 p.
- DULAT, J. 1980. The effects of borate preservatives and fire retardants on hygroscopicity and moisture content equilibria in timber. Journal of the Institute of Wood Science 8 (5) 214-220. Tomado de: TREECD 1973-4/98.
- EATON, R.A.; HALE, M.D.C. 1993. Wood. Decay, pests and protection. Chapman & Hall, London. 398-403.
- FIRE PROTECTION Fire retardant paint resists 2000° flame. 1950, Fire Prot., Lond. 1950 13 (112), (70). Tomado de: TREECD 1939-1972.
- FOJUTOWSKI, A. 1996. Fire retardant protection of waterproof plywood. Part II. Effectiveness of action of salt fire retarding preparations applied in aqueous solutions. Prace Instytutu Technologii Drewna 40: 1-2, 45-57. Tomado de: TREECD 1939-1972.
- FOREST RESEARCH INSTITUTE. 1990 a. Thickened boron "Diffusol" -a new approach to a traditional wood treatment. What's New in Forest Research Nº 193. Rotorua, New Zealand. 4 p.
- FOREST RESEARCH INSTITUTE. 1990 b. Vapour Boron treatment What's New in Forest Research Nº 200. Rotorua, New Zealand. 4 p.
- GANKOV, B.; TSCOCHEVA, K. 1980. [Effect of treating veneer with borax on the bond quality of plywood.] Nauchni Trudove Vissh Lesotekhnicheski Institut, Sofiya (Mekhanichna Tekhnologiya na D'rvetinata) 26, 165-168. Tomado de: Forest Products Abstracts 6 (7): 1658. 1983.
- GJOVIK, L.R., DAVIDSON, H.L. 1979. Comparison of Wood Preservatives in Stake Tests (1979 Progress Report). Forest Products Laboratory, Forest Service, U.S. Department of Agriculture. 84 p.
- GOLDSTEIN, I.S.; DREHER, W.A. 1961. A non-hygroscopic fire retardant treatment for wood. For. Prod. J. 11 (5), 1961 (235-7). Tomado de: TREECD 1939-1972.
- HASHIM, R.; MURPHY, R.J.; DICKINSON, D.J.; DINWOODIE, J.M. 1994. The mechanical properties of boards treated with vapor boron. Forest Products Journal 44 (10) 73-79. Tomado de: Forest Products Abstracts 18 (3): 1205. 1995.

- HIRATA, T.; FUKUI, Y.; KAWAMOTO, S.; KARASAWA, H. 1992. Combustion gas toxicity, hygroscopicity, and adhesive strength of plywood treated with flame retardants. Wood Science and Technology 26 (6) 461-473. Tomado de: Forest Products Abstracts 17 (5): 2109. 1994.
- HUNT, G.M.; GARRATT, G.A. 1953. Wood preservation. American Forestry Series. 2ª ed. Nueva York, Mc. Grow-Hill Book Company. 371-393.
- INDRA DEV; RAM LAL. 1988. Fire performance of treated plywood. Journal of the Timber Development Association of India 34 (3) 1-4. Tomado de: Forest Products Abstracts 13 (6): 2247. 1990.
- JAIN, J. C.; ANANTHANARAYANA, A.K. 1981. Studies on the efficacy of some inorganic chemicals as fire retardants. Journal of Timber Development Association of India 27 (4) 19-22. Tomado de: Forest Products Abstracts 6 (4): 794. 1983.
- KIM, J.M. 1982. [Studies on press drying of fire-retardant treated plywood.] Journal of Korean Forestry Society Nº 56, 1-25. Tomado de: Forest Products Abstracts 6 (9): 2268. 1983.
- KININMONTH, J.A. 1963. The redistribution of water-borne preservatives in timber during drying. Technical paper Nº 42. Forest Research Institute, New Zealand Forest Service, Wellington, 16 p.
- KOCH, P. 1972. Utilization of the Southern Pines. Volume II -Processing. Agriculture Handbook, US Department of Agriculture Nº 120, 1663 p.
- KOLLMANN, F. 1959. Tecnología de la madera y sus aplicaciones.. 2ª ed. Madrid, Gráficas reunidas S.A. Vol 1. 675 p.
- KOLTHOFF, I.M.; SANDELL, E.B.; MEEHAN, E.J.; BRUCKENSTEIN, S. 1979. Análisis químico cuantitativo.. 6ª ed. Buenos Aires, Librería y Editorial Nigar SRL, p. 198-199.
- KOPPERS Co. Inc. s/f. Manual de tratamiento Oficina para America Latina, Cali, Colombia. 35 p.
- KOPPERS COMPANY, INC. 1982. The CCA Pole: The Pole Of the Future With a 40-Year Past WOL - 155 U.S.A. 25 p.
- LEE, P.W.; EOM, Y.G.; KIM, H.J. 1989. Oxygen index of fire-retardant-treated plywood in burning test. Journal of Korean Forestry Society 78 (4) 419-424. Tomado de: Forest Products Abstracts 14 (4): 1576. 1991.

- LEVAN, S.L.; TRAN, H.C. 1990 The role of boron in flame retardant treatments.
<http://www.fpl.fs.fed.us/documents/firelist.htm>
- MALLINCKRODT BAKER, INC. 1996. Material safety data sheet. 222 Red School Lane. Phillipsburg, NJ 08865. 50 p.
- McQUIRE, A.J.; GOUDIE, K.A. 1972. Accelerated boron diffusion treatment of timber. New Zealand Journal of Forestry Science, 2(2): 168-169.
- MONTANA QUIMICA S.A. s/f. Boletín Técnico. Brasil 30 p.
- NIKOLOV, S.J.; PANAJOTOV, P.A. [PANAIOTOV, P.A.]; TROEV, K.D.; TODOROV, K.A.; GRADEV, T.G. 1984. [Protective effect of polyester-impregnated wood against fire.] Holztechnologie 25 (5) 240-242. Tomado de: Forest Products Abstracts 13 (1): 198. 1990
- PEREDO M.L. 1993. Preservantes antimancha alternativos al pentaclorofenato de sodio. Universidad de la República, Facultad de Agronomía, Montevideo, Uruguay. Serie de Documentos Nº 3. 10 p.
- PERRY, R.H.; GREEN, D. 1984. Perry's Chemical Engineers' Handbook. 6ª ed. Mc Graw-Hill International Editions. Chemical Engineering Series.
- SAXENA, N.K.; SHARMA, S.K.; GUPTA, D.R. 1990. Evaluation of smoke from fire retarded cellulosic materials. Journal of the Timber Development Association of India 36 (4) 48-52. Tomado de: Forest Products Abstracts 16 (5): 2028. 1993.
- SCHAEFFER, R.E. 1967. Gluing ammonium-salt-treated Southern Pine with resorcinol-resin adhesives. U.S. For. Serv. Res. Note U.S. For. Prod. Lab., Madison Nº FPL-0151, 1967. pp. 16. Tomado de: TREECD 1939-1972.
- SENYSZYN, P. 1990. La madera. Aspectos estructural, cualitativo y utilitario. Montevideo, Facultad de Agronomía. 99 p.
- SHUKLA, K.S.; RAJAWAT, M.S.; SHUKLA, L.N. 1987. Plywood from Indian timbers: Dracontomelum mangiferum Blume (Chinyok). Journal of the Indian Academy of Wood Science 18 (2) 25-33. Tomado de: Forest Products Abstracts 13 (4): 1387. 1990.
- SHYAMASUNDAR, K.; ASWATHANARAYANA, B.S.; NAIDU, M.V. 1993. Performance of plywood treated with fire retardant chemicals. Journal of the Indian Academy of Wood Science 24 (2) 19-22. Tomado de: Forest Products Abstracts 18 (5): 2062. 1995.

- SOTO, G. Propiedades ignífugas del pentaborato de sodio. In Jornadas Forestales de Chile (5tas., 26 de setiembre de 1969). 7 p.
- STANGER, A.G. 1962. The effect of some water-borne preservatives on the immediate bond strength of the glued joints in the radiata pine sapwood. New Zealand Forestry Research Notes. Forest Research Institute, New Zealand Forest Service, Goberment Printer, Wellington, 27 p.
- TERENT'EV, V.Y.; IVANOVA, R.I. 1988. Gluing wood impregnated with a combined compound of fire-retardants and preservatives based on ammonium salts. Derevoobrabatyvayushchaya Promyshlennost' № 10, 13. Tomado de: TREECD 1973-4/98.
- TINTO J. 1978. Aporte del sector forestal a la construcción de viviendas. Instituto Forestal Nacional, Ministerio de Economía, Secretaría de Estado de Agricultura y Ganadería, Subsecretaría de Recursos Naturales Renovables y Ecología. Argentina. Folleto Técnico Forestal № 44. 142 p.
- TUSET, R.; DURAN, F. 1979. Manual de maderas comerciales, equipos y procesos de utilización. Montevideo, Hemisferio Sur. 688 p.
- UNIVERSIDAD DE CHILE, ESCUELA DE INGENIERIA FORESTAL, DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA DE MADERAS. 1964. Cinco años de investigaciones en tecnología de maderas: 1959-1963. Boletín técnico № 7, Santiago, Chile. 31 p.
- WANG, S.; HUFFMAN, J.B. 1982. Effect of extractives on heat content of Melaleuca and Eucalyptus. Wood Science 15 (1) 33-38. Tomado de: Forest Products Abstracts 6 (2): 406. 1983.
- WHITE R.H. 1984. Use of coatings to improve fire resistance of wood. American Society for Testing and Materials, 1916 Race Street, Philadelphia, PA 19103. Autorized Reprint from Standard Technical Publication 826. 24-38
- WHITE, R. 1986 Effect of lignin content and extractives on the higher heating value of wood.
<http://www.fpl.fs.fed.us/documents/firelist.htm>
- WHITE, R.H. 1988. Future of fire-resistive coatings in wood construction. <http://www.fpl.fs.fed.us/documents/firelist.htm>
- WHITE, R. 1992. Flame retardancy of wood: present status, recent problems, and future fields.
<http://www.fpl.fs.fed.us/documents/firelist.htm>

- WILLIAMS, L.H. 1984. Dip-diffusion treatment of unseasoned hardwood lumber with boron compounds for prevention of beetles in lumber and other products. Proceedings, 12 Annual Hardwood Symposium, Harwood Research Council. USDA Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Gulfport, Mississippi 154-163.
- WINANDY, J.E.; ROSS, R.J.; LeVAN, S.L. 1991. Fire retardant treated wood: Research at the forest products laboratory. <http://www.fpl.fs.fed.us/documents/firelist.htm>
- WINANDY, J.E.; SCHMIDT, E.L. 1995. Preliminary development of remedial treatments for thermally degraded fire-retardant-treated wood. Forest Products Journal 45 (2) 51-52. Tomado de: Forest Products Abstracts 18 (5): 2061. 1995.
- WINANDY, J.E. 1997. Effects of fire retardant retention, borate buffers, and redrying temperature after treatment on thermal-induced degradation. Forest Products Journal 47 (6) 79-86. Tomado de: CAB Abstracts 1996-10/97.
- WOESTE, F.E.; SCHAFFER, E.L. 1981. Reliability Analysis of Fire-Exposed Light Frame Wood Floor Assemblies. Research paper FPL 386. Forest Products Laboratory, Forest Service, United States Department of Agriculture. 15 p.

11. GLOSARIO

ABSORCION BRUTA: Es la cantidad de preservador absorbida por la madera al final del período de presión, e incluye la absorción inicial.

ABSORCION INICIAL: Es la cantidad de preservador absorbida por la madera en las etapas anteriores al período de presión.

ABSORCION NETA: Es el volumen de preservador absorbido por la madera al final del proceso de impregnación, descontándose la recuperación eventual.

AGUA DE CONSTITUCION: Es la que combinada químicamente, forma parte integrante de la pared celular.

AGUA DE IMBIBICION: Es la porción de agua que impregna las paredes celulares. Su eliminación comienza durante el proceso de secado cuando el contenido de humedad disminuye por debajo del punto de saturación de las fibras, lo que produce reducción de volumen en la madera.

AGUA LIBRE: Es la porción de agua contenida en las cavidades celulares; su eliminación durante el proceso de secado no produce cambios volumétricos en la madera.

ALBURA: Es la capa exterior de la madera, ubicada entre la corteza y el duramen, que frecuentemente contiene almidón. Es generalmente de color más claro, más permeable y menos durable que el duramen.

AMIANTO: Mineral que se presenta en fibras blancas y flexibles de aspecto sedoso. Se hacen con él tejidos incombustibles. [Sin.: Asbesto]

AUTOCLAVE: Es el recipiente, generalmente cilíndrico y horizontal, cerrado por medio de una puerta hermética, en el cual se realiza la impregnación de la madera a presiones diferentes de la atmosférica.

BETHELL: Es el método, caracterizado por las etapas siguientes: aplicación de vacío inicial, inyección del preservador sin interrumpir el vacío, período de presión y aplicación o no, de vacío final.

CARGA: Es la cantidad de madera que se somete a tratamiento en cada operación.

COBERTURA INTUMESCENTE: La cobertura se espuma y se expande cuando se expone al fuego aislando y protegiendo la superficie de la madera de la descomposición térmica.

CONTENIDO DE HUMEDAD: Es el peso del agua presente en la madera, expresado como porcentaje del peso anhidro de ésta.

CONTENIDO DE HUMEDAD DE EQUILIBRIO: Es aquel que alcanza la madera, cuando está expuesta a condiciones ambientales constantes durante un cierto tiempo.

DELICUESCENTE: Que absorbe agua hasta formar la solución saturada.

DURAMEN: Es la parte interior de la madera, carente de almidón. Es generalmente de color más oscuro, menos permeable y más durable que la albura.

EFLORESCENCIA: Es la formación de cristales sobre la superficie de la pieza de madera tratada, producida por exudación de la solución preservadora y ulterior evaporación del solvente.

ETAPAS DE TRATAMIENTO POR PRESION: Son los períodos de tiempo en los cuales la madera, en contacto o no con el preservador, es sometida a determinadas condiciones de temperatura y presión, a fin de cumplir las especificaciones fijadas en el tratamiento.

EXUDACION: Es la acumulación superficial de preservador, proveniente del interior de una pieza de madera tratada, que puede dar origen a un residuo.

HIGROSCOPICIDAD: Propiedad de algunos cuerpos inorgánicos y de todos los orgánicos, de absorber y exhalar la humedad según las circunstancias que los rodean.

HIGROSCOPICO: Que tiene higroscopicidad.

IGNICION: Acción o efecto de estar un cuerpo encendido, si es combustible, o enrojecido por un fuerte calor, si es incombustible.

IGNIFUGACION: Tratamiento a que se someten algunos materiales para insensibilizarlos a la acción del calor y hacerlos así ininflamables. Generalmente la operación consiste en el tratamiento de dichos materiales con soluciones químicas, barnices, sustancias grasas y baños ácidos. La mayor aplicación de la ignifugación se tiene en la protección y conservación de las maderas, para lo cual se emplean diversos procedimientos.

IGNIFUGO: Que protege contra el incendio.

IMPREGNACION: Es la operación de incorporar a la madera una sustancia preservadora.

INCISIONES: Son las hendiduras practicadas a profundidad y espaciamento determinados en la superficie de una pieza de madera refractaria, con el objeto de obtener una mejor penetración.

LOWRY: Es el método, caracterizado por las etapas siguientes: período de presión y vacío final.

MADERA ANHIDRA: Es aquella en que se ha eliminado el agua libre y el agua de imbibición, mediante secado a temperatura de 100 a 105 °C hasta peso constante.

MADERA DE FACIL TRATAMIENTO: Es aquella que se deja impregnar satisfactoriamente por cualquier proceso de impregnación.

MADERA REFRACTARIA: Es aquella que no se impregna satisfactoriamente por el tratamiento preservador utilizado.

MADERA TRATABLE: Es aquella que se deja impregnar satisfactoriamente por el proceso de impregnación utilizado.

PENETRACION: Es la profundidad alcanzada por el preservador en la madera, expresada en unidades de longitud o en porcentaje diametral de la pieza y/o de albura.

PERIODO DE PRESION: Es el intervalo durante el cual la madera en contacto con el preservador es sometida a presiones superiores a la atmosférica.

PERMEABILIDAD: Es la propiedad de la madera que permite en mayor o menor grado la penetración de los preservadores.

PIROLISIS: Proceso de descomposición de una sustancia por efecto del calor. La variación térmica determina un cambio en la colocación de los átomos en el interior de la molécula.

PRESERVADOR COMPUESTO: Es el que está constituido por más de una sustancia las que asociadas en proporciones adecuadas se fijan parcial o totalmente en la madera en forma insoluble merced a la formación de nuevos compuestos.

Nota: Las modernas sustancias de este tipo consisten en una mezcla de una, dos o tres sales, con cromato alcalino en proporción elevada.

PRESERVADOR SIMPLE: Es el que está constituido por una solución que tiene una sola sal disuelta.

PROBETA: Es una muestra de dimensiones especificadas destinada a un ensayo determinado.

PUNTO DE SATURACION DE LAS FIBRAS: Es el estado de la madera en el cual se ha evaporado el agua contenida en las cavidades celulares, en tanto se mantienen saturadas las paredes celulares.

RECUPERADO: Es la cantidad de preservador extraído de la madera al final del tratamiento.

RETENCION NETA: Es la cantidad de preservador expresada en kilogramos por metro cúbico de madera.

RETENCION POR ENSAYO: Es la retención referida a una muestra ensayada y determinada mediante técnicas, físicas y/o químicas.

RUEPING: Es el método, caracterizado por las siguientes etapas: aplicación inicial de aire a presión, período de presión con el preservador dentro del autoclave y aplicación de vacío final.

TANQUE DE DEPOSITO: Es el recipiente generalmente calibrado que abastece al autoclave y al tanque de medición.

TANQUE DE MEDICION: Es el recipiente cilíndrico vertical, calibrado, en el cual se mide por diferencia de niveles la cantidad de preservador absorbido por la madera.

TRATAMIENTO POR IMPREGNACION: Es el que consiste en la aplicación de una solución preservadora a la madera con el fin de asegurar una penetración uniforme del preservador hasta una profundidad mínima especificada.

TRATAMIENTO POR PRESION: Es el que consiste en la aplicación de un preservador a la madera, a presiones diferentes a la atmosférica, utilizando un autoclave.

VACIO INICIAL: Es la aplicación de vacío al autoclave antes de la introducción del preservador, con el objeto de extraer el aire existente en la madera.

VACIO FINAL: Es la aplicación de vacío al autoclave, después del período de presión, con el fin de extraer el exceso de preservador absorbido por la madera.

12. ANEXO

E U C A L I P T O

Probeta N°	Estado inicial				Peso Esp. normal (g/cm ³)	Estado anhidro				Peso Esp. anhidro (g/cm ³)	Peso Esp. comente (g/cm ³)	C.H. (%)		
	Peso (g)	Dimensiones (cm)				Volumen (cm ³)	Peso (g)	Dimensiones (cm)					Volumen (cm ³)	
		largo	ancho	altura				largo	ancho					altura
1	9,90	1,323	1,330	7,690	13,53	0,73	8,80	1,272	1,268	7,655	12,54	0,70	0,85	12,5
2	11,20	1,350	1,373	7,690	14,26	0,79	9,99	1,300	1,320	7,690	13,20	0,76	0,70	12,1
3	11,17	1,353	1,360	7,720	14,42	0,77	9,96	1,303	1,333	7,715	13,41	0,74	0,69	12,1
4	10,70	1,400	1,363	7,650	14,60	0,73	9,52	1,317	1,353	7,640	13,61	0,70	0,65	12,4
5	7,43	1,395	1,363	7,700	14,66	0,50	6,63	1,333	1,357	7,680	13,69	0,46	0,45	12,1
6	7,50	1,320	1,363	7,635	13,74	0,55	6,66	1,333	1,267	7,620	13,07	0,51	0,46	12,6
7	11,55	1,390	1,403	7,680	14,98	0,77	10,28	1,353	1,337	7,665	13,67	0,74	0,69	12,4
8	11,24	1,360	1,360	7,675	14,20	0,79	9,96	1,320	1,303	7,660	13,18	0,76	0,70	12,6
9	9,75	1,333	1,363	7,640	13,69	0,70	6,69	1,323	1,268	7,635	13,02	0,67	0,63	12,2
10	7,57	1,340	1,360	7,660	14,00	0,54	6,73	1,290	1,296	7,660	12,83	0,52	0,46	12,5
11	12,17	1,360	1,343	7,715	14,30	0,85								
12	11,38	1,400	1,390	7,655	14,90	0,76								
13	8,37	1,357	1,366	7,615	14,34	0,58								
14	11,10	1,370	1,377	7,600	14,33	0,77								
15	10,96	1,353	1,410	7,700	14,69	0,75								
16	11,17	1,373	1,377	7,650	14,46	0,77								
17	10,96	1,350	1,360	7,665	14,26	0,77								
18	9,75	1,360	1,353	7,585	13,92	0,70								
19	7,29	1,400	1,367	7,615	14,57	0,50								
20	10,72	1,353	1,360	7,635	14,05	0,76								
21	6,21						7,30	1,348	1,367	7,535	13,68	0,53		12,5
22	7,12						6,30	1,310	1,350	7,585	13,41	0,47		13,0
23	7,09						6,27	1,347	1,320	7,563	13,46	0,47		13,1
24	7,37						6,54	1,360	1,340	7,625	13,90	0,47		12,7
25	7,32						6,52	1,353	1,310	7,640	13,54	0,46		12,3
26	10,63						9,47	1,313	1,326	7,703	13,44	0,70		12,2
27	7,60						6,76	1,347	1,360	7,565	13,69	0,49		12,1
28	6,96						7,97	1,330	1,306	7,625	13,27	0,60		12,7
29	7,76						6,91	1,322	1,352	7,516	13,43	0,51		12,3
30	7,43						6,61	1,323	1,237	7,600	12,44	0,53		12,4
31	10,55						9,31	1,307	1,317	7,565	13,02	0,72		13,3
32	11,55						10,25	1,297	1,297	7,655	12,67	0,60		12,7
33	10,22						9,10	1,323	1,347	7,643	13,62	0,67		12,3
34	7,37						6,55	1,270	1,333	7,565	12,61	0,51		12,5
35	9,49						6,43	1,320	1,262	7,630	12,71	0,66		12,6
36	9,35						6,31	1,310	1,335	7,600	13,29	0,63		12,5
37	7,52						6,69	1,316	1,337	7,666	13,55	0,49		12,4
38	7,76						6,66	1,307	1,303	7,615	12,97	0,53		12,6
39	7,92						7,06	1,350	1,350	7,625	13,90	0,51		12,2
40	12,07						10,74	1,263	1,327	7,660	13,06	0,62		12,4

P I N O

Probeta N°	Estado inicial					Peso Esp. normal (g/cm ³)	Estado anhidro					Peso Esp. anhidro (g/cm ³)	Peso Esp. corriente (g/cm ³)	C.H. (%)
	Peso (g)	Dimensiones (cm)			Volumen (cm ³)		Peso (g)	Dimensiones (cm)			Volumen (cm ³)			
		largo	ancho	altura				largo	ancho	altura				
1	8,49	1,417	1,403	7,685	15,29	0,56	7,53	1,370	1,367	7,690	14,40	0,52	0,49	12,7
2	8,62	1,400	1,433	7,680	15,37	0,56	7,63	1,367	1,410	7,670	14,67	0,52	0,50	13,0
3	8,19	1,413	1,402	7,695	15,05	0,54	7,26	1,377	1,367	7,665	14,23	0,51	0,48	12,8
4	9,37	1,405	1,415	7,495	14,90	0,63	8,29	1,387	1,397	7,485	14,50	0,57	0,56	13,0
5	8,66	1,415	1,433	7,640	15,50	0,56	7,73	1,383	1,397	7,590	14,66	0,53	0,50	12,3
6	7,60	1,430	1,430	7,645	15,63	0,49	6,74	1,397	1,383	7,630	14,74	0,46	0,43	12,8
7	7,54	1,417	1,407	7,693	15,31	0,49	6,71	1,360	1,397	7,670	14,57	0,46	0,44	12,4
8	6,66	1,417	1,423	7,605	15,33	0,43	5,92	1,383	1,400	7,570	14,66	0,40	0,39	12,5
9	7,30	1,427	1,413	7,685	15,50	0,47	6,51	1,360	1,400	7,660	14,58	0,45	0,42	12,1
10	8,71	1,407	1,387	7,650	14,92	0,58	7,75	1,347	1,367	7,600	13,99	0,55	0,52	12,4
11	8,73	1,420	1,400	7,665	15,24	0,57								
12	8,96	1,398	1,403	7,580	14,87	0,60								
13	10,07	1,423	1,457	7,655	15,87	0,63								
14	8,84	1,398	1,400	7,655	14,99	0,59								
15	9,75	1,403	1,423	7,645	15,27	0,64								
16	8,50	1,417	1,410	7,700	15,38	0,55								
17	7,95	1,387	1,392	7,650	14,57	0,55								
18	7,55	1,410	1,420	7,600	15,22	0,50								
19	8,63	1,417	1,403	7,600	15,11	0,57								
20	7,54	1,413	1,428	7,595	15,24	0,49								
21	8,86						7,88	1,360	1,373	7,610	14,21	0,55		12,4
22	7,61						6,78	1,398	1,363	7,608	14,50	0,47		12,2
23	9,17						8,16	1,375	1,390	7,575	14,48	0,56		12,4
24	9,23						9,21	1,355	1,368	7,620	14,13	0,58		12,4
25	7,08						6,35	1,330	1,368	7,605	14,04	0,45		11,8
26	7,84						6,96	1,350	1,392	7,570	13,61	0,51		12,6
27	7,60						6,64	1,380	1,395	7,600	14,42	0,46		13,0
28	7,70						6,87	1,368	1,390	7,638	14,53	0,47		12,1
29	8,75						7,76	1,390	1,383	7,685	14,78	0,53		12,8
30	7,62						6,76	1,360	1,400	7,615	14,50	0,47		12,7
31	7,90						7,05	1,373	1,380	7,625	14,45	0,49		12,1
32	8,25						7,32	1,400	1,370	7,630	14,83	0,50		12,7
33	7,62						6,79	1,387	1,363	7,570	14,52	0,47		12,2
34	7,54						6,80	1,392	1,380	7,565	14,53	0,47		10,9
35	7,76						6,90	1,313	1,357	7,630	13,59	0,51		12,5
36	8,92						7,93	1,395	1,397	7,580	14,77	0,54		12,5
37	9,22						8,19	1,378	1,398	7,543	14,73	0,56		12,6
38	9,73						8,60	1,450	1,415	7,560	15,51	0,55		13,1
39	8,44						7,51	1,393	1,368	7,578	14,46	0,52		12,4
40	9,65						6,60	1,380	1,397	7,625	14,70	0,59		12,2

Tomado del "United States Forest Service" Report* "Comparison of wood preservatives in Stake Tests" 1979 Progress Report

Table 13.--Condition of southern pine stakes (2 x 4 in. nominal x 18 in.), treated with fire-retardant chemicals, after 7 years of service. Stakes placed in test December 1943 on the Harrison Experimental Forest, Saucier, Miss., and inspected December 1950

Treating chemicals	Retention: Num--	Condition of stakes	Average			
				of	December 1950	life
	dry salt	in	Destroyed by--			
			Termite	Decay fungi		
			attack	and termite		
			attack	attack		
	Pcf	Number	Pct	Number	Pct	Yr
Ammonium sulfate, 78 parts; ammonium phosphate, 19 parts; and sodium dichromate, 3 parts (by weight)	3.01	10 : 5	50	5	50	2.4
Ammonium phosphate, 10 parts; ammonium sulfate, 60 parts; borax, 10 parts; and boric acid, 20 parts (by weight)	6.17	10 : 6	60	4	40	3.4
Borax, 60 parts; and boric acid, 40 parts (by weight)	2.98	10 : 5	50	5	50	3.9
Untreated controls	6.19	10 : 2	20	8	80	4.3
	3.01	10 : 3	30	7	70	6.0
	6.29	10 : 6	60	4	40	6.5
	—	10 : 2	20	8	80	2.2

Nota: 3 Pcf equivalen aproximadamente a 48 Kg/m3
6,2 Pcf equivalen aproximadamente a 100 Kg/m3

ABSORCION PROMEDIO DE PINO Y DE EUCALIPTO

PROBETAS IMPREGNADAS SOLAMENTE CON AGUA

Pino B 1	Peso i (g)	Peso f (g)	Absorción (l/m3)
1	8.21	17.36	601
2	10.50	18.16	503
3	9.01	18.61	630
4	8.44	17.67	606
5	8.14	17.46	612
6	7.65	13.28	370
7	6.80	14.70	519
8	7.09	17.61	691
9	7.74	14.76	461
10	7.94	17.79	647
11	7.80	15.26	490
12	8.02	18.28	674
13	7.17	16.91	640
14	9.84	15.97	403
15	8.44	15.32	452
16	7.66	17.99	678
17	8.65	15.90	476
18	6.77	12.21	357
19	7.40	13.29	387
20	7.54	14.87	481
21	7.53	15.18	502
22	7.73	17.12	617
23	10.06	18.79	573
24	8.19	18.36	668

Pino B 2	Peso i (g)	Peso f (g)	Absorción (l/m3)
1	8.09	17.60	625
2	8.34	17.39	594
3	7.83	14.87	462
4	10.17	17.06	452
5	6.87	14.22	483
6	7.92	15.04	468
7	8.07	17.80	639
8	8.24	18.40	667
9	6.95	16.03	596
10	7.85	15.20	483
11	9.57	18.70	600
12	9.62	14.85	343
13	8.08	16.73	568
14	8.06	14.79	442
15	10.98	18.37	485
16	9.12	15.52	420
17	7.54	15.98	554
18	8.67	16.68	526
19	8.49	16.22	508
20	10.24	17.18	456
21	7.16	13.22	398
22	6.63	16.77	666
23	7.59	14.75	470
24	9.55	18.87	612

Euc. B 1	Peso i (g)	Peso f (g)	Absorción (l/m3)
1	7.56	14.33	473
2	9.88	15.22	373
3	8.17	14.36	432
4	9.26	14.74	383
5	9.68	14.99	371
6	11.11	16.48	375
7	11.15	16.38	365
8	10.26	15.40	359
9	9.69	15.09	377
10	7.85	14.38	456
11	7.59	15.15	528
12	10.70	15.93	365
13	11.86	17.33	382
14	10.56	15.57	350
15	7.69	13.93	436
16	10.96	16.40	380
17	7.21	14.08	480
18	10.13	15.74	392
19	10.73	16.55	407
20	10.66	17.64	488
21	11.52	17.39	410
22	6.53	13.25	469
23	11.38	16.87	383
24	7.67	14.24	459

Euc. B 2	Peso i (g)	Peso f (g)	Absorción (l/m3)
1	10.99	16.37	376
2	10.92	17.05	428
3	11.63	16.98	374
4	11.23	17.45	434
5	11.75	17.19	380
6	7.26	15.02	542
7	11.22	16.87	395
8	11.49	18.06	459
9	7.84	14.50	465
10	9.04	15.85	476
11	7.79	14.55	472
12	9.12	15.02	412
13	7.45	14.06	462
14	9.90	15.42	386
15	11.52	17.03	385
16	10.92	17.62	468
17	10.86	16.31	381
18	10.79	16.26	382
19	7.76	14.48	469
20	7.41	13.76	444
21	10.21	15.12	343
22	8.22	14.79	459
23	7.68	15.16	522
24	7.68	15.30	532

VOLUMENES PROMEDIO DE LAS PROBETAS DE PINO Y DE EUCALIPTO

Pino b	altura 1	altura 2	ancho 1	ancho 2	ancho 3	largo 1	largo 2	largo 3	Altura media	Ancho medio	Largo medio	V (12% CH)
1	7.670	7.700	1.410	1.400	1.400	1.420	1.420	1.410	7.685	1.403	1.417	15.28
2	7.680	7.640	1.430	1.440	1.430	1.400	1.400	1.400	7.660	1.433	1.400	15.37
3	7.590	7.600	1.400	1.400	1.405	1.410	1.420	1.410	7.595	1.402	1.413	15.05
4	7.450	7.540	1.390	1.425	1.430	1.395	1.410	1.420	7.495	1.415	1.405	14.90
5	7.640	7.640	1.420	1.440	1.440	1.420	1.410	1.415	7.640	1.433	1.415	15.50
6	7.640	7.650	1.430	1.430	1.430	1.430	1.430	1.430	7.645	1.430	1.430	15.63
7	7.685	7.680	1.420	1.400	1.400	1.420	1.420	1.410	7.683	1.407	1.417	15.31
8	7.680	7.610	1.430	1.420	1.420	1.420	1.420	1.410	7.605	1.423	1.417	15.33
9	7.660	7.690	1.420	1.410	1.410	1.430	1.420	1.430	7.685	1.413	1.427	15.50
10	7.660	7.640	1.385	1.390	1.385	1.410	1.400	1.410	7.650	1.387	1.407	14.92
11	7.670	7.660	1.400	1.400	1.400	1.400	1.430	1.430	7.665	1.400	1.420	15.24
12	7.600	7.560	1.370	1.420	1.420	1.395	1.400	1.400	7.580	1.403	1.398	14.87
13	7.660	7.650	1.440	1.470	1.460	1.410	1.430	1.430	7.655	1.457	1.423	15.87
14	7.640	7.670	1.400	1.400	1.400	1.400	1.400	1.395	7.655	1.400	1.398	14.99
15	7.630	7.660	1.430	1.430	1.410	1.410	1.400	1.400	7.645	1.423	1.403	15.27
16	7.700	7.700	1.410	1.410	1.410	1.410	1.420	1.420	7.700	1.410	1.417	15.38
17	7.540	7.560	1.400	1.385	1.390	1.385	1.385	1.390	7.550	1.392	1.387	14.57
18	7.600	7.600	1.420	1.420	1.420	1.410	1.410	1.410	7.600	1.420	1.410	15.22
19	7.600	7.600	1.410	1.400	1.400	1.420	1.420	1.410	7.600	1.403	1.417	15.11
20	7.590	7.600	1.410	1.420	1.430	1.420	1.410	1.410	7.595	1.420	1.413	15.24

Promedio = 15.23
 desvío = 0.29
 C. V. % = 1.94

Euc. b	altura 1	altura 2	ancho 1	ancho 2	ancho 3	largo 1	largo 2	largo 3	Altura media	Ancho medio	Largo medio	V (12% CH)
1	7.680	7.700	1.330	1.330	1.330	1.340	1.330	1.300	7.690	1.330	1.323	13.53
2	7.680	7.700	1.360	1.380	1.380	1.350	1.350	1.350	7.690	1.373	1.350	14.26
3	7.700	7.740	1.380	1.380	1.380	1.350	1.350	1.360	7.720	1.380	1.353	14.42
4	7.640	7.690	1.370	1.360	1.360	1.400	1.400	1.400	7.650	1.363	1.400	14.60
5	7.700	7.700	1.385	1.385	1.380	1.400	1.385	1.400	7.700	1.383	1.395	14.86
6	7.620	7.650	1.370	1.360	1.360	1.320	1.320	1.320	7.635	1.363	1.320	13.74
7	7.680	7.680	1.400	1.400	1.410	1.400	1.390	1.380	7.680	1.403	1.390	14.98
8	7.670	7.680	1.360	1.360	1.360	1.360	1.360	1.360	7.675	1.360	1.360	14.20
9	7.600	7.680	1.370	1.360	1.360	1.330	1.330	1.330	7.640	1.363	1.333	13.89
10	7.680	7.680	1.360	1.360	1.360	1.340	1.340	1.340	7.680	1.360	1.340	14.00
11	7.710	7.720	1.350	1.340	1.340	1.380	1.380	1.380	7.715	1.343	1.380	14.30
12	7.660	7.650	1.390	1.395	1.395	1.410	1.395	1.395	7.655	1.390	1.400	14.90
13	7.630	7.600	1.380	1.410	1.375	1.370	1.380	1.340	7.615	1.388	1.357	14.34
14	7.600	7.600	1.380	1.375	1.375	1.370	1.370	1.370	7.600	1.377	1.370	14.33
15	7.720	7.680	1.420	1.410	1.400	1.360	1.350	1.350	7.700	1.410	1.353	14.69
16	7.660	7.640	1.380	1.380	1.370	1.370	1.380	1.370	7.650	1.377	1.373	14.46
17	7.660	7.670	1.380	1.380	1.380	1.350	1.350	1.350	7.665	1.380	1.350	14.26
18	7.570	7.560	1.350	1.360	1.350	1.360	1.360	1.360	7.565	1.353	1.360	13.92
19	7.595	7.635	1.360	1.370	1.370	1.400	1.400	1.400	7.615	1.367	1.400	14.57
20	7.650	7.620	1.360	1.360	1.360	1.360	1.350	1.350	7.635	1.360	1.353	14.05

Promedio = 14.32
 desvío = 0.39
 C. V. % = 2.71

Montevideo 25 de Noviembre de 1997

Fosfato de Amonio Dibásico

Lote: 3424

Fórmula	- $(NH_4)_2HPO_4$
Nombre comercial	- Fosfato diamonio
Contenido	- 96.4 %
pH solución 5 %	- 8.5
Arsénico	- Menor a 3 ppm
Metales pesados	- Menor a 10 ppm
Cloruro	- Menor a 0.03 %
Sulfato	- Menor a 0.15 %

Fecha Fabricación: 25/11/97

Susana Becaría
Susana Becaría Analista

Ignacio L. Responsa
Ignacio L. Responsa

CERTIFICADO DE ANALISIS

PERRIN S.A.

Industria Química - fundada en 1951

Montevideo, 9 de Junio de 1998

Borato de Sodio Cristal U.S.P.

Lote: 3680

Certificado de Análisis

Fórmula	- $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$
Contenido	- 100,7 %
Arsénico	- Menor a 8 ppm
Metales pesados	- Menor a 20 ppm
Carbonato y bicarbonato	- Cumple test USP 23

Fecha Fabricación: 09/06/98

Fecha Vencimiento: 09/06/2003

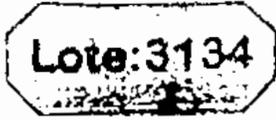
Susana Becerra
Susana Becerra / Analista

Ignacio Lin
Ignacio Lin / Responsable

Montevideo, 2 de Mayo de 1997

Sra. ADRIANA WILSON

Acido Bórico U.S.P.


 Lote: 3134

Bolsa de 25kg # 1125-1125

Fórmula	- H_3BO_3
Contenido (base seca)	- 100.0 %
Pérdida de peso por secado	- 0.05 %
Arsénico	- Menor a 8 ppm
Metales pesados	- Menor a 20 ppm
Solubilidad en agua	- Cumple test U.S.P. 23
Solubilidad en alcohol	- Cumple test U.S.P. 23

Fecha Fabricación 2/05/1997

Fecha Vencimiento 2/05/2002

Luciana Baccan
Luciana Baccan / Analista

Ignacio L. Lora
Ignacio Lora / Responsable

Anexo N° 6

Se prepararon 35 litros de cada solución, por lo tanto se calculó que se debían disolver:

Fosfato de diamonio

Solución al 5 % m/V

5 Kg sal --- 100 litros solución
1,75 Kg --- 35 litros

Solución al 10 % m/V

10 Kg sal --- 100 litros solución
3,5 Kg --- 35 litros

Solución al 15 % m/V

15 Kg sal --- 100 litros solución
5,25 Kg --- 35 litros

Mezcla ácido bórico/bórax 60/40

Solución al 5 % m/V

ácido bórico = $1,75 \times 0,6 = 1,05$ Kg
bórax = $1,75 \times 0,4 = 0,7$ Kg

Solución al 10 % m/V

ácido bórico = $3,5 \times 0,6 = 2,1$ Kg
bórax = $3,5 \times 0,4 = 1,4$ Kg

Solución al 15 % m/V

ácido bórico = $5,25 \times 0,6 = 3,15$ Kg
bórax = $5,25 \times 0,4 = 2,1$ Kg

Entonces se usaron en total:

Fosfato de diamonio = $1,75 + 3,5 + 5,25 = 10,5$ Kg

Acido bórico = $10,5 \times 0,6 = 6,3$ Kg

Bórax = $10,5 \times 0,4 = 4,2$ Kg

Anexo Nº 7 USO DEL AUTOCLAVE

INICIO

Verificar: todas las válvulas cerradas.
Colocar las probetas dentro del cilindro, en una bolsa permeable.
Sellar completamente la tapa del cilindro (colocar silicona para metal, en el borde interno, y apretar los tornillos).

REALIZAR VACIO

Abrir válvula del vacuómetro.
Abrir válvula 14.
Abrir llave 4 y prender bomba de vacío. Una vez que se llega al vacío 60 cm Hg, cerrar las llaves 14 y 4, apagar la bomba de vacío, y mantener el vacío durante 1/2 hora.

LLENAR EL AUTOCLAVE CON LIQUIDO APROVECHANDO EL VACIO

Cerrar válvula del vacuómetro.
Abrir válvulas del tubo de nivel.
Abrir las llaves de los depósitos.
Abrir válvulas 5, 12, y 13.
Abrir válvulas 14 y 4 y prender la bomba de vacío.
Cuando se llena el autoclave (se controla en el tubo de nivel y el visor), cerrar válvulas 14 y 4 y apagar inmediatamente la bomba de vacío.

PRESURIZAR EL AUTOCLAVE

Cerrar válvulas del tubo de nivel.
Cerrar válvula 12.
Abrir válvulas 11, 10 y 9.
Abrir válvula del manómetro.
Presurizar con bomba de presión manual; una vez llegada a la presión 10 a 12 Kg/cm² cerrar válvula 13 y mantener durante 1 hora.

VACIAR EL CILINDRO

Abrir válvulas 13 y 12.
Cerrar válvulas 11, 10 y 9.
Abrir la purga de aire.
Abrir válvulas del tubo de nivel. Una vez que el tubo de nivel indica que el cilindro no tiene líquido, se realiza vacío final.

VACIO FINAL

Todas las válvulas cerradas menos la válvula del vacuómetro y las válvulas 14 y 4.
Prender la bomba de vacío y una vez alcanzado un vacío de 60 cm de Hg, cerrar válvulas 14 y 4, apagar la bomba y mantener el vacío durante 1/2 hora.

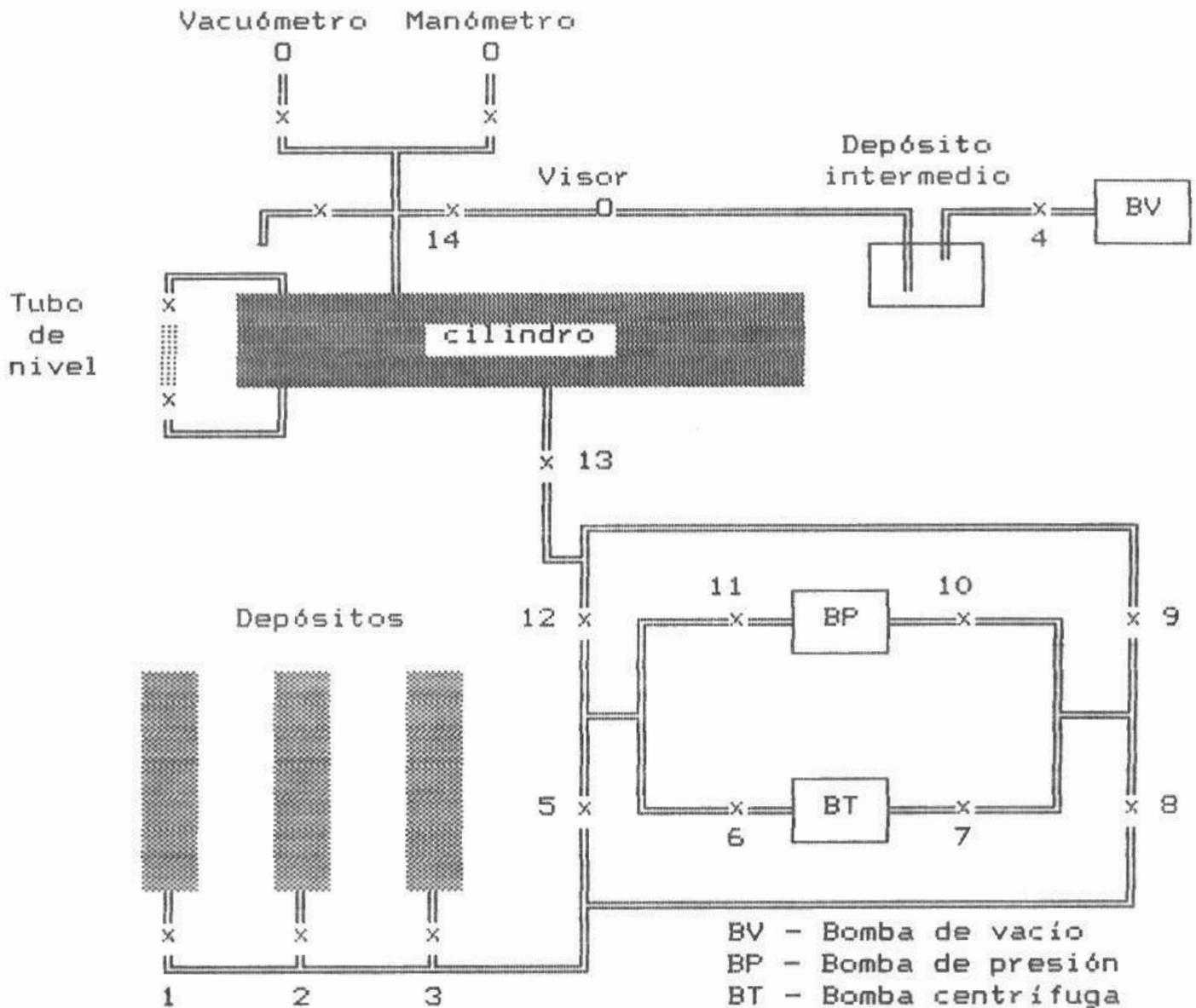
FINAL

Abrir la tapa del cilindro y retirar la madera.

Cerrar todas las llaves.

Vaciar los depósitos.

Enjuagar bien con agua mediante un proceso de llenado del cilindro.



Anexo N° 8
 IMPREGNACION CON BORAX/ACIDO BORICO AL 5%

Pino I	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Absorcion (l/m3)	Retencion (Kg/m3)
1	8,22	18,00	642	32,1
2	9,47	18,38	585	29,3
3	8,00	18,59	695	34,8
4	8,89	18,54	634	31,7
5	10,11	19,01	684	29,2
6	7,97	18,32	680	34,0
7	9,09	18,36	609	30,4
8	9,05	18,34	610	30,5
9	7,71	17,83	665	33,2
10	8,06	18,53	686	34,4
11	6,95	17,98	724	36,2
12	9,40	19,66	674	33,7
13	7,12	17,90	708	35,4
14	7,62	18,09	688	34,4
15	7,72	18,01	676	33,8
16	7,90	18,23	678	33,9
17	8,94	18,07	600	30,0
18	6,97	17,95	721	36,1
19	6,46	17,82	746	37,3
20	8,38	18,17	643	32,1
21	7,96	18,58	697	34,9
22	9,02	18,67	634	31,7
23	8,30	18,74	686	34,3
24	8,21	18,66	686	34,3

Pino I r	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Absorcion (l/m3)	Retencion (Kg/m3)
1	7,82	17,97	667	33,3
2	8,55	19,03	688	34,4
3	8,41	18,48	661	33,1
4	8,81	18,75	653	32,6
5	8,35	18,56	671	33,5
6	8,96	18,58	632	31,6
7	7,31	17,68	681	34,1
8	7,82	18,65	711	35,6
9	10,47	18,51	528	26,4
10	10,41	18,82	552	27,6
11	6,91	17,85	718	35,9
12	8,57	19,14	694	34,7
13	7,55	17,71	667	33,4
14	7,43	17,69	674	33,7
15	7,37	18,20	711	35,6
16	9,04	18,91	648	32,4
17	7,77	17,87	663	33,2
18	7,70	17,96	674	33,7
19	8,11	17,41	611	30,5
20	6,71	17,34	698	34,9
21	6,87	17,41	692	34,6
22	7,69	18,22	692	34,6
23	9,10	18,54	620	31,0
24	6,84	17,68	712	35,6

Euc. I	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Absorcion (l/m3)	Retencion (Kg/m3)
1	10,69	16,78	426	21,3
2	11,69	17,71	420	21,0
3	8,36	14,48	427	21,4
4	7,28	14,35	494	24,7
5	9,06	15,09	421	21,1
6	7,68	14,21	456	22,8
7	7,56	14,16	461	23,1
8	7,65	14,82	501	25,0
9	7,42	15,45	561	28,0
10	7,56	15,02	521	26,1
11	11,14	16,92	404	20,2
12	7,42	14,11	467	23,4
13	11,89	18,39	454	22,7
14	10,55	16,80	457	21,8
15	9,99	16,06	424	21,2
16	8,00	15,03	491	24,6
17	7,97	14,30	442	22,1
18	10,90	16,87	417	20,9
19	11,54	17,30	437	21,9
20	10,05	17,14	456	24,8
21	7,29	15,10	546	27,3
22	11,21	17,14	414	20,7
23	9,25	15,25	419	21,0
24	7,42	14,40	488	24,4

Euc. I r	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Absorcion (l/m3)	Retencion (Kg/m3)
1	7,40	14,38	488	24,4
2	8,02	15,36	513	25,6
3	10,31	16,33	420	21,0
4	7,35	14,30	485	24,3
5	7,15	13,34	432	21,6
6	10,24	16,18	416	20,7
7	7,19	14,65	521	26,1
8	7,44	14,05	462	23,1
9	9,60	16,77	431	21,5
10	7,46	14,32	478	23,9
11	7,55	14,65	496	24,8
12	10,42	16,16	401	20,0
13	11,53	17,39	409	20,5
14	10,27	16,26	418	20,9
15	9,66	15,79	428	21,4
16	7,28	13,95	466	23,3
17	7,18	14,82	534	26,7
18	7,19	14,43	506	25,3
19	10,32	16,75	449	22,5
20	10,08	15,16	354	17,7
21	7,48	13,95	452	22,6
22	10,80	16,50	398	19,9
23	7,53	14,95	518	25,9
24	7,48	15,43	555	27,8

IMPREGNACION CON BORAXACIDO BORICO AL 10%

Pino II	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Absorcion (Vm3)	Retencion (Kg/m3)
1	8,54	17,88	607	60,7
2	7,77	17,93	667	66,7
3	7,37	18,05	701	70,1
4	7,63	18,00	681	68,1
5	8,00	18,14	666	66,6
6	8,30	18,03	639	63,9
7	9,83	18,93	598	59,8
8	8,08	18,46	682	68,2
9	10,45	19,19	574	57,4
10	8,29	19,19	716	71,6
11	6,81	17,48	701	70,1
12	7,03	18,54	756	75,6
13	7,32	18,47	732	73,2
14	7,02	18,37	746	74,6
15	7,31	18,13	711	71,1
16	7,43	17,96	692	69,2
17	8,56	18,40	645	64,5
18	8,68	18,93	673	67,3
19	8,14	18,89	706	70,6
20	8,07	18,86	709	70,9
21	6,66	18,00	751	75,1
22	9,35	19,26	661	66,1
23	8,69	18,83	666	66,6
24	7,63	18,49	713	71,3

Pino II r	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Absorcion (Vm3)	Retencion (Kg/m3)
1	6,86	18,19	740	74,0
2	8,14	18,75	697	69,7
3	8,05	17,46	618	61,8
4	9,36	18,92	628	62,8
5	8,55	18,32	642	64,2
6	6,94	16,67	639	63,9
7	7,66	18,00	679	67,9
8	8,46	19,14	701	70,1
9	7,87	18,12	679	67,9
10	7,37	17,91	692	69,2
11	7,33	18,30	720	72,0
12	9,86	18,62	575	57,5
13	7,93	18,20	674	67,4
14	9,01	19,09	662	66,2
15	8,92	17,91	590	59,0
16	8,53	18,07	627	62,7
17	7,07	17,42	680	68,0
18	6,89	18,49	762	76,2
19	8,19	17,79	630	63,0
20	10,81	19,09	544	54,4
21	7,66	18,67	729	72,9
22	8,59	19,02	685	68,5
23	8,96	18,95	657	65,7
24	8,31	18,88	694	69,4

Euc. II	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Absorcion (Vm3)	Retencion (Kg/m3)
1	8,05	14,20	430	43,0
2	11,39	17,32	414	41,4
3	11,07	16,68	392	39,2
4	11,73	17,67	415	41,5
5	10,57	16,03	381	38,1
6	10,99	16,92	414	41,4
7	7,82	13,91	425	42,5
8	9,90	16,09	432	43,2
9	9,10	15,17	424	42,4
10	11,48	18,07	460	46,0
11	9,39	15,46	424	42,4
12	10,21	17,17	486	48,6
13	9,40	15,27	410	41,0
14	10,97	17,08	427	42,7
15	7,53	14,14	462	46,2
16	9,68	14,60	344	34,4
17	11,47	17,48	420	42,0
18	11,03	16,25	365	36,5
19	7,55	14,46	483	48,3
20	10,81	16,00	363	36,3
21	7,44	13,87	449	44,9
22	11,60	16,92	365	36,5
23	7,88	14,86	488	48,8
24	10,21	14,97	392	39,2

Euc. II r	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Absorcion (Vm3)	Retencion (Kg/m3)
1	7,36	13,29	414	41,4
2	10,19	15,31	358	35,8
3	10,69	16,57	418	41,8
4	6,81	15,59	613	61,3
5	10,87	17,10	486	48,6
6	11,20	15,56	374	37,4
7	11,71	17,99	439	43,9
8	7,92	14,95	491	49,1
9	11,96	17,95	418	41,8
10	7,55	14,01	461	46,1
11	9,31	15,50	432	43,2
12	7,14	16,38	646	64,6
13	10,54	16,80	437	43,7
14	9,86	14,92	367	36,7
15	10,86	16,52	395	39,5
16	10,96	17,85	480	48,0
17	7,31	16,59	648	64,8
18	11,16	16,95	404	40,4
19	11,04	17,04	419	41,9
20	10,96	17,78	477	47,7
21	7,10	15,39	579	57,9
22	7,34	14,96	532	53,2
23	11,22	17,52	440	44,0
24	7,51	14,44	484	48,4

IMPREGNACION CON BORAX/ACIDO BORICO AL 15%

Pino III	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Absorcion (l/m ³)	Retencion (Kg/m ³)
1	7,85	18,20	680	102,0
2	8,26	18,34	662	99,3
3	7,97	18,17	670	100,5
4	7,85	18,43	695	104,2
5	8,74	19,01	674	101,2
6	8,77	18,39	632	94,8
7	9,66	19,04	616	92,4
8	8,03	18,54	690	103,5
9	9,21	19,18	655	98,2
10	7,52	18,51	722	108,3
11	8,04	18,72	701	105,2
12	7,57	17,92	680	102,0
13	7,28	17,65	681	102,2
14	7,81	18,47	700	105,0
15	7,68	18,79	730	109,4
16	7,48	18,31	711	106,7
17	7,43	17,90	688	103,1
18	9,09	18,84	640	96,0
19	9,33	19,33	657	98,5
20	8,67	18,61	653	97,9
21	8,51	18,36	647	97,0
22	6,79	17,95	733	109,9
23	7,95	18,38	685	102,7
24	8,85	18,44	630	94,5

Pino III r	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Absorcion (l/m ³)	Retencion (Kg/m ³)
1	7,54	18,85	743	111,4
2	8,79	18,95	667	100,1
3	8,37	18,99	697	104,6
4	8,01	18,93	717	107,6
5	8,41	18,99	695	104,2
6	9,32	19,63	677	101,6
7	8,14	19,22	728	109,1
8	7,63	18,60	727	109,0
9	7,09	18,08	722	108,3
10	8,05	18,08	658	98,7
11	9,51	19,21	637	95,6
12	9,08	19,14	661	99,1
13	9,61	19,46	647	97,0
14	8,77	18,86	663	99,4
15	7,65	18,84	725	110,2
16	8,53	19,15	697	104,6
17	8,16	18,51	680	102,0
18	7,72	18,46	705	105,8
19	8,30	18,84	692	103,8
20	9,75	19,44	636	95,4
21	7,88	18,91	724	108,7
22	8,04	18,67	698	104,7
23	7,95	18,99	725	109,8
24	7,22	18,67	752	112,3

Euc. III	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Absorcion (l/m ³)	Retencion (Kg/m ³)
1	7,72	13,23	385	57,7
2	10,62	16,24	400	59,9
3	11,07	15,85	334	50,1
4	10,87	16,24	375	56,3
5	7,40	13,30	412	61,8
6	10,49	16,39	412	61,8
7	10,05	16,36	441	66,1
8	7,37	14,14	473	70,9
9	7,15	14,84	537	80,6
10	11,17	16,63	381	57,2
11	10,18	14,74	319	47,8
12	11,16	17,15	418	62,8
13	7,55	13,86	441	66,1
14	7,92	14,26	443	66,4
15	7,54	14,22	467	70,0
16	11,06	17,39	442	66,3
17	8,22	14,01	404	60,7
18	9,33	15,05	400	59,9
19	7,42	13,75	442	66,3
20	11,00	16,45	381	57,1
21	11,31	17,03	400	59,9
22	7,20	15,89	607	91,0
23	10,12	16,26	429	64,3
24	7,89	13,91	420	63,1

Euc. III r	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Absorcion (l/m ³)	Retencion (Kg/m ³)
1	9,98	15,81	407	61,1
2	11,26	16,77	385	57,7
3	11,39	17,06	400	60,0
4	11,41	17,55	429	64,3
5	7,63	14,43	475	71,2
6	7,28	13,86	460	68,9
7	10,91	16,22	371	55,6
8	7,09	13,75	465	69,8
9	11,34	17,79	451	67,6
10	10,73	17,14	448	67,2
11	11,21	17,15	415	62,2
12	7,90	13,44	387	58,0
13	7,59	13,62	435	65,3
14	7,36	13,91	451	67,6
15	7,34	14,57	505	75,8
16	9,65	15,61	402	60,2
17	11,01	17,02	420	63,0
18	7,54	14,18	464	69,6
19	11,55	17,41	409	61,4
20	11,74	17,81	424	63,6
21	7,32	15,81	593	89,0
22	8,26	14,14	411	61,6
23	10,99	17,32	442	66,3
24	7,45	14,69	505	75,8

IMPREGNACION CON FOSFATO DE DIAMONIO AL 5%

Pino IV	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Absorcion (l/m ³)	Retencion (Kg/m ³)
1	9,38	18,80	619	30,9
2	8,68	18,69	657	32,9
3	10,37	18,89	580	28,0
4	7,78	17,40	632	31,6
5	7,42	18,20	708	35,4
6	8,67	18,25	629	31,5
7	7,26	18,11	713	35,6
8	7,61	18,38	707	35,4
9	8,09	18,26	668	33,4
10	6,43	17,87	751	37,6
11	8,10	18,15	660	33,0
12	9,89	19,26	615	30,8
13	7,67	17,47	644	32,2
14	8,40	18,07	635	31,8
15	7,77	17,98	671	33,5
16	8,17	18,28	664	33,2
17	9,09	18,31	605	30,3
18	7,92	18,33	684	34,2
19	7,39	17,53	666	33,3
20	7,54	18,19	699	35,0
21	8,77	18,57	644	32,2
22	8,06	18,43	681	34,1
23	9,37	18,38	592	29,6
24	6,98	17,79	710	35,5

Pino IV r	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Absorcion (l/m ³)	Retencion (Kg/m ³)
1	7,44	18,37	718	35,9
2	7,50	18,31	710	35,5
3	7,66	17,96	676	33,8
4	8,15	18,47	678	33,9
5	7,48	18,41	718	35,9
6	8,12	18,75	698	34,9
7	7,57	18,14	694	34,7
8	8,17	18,72	693	34,6
9	7,34	18,12	706	35,4
10	11,42	18,44	461	23,1
11	10,45	19,41	586	29,4
12	10,13	19,26	600	30,0
13	8,53	18,72	669	33,5
14	8,93	19,36	685	34,2
15	8,12	18,48	680	34,0
16	6,98	18,11	731	36,5
17	7,80	18,56	707	35,3
18	8,13	18,63	690	34,5
19	7,76	18,12	680	34,0
20	7,41	18,48	727	36,3
21	8,11	18,62	690	34,5
22	10,49	19,19	571	28,6
23	10,87	19,55	570	28,5
24	7,06	17,69	698	34,9

Euc. IV	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Absorcion (l/m ³)	Retencion (Kg/m ³)
1	9,60	16,22	462	23,1
2	9,46	16,36	462	24,1
3	11,34	18,00	455	23,3
4	11,73	18,44	469	23,4
5	8,51	15,46	485	24,3
6	9,32	16,29	445	22,2
7	7,25	16,45	643	32,1
8	11,89	18,67	474	23,7
9	7,50	15,25	541	27,1
10	7,51	13,00	389	19,2
11	12,38	18,84	451	22,6
12	7,86	14,97	497	24,8
13	7,45	16,35	622	31,1
14	10,03	17,54	525	26,2
15	7,25	15,92	606	30,3
16	11,92	18,37	451	22,5
17	11,46	17,84	446	22,3
18	11,10	17,91	476	23,8
19	10,49	16,87	446	22,3
20	7,30	15,36	528	26,4
21	7,70	15,44	541	27,0
22	10,05	16,73	467	23,3
23	7,76	13,97	434	21,7
24	7,93	15,31	515	25,8

Euc. IV r	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Absorcion (l/m ³)	Retencion (Kg/m ³)
1	7,21	16,01	615	30,7
2	7,25	15,46	573	28,7
3	7,58	14,91	512	25,6
4	10,84	16,75	413	20,8
5	7,61	13,81	433	21,7
6	7,66	14,25	460	23,0
7	10,30	17,01	459	23,4
8	7,10	16,96	689	34,4
9	7,27	15,69	588	29,4
10	9,85	16,56	469	23,4
11	7,64	15,51	550	27,5
12	7,21	14,66	520	26,0
13	10,33	16,10	403	20,2
14	7,72	15,12	517	25,8
15	11,40	18,28	481	24,0
16	11,31	17,78	452	22,6
17	11,49	18,00	455	22,7
18	7,66	15,49	547	27,3
19	10,91	17,99	485	24,7
20	7,33	16,35	630	31,5
21	7,70	15,23	525	26,3
22	7,74	14,35	462	23,1
23	7,50	14,92	516	25,9
24	7,55	15,91	584	29,2

IMPREGNACION CON FOSFATO DE DIAMONIO AL 10%

Pino V	Peso Inicial (g)	Peso final (g)	Absorcion (l/m3)	Retencion (Kg/m3)
1	8,09	18,71	697	69,7
2	7,13	18,22	728	72,8
3	7,85	18,42	692	69,2
4	8,01	18,60	695	69,5
5	10,32	19,34	592	69,2
6	7,22	18,18	720	72,0
7	10,93	19,17	541	54,1
8	7,34	18,33	722	72,2
9	8,61	18,87	674	67,4
10	9,93	19,65	638	63,8
11	6,67	17,80	731	73,1
12	7,28	18,63	745	74,5
13	8,12	19,03	716	71,6
14	8,29	19,05	707	70,7
15	9,32	19,14	645	64,5
16	8,54	18,88	679	67,9
17	9,60	19,14	627	62,7
18	8,42	18,83	671	67,1
19	7,41	18,91	755	75,5
20	8,14	18,68	692	69,2
21	8,91	19,43	691	69,1
22	7,24	18,61	747	74,7
23	8,64	18,76	665	66,5
24	7,39	18,31	717	71,7

Pino Vr	Peso Inicial (g)	Peso final (g)	Absorcion (l/m3)	Retencion (Kg/m3)
1	8,65	19,26	697	69,7
2	7,56	18,56	722	72,2
3	8,18	18,64	687	68,7
4	9,42	19,43	657	65,7
5	8,04	18,92	715	71,5
6	6,62	17,85	724	72,4
7	8,05	18,02	655	65,5
8	7,63	18,79	733	73,3
9	7,00	18,40	749	74,9
10	9,02	19,06	659	65,9
11	8,78	19,14	680	68,0
12	7,89	18,59	703	70,3
13	8,91	19,21	676	67,6
14	9,95	19,19	607	60,7
15	6,98	18,29	743	74,3
16	7,29	18,08	709	70,9
17	9,28	18,99	634	63,4
18	7,12	18,35	737	73,7
19	9,95	19,27	612	61,2
20	8,33	19,06	705	70,5
21	8,72	19,09	661	66,1
22	10,09	19,35	608	60,8
23	11,54	19,81	537	53,7
24	8,63	18,66	658	65,8

Euc. V	Peso Inicial (g)	Peso final (g)	Absorcion (l/m3)	Retencion (Kg/m3)
1	7,14	16,20	633	63,3
2	7,42	13,82	447	44,7
3	10,78	17,59	476	47,6
4	11,05	17,27	434	43,4
5	11,60	17,85	402	40,2
6	9,46	15,96	454	45,4
7	7,66	14,94	509	50,9
8	7,54	13,90	444	44,4
9	7,36	14,46	496	49,6
10	11,27	17,52	437	43,7
11	7,98	14,59	462	46,2
12	11,09	17,48	446	44,6
13	7,64	14,57	484	48,4
14	11,82	18,64	476	47,6
15	10,94	17,26	441	44,1
16	7,51	14,98	522	52,2
17	9,86	15,27	378	37,8
18	10,72	18,10	515	51,5
19	11,61	17,87	437	43,7
20	11,16	17,80	464	46,4
21	10,86	17,99	458	45,8
22	8,17	14,02	409	40,9
23	10,98	16,44	383	38,3
24	7,61	16,42	546	54,6

Euc. Vr	Peso Inicial (g)	Peso final (g)	Absorcion (l/m3)	Retencion (Kg/m3)
1	10,52	16,60	425	42,5
2	7,77	14,68	483	48,3
3	11,32	17,55	435	43,5
4	10,41	16,84	449	44,9
5	10,84	18,00	500	50,0
6	7,19	15,80	601	60,1
7	11,63	17,00	375	37,5
8	7,64	14,20	458	45,8
9	10,67	16,89	434	43,4
10	7,49	16,74	676	67,6
11	11,62	17,87	437	43,7
12	7,54	15,00	521	52,1
13	9,22	15,01	460	46,0
14	7,52	14,33	476	47,6
15	7,46	15,77	580	58,0
16	9,75	16,00	437	43,7
17	9,18	15,62	450	45,0
18	11,29	17,50	434	43,4
19	10,94	17,44	454	45,4
20	11,45	17,17	400	40,0
21	7,39	14,09	468	46,8
22	11,33	17,87	457	45,7
23	9,96	16,50	457	45,7
24	7,57	15,65	564	56,4

IMPREGNACION CON FOSFATO DE DIAMONIO AL 15%

Pino VI	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Absorcion (μm^3)	Retencion (Kg/m ³)
1	8,03	19,30	740	111,0
2	7,07	18,40	744	111,6
3	8,10	18,53	692	103,7
4	7,80	19,29	755	113,2
5	9,33	19,84	690	103,5
6	7,08	18,57	755	113,2
7	7,11	18,87	772	115,8
8	9,77	19,71	653	97,9
9	7,73	18,21	688	103,2
10	8,58	19,03	686	102,9
11	7,59	18,89	742	111,3
12	7,62	18,53	723	108,5
13	6,40	18,46	792	118,8
14	8,75	18,85	663	99,5
15	8,81	19,08	674	101,2
16	9,62	19,03	625	93,7
17	8,27	18,91	699	104,8
18	7,50	18,84	745	111,7
19	8,65	19,07	671	100,7
20	8,57	18,87	676	101,5
21	7,65	18,92	740	111,0
22	6,41	18,67	805	120,8
23	7,45	18,31	713	107,0
24	7,42	18,61	735	110,2

Pino VI r	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Absorcion (μm^3)	Retencion (Kg/m ³)
1	8,42	18,74	678	101,7
2	9,37	19,86	636	95,5
3	7,50	18,23	705	105,7
4	7,99	18,30	716	107,5
5	7,67	18,95	741	111,1
6	8,63	19,20	694	104,1
7	8,21	18,61	683	102,4
8	8,31	18,83	691	103,6
9	6,00	18,25	804	120,7
10	9,96	19,69	639	95,8
11	7,83	18,52	709	106,3
12	9,30	19,37	661	99,2
13	8,29	19,30	723	108,5
14	6,98	18,38	755	113,3
15	9,95	18,45	556	83,3
16	7,65	18,03	682	102,3
17	9,12	19,46	679	101,9
18	7,66	18,86	736	110,3
19	9,17	19,36	669	100,4
20	8,20	18,81	697	104,5
21	8,57	19,34	707	106,1
22	8,42	19,37	719	107,9
23	7,50	18,50	722	106,4
24	8,10	18,75	699	104,9

Euc. VI	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Absorcion (μm^3)	Retencion (Kg/m ³)
1	11,35	17,52	431	64,6
2	9,18	15,37	432	64,9
3	9,71	16,70	488	73,2
4	9,84	15,66	407	61,0
5	10,81	17,15	443	66,4
6	10,93	17,62	467	70,1
7	9,68	15,57	397	59,6
8	10,95	17,10	437	65,5
9	10,92	16,92	419	62,9
10	10,19	15,92	400	60,0
11	11,25	17,44	432	64,9
12	7,38	14,61	505	75,8
13	7,38	15,05	536	80,4
14	7,56	15,41	548	82,2
15	11,36	17,38	420	63,1
16	12,06	18,09	421	63,2
17	7,48	15,55	564	84,6
18	7,97	14,36	446	67,0
19	11,22	17,55	442	66,3
20	7,41	14,18	473	70,9
21	10,54	15,68	369	55,9
22	7,17	16,34	641	96,1
23	8,73	14,66	414	62,1
24	11,10	17,26	430	64,5

Euc. VI r	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Absorcion (μm^3)	Retencion (Kg/m ³)
1	11,51	17,99	453	67,9
2	11,28	16,90	393	58,9
3	10,72	16,66	429	64,3
4	7,50	13,46	416	62,4
5	7,76	13,76	419	62,9
6	10,56	16,56	419	62,9
7	7,58	14,02	460	67,5
8	7,21	17,13	693	103,9
9	10,62	16,85	435	65,3
10	10,56	16,69	428	64,2
11	10,79	16,92	428	64,2
12	8,50	14,89	390	58,6
13	11,46	17,53	424	63,6
14	11,25	16,72	382	57,3
15	7,55	15,44	551	82,7
16	7,30	14,27	487	73,0
17	7,41	15,75	583	87,4
18	7,35	14,65	510	76,5
19	9,67	15,78	427	64,0
20	10,40	16,47	424	63,6
21	11,56	17,62	415	62,4
22	10,10	15,91	406	60,9
23	9,17	15,60	449	67,4
24	7,50	13,47	417	62,6

Anexo Nº 9 (CRIB TEST)
 TRATAMIENTOS CON BORAX/ACIDO BORICO AL 5%

Pino I	Peso Individual	CH (%)	Peso conjunto	Peso residuo	Perdida de peso (%)
1	7,99	8,9	192,69	48,32	74,9
2	9,15	8,2			
3	7,83	9,6			
4	8,65	9,0			
5	9,83	8,9			
6	7,81	9,8			
7	8,94	10,2			
8	8,84	9,4			
9	7,57	10,0			
10	7,32	10,1			
11	6,80	9,6			
12	9,05	7,8			
13	6,92	8,9			
14	7,36	8,2			
15	7,50	8,8			
16	7,73	9,6			
17	8,69	8,9			
18	6,80	9,3			
19	6,38	10,6			
20	8,17	9,2			
21	7,87	10,7			
22	8,78	9,0			
23	8,12	9,6			
24	8,02	9,4			

Promedio 9,3

Pino I r	Peso Individual	CH (%)	Peso conjunto	Peso residuo	Perdida de peso (%)
1	7,45	6,7	185,84	39,4	78,8
2	8,18	7,2			
3	8,00	6,5			
4	6,41	6,9			
5	7,90	6,0			
6	8,50	6,3			
7	7,06	8,2			
8	7,43	6,4			
9	9,90	5,9			
10	9,81	5,5			
11	6,66	7,9			
12	8,14	6,4			
13	7,24	7,4			
14	7,16	7,9			
15	7,05	7,1			
16	8,49	5,2			
17	7,45	7,5			
18	7,45	8,4			
19	7,70	6,3			
20	6,49	8,3			
21	6,53	6,5			
22	7,34	6,9			
23	8,59	5,7			
24	6,64	8,7			

Promedio 6,9

Euc. I	Peso Individual	CH (%)	Peso conjunto	Peso residuo	Perdida de peso (%)
1	10,31	8,0	211,56	36,1	83,4
2	11,33	8,6			
3	8,02	7,4			
4	6,99	7,5			
5	8,69	7,4			
6	7,30	6,5			
7	7,25	7,4			
8	7,33	7,3			
9	7,10	7,2			
10	7,23	7,1			
11	10,70	7,6			
12	7,13	7,6			
13	11,63	9,6			
14	10,26	8,9			
15	9,65	8,2			
16	7,70	7,8			
17	7,84	7,4			
18	10,51	8,0			
19	11,20	8,7			
20	9,72	8,3			
21	7,07	8,6			
22	10,83	8,2			
23	8,87	7,4			
24	7,17	8,2			

Promedio 7,9

Euc. I r	Peso Individual	CH (%)	Peso conjunto	Peso residuo	Perdida de peso (%)
1	7,08	7,2	197,54	15,3	92,3
2	7,65	6,8			
3	9,82	6,7			
4	6,98	6,4			
5	6,76	5,9			
6	9,83	7,5			
7	6,84	6,5			
8	7,02	5,7			
9	9,05	5,6			
10	7,03	5,3			
11	7,15	6,1			
12	9,84	5,6			
13	11,00	6,9			
14	9,82	7,1			
15	9,18	6,4			
16	6,93	6,6			
17	6,86	7,0			
18	6,91	7,6			
19	9,90	7,4			
20	9,73	8,0			
21	7,15	7,1			
22	10,34	7,2			
23	7,20	7,1			
24	7,19	7,7			

Promedio 6,7

TRATAMIENTOS CON BORAX/ACIDO BORICO AL 10%

Pino II	Peso individual	CH (%)	Peso conjunto	Peso residuo	Perdida de peso (%)
1	8,34	8,1	187,02	73,2	60,9
2	7,59	9,4			
3	7,29	10,8			
4	7,45	9,4			
5	7,75	8,5			
6	7,99	7,8			
7	9,28	5,7			
8	7,78	7,8			
9	9,82	5,2			
10	7,93	7,1			
11	6,70	10,2			
12	6,89	9,8			
13	7,16	9,6			
14	6,92	10,4			
15	7,15	9,5			
16	7,27	9,6			
17	8,31	8,5			
18	8,39	8,3			
19	7,97	9,7			
20	7,87	9,2			
21	6,56	11,8			
22	8,91	6,7			
23	8,32	7,2			
24	7,45	9,4			

Promedio 8,7

Pino II r	Peso individual	CH (%)	Peso conjunto	Peso residuo	Perdida de peso (%)
1	6,60	7,8	185,34	73	60,8
2	7,67	5,5			
3	7,53	4,8			
4	8,68	4,0			
5	7,95	4,1			
6	6,59	6,4			
7	7,26	6,2			
8	7,95	5,2			
9	7,47	6,3			
10	7,03	6,8			
11	7,00	7,0			
12	9,08	3,1			
13	7,53	6,4			
14	8,43	4,8			
15	8,23	3,3			
16	7,90	3,7			
17	6,72	6,6			
18	6,63	7,8			
19	7,65	4,6			
20	9,94	3,0			
21	7,27	6,3			
22	8,03	4,7			
23	8,32	4,1			
24	7,79	5,0			

Promedio 5,3

Euc. II	Peso individual	CH (%)	Peso conjunto	Peso residuo	Perdida de peso (%)
1	7,79	8,4	229,2	57	75,1
2	10,95	7,7			
3	10,62	7,4			
4	11,32	8,1			
5	10,16	7,7			
6	10,61	8,1			
7	7,55	9,1			
8	9,51	7,6			
9	8,76	7,7			
10	11,10	8,3			
11	9,09	8,4			
12	9,99	9,6			
13	9,09	8,3			
14	10,66	8,9			
15	7,34	9,2			
16	9,26	7,1			
17	11,10	8,4			
18	10,60	7,6			
19	7,37	9,3			
20	10,33	7,0			
21	7,23	8,8			
22	11,07	6,9			
23	7,69	9,3			
24	9,72	6,6			

Promedio 8,1

Euc. II r	Peso individual	CH (%)	Peso conjunto	Peso residuo	Perdida de peso (%)
1	6,92	5,3	214,64	49,8	76,8
2	9,49	4,3			
3	9,87	4,4			
4	6,60	8,5			
5	10,10	4,1			
6	10,42	4,2			
7	10,31	4,3			
8	7,48	5,8			
9	11,09	3,9			
10	7,11	5,5			
11	8,68	4,4			
12	6,89	8,1			
13	9,74	3,5			
14	8,96	3,9			
15	10,12	4,4			
16	10,33	5,4			
17	7,14	9,4			
18	10,59	6,3			
19	10,37	5,2			
20	10,23	4,6			
21	8,85	8,1			
22	7,00	6,3			
23	10,46	4,4			
24	7,09	5,7			

Promedio 5,4

TRATAMIENTOS CON BORAX/ACIDO BORICO AL 15%

Pino III	Peso individual	CH (%)	Peso conjunto	Peso residuo	Perdida de peso (%)
1	7,64	9,0	189,12	83	56,1
2	7,96	7,9			
3	7,81	9,8			
4	7,64	9,0			
5	8,34	6,9			
6	8,30	6,0			
7	9,01	4,6			
8	7,70	7,4			
9	8,66	5,3			
10	7,34	9,3			
11	7,76	8,1			
12	7,32	8,3			
13	7,10	9,2			
14	7,59	8,8			
15	7,50	9,4			
16	7,35	10,1			
17	7,31	10,2			
18	8,68	6,9			
19	8,88	6,6			
20	8,27	6,8			
21	8,09	6,5			
22	6,74	11,2			
23	7,69	8,3			
24	8,39	6,2			

Promedio 8,0

Pino III r	Peso individual	CH (%)	Peso conjunto	Peso residuo	Perdida de peso (%)
1	7,39	9,8	192,43	84	56,3
2	8,36	6,5			
3	8,06	7,9			
4	7,74	8,2			
5	8,01	6,7			
6	8,84	6,2			
7	7,88	8,4			
8	7,37	9,6			
9	7,01	10,7			
10	7,77	8,0			
11	8,99	5,9			
12	8,74	7,8			
13	9,17	6,9			
14	8,45	7,9			
15	7,56	10,7			
16	8,21	7,8			
17	7,88	8,2			
18	7,52	9,1			
19	7,98	7,7			
20	9,16	5,1			
21	7,68	9,2			
22	7,78	8,4			
23	7,72	8,8			
24	7,16	11,1			

Promedio 8,2

Euc. III	Peso individual	CH (%)	Peso conjunto	Peso residuo	Perdida de peso (%)
1	7,29	5,8	210,82	76,4	63,7
2	9,91	5,5			
3	10,47	5,9			
4	10,39	7,1			
5	7,16	8,4			
6	9,97	6,4			
7	9,60	7,0			
8	7,15	8,7			
9	7,05	10,4			
10	10,54	5,7			
11	9,51	4,6			
12	10,49	5,3			
13	7,19	6,7			
14	7,50	8,1			
15	7,21	7,1			
16	10,42	5,5			
17	7,78	6,0			
18	8,65	3,8			
19	7,09	7,0			
20	10,33	5,2			
21	10,68	5,8			
22	7,14	11,1			
23	9,56	5,8			
24	7,53	6,9			

Promedio 8,6

Euc. III r	Peso individual	CH (%)	Peso conjunto	Peso residuo	Perdida de peso (%)
1	9,30	4,4	211,7	76,9	63,7
2	10,43	3,7			
3	10,51	3,9			
4	10,59	4,0			
5	7,29	7,0			
6	6,91	6,3			
7	10,07	3,4			
8	8,77	5,9			
9	10,50	3,7			
10	10,02	4,6			
11	10,46	4,4			
12	7,47	5,9			
13	7,22	6,5			
14	7,03	7,0			
15	7,06	7,7			
16	9,21	4,6			
17	10,25	4,3			
18	7,21	7,1			
19	10,71	3,9			
20	10,92	4,2			
21	7,19	10,0			
22	7,76	5,2			
23	10,22	4,2			
24	7,22	8,4			

Promedio 5,5

TRATAMIENTOS CON FOSFATO DE DIAMONIO AL 5%

Pino IV	Peso individual	CH (%)	Peso conjunto	Peso residuo	Perdida de peso (%)
1	8,92	8,5	190,12	87,4	84,5
2	8,19	5,7			
3	9,89	6,8			
4	7,41	6,7			
5	7,05	6,4			
6	8,08	4,4			
7	6,98	7,7			
8	7,28	7,1			
9	7,90	9,4			
10	6,59	14,8			
11	8,09	11,9			
12	9,31	5,4			
13	7,20	5,1			
14	8,00	6,7			
15	7,57	9,1			
16	8,40	15,2			
17	8,80	8,4			
18	7,53	6,5			
19	7,05	6,8			
20	7,28	8,1			
21	8,48	8,3			
22	7,74	7,6			
23	9,18	9,7			
24	6,89	10,6			

Promedio 8,1

Pino IV r	Peso individual	CH (%)	Peso conjunto	Peso residuo	Perdida de peso (%)
1	7,18	8,1	193,45	66,7	70,7
2	7,19	7,4			
3	7,37	7,8			
4	7,80	7,2			
5	7,25	8,6			
6	7,77	7,2			
7	7,29	7,9			
8	7,93	6,7			
9	7,46	13,8			
10	10,44	2,4			
11	9,91	6,2			
12	9,47	4,7			
13	8,29	8,8			
14	8,75	9,7			
15	7,94	9,5			
16	6,74	8,1			
17	7,68	10,3			
18	7,93	9,2			
19	7,31	5,5			
20	7,09	7,2			
21	7,61	5,1			
22	9,78	4,4			
23	10,18	4,9			
24	6,83	8,4			

Promedio 7,5

Euc. IV	Peso individual	CH (%)	Peso conjunto	Peso residuo	Perdida de peso (%)
1	8,89	3,7	208,89	54,8	73,8
2	8,85	4,8			
3	10,65	5,2			
4	11,00	5,0			
5	7,95	4,6			
6	9,20	3,9			
7	6,83	5,5			
8	11,05	4,1			
9	6,95	3,8			
10	7,02	4,7			
11	11,44	3,5			
12	7,31	4,2			
13	7,09	6,6			
14	9,27	3,5			
15	6,72	3,3			
16	10,93	2,7			
17	10,59	3,5			
18	10,13	2,2			
19	9,66	3,1			
20	7,25	4,1			
21	7,15	4,0			
22	9,29	3,5			
23	7,16	3,5			
24	7,33	3,5			

Promedio 4,0

Euc. IV r	Peso individual	CH (%)	Peso conjunto	Peso residuo	Perdida de peso (%)
1	6,81	5,8	192,33	50,7	73,6
2	6,83	5,5			
3	7,17	5,9			
4	10,13	4,7			
5	7,10	4,5			
6	7,09	3,7			
7	9,63	4,7			
8	6,67	5,2			
9	6,67	2,8			
10	9,04	2,8			
11	7,31	7,2			
12	6,91	7,3			
13	9,70	5,3			
14	7,37	6,9			
15	10,85	6,6			
16	10,74	6,4			
17	10,82	5,5			
18	7,18	5,0			
19	10,20	4,7			
20	6,91	5,6			
21	7,27	5,7			
22	7,11	2,9			
23	8,96	3,9			
24	6,97	3,4			

Promedio 5,1

TRATAMIENTOS CON FOSFATO DE DIAMONIO AL 10%

Pino V	Peso Individual	CH (%)	Peso conjunto	Peso residuo	Perdida de peso (%)
1	7,75	7,3	190,46	94,3	50,5
2	6,96	9,3			
3	7,65	8,6			
4	7,65	7,0			
5	9,59	4,1			
6	6,85	6,3			
7	10,18	4,9			
8	7,22	10,2			
9	8,19	6,5			
10	9,30	4,9			
11	6,69	11,3			
12	7,03	8,2			
13	7,76	7,0			
14	8,06	8,9			
15	8,69	4,4			
16	8,47	11,1			
17	9,11	6,3			
18	8,22	9,3			
19	7,21	9,0			
20	7,65	5,9			
21	8,62	7,1			
22	6,86	6,1			
23	7,83	1,6			
24	7,06	7,0			

Promedio 7,1

Pino Vr	Peso Individual	CH (%)	Peso conjunto	Peso residuo	Perdida de peso (%)
1	8,00	3,8	192,53	99,7	48,2
2	7,10	5,2			
3	7,68	5,2			
4	8,68	3,2			
5	7,45	3,8			
6	6,44	9,0			
7	7,52	4,6			
8	7,31	7,3			
9	6,85	9,6			
10	8,81	8,4			
11	8,41	7,3			
12	7,63	8,3			
13	8,51	7,0			
14	8,16	3,1			
15	6,91	10,9			
16	7,17	10,2			
17	8,72	5,2			
18	7,16	12,6			
19	9,16	3,1			
20	7,96	7,0			
21	8,46	8,7			
22	9,07	0,7			
23	10,65	2,5			
24	7,95	3,2			

Promedio 6,3

Euc. V	Peso Individual	CH (%)	Peso conjunto	Peso residuo	Perdida de peso (%)
1	6,69	4,9	212,86	61,3	71,2
2	6,86	3,5			
3	9,69	2,8			
4	10,20	9,4			
5	10,72	3,6			
6	8,70	3,0			
7	7,11	4,0			
8	7,20	6,9			
9	6,81	3,6			
10	10,76	6,9			
11	7,35	3,2			
12	10,29	3,9			
13	7,20	5,5			
14	11,00	4,2			
15	10,21	4,5			
16	7,00	4,4			
17	9,12	3,6			
18	9,87	3,1			
19	10,78	4,0			
20	10,41	4,5			
21	10,11	4,3			
22	7,71	5,7			
23	10,18	4,0			
24	7,24	6,6			

Promedio 4,3

Euc. Vr	Peso Individual	CH (%)	Peso conjunto	Peso residuo	Perdida de peso (%)
1	9,68	3,1	209,01	67,1	67,9
2	7,21	3,9			
3	10,66	5,5			
4	9,91	6,6			
5	9,87	2,0			
6	7,01	9,2			
7	11,00	5,9			
8	7,09	3,9			
9	9,76	2,4			
10	6,97	4,2			
11	10,62	2,4			
12	6,92	2,8			
13	8,55	3,9			
14	6,98	4,0			
15	6,95	4,3			
16	8,95	2,8			
17	8,49	3,6			
18	10,43	3,5			
19	10,06	3,0			
20	10,95	7,1			
21	6,93	5,0			
22	10,32	2,0			
23	9,11	2,4			
24	7,05	4,3			

Promedio 4,1

TRATAMIENTOS CON FOSFATO DE DIAMONIO AL 15%

Pino VI	Peso individual	CH (%)	Peso conjunto	Peso residuo	Perdida de peso (%)
1	7,89	10,0	181,38	125,3	30,4
2	7,17	13,6			
3	7,81	8,0			
4	7,27	4,4			
5	8,46	1,6			
6	6,94	9,9			
7	7,04	10,9			
8	8,81	1,0			
9	6,96	0,8			
10	7,67	0,1			
11	7,77	14,7			
12	7,54	10,8			
13	6,35	11,1			
14	8,20	5,0			
15	8,16	3,7			
16	8,50	0,0			
17	7,95	7,7			
18	7,55	12,7			
19	8,58	8,6			
20	8,00	4,6			
21	6,92	1,3			
22	6,40	11,8			
23	7,08	6,4			
24	7,24	9,3			

Promedio 7,0

Pino VI r	Peso individual	CH (%)	Peso conjunto	Peso residuo	Perdida de peso (%)
1	8,51	13,2	192,19	125,9	34,5
2	9,12	9,0			
3	7,64	14,1			
4	7,54	14,3			
5	7,63	11,4			
6	8,46	9,8			
7	8,06	10,0			
8	7,76	4,6			
9	6,34	18,3			
10	9,37	5,4			
11	7,69	10,0			
12	8,70	4,8			
13	8,21	10,9			
14	7,22	17,5			
15	9,17	2,9			
16	7,47	9,4			
17	8,39	3,0			
18	7,77	13,6			
19	8,58	4,8			
20	7,62	4,1			
21	7,90	3,2			
22	7,88	4,8			
23	7,28	8,7			
24	7,62	5,4			

Promedio 8,9

Euc. VI	Peso individual	CH (%)	Peso conjunto	Peso residuo	Perdida de peso (%)
1	10,87	7,3	221,43	88,9	59,9
2	8,88	8,3			
3	9,39	7,6			
4	9,38	6,8			
5	10,32	6,9			
6	10,47	7,3			
7	9,35	6,0			
8	10,39	6,6			
9	10,49	7,6			
10	9,60	5,5			
11	10,67	6,2			
12	7,18	9,0			
13	7,13	8,2			
14	7,31	8,3			
15	10,66	5,1			
16	11,36	5,5			
17	7,22	8,1			
18	7,37	3,6			
19	10,57	5,5			
20	6,99	5,7			
21	10,10	7,3			
22	7,12	11,2			
23	8,12	4,2			
24	10,08	1,7			

Promedio 6,6

Euc. VI r	Peso individual	CH (%)	Peso conjunto	Peso residuo	Perdida de peso (%)
1	10,74	4,5	210,53	86,5	58,9
2	10,65	5,7			
3	10,14	5,9			
4	7,07	5,6			
5	7,09	2,3			
6	9,70	2,9			
7	6,91	2,1			
8	7,17	11,4			
9	9,85	3,9			
10	9,11	-3,4			
11	10,29	6,8			
12	8,19	7,9			
13	10,81	5,8			
14	10,57	5,2			
15	7,47	10,8			
16	6,94	6,5			
17	7,27	9,9			
18	7,15	9,0			
19	9,10	5,4			
20	9,83	5,9			
21	10,92	4,9			
22	9,37	3,9			
23	8,35	2,0			
24	6,69	-0,1			

Promedio 5,2

TRATAMIENTOS CON DIRETH

Pino D	Peso Individual	CH (%)	Peso conjunto	Peso residuo	Perdida de peso (%)
1	7,56	7,4	181,8	53,2	70,7
2	10,58	4,7			
3	6,48	7,4			
4	7,81	7,2			
5	8,32	6,7			
6	6,62	10,5			
7	7,48	7,0			
8	7,36	8,0			
9	7,16	7,5			
10	7,07	7,2			
11	7,42	5,5			
12	8,08	8,4			
13	7,60	6,4			
14	6,82	7,9			
15	7,00	5,8			
16	8,40	3,6			
17	6,87	7,2			
18	7,44	5,9			
19	6,86	8,5			
20	7,96	5,0			
21	6,94	7,8			
22	7,39	6,2			
23	7,57	6,5			
24	8,98	4,7			

Promedio 6,8

Pino D r	Peso Individual	CH (%)	Peso conjunto	Peso residuo	Perdida de peso (%)
1	10,30	5,5	191,09	58	69,5
2	8,69	6,4			
3	8,10	6,6			
4	7,89	7,6			
5	7,73	6,5			
6	7,01	8,3			
7	8,63	4,9			
8	6,62	8,4			
9	7,54	6,5			
10	7,85	6,1			
11	6,81	6,1			
12	7,01	5,4			
13	8,11	7,5			
14	7,68	7,1			
15	8,60	8,0			
16	8,45	7,7			
17	7,99	9,4			
18	7,72	7,4			
19	8,26	6,3			
20	7,80	7,5			
21	8,47	10,1			
22	7,75	5,9			
23	7,20	7,2			
24	6,80	4,6			

Promedio 7,0

Euc. D	Peso Individual	CH (%)	Peso conjunto	Peso residuo	Perdida de peso (%)
1	7,01	6,1	217,98	27,6	87,3
2	10,54	6,2			
3	6,69	5,4			
4	10,69	7,5			
5	7,17	6,4			
6	8,78	7,0			
7	10,88	7,6			
8	6,94	5,9			
9	6,89	7,0			
10	11,16	7,8			
11	8,41	6,8			
12	10,66	6,2			
13	10,84	6,0			
14	9,97	6,8			
15	10,88	6,6			
16	10,55	6,0			
17	6,84	4,2			
18	9,68	4,4			
19	9,25	4,5			
20	10,37	4,9			
21	10,80	5,9			
22	9,14	5,3			
23	6,96	5,1			
24	6,83	4,5			

Promedio 6,0

Euc. D r	Peso Individual	CH (%)	Peso conjunto	Peso residuo	Perdida de peso (%)
1	10,91	5,8	322,19	38,2	87,3
2	9,46	6,1			
3	7,14	5,2			
4	8,77	6,1			
5	10,81	6,3			
6	10,44	5,4			
7	10,44	5,2			
8	7,18	4,2			
9	6,70	3,5			
10	11,21	3,5			
11	6,65	3,2			
12	6,90	3,7			
13	10,34	6,7			
14	11,27	7,1			
15	10,73	6,4			
16	10,70	6,2			
17	7,01	6,4			
18	10,46	5,2			
19	10,45	4,1			
20	7,07	4,1			
21	9,25	6,3			
22	9,26	5,0			
23	8,26	4,2			
24	11,08	4,8			

Promedio 5,2

TRATAMIENTOS TESTIGO

Pino B1	Peso individual	CH (%)	Peso conjunto	Peso residuo	Perdida de peso (%)
1	7,76	5,9	184,77	21,6	88,3
2	10,02	6,9			
3	8,51	5,8			
4	8,00	6,2			
5	7,74	6,5			
6	7,24	6,0			
7	6,39	5,2			
8	6,70	5,8			
9	7,29	5,5			
10	7,52	6,1			
11	7,40	6,3			
12	7,56	5,6			
13	6,77	5,8			
14	9,36	6,5			
15	8,12	7,8			
16	7,31	6,9			
17	8,22	6,4			
18	6,46	6,9			
19	7,09	7,3			
20	7,21	7,1			
21	7,15	6,3			
22	7,32	6,1			
23	9,61	7,0			
24	7,75	6,0			
Promedio	8,3				

Pino B2	Peso individual	CH (%)	Peso conjunto	Peso residuo	Perdida de peso (%)
1	7,76	7,4	190,51	17,4	90,9
2	7,82	5,0			
3	7,42	6,1			
4	9,69	6,7			
5	6,45	5,2			
6	7,50	6,1			
7	7,64	6,0			
8	7,74	5,2			
9	6,48	4,4			
10	7,34	4,7			
11	9,01	5,4			
12	9,07	5,6			
13	7,63	5,8			
14	7,62	5,9			
15	10,41	6,2			
16	8,57	5,2			
17	7,09	5,3			
18	8,15	5,3			
19	8,08	6,6			
20	9,79	7,1			
21	6,72	5,1			
22	6,23	5,2			
23	7,19	6,1			
24	9,02	5,8			
Promedio	5,7				

Euc. B1	Peso individual	CH (%)	Peso conjunto	Peso residuo	Perdida de peso (%)
1	7,22	7,0	219,4	13,7	93,8
2	9,50	7,7			
3	7,79	6,8			
4	8,87	7,3			
5	9,27	7,3			
6	10,66	7,5			
7	10,70	7,5			
8	9,80	7,0			
9	9,21	6,5			
10	7,41	5,7			
11	7,16	5,5			
12	10,19	6,7			
13	11,41	7,8			
14	10,11	7,2			
15	7,26	5,7			
16	10,49	7,2			
17	6,80	5,6			
18	9,65	6,7			
19	10,26	7,1			
20	10,20	7,2			
21	11,03	7,2			
22	6,14	5,3			
23	10,87	7,0			
24	7,25	5,9			
Promedio	6,8				

Euc. B2	Peso individual	CH (%)	Peso conjunto	Peso residuo	Perdida de peso (%)
1	10,48	6,8	220,17	16,8	92,8
2	10,66	9,3			
3	11,16	7,5			
4	10,73	7,0			
5	11,28	7,5			
6	6,90	6,4			
7	10,68	6,6			
8	10,99	7,1			
9	7,42	6,0			
10	8,51	5,4			
11	7,35	5,7			
12	8,65	6,2			
13	7,06	6,1			
14	9,43	6,7			
15	11,02	7,1			
16	10,47	7,4			
17	10,40	7,3			
18	10,36	7,5			
19	7,38	6,5			
20	7,03	6,3			
21	9,75	7,0			
22	7,80	6,3			
23	7,27	6,0			
24	7,29	6,3			
Promedio	6,8				

PROCEDIMIENTO QUE INDICA LA NORMA ASTM E160 -80e1

1. Coloque las probetas en el cuadro de alambre en 12 hileras de dos piezas cada una, distanciadas 1 in. (25 mm), con las piezas en cada hilera colocadas perpendicular a aquellas de las hileras debajo, formando de esta manera, un cesto.

Coloque la primera hilera en los alambres más bajos del cuadro. Las primeras tres hileras estarán por lo tanto soportadas por los alambres y las nueve hileras remanentes construídas encima. Duplique el espaciado de las piezas por colocado de cada pieza en contacto con los alambres verticales del cuadro, haciendo que las puntas coincidan, si se mira desde arriba.

Centre el cuadro con la canasta ya construída, sobre el anillo de soporte. Si las pruebas son hechas en una habitación abierta, coloque el escudo de llama alrededor de las muestras durante la prueba. Si las pruebas son hechas en una campana de gases con corriente de aire controlada, no se necesita escudo en el lugar, alrededor de la muestra, durante el test (Figura Nº 3).

2. Ajuste el quemador Meker para producir llama azul de $10 \pm 1/2$ in. (254 \pm 13 mm) de altura. Fije el ajuste de aire del quemador para producir chorros (jets) individuales azules 1/4 in. (6mm) en altura directamente sobre la rejilla, sin formación de un cono interno común y sin causar enrojecimiento de la rejilla. Con el quemador colocado debajo del centro del escudo, regule la llama para que produzca una temperatura de 600 ± 15 °F (315 \pm 8 °C) en la abertura superior. Calibraciones bajo el escudo proveen una verificación conveniente sobre el ajuste de la llama entre pruebas sucesivas. Determine fluctuaciones en la presión de gas por el uso de un manómetro apropiadamente conectado al suministro de gas, y regule la presión para mantener un suministro uniforme al quemador. Es deseable un regulador gas-presión.

3. Coloque el quemador, con llama calibrada, directamente debajo del centro del cesto. Para evitar ajustes innecesarios de centrado, sería conveniente unir las patas del anillo de soporte permanentemente al banco de trabajo y proveer un receptáculo o guías para el quemador para asegurar rápida y certera colocación. El tope de la rejilla del quemador estará 1 1/2 in. (38 mm) debajo de la base de la hilera mas baja de piezas en la muestra. Aplique la llama por 3 min, después de ello, aparte el quemador.

4. No perturbe la muestra hasta que toda la llama y brasas hayan cesado. Después que el resplandor cesó, transfiera la muestra, incluyendo cualquier pieza que pueda haber caído, del plato escala de la balanza y pese (Nota *). Determine pesos original y final con una aproximación de al menos 0,5 g. Estos pesos pueden ser determinados con las muestras en la llama,

deduciendo el peso del cuadro y de los clavos, si se usaron.

NOTA * - Desde que algún enrojecimiento o resplandor, no visible, pueda persistir en el carbón, el operador dejará un tiempo razonable antes de la pesada, particularmente en el caso de material pobremente tratado. Para madera no tratada, algún carbón puede caer desde el cesto, y para evitar pérdidas, pueden ser convenientes, un alambre fino, 1/2 in. (13 mm), una rejilla de malla colocada en el tope del anillo de soporte, o un receptáculo apropiado.