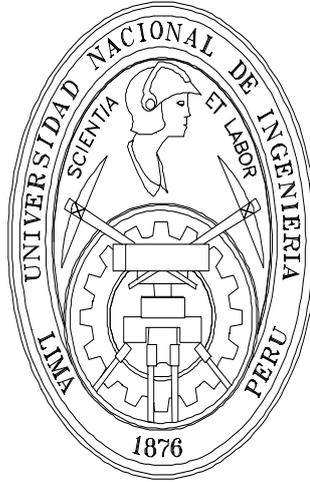


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE CIENCIAS

Sección de Posgrado y Segunda Especialización Profesional



Tesis para Optar el Grado Académico de

Maestro en Ciencias con mención en Energía Nuclear

**“FABRICACION Y CARACTERIZACION DE COMPUESTOS MADERA –
(METACRILATO DE METILO, RESINA POLIESTER) POR IRRADIACION
GAMMA, EMPLEANDO MADERAS NATIVAS DEL PERU (*Hura crepitans* L,
Aniba amazónica Meiz y *Calycophy spruceanum* Be) ”**

Presentado por:

JAVIER JORGE GAGO CAMPUSANO

Asesor

Dr. JUAN RODRIGUEZ RODRIGUEZ

LIMA – PERÚ

2011

INDICE

	PAGINA
CAPITULO 1	
Introducción	1
1.1 Antecedentes	2
1.2 Objetivos	3
CAPITULO 2	
Generalidades	4
2.1 La madera	4
2.2 La estructura anatómica de la madera	4
2.3 La composición de la madera	5
2.4 Naturaleza Física y funcional de la Madera	6
2.5 Vistas anatómicas	8
2.6 Textura de la madera	9
2.7 Tipo de grano	10
2.8 Maderas de estudio	10
2.8.1 Madera Catahua	10
2.8.2 Madera Mohena Amarilla	12
2.8.3 Madera Capirona	14
2.9 Durabilidad de la madera	15
2.10 La Radiación	16
2.10.1 Espectro de la Radiación Electromagnética	16
2.10.2 Los Rayos Gamma	17
2.10.3 Interacción de la Radiación Electromagnética con la Materia	18
2.10.4 Atenuación de los Rayos X y Gamma	19
2.11 Polímeros	21
2.11.1 Polimetacrilato de Metilo	22
2.11.2 Poliéster	22

2.12 Fenómeno de Polimerización por Radiación	23
2.13 Proceso de entrecruzamiento de la resina poliéster	24
CAPITULO 3	
Procedimiento Experimental	27
3.1 Materiales y Equipos	27
3.1.1 Cámara de Impregnación	27
3.1.2 Reactivos	28
3.1.3. Irradiador Gammacell	28
3.2 Método Experimental	29
3.2.1 Impregnación del Polímero	29
3.2.2 Determinación de la Dosis de Irradiación Gamma para el proceso de Polimerización	29
3.2.3 Espectrometría FTIR de la resina Poliéster	30
3.2.4 Absorción del Polímero en las muestras de madera	31
3.2.5 Determinación de la absorción de agua en la madera	31
3.2.6 Ensayo de Dureza	32
3.2.7 Preparación de las maderas ensayadas para su observación microscópica	33
3.2.8 Para la determinación de la presencia del polímero en la madera, usando filtros polarizadores	34
3.2.9 Ensayos de Durabilidad de la madera (Biodegradación)	34
CAPITULO 4	
Resultados	37
4.1 Estimación de Dosis de Irradiación para la Polimerización	37
4.1.1 Irradiación del Monómero Metacrilato de Metilo a las dosis de 10, 20, 30, 60 y 100 kGy.	37

4.1.2 Irradiación del Monómero Metacrilato a 15 kGy	38
4.1.3 Irradiación de las mezclas de Poliéster-Estireno y Estireno a 15 kGy	39
4.1.4 Espectro FTIR de la resina Poliéster	39
4.2 Resultados de ensayos de absorción del polímero en la madera	40
4.2.1 Impregnación del poliéster en la madera	40
4.2.2 Ensayo de impregnación del metacrilato de metilo	42
4.3 Ensayo de absorción de Humedad	43
4.4 Ensayo de Dureza	45
4.5 Preparación de las maderas ensayadas para su observación al microscopio	46
4.6 Ensayo para determinación de la resina poliéster (MO) en la madera.	49
4.7 Ensayos de Durabilidad de la Madera (Biodegradación)	51
4.7.1 Evaluación de la pérdida de peso	51
4.7.2 Imágenes de las muestras ensayadas con el Hongo <i>Polyporus sanguineus</i>	52
CAPITULO 5	
Discusión	57
CAPITULO 6	
Conclusión	61
BIBLIOGRAFIA	
ANEXOS	
Anexo A	
Reglamento de Protección Radiológica (extracto)	
Anexo B	
Evaluación Económica Financiera	

Agradecimientos

Agradezco a Dios, por la vida, salud todas las bendiciones que nos entrega cada día, permitiéndome en terminar este proyecto de investigación. También debo agradecer a mi familia, por apoyarme en esta etapa de mi trabajo. Verdaderamente la familia es el punto de inicio, soporte y confianza para plasmar los objetivos trazados. Finalmente un agradecimiento especial a mi asesor el Dr. Juan Rodríguez, al Dr. Walter Estrada, MSc. Moisés Acevedo, Dr. Alcides López, Bióloga Kety León Palomino, Dr. José Solís, Dr. Julio Santiago, Dr. Hugo Alarcón, MSc. Julieta Cabrera, al Prof. Edgard Medina, al Lic. Yuri Ravello, a Consuelo Colens, al personal operativo del irradiador Gammacell en forma muy especial al Ing. Marco Linares y a todos los amigos del centro de labores (Instituto Peruano de Energía Nuclear, IPEN) y otros más que igualmente los estimo, agradezco por su gran apoyo.

Atentamente,

Ing. Javier J. Gago Campusano

Lima 07 de junio 2011

RESUMEN

El presente trabajo está orientado a mejorar las propiedades físicas mediante la infiltración y la polimerización de compuestos madera-polímero, proceso que es asistido mediante irradiación gamma. El establecimiento de los parámetros óptimos para la polimerización se determina los tiempos de impregnación del polímero en la madera y la dosis de aplicación.

La ventaja del proceso de polimerización por irradiación gamma es provocar una polimerización sin usar iniciadores químicos. Esta radiación genera y mantiene la formación de radicales libres a temperatura ambiente.

Las mejoras de este nuevo compuesto se determinaron evaluando sus propiedades físicas como dureza, la reducción de absorción de humedad e incremento de la durabilidad a los ensayos de biodegradación. Se usaron maderas nativas del Perú: Madera Catahua (*Hura crepitans* L), Mohena (*Aniba amazónica* Meiz) y la Capirona (*Calycophy spruceanum* Be).

CAPITULO 1

Introducción

La madera en el Perú es un recurso abundante y renovable pero que necesita una gestión adecuada para un consumo responsable. Algunas especies, como la caoba o el cedro, tienen gran demanda y poca disponibilidad, debido a su protección, los precios de estas especies se han elevado considerablemente y sufren una explotación intensa que hace temer por su agotamiento. Sin embargo, existen otras especies que por sus propiedades físicas, mecánicas y/o durabilidad inadecuadas tienen bajos costos y desinterés por parte de la industria.

La madera es un material heterogéneo, compuesto principalmente de celulosa, que tiene forma de estructuras lineales (fibras) mientras que la hemicelulosa por lo general es ramificada. Ambos polímeros están mezclados con la lignina. Los poros de diferentes tamaños y formas, según las especies, están repartidos en toda la estructura de la madera, y son los responsables por los defectos que presentan estos materiales. Además facilitan la entrada de diferentes organismos que se alimentan de celulosa, deteriorando la estructura.

Existe un gran interés por mejorar las propiedades de las maderas. Los compuestos de madera-plásticos, obtenidos por impregnación y posterior polimerización de monómeros, son algunas de las alternativas empleadas para mejorar las propiedades físico-químicas de las maderas. En general, estos materiales compuestos presentan mejores propiedades mecánicas, buena dimensionalidad, resistencia a patógenos o sustancias químicas y absorben mucho menos humedad que las maderas sin tratamiento.[1] Por ejemplo, se ha estudiado las especies *Pinus* y *Eucalyptus* combinados con poliestireno, el cual es copolimerizado *in situ* junto con el metacrilato de metilo.[2] El Poplar (*PopulusSpp.*) y el *Pinnus sylvestri* fueron tratados con una mezcla de trimetilpropanotriacrilato (TMPTA), poliéster tetra acrilato (Ebecryl 40) y uretano acrílico (Ebecryl 8210). Después de una hora de impregnación se irradió a 50 kGy con radiación gamma durante unos segundos.[3] *Pinus strobus* fue tratado con metacrilato de metilo y polimerizado también con radiación gamma.[4]

Los monómeros pueden ser introducidos al interior de la madera de tres maneras: por inmersión simple, inmersión en vacío o inmersión en vacío seguida de presión. La iniciación de la polimerización puede ser inducida por calor, por agentes químicos (iniciadores), por radiación (ultravioleta o rayos γ)[5] o por microondas. Las interacciones posibles entre los constituyentes de la madera y los monómeros y/o

polímeros son: a) enlace de hidrógeno entre los grupos funcionales del polímero y los hidroxilos de la celulosa, b) posible establecimiento de enlaces covalentes. Estas interacciones pueden producir variaciones en la distribución del peso molecular promedio inducida por la presencia de superficie, comparada con los parámetros obtenidos cuando la polimerización se realiza solamente con los monómeros.[5]

Las principales características del proceso de polimerización por irradiación gamma son las siguientes:

- La iniciación y mantenimiento de la formación de radicales libres puede hacerse a temperatura ambiente y la desaparición de esta producción se hace por simple interrupción de la irradiación.
- La polimerización es homogénea tanto en la superficie como en el interior de la madera gracias al poder penetrante de los rayos gamma, a una dosis comprendida entre 20 y 40 kGy. En principio el efecto de mejoramiento de la rigidez mecánica del sistema polímero-madera es otra de las características favorables de este nuevo material.
- La ausencia de iniciadores químicos dentro del monómero presenta doble ventaja: ausencia de impurezas provenientes de los productos de la descomposición de los iniciadores y la posibilidad de reutilizar el sobrante del monómero después de la impregnación.

Adicionalmente a las propiedades de polimerización, la radiación gamma esteriliza la madera completa, dando como consecuencia un producto con una alta resistencia a la podredumbre, nacimiento de hongos u otras materias orgánicas en su interior, cualidad que supera enormemente cualquier otra técnica de preservación de este material.[5] [6]

1.1 Antecedentes

Los compuestos de madera y plástico se utilizaron por primera vez en EEUU durante la década de los años 60, principalmente en aplicaciones de marcos de ventanas y puertas, la industria de las ventanas y puertas, que tiene experiencia con materiales de madera, plástico y aluminio, se buscó la forma de utilizar materiales más económicos como el aserrín que además es un material ligero y barato.

El país con mayor producción de este material es Estados Unidos de América, aunque

en Europa su investigación y desarrollo ha aumentado en los últimos años, debido a que el uso de estos materiales puede disminuir costos ya que se aprovecha todo el desperdicio de la madera y madera reciclada. La densidad del material puede controlarse por medio de espumantes o por el tipo de proceso.

Los compuestos de madera y plástico han aumentado sus ventas siendo exitosos en el mercado de láminas decorativas y cercas en los Estados Unidos bajo marcas como NewTech, Trex, TimberTech, y LP Weatherbest. En general, estos compuestos también están siendo aplicados preferencialmente en la industria automotriz [7].

El principal problema de estos compuestos es la temperatura de proceso, que en general, no debe sobrepasar los 190°C. Otro problema es la humedad de la madera, la que no es compatible con la mayoría de polímeros y en algunos casos puede originar degradación y pérdida de propiedades físicas por despolimerización.

Otros procesos utilizan la compresión o termoconformado.

El color final depende en gran medida del color de la madera y del polímero. El color del compuesto se puede modificar después del proceso con una laca o durante el procesamiento con un concentrado de color que, si es bien diseñado, puede presentar líneas de flujo que asemejan las vetas normales de la madera. Actualmente en nuestro país existe pocas instituciones encargadas en el desarrollo de esta técnica compuesto madera polímero, la tendencia está orientada a la comercialización e importación de estos productos.

1.2 Objetivos

Objetivo general

Mejorar las propiedades físicas y de acabado de la madera a través de la impregnación con un polímero modificado mediante irradiación gamma.

Agregar valor a maderas de baja estimación comercial.

Objetivos específicos

- 1) Mejorar la dureza de la madera mediante la impregnación con un polímero modificado por radiación gamma.
- 2) Reducir la absorción de humedad del sistema madera-polímero
- 3) Aumentar la durabilidad de la madera mediante la impregnación con un polímero modificado por radiación gamma

CAPITULO 2

Generalidades

2.1 La madera

La madera es un material ortotrópico encontrado como principal contenido del tronco de un árbol. Los árboles se caracterizan por tener troncos que crecen cada año y que están compuestos por fibras de celulosa unidas con lignina. Las plantas que no producen madera son conocidas como herbáceas.

Como la madera se utiliza con fines estructurales es un material muy resistente y gracias a esta característica y a su abundancia natural es empleada ampliamente por los humanos desde tiempos muy remotos.

Una vez cortada y secada, la madera se utiliza para muchas y diferentes aplicaciones [8].

2.2 La estructura anatómica de la madera

- La **corteza** es la capa más externa del árbol y está formada por las células muertas del árbol. Esta capa es la protección contra los agentes atmosféricos.

- El **cambium** es la capa que sigue a la corteza y se divide en dos capas denominadas: La capa interior o capa de xilema que forma la albura y una capa exterior o capa de floema que se coloca formando la corteza.

- La **albura** es la madera de más reciente formación y por ella viajan la mayoría de los vasos de la savia que se parecerían al sistema sanguíneo humano. Los vasos transportan la savia que es una sustancia azucarada que la hace vulnerable al ataque de los insectos. Es una capa más blanca porque por ahí viaja más savia que por el resto de la madera.

- El **duramen** es la madera dura y consistente, propiamente dicha, está formada por unas células que no funcionan y se encuentra en el centro del árbol. Las diferencias con la albura son que es más oscura y no circula la savia, de ahí sale lo del color más oscuro.

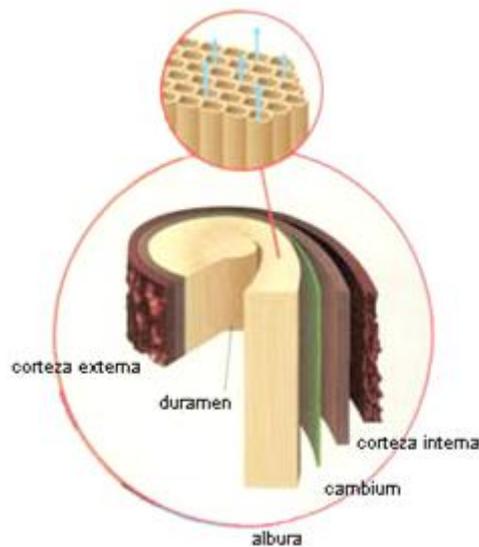


Figura 2.1 Partes principales de la madera [10]

Desde el punto de vista industrial, los materiales que interesan son el duramen y la albura, que adquieren el mismo color tras talar y dejar secar el árbol.

2.3 La composición de la madera

En composición media se compone de un 50% de carbono (C), un 42% de oxígeno (O), un 6% de hidrógeno (H) y el 2% de resto de nitrógeno (N) y otros elementos.

Los componentes principales de la madera son la celulosa, un polisacárido que constituye alrededor de la mitad del material total, la lignina (aproximadamente un 25%), que es un polímero resultante de la unión de varios ácidos y alcoholes fenilpropílicos y que proporciona dureza y protección, y la hemicelulosa (alrededor de un 25%) cuya función es actuar como unión de las fibras. Existen otros componentes minoritarios como resinas, ceras, grasas y otras sustancias.

La celulosa es un polisacárido estructural formado por glucosa que forma parte de la pared de las células vegetales. Su fórmula empírica es $(C_6H_{10}O_5)_n$, con el valor mínimo de $n = 200$.

Sus funciones son las de servir de consistencia a la planta y la de darle una protección vegetal. Es muy resistente a los agentes químicos, insoluble en casi todos los disolventes y además inalterable al aire seco, su temperatura de astillado a presión de un bar son aproximadamente unos 232,2 °C. [9]

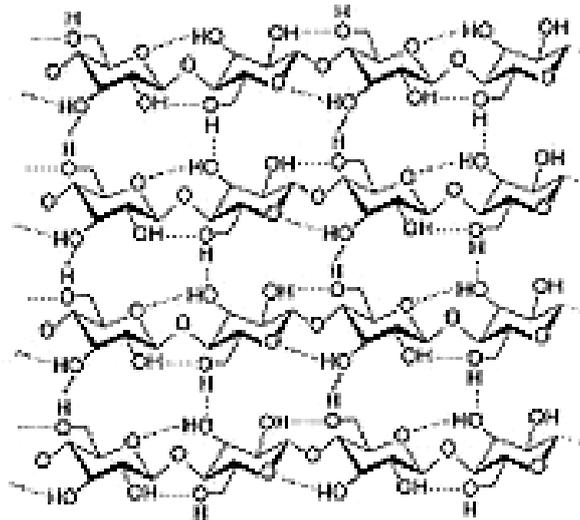


Figura 2.2 Enlaces de hidrógeno entre cadenas contiguas de celulosa

2.4 Naturaleza física y funcional de la madera.

Para muchas aplicaciones de la madera es importante conocer cuál es el rol y función de su estructura y composición química.

Como todo organismo vegetal, la madera está compuesta de células que se caracterizan por poseer pared celular. Esta pared celular está compuesta de microfibrillas de celulosa.

También la pared celular tiene en su composición presente las hemicelulosas que se encuentran entre las microfibrillas. Ellas tienen cierto grado de orientación pero son menos cristalinas que la celulosa. Lignina, proteínas, materias inorgánicas, aire y especialmente agua ocupan el resto del espacio.

La arquitectura de la pared celular presenta muchos de esos espacios y es un esquema general que se presenta en las plantas. Un esquema supramolecular de un fragmento de pared celular se aprecia en la figura 2.3.

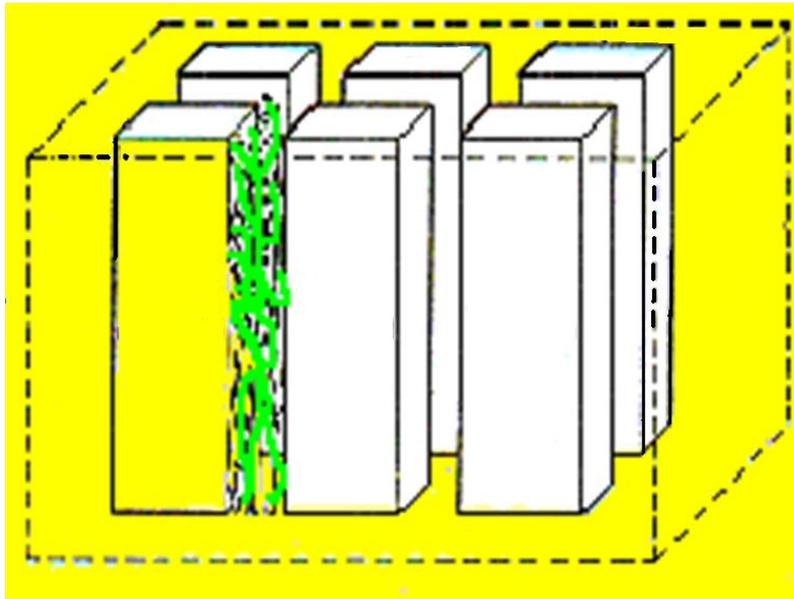


Figura 2.3 Esquema general de la distribución de los elementos constitutivos de la pared celular: lignina y otros (amarillo); celulosa (blanco) y hemicelulosas (verde).

Se puede plantear de la siguiente forma:

- La fase sólida cristalina y filamentosa de la pared está compuesta exclusivamente de celulosa. Es impermeable al agua y representa un 42% de su masa seca.
- La fase ínterpenetrable sólida compuesta por un polímero amorfo (lignina) y otros polímeros paracristalinos de talla molecular variable (hemicelulosas) que crean una matriz de material en el que se embeben las microfibrillas.
- Una fase tenue ínter penetrable de sólidos inorgánicos adicionados a la lignina y las hemicelulosas.
- Presencia de agua y aire dentro de la pared celular, que varía su proporción de acuerdo a la variación de la humedad del medio ambiente. Si hay poca agua presente, esta solo existe como agua de constitución y agua adsorbida donde las moléculas de agua están enlazadas por hidrógenos a la superficie de los carbohidratos y de las moléculas de proteína presentes.

Si la madera está húmeda o en condiciones extremas de humedad, puede tener agua libre presente que penetre e hinche también los espacios entre las microfibrillas. El aire y los gases ocupan espacios en la madera no ocupados por sólidos ni sustancias líquidas. Sustancias como grasas, almidones, resinas, gomas, cristales inorgánicos y otros extractivos y proteínas no son componentes regulares en los espacios o unidades volumétricas de la madera pero existen en lugares específicos como inclusiones o depósitos. Excepto las proteínas y algunos extractivos, ellos se

encuentran en el lumen celular, en los espacios intercelulares y no se consideran como componentes intrínsecos de la composición molecular de la pared celular.

La naturaleza física-mecánica de la matriz en la que están embebidas las microfibrillas está compuesta de una desorientada o amorfa capa de varias moléculas de polímeros como la lignina y holocelulosas, con pequeñísimas cantidades de agua asociada a ella, en la figura 2.4 un esquema panorámico de la constitución de la madera.

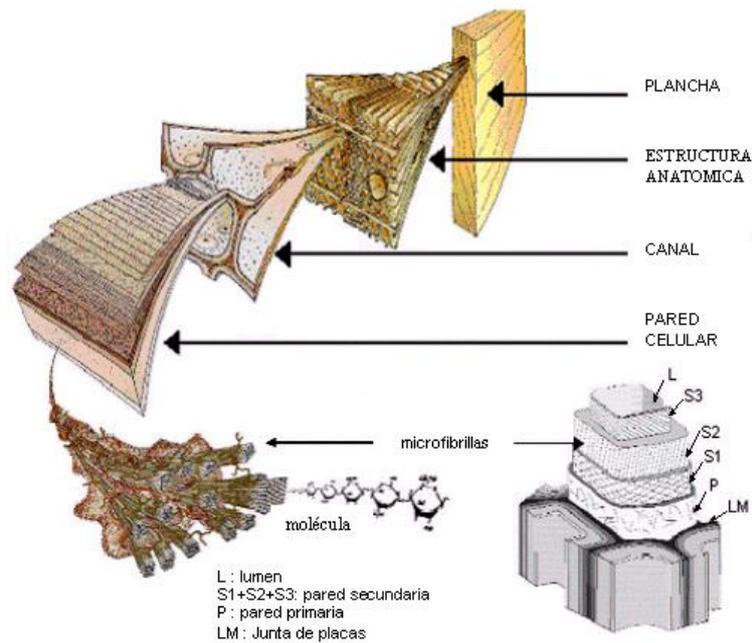


Figura 2.4. Estructura de la madera (Observaciones multiescalas: según Harrington, 1998)

2.5 Vistas anatómicas

La orientación de los elementos celulares (parénquima, fibras y elementos traqueales) tendrá diferentes apariencias, dependiendo de cómo sean observadas, por lo que la madera puede ser caracterizada con base en la cara anatómica transversal, radial o tangencial.

- La cara transversal se obtiene al cortar en sentido perpendicular al eje principal del tronco.
- La cara radial se obtiene al cortar el tronco por su eje longitudinal perpendicular al anillo anual de crecimiento.
- La cara tangencial se logra al cortar el tronco por su eje longitudinal, haciendo una tangente con el anillo anual de crecimiento.

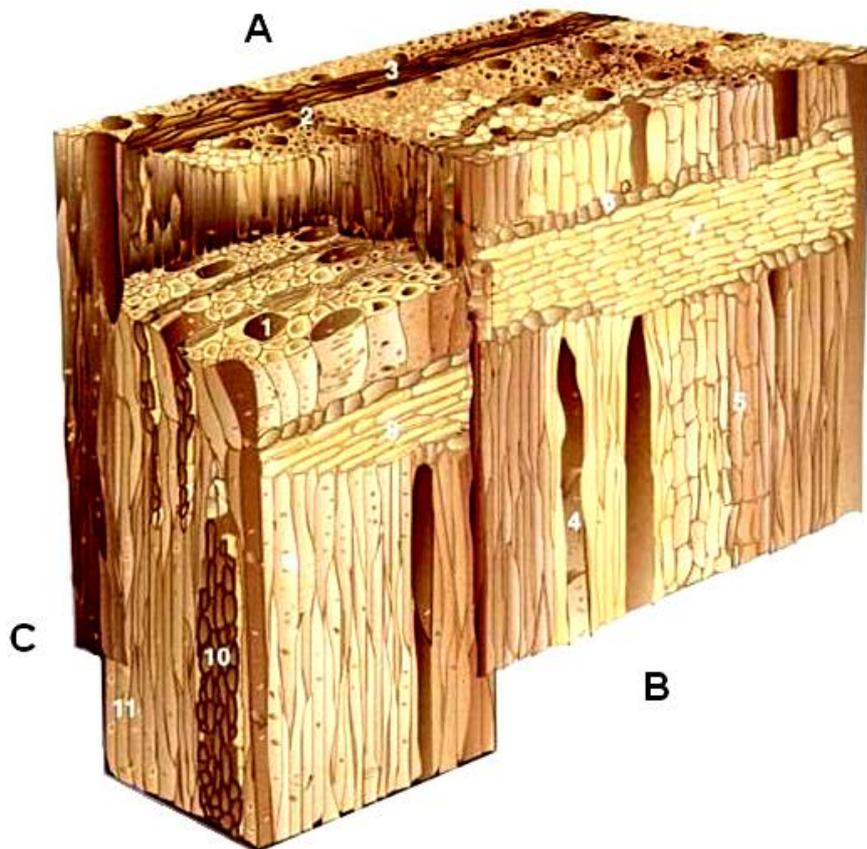


Figura 2.5 Estructura microscópica de la madera. **A Sección Transversal:** 1.Vaso, 2. Parenquima longitudinal, 3 Radio Leñoso. **B Sección Radial.** 4. elemento vasal, 5. Parenquima longitudinal, 6 Células erectas, 7. Células procumbentes, 8. Radio leñoso heterogene, 9. Fibrotraqueidas. **C. Sección Tangencial** 10 Radio leñoso multiseriado, 11 Fibrotraqueidas [10]

2.6 Textura de la madera

Se denomina textura al tamaño de los elementos anatómicos de la madera

Textura Gruesa. Elementos constitutivos grandes. Poros (1) con un diámetro de más de 250 micras; parénquima abundante (2); radios leñosos (3) anchos y tejido fibroso escaso. Ver figura 2.6 a.

Textura Media. Elementos constitutivos medianos. Poros entre 150 y 250 micras de diámetro. Parénquima regular; radios leñosos medios; regular, tejido fibroso. Ver Figura 2.6 b.

Textura fina. Elementos constitutivos pequeños. Poros menores de 150 micras de diámetro; parenquima escasa; radios leñosos finos; abundante tejido fibroso. Ver figura 2.6 c.

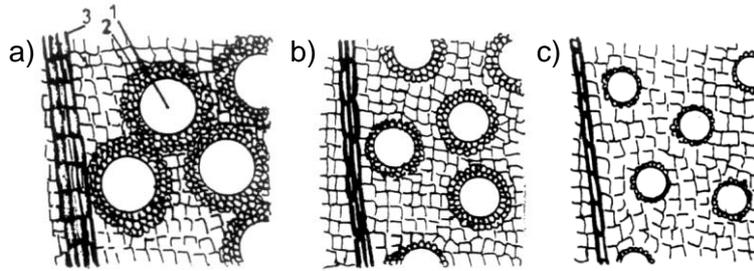


Figura 2.6 Tipos de textura de la madera según tamaño del poro principalmente: a) Gruesa, b) Media y c) Fina [11]

2.7 Tipo de grano

El grano es la dirección que tienen los distintos elementos anatómicos respecto al eje del tronco, e influirá en las propiedades mecánicas de la madera y en la facilidad de trabajar con ella. Según la dirección de los elementos anatómicos podemos diferenciar distintos tipos de grano como:

Grano recto: cuando los elementos se sitúan paralelos al eje del árbol. La madera con este tipo de grano presenta buena resistencia mecánica y facilidad de trabajo.

Grano inclinado: Los elementos forman ahora un cierto ángulo con el eje del árbol, y ahora la madera tendrá peor resistencia mecánica y mayor dificultad de trabajo.

Grano entrecruzado: Los elementos también se disponen formando un ángulo con respecto al eje, pero ahora en cada anillo es en forma opuesta a como se encontraban en el anillo anterior. Las maderas de este tipo presentan dificultades para su trabajo.

Grano irregular: Los elementos se disponen de forma irregular, siendo este tipo de grano el que se encuentra en los nudos, ramificaciones del tronco, zonas heridas, etc. [12]

2.8 Maderas de estudio

2.8.1 Madera Catahua

Nombre y familia

Familia : Euphorbiaceae

Nombre Científico : Hura crepitans L.

Nombre Internacional : Assacu, Mura, Acacu, Possum

Nombre Común : Catahua

Procedencia

Esta especie está distribuida en los departamentos de Loreto (Iquitos, Yurimaguas), Huanuco (Tingo Maria), Ucayali (Pucallpa), San Martín (Tarapoto). Se encuentra en las formaciones ecológicas de bosque muy húmedo premontano tropical y bosque húmedo tropical, se desarrolla en suelos húmedos bien drenados y arcillosos, pueden crecer en altitudes que alcanzan los 900 msnm asociada con la Caoba, el cedro, el Quilloborbon y la Cumala.

Descripción de la Madera

Color : El duramen fresco es de color crema o marrón claro, cuando está seco se vuelve de color crema a marrón amarillento pálido. La albura es blanca amarillenta, la cual frecuentemente no se diferencia claramente del duramen.

Brillo : Alto

Grano : Generalmente entrecruzado puede ser también recto

Textura : Media a gruesa

Veteado : Ausente

Propiedades Físicas

Densidad Básica : 0.41 gr/cm³

Contracción Volumétrica (secado) : 9.0 %

Relación T/R : 2.10

Contracción Tangencial : 5.81 %

Contracción Radial : 3.43 %

Características de la Troza

Diámetro : 1.20 m

Forma : Básicamente cilíndrica recta

Defectos : Rajadura en los Radios

Conservación : Mantener la Troza en el patio húmedo

Aserrio y Secado: Es de fácil aserrio y de buen comportamiento a la maquinabilidad cuando seca. La falta de un corte limpio y el grano quebrado y desprendido son defectos que se encuentran generalmente en maderas que tienen grano entrecruzado se presentan defectos como el grano arrancado. Adhiere bien la pintura y encola bien. Esta madera se considera moderadamente difícil para secar al aire. Programa de secado recomendado fuerte tiempo de exposición 45 hrs. para secar de 67% a 12% de contenido de humedad.

Durabilidad : Esta especie es generalmente durable o moderadamente durable con respecto a la pudrición blanca, medianamente durable con relación a la pudrición marrón. Susceptible al ataque de termitas e insectos de madera seca. Tiene una buena impregnabilidad a los preservantes. Se recomienda el tratamiento de vacío a presión con sal CCA.

Usos : Puede utilizarse en cajonería, revestimiento interior, chapas y contrachapado, material de relleno, mueblería barata y ebanistería, embalaje de productos perecibles, compósitos laminados donde se requiere una madera liviana y fácil de trabajar. [14]

2.8.2 Madera Mohena Amarilla

Nombre y familia

Familia : Lauraceae
Nombre Científico : Aniba Amazónica Meiz
Nombre Común : Mohena Amarilla

Procedencia

Esta especie es ampliamente distribuida en la selva amazónica y en las Guayanas. En el Perú se encuentra en Iquitos, Yurimaguas, Pucallpa, Tornavista, Huánuco y Tingo María. Presente en formaciones ecológicas de bosque húmedo sub-tropical.

Descripción de la Madera

Color : La madera seca presenta un color amarillo dorado con tonalidades verde claro y franjas oscuras, originadas por el grano entrecruzado.

Brillo : Medio a Alto

Grano : Recto a Entrecruzado
Textura : Media a Fina
Veteado : Bandas alternas brillantes en la sección tangencial y opaca en la sección radial, aumentando el color y contraste por el grano entrecruzado.

Propiedades Físicas

Densidad Básica : 0.56 gr/cm³
Contracción Volumétrica (secado): 9.40 %
Relación T/R : 2.10
Contracción Tangencial : 9.00 %
Contracción Radial : 4.30 %

Características de la Troza

Diámetro : 0.89 m
Forma : Cilíndrica
Defectos : Ninguno
Conservación : Patio Seco

Aserrío y Secado : La Mohena Amarilla es una especie de fácil aserrío, sencilla de trabajar con herramientas y maquinas comunes de carpintería; a pesar de tener grano entrecruzado se puede obtener superficie lisas y de buen acabado, usando ángulos de corte de 25, 30 y 35 grados en el cepillado. El moldurado longitudinal es bueno y el transversal regular, tiene un comportamiento regular al taladrado y torneado. La madera es moderadamente difícil a fácil de secar al aire, presentando cierta deformación.

Durabilidad :La Mohena Amarilla es una especie con durabilidad natural a la pudrición.

Usos : Es empleada para carpintería, pisos, machihembrados, estructuras de vivienda, chapas decorativas y parihuelas. [14]

2.8.3 Madera Capirona

Nombre y familia

Familia	:	Rubiaceae
Nombre científico	:	Calycophy spruceanum Be
Nombre Internacional	:	Pan Mulato, Capirona
Nombre común	:	Capirona

Procedencia

Se encuentra en la amazonía de Perú y Brasil. En el Perú se encuentra en los departamentos de Amazonas, San Martín, Huánuco, Loreto, Madre de Dios y Ucayali. Se encuentra en los bosques primarios y secundarios, en terrenos periódicamente inundados, en las formaciones ecológicas de bosques secos tropicales, bosques húmedos tropicales. A veces crece en comunidades - manchales, llamadas capironales.

Descripción de la Madera

Color	:	pardo blanco
Brillo	:	medio intenso
Grano	:	recto, entrecruzado
Textura	:	muy fina
Veteado	:	no marcado

Propiedades Físicas

Densidad Básica	:	0.76 gr/cm ³
Contracción Volumétrica (secado)	:	15.00 %
Relación T/R	:	1.80
Contracción Tangencial	:	9.00 %
Contracción Radial	:	5.00 %

Características de la Troza

Diámetro : 0.57 m
Forma : Cónica regular
Defectos : Muy pocos
Conservación : Las trozas deben permanecer durante varios meses en el bosque después del tumbado y efectuar tratamiento.

Aserrío y secado : Aserrío intermedio. No presenta dificultad en el aserrío a pesar de su elevada densidad genera efecto de desafilado medio. Buen comportamiento con programas suave de 10 días para espesores menores de 30mm. Para disminuir el riesgo de colapso y rajaduras requiere un tratamiento de desflamado. Maquinabilidad difícil debido a su dureza, presenta riesgos de rajaduras al clavado, permite acabados buenos.

Durabilidad : Presenta una mediana resistencia al ataque de hongos y termitas. No requiere de preservación.

Usos : En base a las propiedades descritas, la madera de Capirona puede utilizarse en estructuras, vigas, columnas, pisos, machihembrados, postes, mangos de herramientas, ebanistería, artículos de deportes, escultura, arcos, etc. [13]

2.9 Durabilidad de la madera

La durabilidad natural de la madera se asocia a la resistencia que posee, sin tratamiento químico alguno, frente al ataque de hongos, insectos perforadores, agentes marinos y otras influencias. Normalmente, se mide el tiempo en años durante el cual una madera es capaz de mantener sus propiedades mecánicas estando puesta en servicio en contacto con el suelo o el agua. La mayoría de las maderas tienen una durabilidad diferente frente a los diversos organismos que la pueden degradar [14].

El estudio del compuesto madera-polímero, es una consecuencia de ensayos de caracterización donde se determinó la mejora en la dureza y la disminución de la absorción de agua [15]. Las maderas seleccionadas generalmente pertenecen a las de la amazonia peruana (Loreto, Huánuco, San Martín) y muchos de ellos se encuentran en otros países y son conocidos con otros nombres [13].

2.10 La Radiación

Es un fenómeno manifestado por la energía electromagnética o haz de partículas materiales que se propaga en el espacio (vacío o medio material) a partir de un foco emisor. [16]

2.10.1 Espectro de la Radiación Electromagnética

La radiación electromagnética es catalogada de una manera muy especial, puesto que presenta características concordantes con el comportamiento corpuscular y ondulatorio denominado como naturaleza dual. Esta descripción dual es necesaria para dar una explicación completa de los fenómenos físicos.

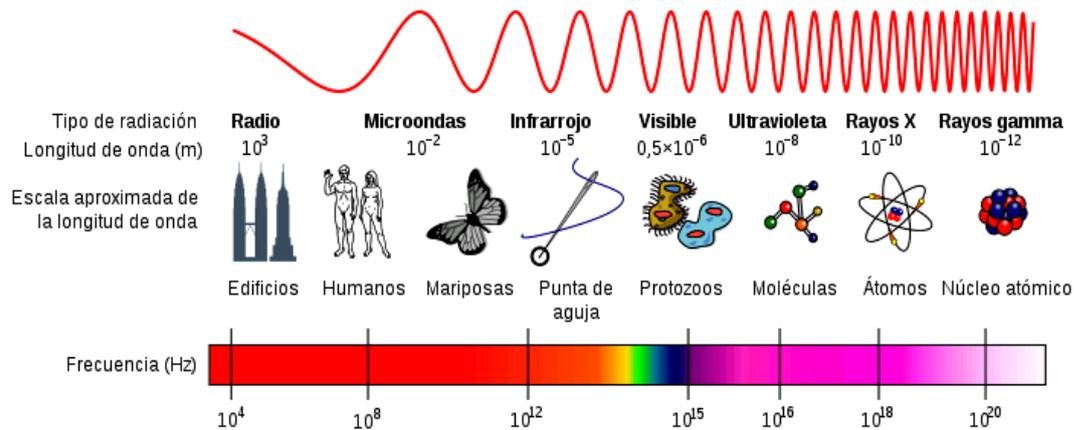


Figura 2.7 Espectro electromagnético. [17]

La energía electromagnética en una particular longitud de onda λ (en el vacío) tiene una frecuencia f asociada y una energía de fotón E y se encuentran relacionados por las siguientes ecuaciones:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

$$E = \frac{h \cdot c}{\lambda} \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

Donde $c = 299792458 \text{ m/s}$ (velocidad de la luz) y h es la constante de Planck, ($h = 6.62 \times 10^{-34} \text{ J.s}$)

Por lo tanto, las ondas electromagnéticas de alta frecuencia tienen una longitud de onda corta y mucha energía mientras que las ondas de baja frecuencia tienen grandes longitudes de onda y poca energía.

Por lo general, las radiaciones electromagnéticas se clasifican en base a su longitud de onda siendo de longitudes mayores a menores, las ondas de radio, microondas, rayos infrarrojos, la región visible, rayos ultravioleta, rayos X y rayos gamma.

El comportamiento de las radiaciones electromagnéticas depende de su longitud de onda. Cuando la radiación electromagnética interactúa con átomos y moléculas puntuales, su comportamiento también depende de la cantidad de energía por quantum que transporte.

2.10.2 Los Rayos Gamma

La radiación gamma (γ) es un tipo de radiación electromagnética producida generalmente por elementos radioactivos o procesos subatómicos como la aniquilación de un par positrón-electrón.

Debido a las altas energías que poseen, los rayos gamma constituyen un tipo de radiación ionizante capaz de penetrar en la materia más profundamente que la radiación alfa o beta (Figura 2.8). Dada su alta energía pueden causar grave daño al núcleo de las células, por lo que son usados para esterilizar equipos médicos y descontaminación de alimentos.

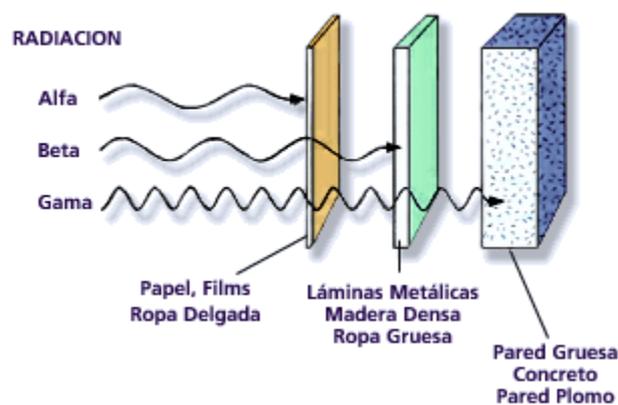
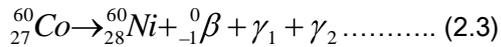


Figura 2.8 Poder de penetración de las radiaciones

Los rayos gamma se producen por la desexcitación de un nucleón de un nivel excitado a otro de menor energía y en la desintegración de isótopos radiactivos. Los rayos gamma se diferencian de los rayos X en su origen, debido a que estos últimos se

producen a nivel extranuclear, por fenómenos de frenado electrónico, Algunas de las reacciones nucleares que producen la radiación gamma son:

El ^{60}Co se descompone en ^{60}Ni excitado:



$t_{1/2} = 5.27$ años

Los rayos gamma producidos tienen energías características de $\gamma_1=1,17$ MeV, $\gamma_2=1.33$ MeV respectivamente, y un electrón con 0.315 MeV correspondiente a la partícula beta. [18] [19]

2.10.3 Interacción de la Radiación Electromagnética con la Materia

Los rayos gamma, al no tener carga son frenados lentamente por ionización al atravesar un material. Sufren además otros mecanismos de interacción energética que al final los hacen desaparecer, estas radiaciones pueden atravesar varios centímetros de un sólido, o cientos de metros de aire, sin sufrir ningún proceso ni afectar la materia que cruzan. Luego sufren uno de estos tres efectos de interacción con la materia: el efecto fotoeléctrico, el efecto Compton y la producción de pares. [20]

- **Efecto Fotoeléctrico:** Es el proceso mediante el cual al incidir un fotón sobre un átomo le transfiere su energía y expulsa a un electrón del átomo. La energía cinética del fotoelectrón resultante es igual a la energía del fotón incidente menos la energía de enlace del electrón. El efecto fotoeléctrico es el mecanismo de transferencia de energía dominante para fotones de rayos x y de rayos gamma con energías menores a 50 keV.
- **Efecto Compton:** Se refiere a la interacción donde un fotón incidente transfiere suficiente energía a un electrón ligado como para provocar su expulsión. Con la energía restante del fotón original se emite un nuevo fotón de baja energía con una dirección de emisión diferente a la del fotón incidente. La probabilidad de ocurrir el Efecto Compton decrece al incrementarse la energía del fotón. El Efecto Compton se considera que es el principal mecanismo de absorción de rayos gamma en el rango de energía entre 100 keV a 10 MeV, un rango de energía que incluye la mayor parte de la radiación gamma presente en una explosión nuclear. El efecto Compton es relativamente independiente de número atómico del material absorbente.

- **Creación de pares:** Debido a la interacción Coulombiana en la vecindad del núcleo, la energía del fotón incidente se convierte espontáneamente en la masa de un par electrón-positrón. Un positrón es la antipartícula equivalente a un electrón; tiene la misma masa de un electrón, pero tiene una carga positiva de igual magnitud que la carga negativa del electrón. La energía excedente del equivalente a la masa en reposo de las dos partículas (1,02 MeV) aparece como energía cinética del par y del núcleo. El positrón tiene una vida muy corta (sobre 10^{-8} segundos). Al final de su periodo, se combina con un electrón libre. Toda la masa de estas dos partículas se convierte entonces en dos fotones gamma de 0,51 MeV de energía cada uno.

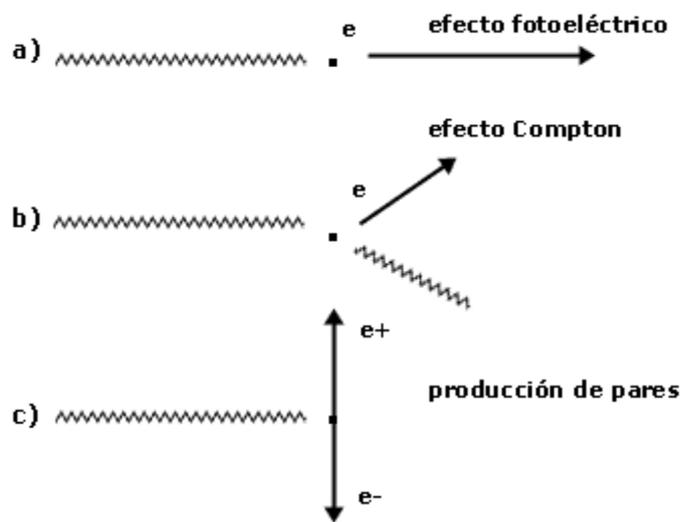


Figura 2.9 Las tres maneras principales de que los rayos X y los rayos gamma interactúan con la materia. En los tres casos se producen electrones energéticos [21].

2.10.4 Atenuación de los Rayos X y Gamma

Supóngase que se envía un haz delgado de rayos **X** o gamma monoenergéticos de intensidad I_0 (número de fotones) sobre un material de espesor "x", y se coloca detrás de éste un detector, como lo muestra la figura 2.10. En el material, el haz será atenuado por los tres tipos de interacciones, llegando al detector sólo la cantidad I , menor que I_0 . La atenuación obedece la ley exponencial:

$$I = I_0 e^{-\mu \cdot X} \quad \dots\dots\dots(2.4)$$

Donde e es la base de los logaritmos naturales, y μ se llama coeficiente lineal de atenuación. Normalmente x se expresa en unidades de cm, por lo que μ estará dado en cm^{-1} .

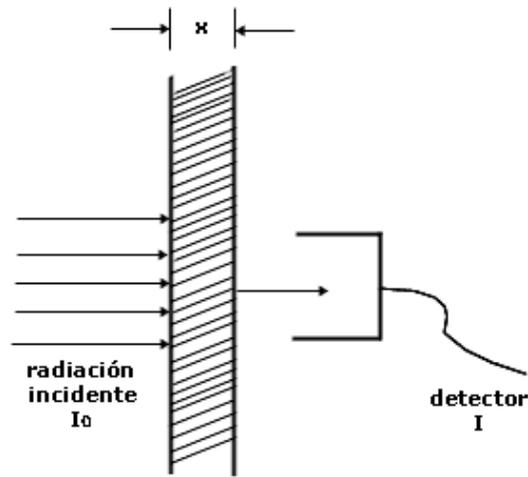


Figura 2.10. Experimento de transmisión de radiaciones. El número de radiaciones absorbidas es $I_0 - I$, y depende del espesor x del absorbedor.

Una cantidad que se usa normalmente es el coeficiente másico de atenuación μ_m , que se obtiene al dividir el coeficiente lineal entre la densidad “ d ” del material.

$$\mu_m = \frac{\mu}{d} \quad \dots\dots\dots (2.5)$$

Si la unidad de “ d ” es g/cm^3 , la de “ μ_m ” es cm^2/g .

Si se emplea el coeficiente másico de atenuación, la ley de atenuación queda en la forma

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu_m \cdot (p \cdot X)} \quad \dots\dots\dots(2.6)$$

Los coeficientes lineales y másico de atenuación difieren de un material a otro, según sean bueno o malos absorbedores de rayos X y gamma. También sus valores dependen de la energía de la radiación. La figura 2.11 muestra un ejemplo de la variación del coeficiente másico de atenuación para un buen absorbedor, el plomo, según la energía. Allí se puede ver también la contribución relativa que ofrecen cada uno de los tres efectos de atenuación.

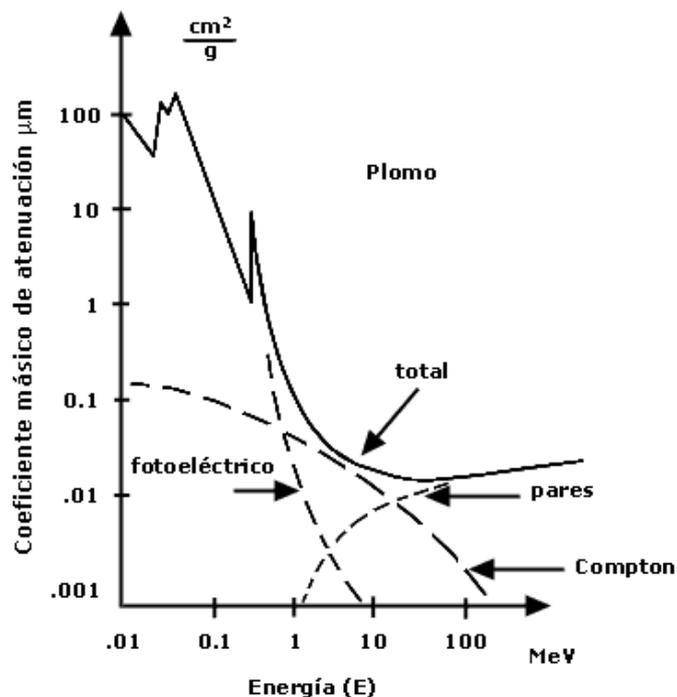


Figura 2.11. Coeficiente másico de atenuación de rayos X y gamma en plomo, según la energía del fotón. Se indica la contribución de cada uno de los tres efectos. [21]

La absorción de energía por el material está relacionada con la atenuación, pero no son iguales. La atenuación implica absorción de energía sólo si se trata de efecto fotoeléctrico; en los otros dos efectos, la atenuación del haz inicial implica la absorción de sólo una parte de la energía de los fotones. [20]

2.11 Polímeros

La materia está formada por moléculas que pueden ser de tamaño normal o moléculas gigantes llamadas polímeros. Los polímeros se producen por la unión de cientos de miles de moléculas pequeñas denominadas monómeros que forman enormes cadenas de las formas más diversas.

Lo que distingue a los polímeros de los materiales constituidos por moléculas de tamaño normal son sus propiedades mecánicas. En general, los polímeros tienen una excelente resistencia mecánica debido a que las grandes cadenas poliméricas se atraen. Las fuerzas de atracción intermoleculares dependen de la composición química del polímero y pueden ser de varias clases [22]. En el presente estudio, se utilizó el polimetacrilato de metilo y la resina poliéster.

2.11.1 Polimetacrilato de Metilo

El polimetacrilato de metilo es un plástico duro, resistente y transparente. Se conoce comercialmente como vidrio acrílico. Su monómero es:

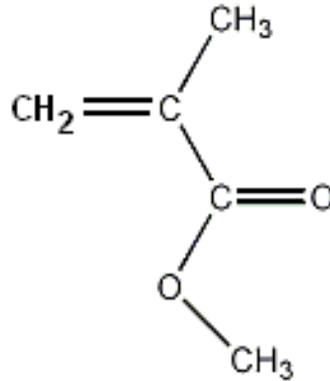


Figura 2.12 Metacrilato de metilo

Es un material ligero con una densidad de 1180 kg/m^3 . La transparencia de este plástico está comprendida entre el 85 y el 92%, por lo que deja pasar casi todos los rayos UV. Su resistencia a la rotura es siete veces superior a la del cristal a igualdad de espesores. A pesar de su ligereza puede soportar una sobrecarga de 70 kg/m^2 . El coeficiente de conductividad térmica del polimetacrilato de metilo es $0,16 \text{ kcal/mh}^\circ\text{C}$ mientras que el del vidrio es de $0,64$. Se puede utilizar como sustituto del vidrio en casi todos los productos en que interviene éste (ventanas, invernaderos, etc.)

2.11.2 Poliéster

Las resinas de poliéster insaturado son termoestables y están constituidos a partir de poliésteres lineales que mantienen dobles enlaces en su cadena tras la polimerización. Acompañados de un monómero vinílico (estireno) que disuelve los poliésteres, se suelen mantener de forma estable hasta su aplicación, que suele llevarse a cabo provocando la polimerización de los dobles enlaces del estireno y el poliéster mediante un iniciador radical, dando lugar al entrecruzamiento que endurece el producto final.

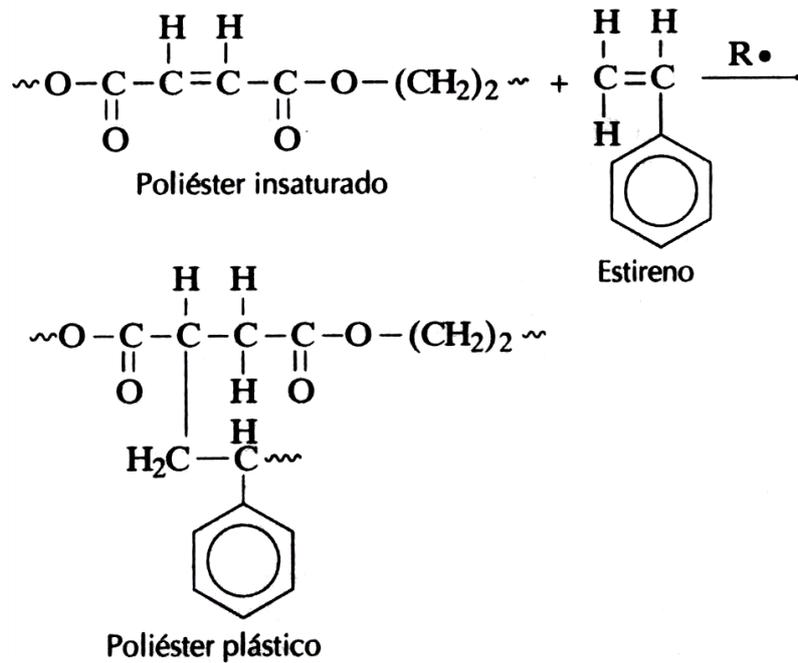


Figura 2.13 Proceso de polimerización del poliéster [23]

2.12 Fenómeno de Polimerización por Radiación

La iniciación de una polimerización en cadena puede ser inducida por calor, por agentes químicos (iniciadores) o por radiación (ultravioleta y rayos γ). La iniciación por calor o radiación proporciona una homólisis del duplo enlace del monómero, resultando en un mecanismo de reacción vía radicales libres; mientras que la iniciación química (la que se emplea en la mayoría de las industrias), se consigue con iniciadores, sustancias que pueden provocar tanto la homólisis como la heterólisis del doble enlace. Por tanto, la polimerización puede transcurrir a través de radicales libres, por vía catiónica o por vía aniónica, o todavía, por coordinación. En el caso en que la polimerización sea iniciada por un iniciador radicalar [24] se llama polimerización radicalar; si el iniciador es un catión se denomina catiónica, si el iniciador es un anión la polimerización se dice aniónica. [25]

2.13 Proceso de entrecruzamiento de la resina poliéster

La reacción de entrecruzamiento de resinas de poliéster insaturado es muy compleja, ya que intervienen muchos procesos reactivos simultáneamente (Stevenson, 1986 [26]). Basado en esta descripción se busca establecer relación de la interacción de la radiación en este proceso. Este fenómeno de entrecruzamiento sigue un mecanismo de tipo radicalario. El proceso de curado tiene lugar en tres etapas: la iniciación, la propagación y la terminación. Los radicales libres generados en este caso por los rayos gamma, en un primer instante reaccionan con el inhibidor, éste puede actuar como retardante o como inhibidor propiamente dicho, reaccionando con todos los radicales formados, hasta que éste se agota.

En la etapa de propagación o iniciación, los radicales libres generados por los rayos gamma se originan al romper los dobles enlaces de las moléculas presentes en el poliéster y en el estireno (formándose nuevos radicales libres), y éstos pueden reaccionar bien con el estireno presente o bien con el poliéster y, a partir de aquí, las cadenas de polímero irán creciendo y entrecruzándose, según tres posibles procesos reactivos: copolimerización estireno-poliéster, homopolimerización del estireno y homopolimerización del poliéster. En la etapa de terminación, existen múltiples procesos reactivos, pues todos los radicales libres presentes en el medio pueden recombinarse, finalizando así el crecimiento de las cadenas. La terminación del crecimiento del polímero tiene lugar por medio de alguna de las reacciones denominadas de agotamiento, desproporción y acoplamiento o transferencia de cadena.

También el aumento de la viscosidad en el medio y la vitrificación pueden contribuir a la terminación del proceso reactivo. En la Figura 2.14 se muestran los diferentes procesos reactivos que tienen lugar durante el proceso de curado.

forma polímero soluble que no participa en la formación del retículo. Aunque todas estas reacciones tienen un efecto similar en la cinética de curado, sólo los procesos (a) y (b) contribuyen a la formación del retículo.

Aparte de los posibles procesos reactivos explicados, también es posible la existencia de estireno monómero sin reaccionar y la existencia de cadenas de poliéster insaturado libres con o sin ramificaciones de estireno sin formar parte del retículo. [27]

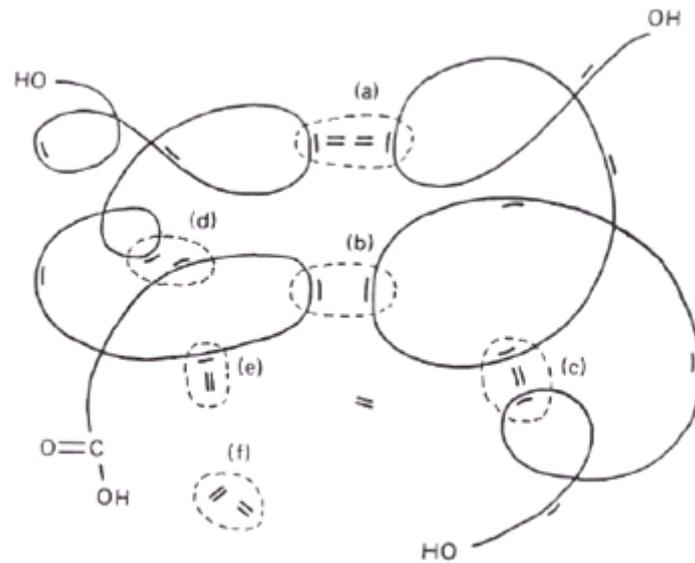


Figura 2.15. Esquema donde se muestran todas las posibles reacciones en el curado de una resina poliéster insaturado (de Yang y Lee, 1988).

CAPITULO 3

Procedimiento Experimental

3.1. Materiales y Equipos

3.1.1. Cámara de Impregnación

- Vacuómetro, Válvulas de bola, niples, mangueras, racores y
- Cámara de acero inoxidable con dos ductos, desarrollada para el presente experimento.

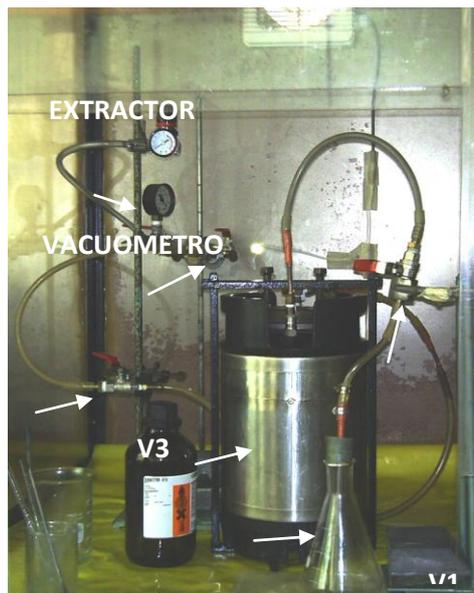
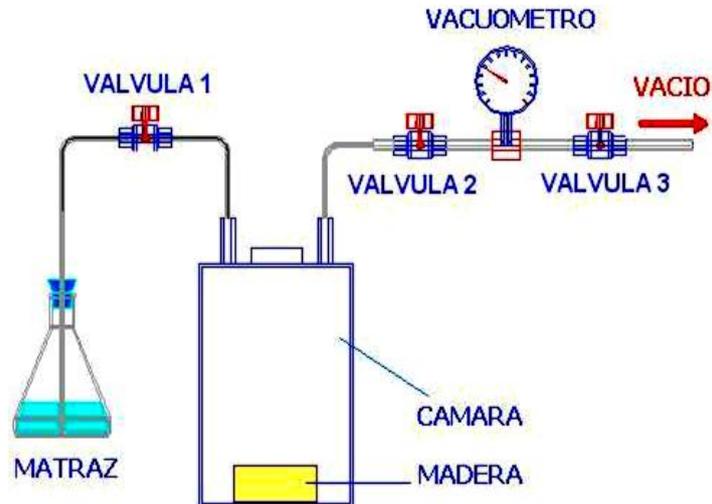


Figura 3.1 Representación esquemática del sistema de impregnación de la madera con el polímero (Parte superior), Fotografía del sistema implementado (parte inferior).

Se utilizó asimismo una Balanza Electrónica Marca Sartorius GMBH GOTTIGEN 300.00g de dos decimales de aproximación, tipo 1402 B MP7-2, una Bomba de vacío Marca Edwards Modelo: E2M18 y un Microscopio Estéreo. Cole Parmer 20X, 60X.

3.1.2 Reactivos

- Metacrilato de Metilo: $C_5H_8O_2$ 1 litro = 0.94 kg M = 100.12 g/mol. Merck
- Estireno, Vinilbenceno, Feniletileno $C_8H_8/C_6H_5 CH=CH_2$ Masa molecular: 104.1
- Resina Poliéster, Cristalan 823, es una resina ortoftálica, se destaca por su alta claridad, alta resistencia, con tasa de endurecimiento controlada y buena resistencia ambiental. Ideal para artículos traslucidos. [28]

3.1.3. Irradiador Gammacell

Irradiador GAMMACELL 220 Excel con fuente radioactiva de Co-60, con actividad de 24 kCi y una radiación externa a 5 centímetros de 20 mR/h, que equivale a una tasa de dosis de 0.174 mSv/h. Las dimensiones de la cámara portamuestra son: 152 mm de diámetro y 206 mm de altura., lo cual hace un volumen de 3.7 l.



Figura N° 3.2 Irradiador Gammacell en las instalaciones del IPEN – Huarangal (lado izquierdo). Cámara de irradiación [29] (Lado derecho)

3.2 Método Experimental

3.2.1 Impregnación del Polímero

Este procedimiento se basa en el método desarrollado por A. Avilov[30]y a continuación se explica:

- 1.- Se colocó las muestras de madera en la cámara de impregnación (Fig. 3.1).
- 2.- En un matraz se colocó un volumen del monómero seleccionado (metacrilato de metilo o resina polyester)
- 3.- Se cerró la Válvula V1.
- 4.- Se abrió las Válvulas V2 y V3.
- 5.- Se encendió la bomba de vacío hasta alcanzar 80 mm de Hg, por un tiempo determinado.
- 6.- Se cerró las válvulas V2 y V 3 y se apagó la bomba de vacío.
- 7.- Luego se abrió la válvula V1., se observó el desplazamiento del monómero por los ductos.
- 8.- Se observó que el monómero fluye al recipiente hasta cubrir completamente la muestra y se dejó impregnar por un tiempo determinado [31].
- 9.- Se sacó la madera y se secó con papel absorbente.
- 10.-Una vez terminado el proceso, se pesó inmediatamente y se envolvió con papel aluminio y se empacó en bolsas de polietileno de baja densidad.

Para llevar a cabo el proceso de irradiación, se colocó las muestras impregnadas en el equipo Gammacell con los parámetros de dosis y tiempo establecidos para iniciar y mantener el proceso de polimerización. Los procedimientos para irradiación gamma, se ajustó según el Reglamento de Seguridad Radiológica (Ver Anexo A)

3.2.2 Determinación de la Dosis de Irradiación Gamma para el proceso de Polimerización

Las dosis de irradiación para este proceso varían entre 15 y 30 kGy, para estimar estas dosis se han tomado en cuenta las referencias de T. Czvikovsky[5][31], quien utilizó la radiación gamma en similares condiciones y maderas.

La primera muestra que se irradió es el Metacrilato de Metilo cuyo porcentaje de polimerización se incrementa desde la dosis de 4 hasta 25 kGy [32], luego se irradió la muestra correspondiente a la Resina poliéster con una dosis 20 kGy [33], en estos ensayos una de las diferencias es la tasa de dosis según la fuente de actividad y el sistema de irradiación. Los ensayos realizados con el monómero Metacrilato solo sirvió

de referencia, debido a su costo elevado en el medio local, finalmente se decidió trabajar con la resina poliéster para todos los ensayos.

Los ensayos realizados fueron:

- a) Irradiación del Monómero Metacrilato de Metilo a 100, 60, 30, 20 y 10 kGy. Se irradió en tubos de ensayo en volúmenes de 5 ml.
- b) Irradiación del Monómero Metacrilato de metilo a 15 kGy en volúmenes de 6ml, 4ml, y 2 ml en frascos de 10 ml de capacidad
- c) Irradiación del Poliéster a 15 kGy a diferentes viscosidades
 - Poliéster + Estireno proporción (50/50) Viscosidad promedio 150 cP (± 60 cP). Volúmenes de 2, 4 y 6ml en frascos de 10 ml de capacidad
 - Poliéster + Estireno proporción (70/30) Viscosidad promedio 250 cP (± 60 cP). Volúmenes de 2, 4 y 6ml en frascos de 10 ml de capacidad
 - Estireno. Viscosidad 0.9 cP Volúmenes de 2, 4 y 6ml en frascos de 10 ml de capacidad

Se utilizó el viscosímetro Brookfield DV III ULTRA para determinar la viscosidad de la Resina poliéster y sus diferentes proporciones de estireno agregado. Para la viscosidad del estireno se utilizó con tubo de Ubbelohde. Estos ensayos sirvieron para determinar la dosis óptima, para la completa polimerización o entrecruzamiento de los monómeros y polímeros utilizados.

3.2.3 Espectrometría FTIR de la resina Poliéster

La espectroscopia de infrarrojo constituye una técnica de amplio uso que se basa en la excitación de los modos de vibración de las moléculas por la absorción de la radiación infrarroja. Aunque ésta comprende longitudes de onda (λ) entre el visible y el microondas, la región de infrarrojo medio entre $400-500\text{ cm}^{-1}$ es la más empleada desde un punto de vista práctico. Durante la excitación es necesaria una variación del momento dipolar de la molécula para que se produzca una absorción en el IR que puede asociarse a la vibración de tensión (simétrica o asimétrica) o de deformación. La detección de los grupos funcionales presentes es la principal aplicación técnica.

Este ensayo se realizó para determinar la componentes del la polimerización (entrecruzamiento) de la resina poliéster después de ser irradiados. Para ello se escogió una muestra en polvo obtenido con un previo raspado, luego se seleccionó

una cantidad aproximada de 0.5 g. Luego se trituró una cantidad de la muestra mezclada con una sal especialmente purificada (bromuro de potasio) finamente (para remover efectos dispersores de los cristales grandes). Esta mezcla en polvo se comprimió en una prensa manual para formar una pastilla.

El equipo comercial utilizado para realizar los experimentos de espectroscopia infrarroja fue el FTIR- 8000 marca Shimadzu, el cual permite el registro de espectros IR en el rango de 400 a 4000 cm^{-1} .

3.2.4 Absorción del Polímero en las muestras de Madera

Determinada la viscosidad óptima para polimerizar por irradiación gamma, se procedió a determinar el tiempo para el proceso de impregnación del polímero en la madera. Los parámetros a modificar son el tiempo de vacío y el tiempo absorción para la impregnación del monómero en estado líquido en la madera.

Para este ensayo del polímero en la madera se preparó un total de 36 muestras, el proceso consiste en hacer vacío a recipientes herméticos donde se encuentran las muestras, para tiempos determinados de 15, 30 y 60 min. Para un tiempo de vacío se tendrán diferentes tiempos de impregnación, que consiste en inundar las muestras de madera con el polímero respectivo, los tiempos de impregnación son 5, 15, 30 y 60 minutos respectivamente. Cada recipiente contendrá muestras de las maderas Catahua, Mohena y Capirona.

La evaluación de peso absorbido del monómero se realizó comparando el peso inicial, en estado natural y el peso final, después que la madera fue impregnada con el monómero.

$$\text{Peso, absorbido}(\%) = \frac{P_f - P_i}{P_i} * 100 \text{ ----- (3.1)}$$

3.2.5 Determinación de la absorción de agua en la madera

Se han determinado las variaciones de la cantidad de agua absorbida por las muestras de madera para dos situaciones, la primera cuando estas no han sido impregnadas con monómero alguno y la segunda cuando las muestras han sido impregnadas y polimerizadas a diferentes dosis de rayos gamma. Las maderas estudiadas en esta investigación son: Catahua, Mohena y Capirona. Las muestras, sin irradiar y luego de

ser irradiadas han sido sumergidos en agua a 100°C y se han medido el peso cada media hora, tal como lo estipula el procedimiento descrito en la Norma ASTM N° 570-95 [34], siendo el valor representativo el obtenido a las dos horas. El cálculo de la cantidad de agua absorbida se determinó por la siguiente relación:

$$H_2O(\%) = \frac{W_{H_2O}(g)}{W_{madera\ seca}(g)} \times 100 \dots\dots\dots (3.2)$$

El tamaño de las muestras son de 2*2 cm² de sección transversal y 4 cm de longitud.

3.2.6 Ensayo de Dureza

En este análisis se mide la dureza de las maderas en forma natural (sin impregnación), luego irradiándolas a 20 kGy y finalmente impregnándolas con los polímeros y polimerizados con radiación gamma, estas mediciones se hicieron aplicando el Método Janka, que viene a ser una variante del Método de dureza Brinell.

$$D = \frac{P}{S} \dots\dots\dots (3.3)$$

Donde:

D: Dureza ($\frac{Kg}{mm^2}$), P: Carga (Kg), S= Área transversal de la huella (mm²)

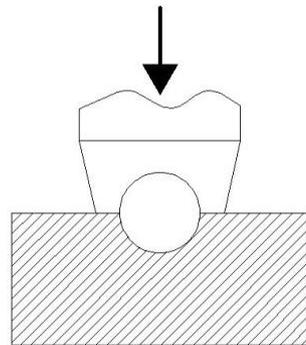


Figura 3.7 Ensayo de dureza Tinius Olsen. Fotografía del equipo instalado en el Laboratorio de la Facultad de Ciencias Forestales UNALM.

3.2.7 Preparación de las maderas ensayadas para su observación microscópica

Se determinó las características de cada tipo de madera específicamente el diámetro promedio de los poros y su distribución en cada sección de la madera (sección transversal, tangencial y radial de la madera).

Para observar estos detalles por el microscopio estéreo, se cortó las muestras con un micrótopo y luego se realizó un proceso de ablandamiento.

El método de ablandamiento más utilizado consiste en colocar la madera en agua a temperatura superior a 80°C. Su misión es doble, por un lado elimina el aire contenido en los lúmenes celulares, y por otro reblandece la pared celular. El tiempo de inmersión depende de la densidad de la madera, las especies ligeras requieren menos tiempo de tratamiento, las duras necesitan largos períodos de inmersión cifrándose estos a veces por semanas.

Algunas maderas moderadamente duras pueden ser ablandadas satisfactoriamente sumergiéndolas en una mezcla formada por partes iguales de glicerina y alcohol (algunas veces es deseable una mezcla de alcohol etílico y alcohol metílico). Después de que las muestras o probetas estén embebidas de agua deben introducirse directamente a la mezcla donde permanecerán por espacio de tres días.

Una vez cortadas, es necesario hacerles una tinción (teñido) que permita resaltar la diferenciación histológica de la madera y se hace usando la Safranina: para esto se diluyó 1 g de safranina en polvo en 50 g de agua destilada y 50 g de alcohol de 96° este tinte dará un tono rojizo a las muestras.

Se colocó la lámina obtenida en un portamuestras, se eliminó el exceso de agua y se añadió unas gotas de la disolución preparada manteniendo la inmersión por el tiempo de 30 s. A continuación se retiró el reactivo sobrante y se lavó las muestras con alcohol de 90° que detendrá la acción del tinte.

Una vez teñidas las muestras es necesario someterlas a un proceso de deshidratación para su posterior montaje. Estos cortes tuvieron las siguientes dimensiones, secciones de 10x10 mm y un espesor que oscila entre 10 y 20 μm los cuales se colocaron en el portamuestras.

3.2.8 Para la determinación de la presencia del polímero en la madera, usando filtros polarizadores

Se empleó el análisis de la actividad óptica empleando filtros polarizadores que transmiten selectivamente una determinada dirección de oscilación del campo eléctrico de una onda electromagnética como la luz, dicha dirección determina el eje de polarización del filtro. Otro filtro polarizador colocado a continuación de un primer filtro hará las veces de filtro analizador, este se coloca haciendo un ángulo de 90° con el eje del primer filtro, en este caso la radiación polarizada por el primer filtro quedará anulada por el segundo, en estas condiciones se coloca la muestra conteniendo el polímero entre los dos polarizadores, cuando la luz polarizada por el primer filtro pasa por el polímero, la dirección del haz luminoso rotará cierto ángulo debido a la actividad óptica de las moléculas del polímero, esta desviación de la dirección de polarización servirá para detectar su presencia dentro y fuera de la muestra. [35]

3.2.9 Ensayos de Durabilidad de la madera (Biodegradación)

a) Materiales

Las muestras de madera provienen del Laboratorio de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Las maderas seleccionadas, Catahua, Capirona y Mohena son comercialmente utilizadas en la industria del mueble y de la construcción. Los criterios para su selección fueron: sin nudos, sin manchas, sin rajaduras, homogéneas e intactas.

La cepa utilizada en el estudio es *Polyporus sanguineus*, fue adquirida en la Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional Agraria La Molina. El agar extracto de Malta es de Merck.



Figura 3.10 *Polyporus sanguineus* hongo de la clase basidiomycetes [36].

b) Métodos

Se siguió la metodología de la Norma IRAM N° 9518. Se cultivó la cepa de hongo *Polyporus sanguineus* en el medio de cultivo Agar Extracto de malta. Se incubó a 25°C por un lapso de 14 días, luego de transcurrido este tiempo se colocó sobre el mismo, las probetas por un lapso de 90 días [14].

Luego se evaluó la pérdida de peso P con la siguiente relación:

$$P(\%) = \left(\frac{P_i - P_f}{P_i} \right) \times 100\% \dots\dots\dots (3.7)$$

Donde:

P_i : Peso inicial. Probeta antes de estarencontacto con los hongos.

P_f : Peso final. Pobretadespués de estar encontacto con los hongos.

De acuerdo con ésta pérdida de peso se las clasificó siguiendo el criterio de Findlay [35] quien clasificó las maderas en 5 grupos, basado en los promedios de pérdidas de peso producido por los hongos durante un determinado lapso de tiempo, estaban relacionadas con su grado de resistencia a la pudrición. Dicha clasificación se presenta en la Tabla 3.2:

Tabla 3.2: Clasificación de Findlay.

Pérdida de peso (%)	Grado de durabilidad
< 1	Muy resistente
2 – 5	Resistente
5 – 10	Moderadamente resistente
10 – 30	No resistente
> 30	Perecederas

Existen clasificaciones similares a la norma ASTM-D-2017 [14,37] y la europea EN113, pero estos difieren con el tamaño de la muestra y las condiciones iniciales.

Para la preparación de las probetas, se cortaron las maderas de 10x10 mm² y 40 mm de longitud. Se prepararon 6 probetas, dos de cada especie, una se mantuvo en

condiciones naturales y la otra impregnada con polímero (poliéster) y fueron procesadas mediante radiación gamma.



Figura 3.11 Lado izquierdo: el cultivo del hongo *Polyporus sanguineus*. Lado derecho: Las probetas de madera sometidas al ensayo de biodegradación.

CAPITULO 4

Resultados

4.1 Estimación de Dosis de Irradiación para la Polimerización

4.1.1 Irradiación del Monómero Metacrilato de Metilo a las dosis de 10, 20, 30, 60 y 100 kGy.

Se inició el ensayo, utilizando el monómero metacrilato de metilo No hay referencia sobre la polimerización por irradiación de este tipo de monómero en el Laboratorio de Irradiación del IPEN. En referencias del extranjero se empleó la dosis de 8 kGy para producir polimerización.[5, 38].

En nuestro caso se empezó con la dosis de 100 kGy y se obtuvo resultados interesantes como se aprecia en la figura 4.1. El metacrilato polimeriza hasta llegar a quebrar el vidrio (del tubo) donde estaba contenido el metacrilato y solidificándose en la bolsa plástica.

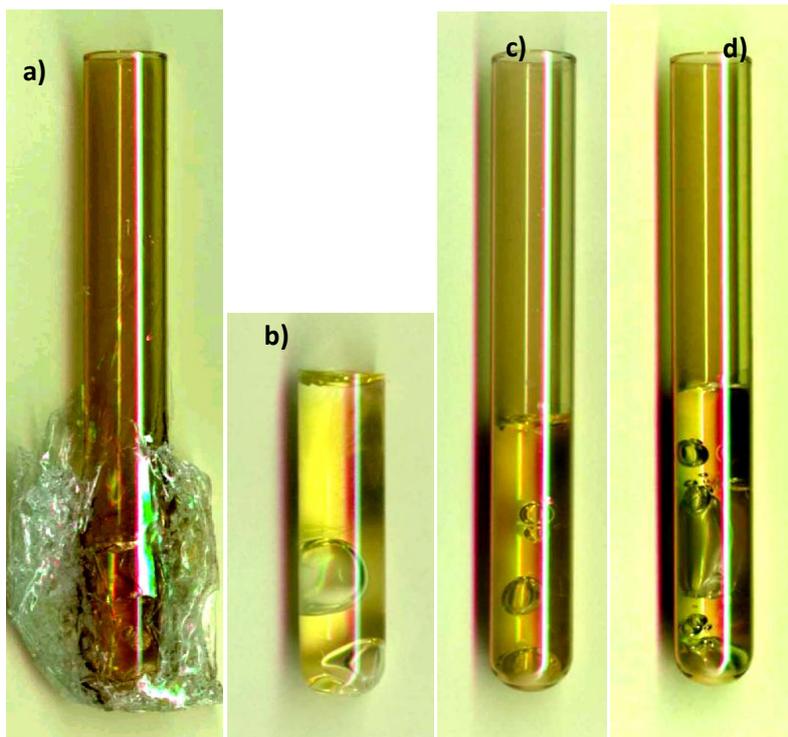


Figura 4.1 Muestras de metacrilato de metilo polimerizadas por irradiación gamma. Dosis a) 100 kGy b) 60 kGy c) 30 kGy y d) 20 kGy

A la dosis de 60 kGy solidificó el monómero pero dilatándose y quebrando el tubo. Se notó la formación de burbujas en la base del tubo, que no llegó a desprenderse, terminando de solidificarse en esa forma.

A la dosis de 30 kGy, solidificó el monómero (polimeriza) dentro del tubo de ensayo sin llegar a quebrarlo, pero también se observan algunas burbujas atrapadas en el intermedio del volumen polimerizado.

En el ensayo realizado a 20 kGy se observa que tiene características muy similares a la dosis de 30 kGy, solidificó formando burbujas de aire en su interior, no se observa ninguna porción líquida.

Una última muestra se irradió a 10 kGy y no llegó a polimerizar, se observó al monómero ligeramente viscoso y en forma lenta al cabo de una semana terminó evaporándose en condiciones ambientales, sin dejar huella sobre el tubo de ensayo.

4.1.2 Irradiación del Monómero Metacrilato a 15 kGy

Se irradió el metacrilato de metilo probando diferentes volúmenes a la dosis de 15 kGy

a) Volumen 6 ml. Se presenta muy viscoso, parecido a una plastilina (se deforma al presionar con una varilla) un volumen remanente de 0.5 ml queda líquido (continúa igual al cabo de 48 h, solo se aprecia una disminución de líquido menor que la anterior medición, debido a la evaporación del producto). También con formación de burbujas en el interior.

b) Volumen 4 ml. Apariencia de estar viscoso al girar el vial no se aprecia ningún desplazamiento libre de líquidos es muy lento el desplazamiento. Después de 48 h ya sin irradiación se aprecia totalmente sólido.

c) Volumen 2 ml. Se muestra ligeramente viscoso y con mayor libertad de desplazamiento que el anterior ensayo de un volumen de 0.5 ml, al cabo de 48 h se observa que sigue viscoso, muy contrario al de 4 ml, que ya está sólido.

4.1.3 Irradiación de las mezclas de Poliéster-Estireno y Estireno a 15 kGy

a) Poliéster + Estireno proporción (1:1) Viscosidad promedio 80 a 220 cP

- Volumen 6 ml : Totalmente solidificado
- Volumen 4 ml : Totalmente solidificado
- Volumen 2 ml : Parcialmente solidificado 80%, en la parte superior se observa muy viscoso.

b) Poliéster + Estireno proporción (7:1) Viscosidad promedio 300 a 600 cP

- Volumen 6 ml: Parcialmente sólido (o plástico) , se puede llegar a penetrar con objeto puntiagudo
- Volumen 4 ml: De igual forma que el de 6 ml se observa plástico con facilidad de penetración, libera gases que bota la tapa de jebe, después de deformar la superficie blanda de polímero.
- Volumen 2 ml: Se observa blando

c) Estireno

- Volumen 6 ml: No polimeriza.
- Volumen 3 ml: No polimeriza.

4.1.4 Espectro FTIR de la resina Poliéster

El resultado obtenido por la técnica se determinó la presencia de los componentes característicos de la resina poliéster empleado y del estireno como se muestra en la figura 4.2

Los picos correspondientes a 1728, 1287, 1130, 750, 706 cm^{-1} caracterizan a la resina poliéster principalmente, y los picos 1600, 1492, 1451, 1020 cm^{-1} [39], que también caracterizan la presencia del estireno. Alrededor de estos picos se encuentran valores que identifican la presencia del poliéster pero esto se diferencia en la concentración mayor del estireno (línea azul). De igual forma se observa una mayor intensidad (o concentración) de la presencia de la resina poliéster (línea de color rojo) en los picos 702, 750 y 1728 cm^{-1} .

Estos valores confirman la presencia de moléculas polimerizadas de la Resina Poliéster y del Estireno. [40]

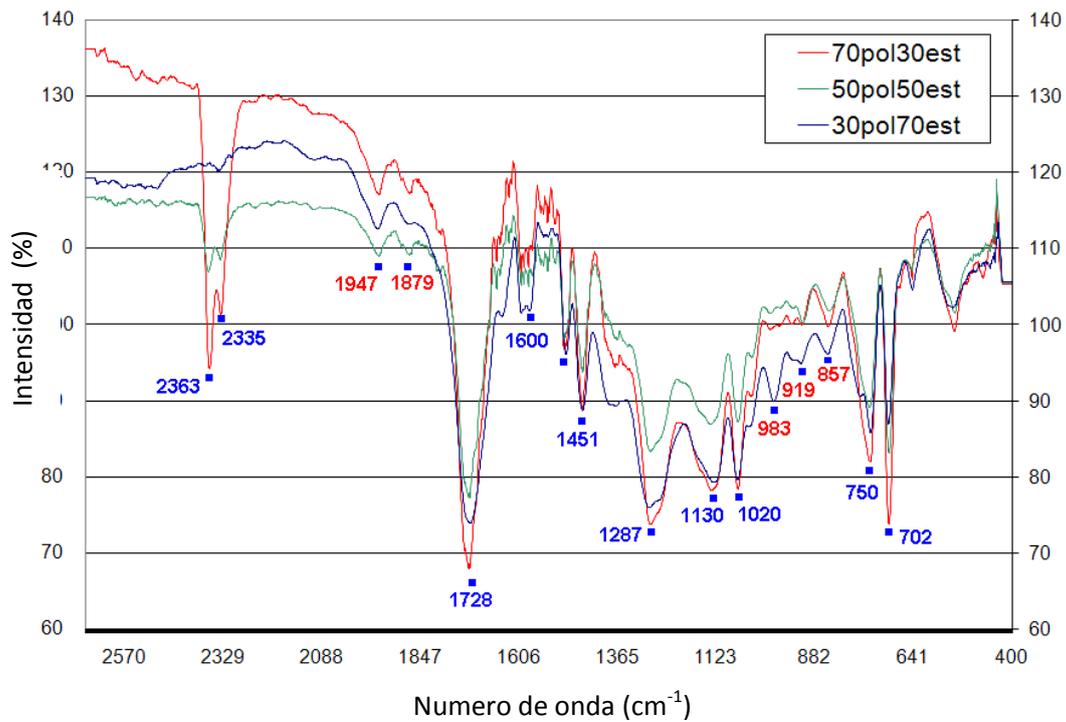


Figura 4.2 Espectro FTIR de la Resina Poliéster

4.2 Resultados de ensayos de absorción del polímero en la madera

4.2.1 Impregnación del poliéster en la madera

En este ensayo se determinó el porcentaje óptimo de absorción en peso de la resina poliéster en los diferentes tipos de madera. Teniéndose como variable el tiempo de evacuación del aire (“vacío”) a una presión manométrica de -13.7 psi (presión absoluta de 1 psi) a que se somete a la madera y los tiempos de inmersión en la resina para su proceso de impregnación.

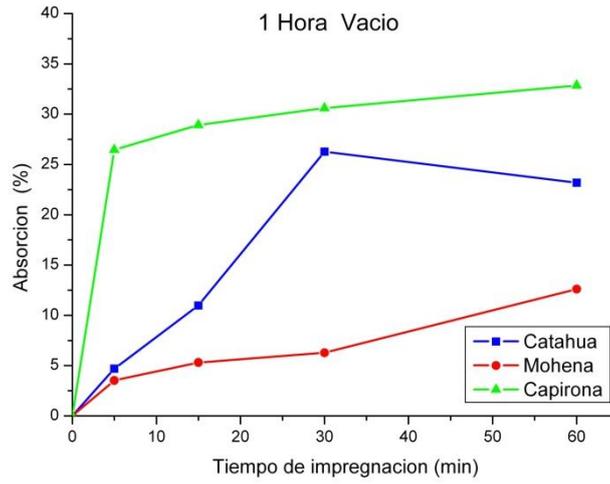


Figura 4.3 Variación de la absorción de resina poliéster (vacío, tiempo 1h)

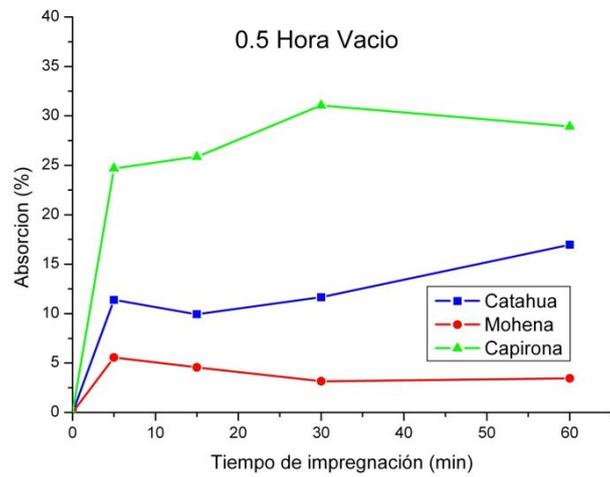


Figura 4.4 Variación de la absorción de resina poliéster (vacío, tiempo 0.5h)

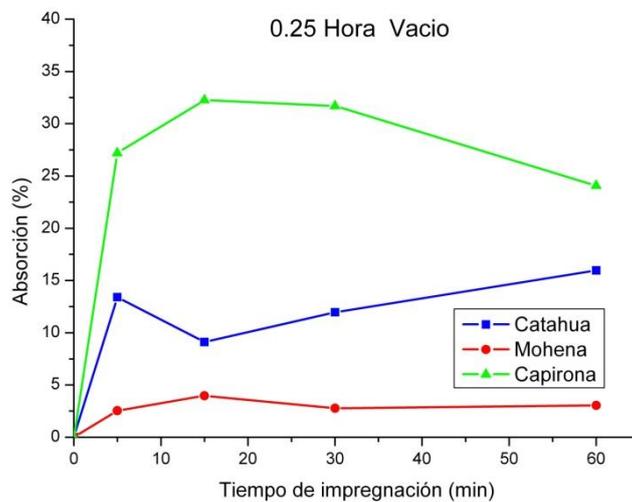


Figura 4.5 Variación de la absorción de resina poliéster (vacío, tiempo 0.25h)

En los ensayos de absorción hechos con la resina poliéster se midieron viscosidades alrededor de 224 cP valor que se va incrementando con el tiempo. Se ha observado que la viscosidad en la parte superior es menor que en la parte inferior del recipiente.

En todas las gráficas vistas en las figuras 4.3, 4.4 y 4.5 se determina que la madera Capirona tiene mayor porcentaje de absorción de la resina poliéster, seguido de la Catahua y Mohena.

El proceso de impregnación con una hora de vacío (Figura 4.1) se puede observar mayor absorción y retención del polímero en la madera, respecto a las gráficas de las figuras 4.4 y 4.5. En el caso de la Capirona, para una hora de impregnación, la absorción disminuye del 33% al 29 % y finalmente al 24 % según las tres graficas mostradas. Respecto a la Catahua esta disminuye desde el 24% a 17% y 16% aproximadamente. Y respecto a la Mohena esta absorción disminuye desde el 12 % a 4% y 3%. Para los tiempos de evacuación de aire (vacío) de 1h, 0.5h y 0.25h respectivamente.

Pero observando el proceso impregnación para el tiempo de vacío de 0.25 h (15 min Figura 4.5) el tiempo de impregnación tiene el mismo comportamiento de absorción similar a la Figura 4.5 para un tiempo de 5 minutos de impregnación, pero al término de 1 h de impregnación este peso disminuye. Según la figura 4.5 sería ideal aplicar estos parámetros para los ensayos, pero el sistema de irradiación no es inmediato, por lo tanto se puede desprender o deslizarse monómero absorbido antes de ser polimerizado. Por lo tanto se va aplicar los parámetros establecidos según la Figura 4.3

4.2.2 Ensayo de impregnación del metacrilato de metilo

Con esta referencia experimental sobre los tiempos de impregnación de la resina poliéster, se procedió a evaluar la impregnación del metacrilato de metilo en dichas maderas empleando el tiempo de una hora para realizar la evacuación del aire a la presión manométrica (-13.7 psi) e inyectar el metacrilato de metilo para dejar sumergido la madera por el tiempo de una hora. La variación de peso impregnado en la madera se muestra en la siguiente Figura 4.6

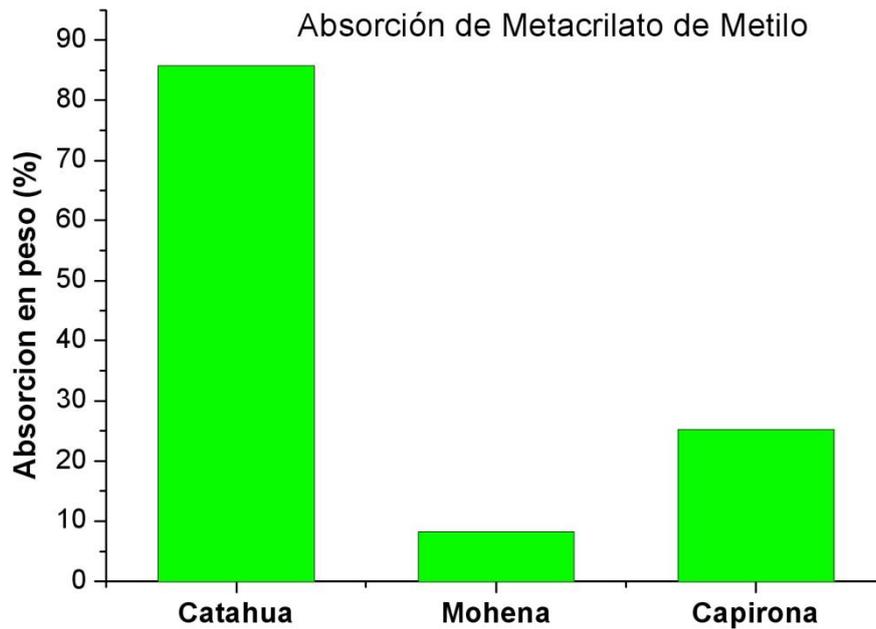


Figura 4.6 Impregnación del metacrilato de metilo en la madera.

De los resultados en los ensayos en 4.1.3 (a) y 4.2. La proporción óptima de poliéster y estireno se denominará Resina Poliéster MO. Con estas características de la Resina Poliéster MO se realizó los siguientes ensayos

4.3 Ensayo de absorción de Humedad

En las siguientes graficas se muestran las variaciones de la cantidad de agua absorbida por las muestras de madera en dos situaciones, la primera cuando estas no han sido impregnadas con monómero alguno y la segunda cuando las muestras han sido impregnadas y polimerizadas con dosis de 20 kGy de rayos gamma. Las maderas estudiadas en esta investigación son: Capirona, Mohena y Catahua. Las muestras, sin irradiar y luego de ser irradiadas han sido sumergidos en agua a 100°C y se han medido el peso cada media hora, tal como lo estipula el procedimiento que está descrito en la Norma ASTM N° 570-95 [34], el valor representativo es el valor obtenido a las dos horas. El cálculo de la cantidad de agua absorbida se determinó por la relación (3.2) en el capítulo 3.

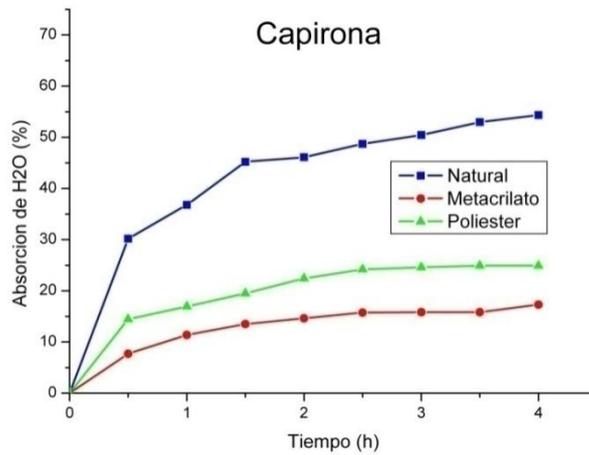


Figura 4.7 Variación de la absorción del H₂O por la madera Capirona.

La línea azul es madera natural, la línea roja con Metacrilato y la línea verde con Resina Poliéster MO.

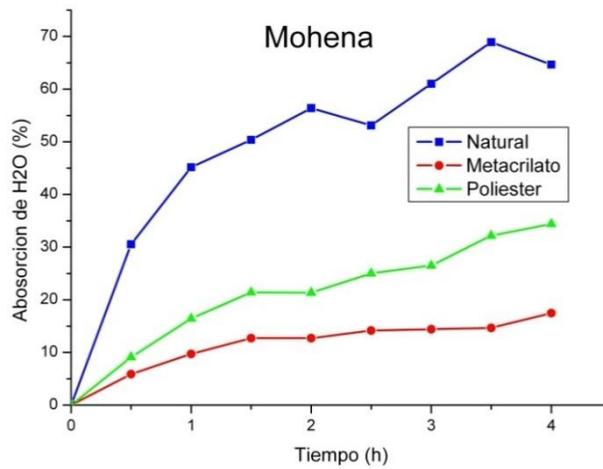


Figura 4.8 Variación de la absorción del H₂O por la madera Mohena.

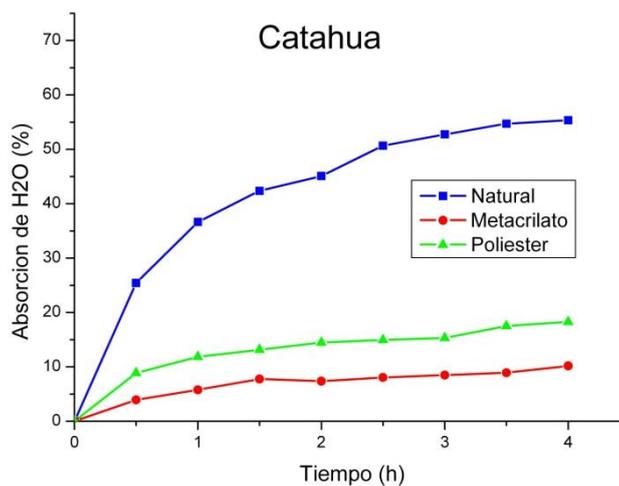


Figura 4.9 Absorción del H₂O por la madera Catahua..

En las Figuras 4.7, 4.8 y 4.9 se observa el efecto del polímero impregnado en la madera con respecto a las muestras sin impregnar, se aprecia que la polimerización disminuye la absorción relativa de agua, en 60% para el metacrilato y en 50 % para la Resina Poliéster MO aproximadamente, ambos irradiados con 20 kGy.

4.4 Ensayo de Dureza

En este análisis se mide la dureza de las maderas en forma natural (sin impregnación), luego irradiándolos a 20 kGy y finalmente impregnándolos con los polímeros y polimerizados con radiación gamma, estas mediciones se hicieron aplicando el Método Janka, que viene a ser una variante del Método de dureza Brinell.

Las medidas geométricas de las muestras para este ensayo fueron de 50x50x150 mm³, las mediciones fueron practicadas en forma transversal, radial y tangencial, cuyos resultados se muestran en la tabla 2. Los valores observados muestran una clara tendencia a la disminución de la dureza transversal, radial y tangencial debido al efecto de la radiación gamma en la madera sin modificaciones (no impregnadas), tal como se esperaba se acuerdo a la referencia consultada [30]. Cuando las maderas han sido impregnadas y polimerizadas mediante la radiación gamma no se ve una tendencia específica general, en el caso de la Catahua, se ve que el mejor resultado se obtiene con el metacrilato en la dirección transversal, en la Mohena la dureza en la dirección transversal es baja para el metacrilato mientras que usando la Resina Poliéster MO la mayor dureza se obtiene en la dirección transversal.

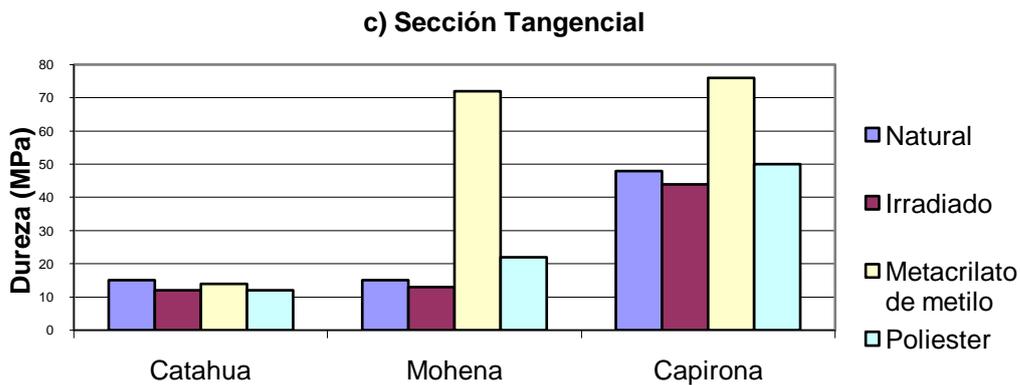
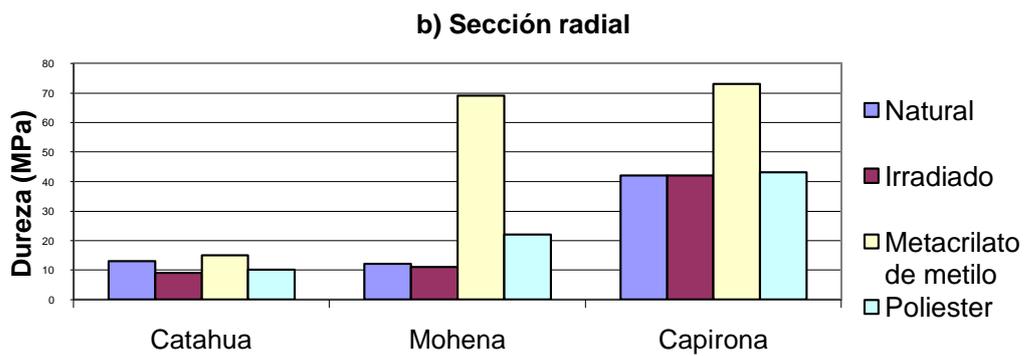
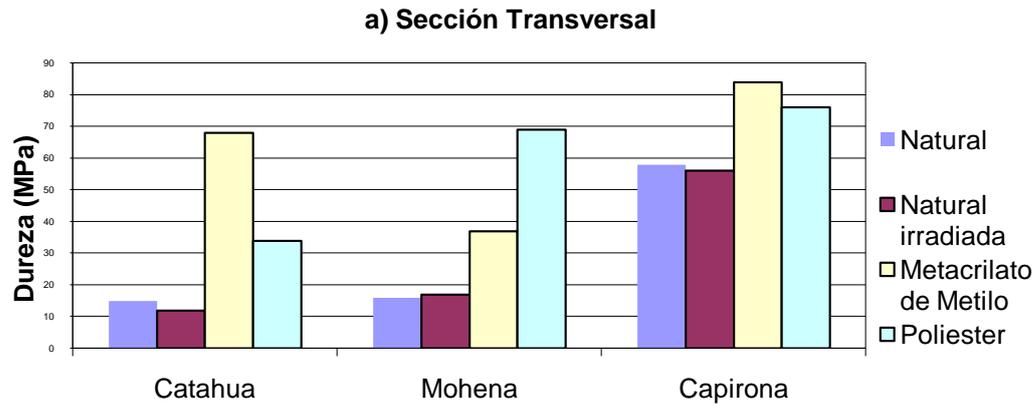


Figura 4.10 Mediciones de Dureza en diferentes condiciones y en las direcciones a) transversal, b) radial y c) tangencial

4.5 Preparación de las maderas ensayadas para su observación al microscopio óptico.

Obtención de las imágenes de las secciones de las maderas Catahua, Mohena y Capirona.

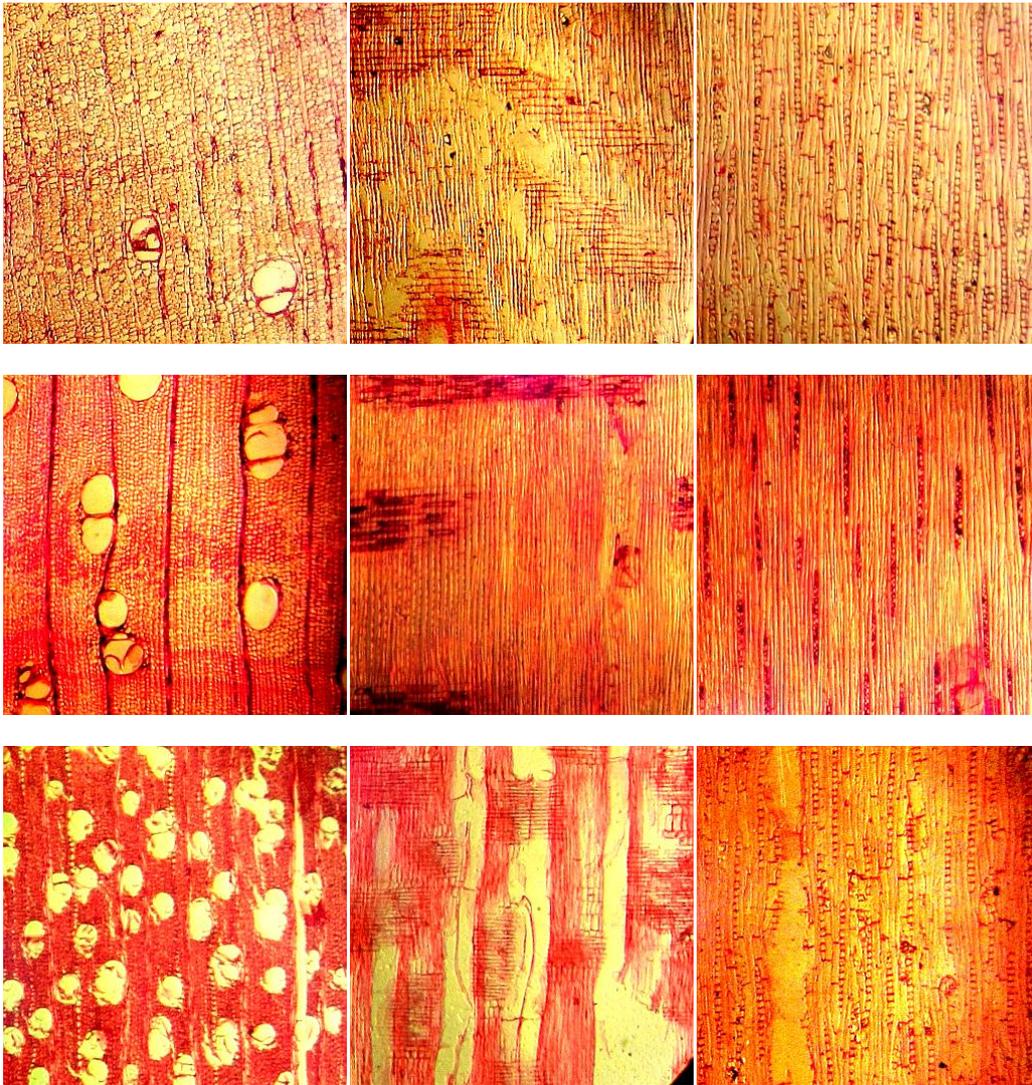


Figura 4.11 Vistas de las secciones de las maderas. La primera fila (arriba) corresponde a la Catahua, la segunda fila a la Mohena y la tercera fila corresponde a la Capirona. Asimismo observando por columnas, se determina que la primera columna (lado izquierdo) corresponde a las secciones transversales de dichas maderas, la columna central corresponde a las secciones radiales y la última columna corresponde a las secciones tangenciales.

Se observa en la figura 4.11, que el mayor número de poros de las maderas se encuentra en las secciones transversales, además se han realizado cortes en las maderas con polímeros, encontrándose huellas de polímero solidificado cercano a las caras de las secciones transversales teniendo una capa aproximado de este polímero un espesor aproximado de 4 mm, mientras en las otras caras no se aprecia la presencia del polímero salvo la Catahua una capa que no sobrepasa el 1 mm. Estas

huellas se puede observar claramente empleando el metacrilato de metilo, pero con la Resina Poliéster MO solo se aprecia esta capa las que ingresaron por las secciones transversales. Para esto se hizo un estudio sobre el tamaño de los poros de estos tres tipos de maderas, y que nos servirá para determinar el grado de absorción del polímero en cada madera.

Tabla 4.1 Medida de los diámetros de los poros de las maderas Catahua, Mohena y Capirona

MADERA		um	N° POROS	COMPARACION AREAS (%)
Catahua	\varnothing_{Mtr}	215	2	52
	\varnothing_{mtr}	44	98	
	\varnothing_{mtg}	35	295	
Mohena	\varnothing_{Mtr}	154	10	33
	\varnothing_{mtr}	29	90	
	\varnothing_{mtg}	24	170	
Capirona	\varnothing_{Mtr}	126	28	68
	\varnothing_{mtr}	23	72	
	\varnothing_{mtg}	33	340	

$$Area_{totalporos}(\%) = \frac{\sum A_{poros}}{\sum A_{seccion}} * 100\%$$

Según la clasificación de texturas [11] se considera como textura fina en esta clasificación se ubica la madera Mohena y Capirona. Mientras a la madera Catahua corresponde a la madera de textura gruesa.

4.6 Ensayo para determinación de la resina poliéster (MO) en la madera.

Se ha determinado la presencia de la resina poliéster utilizando tintes como es la safranina y el polarizador con los siguientes resultados:

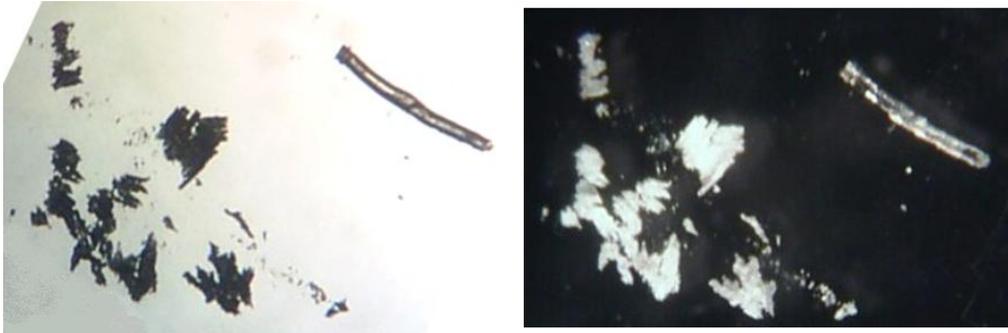


Figura N°4.12 Análisis de la actividad óptica de la resina, izquierda polarizadores paralelos, derecha polarizadores cruzados

Según la Figura 4.12 en el lado izquierdo: Partículas de Resina Poliéster MO (flecha color azul, pequeñas virutas) y de la madera (flecha color rojo, forma alargada). En el lado derecho se usó un polarizador sobre la misma muestras de resinas, en donde se observó la resina poliéster brilla más respecto a la resina de la madera.

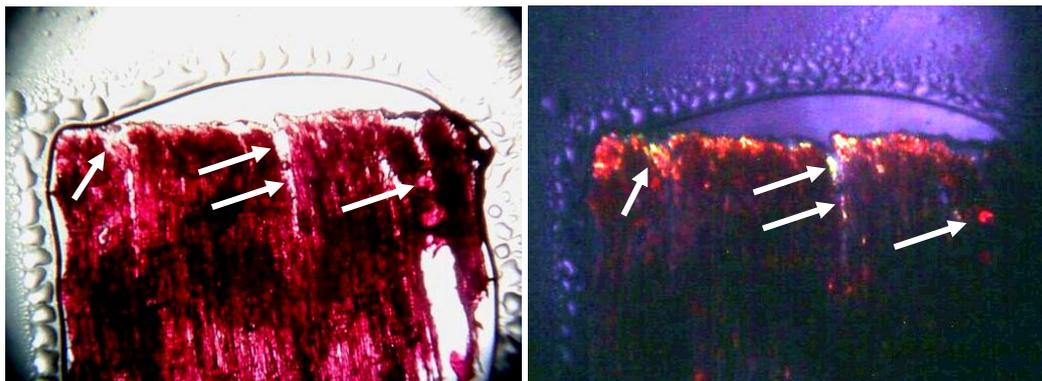


Figura 4.13 Análisis de la actividad óptica de la Catahua con la Resina Poliéster MO.

En la Figura 4.13, el lado izquierdo se muestran el corte longitudinal de la madera con una solución de Safranina. Y en el lado derecho se colocó el polarizador y se observó que la parte que más brilla es porción de la resina poliéster polimerizado en bordes de la muestra y en algunas cavidades se observa la resina natural de la madera.

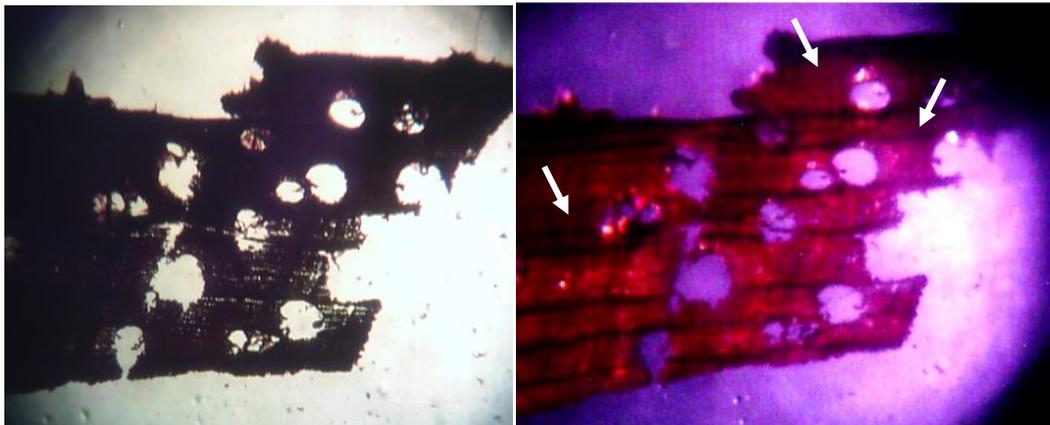


Figura 4.14 Análisis de la actividad óptica de la Mohena con Resina Poliéster MO.

En la figura 4.14 en el lado izquierdo, la madera Mohena a la luz normal, en el lado derecho se logra identificar presencia de la Resina Poliéster MO por ser más brillantes.

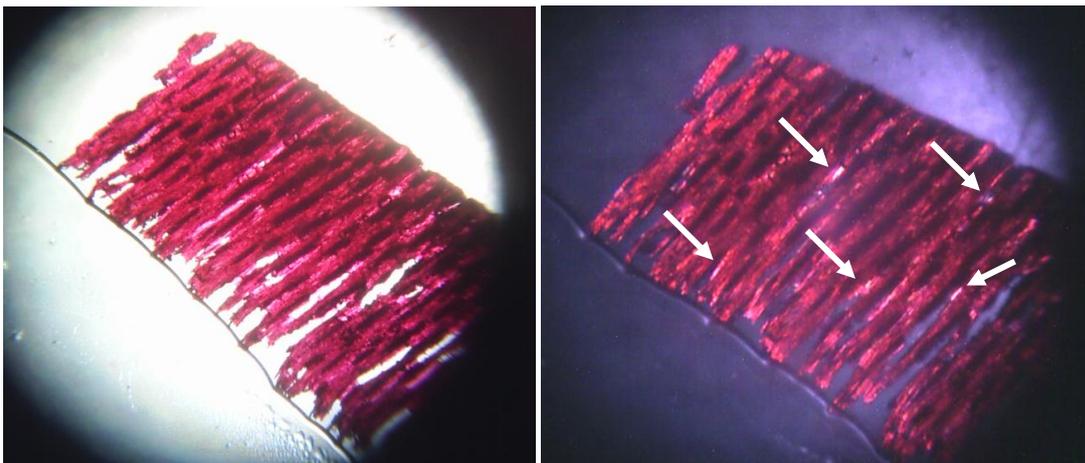


Figura 4.15 Ensayo con la madera Capirona

En la figura 4.15, de manera similar en el lado izquierdo se tiene la madera con la natural y en el lado derecho la misma muestras pero aplicando Safranina y el polarizador se identifica la presencia de la resina poliéster según las flechas de color azul.

4.7 Ensayos de Durabilidad de la Madera (Biodegradación)

4.7.1 Evaluación de la pérdida de peso

En la tabla 4.2 se registra los pesos iniciales de las muestras de madera, el tamaño de las muestras es de 1x1x4 cm, posteriormente sea fácil el acceso a los tubos de ensayo con los hongos *Polyporus sanguineus*.

Tabla 4.2 Peso inicial de las muestras antes de ser sometido al contacto con los hongos.

Madera	Peso inicial (g)
Catahua natural	3,00
Catahua con polímero	3,20
Mohena natural	3,50
Mohena con polímero	3,70
Capirona natural	4,1
Capirona con polímero	4,8

En la Figura 4.16 indica la variación de los pesos (%) de las muestras después de haber estado sometida al ataque de los hongos.

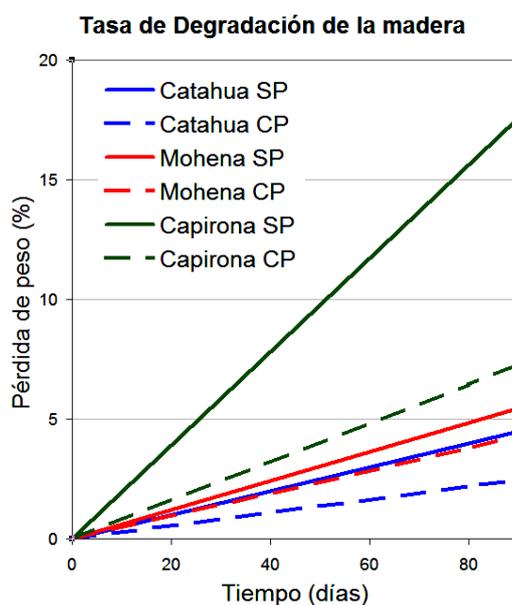


Figura 4.16 Tasa de degradación de las maderas.

Como se observa la disminución del peso debido a la degradación de la madera sin polímero y con polímero en el transcurso del tiempo. La tendencia de la tasa de degradación es lineal en algunos casos hasta 120 días, a partir de los cuales, comienza a estabilizarse el peso de la madera, debido a que los hongos no encuentran más nutrientes [41,42]. Se observan diferentes pendientes entre las probetas de estudio; por ejemplo, la Catahua sin polímero tiene una variación de peso alrededor del 4% clasificándolo como una madera Resistente, y la Catahua con polímero se degrada sólo en un 2.19%, manteniéndose en la clasificación inicial, según el criterio Findlay.

Analizando el comportamiento de la Mohena, se observa que no hay una diferencia significativa entre la madera sin polímero y con polímero. Esto se debe a que la madera tiene como característica una baja absorción del polímero, demostrado en experimentos realizados anteriormente [36]. Por lo tanto el polímero impregnado en la Mohena ligeramente incrementa su nivel en la clasificación de durabilidad, en la escala de madera Moderadamente Resistente a Resistente.

Con respecto a la madera Capirona, según la figura 4.16, se observa que hay diferencia entre la madera tratada con polímero y la no tratada. Esta madera tiene la característica de presentar una densidad más alta con respecto a las dos maderas mencionadas anteriormente. Pero la presencia de los hongos ha provocado una rápida proliferación llegando a cubrirla completamente. Esta madera no aparenta daño en su superficie como sí se observa en la Catahua, sin embargo muestra una pérdida de peso considerable. En cambio en la Capirona con polímero se tiene una tasa de degradación menor. Mejorando su clasificación de madera No Resistente a madera Resistente.

4.7.2 Imágenes de las muestras ensayadas con el Hongo *Polyporus sanguineus*

En la Madera Catahua sin polímero, se puede observar el deterioro de la superficie de la madera por el ataque del hongo *Polyporus sanguineus* (Figura 4.17). Esta es la madera que más ha variado la estructura en su superficie. El hongo *Polyporus sanguineus* se adhiere a esta superficie; al momento de retirar este hongo, esta se desprende arrastrando una capa delgada de la madera, el peso modificado esta en el orden del 4 %. Pero la velocidad de proliferación es muy diferente a las otras maderas, al cabo de 80 días sólo han cubierto aproximadamente el 75 %.



Figura 4.17 Catahua sin polímero afectada por los hongos.



Figura 4.18 Catahua: se observa la adherencia del hongo *Polyporus sanguineus*.

En la figura 4.18, se tiene una ampliación de la zona donde se adhiere el hongo con su color característico de anaranjado. En la figura 4.19 se observa la capa uniforme que hace el hongo *Polyporus sanguineus* sobre la superficie de la madera adherida por las hifas. (fibrillas blancas).

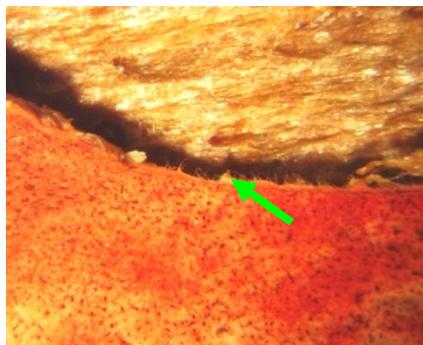


Figura 4.19 Desprendimiento del hongo de la Catahua, obsérvese las hifas.

En la madera Catahua tratada con polímero una vez retirada el hongo, en forma aparente no se observa algún deterioro sobre la superficie (Figura 4.20). Pero la parte que se encontraba en contacto con el Agar presenta una coloración adquirida esta sustancia. (Figura 4.21)



Figura 4.20 Luego del ataque con hongos, se observa la madera Catahua, que la superficie está casi intacta, pero con una ligera coloración.



Figura 4.21 Superficie que se encontraba apoyado sobre el Agar. Hacia al lado derecho se observa mayor coloración.

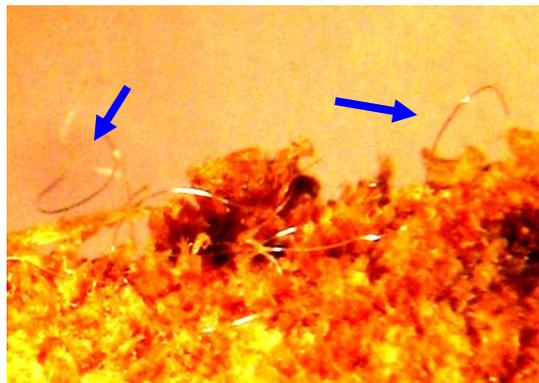


Figura 4.22 Formación de hifas, en esta muestra se formó en menor proporción que la madera Catahuasin polímero.

Los hongos al desarrollar sus hifas (ver Figura 4.22) y formar el micelio, penetran en la madera y casi siempre permanecen ocultos en ella, aunque algunas especies, en cierta época de su vida, se ven en la necesidad de hacerse visibles para fructificar. En consecuencia, la pudrición no es fácil de reconocer en sus etapas incipientes y sólo es posible detectarla por cambios de color en la madera o por manifestaciones miceliares de los cuerpos fructíferos cuando la pudrición ya se ha generalizado [35].

Respecto a la madera Mohena sin polímero, esta tiene casi el mismo comportamiento en relación con la madera sin polímero, no se aprecia cambios en la superficie por la presencia del hongo como se aprecia en la Figura 4.23.



Figura 4.23 En la madera Mohena, no se observa deterioro superficial, al lado derecho se observa un cambio en el color.

En la figura 4.24, se observa dos zonas con diferente coloración debido al desplazamiento de la sustancia líquida del Agar a través de los poros de dicha madera. La presencia de la sustancia del Agar es prácticamente la cuarta parte de la longitud de la muestra.



Figura 4.24 Cambio de coloración de la Mohena debido a la absorción del líquido del Agar, se aprecia el desplazamiento del cambio de color.

En la figura 4.25, la madera Mohena con polímero, después de estar sometida a la presencia del hongo, no se observa un deterioro apreciable.



Figura 4.25 Mohena con polímero luego del ataque con hongos.

En la madera Capirona con polímero se han observado la rápida proliferación de los hongos, prácticamente al mes del ensayo, se encontraba totalmente cubierta. En la figura 4.26 se observa el avance en la coloración de la madera desde la parte inferior izquierdo (parte apoyada en el Agar) hacia la parte superior de la madera.



Figura 4.26 Capirona sin polímero luego del ataque con hongos.

Y respecto a la madera Capirona con tratamiento se ha observado la rápida proliferación de los hongos, prácticamente al mes del ensayo se encontraba totalmente cubierta. En la figura 4.27 se observa el avance en la coloración de la

madera desde la parte inferior izquierdo (parte apoyada en el Agar) hacia la parte superior de la madera, a simple inspección se observa que el hongo no ha producido gran cambio en la estructura superficial pero si una coloración marrón oscura que avanza de izquierda a derecha.



Figura 4.27 Capirona con polímero luego del ataque con hongos.

CAPITULO 5

Discusión

- Se realizaron ensayos de absorción (Figura 5.1) de Resina Poliéster MO de viscosidad promedio de 224 cP. La viscosidad varía según la proporción del estireno en la Resina Poliéster, reduciendo su valor con la adición de estireno.
- Con respecto al uso del metacrilato de metilo, se observa que tiene mayor absorción en la madera Catahua, en este caso la viscosidad del metacrilato de metilo es 1 cP aproximadamente.

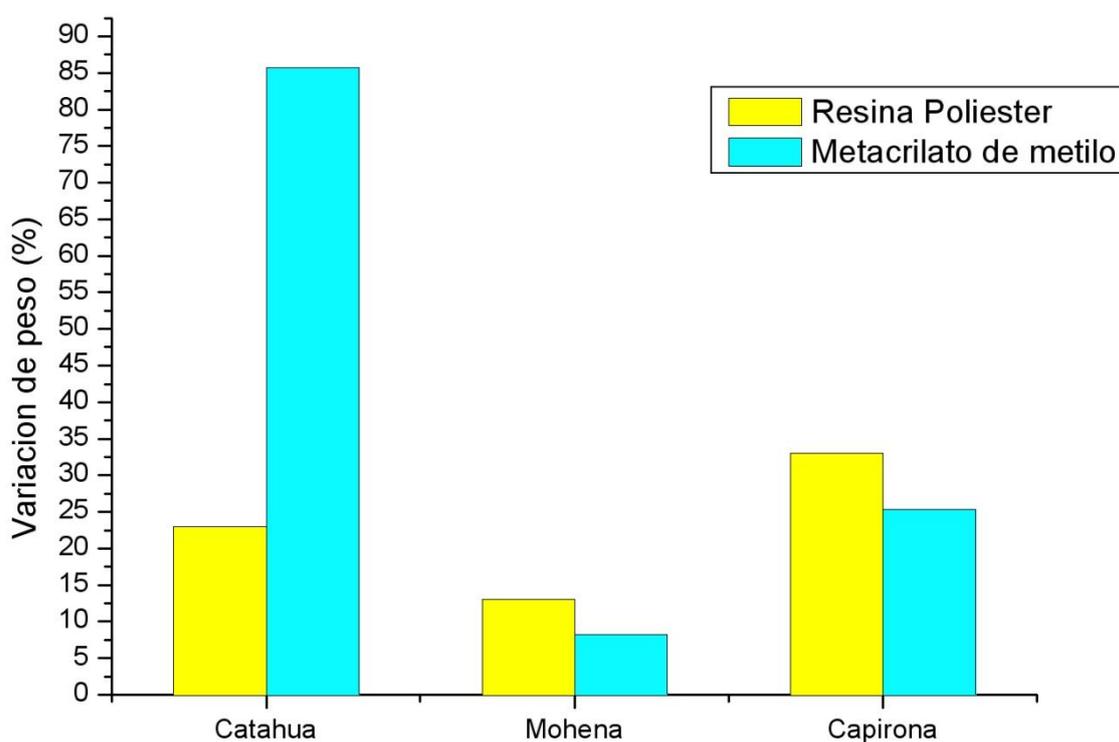


Figura 5.1 Absorción de polímero.

Es necesario resaltar que el estireno no polimeriza con la radiación gamma a 20 kGy, en cambio la mezcla resina poliéster y estireno, si lo hace. Sin embargo en el límite, un exceso de poliéster en la mezcla, eleva la viscosidad y hace inviable su absorción en la madera.

Estos datos representados en la figura 5.1 se hicieron con tiempos de una hora de vacío y una hora de absorción del polímero.

En las maderas tratadas con estos polímeros se obtiene un incremento en su dureza como se observa en la figura 5.2

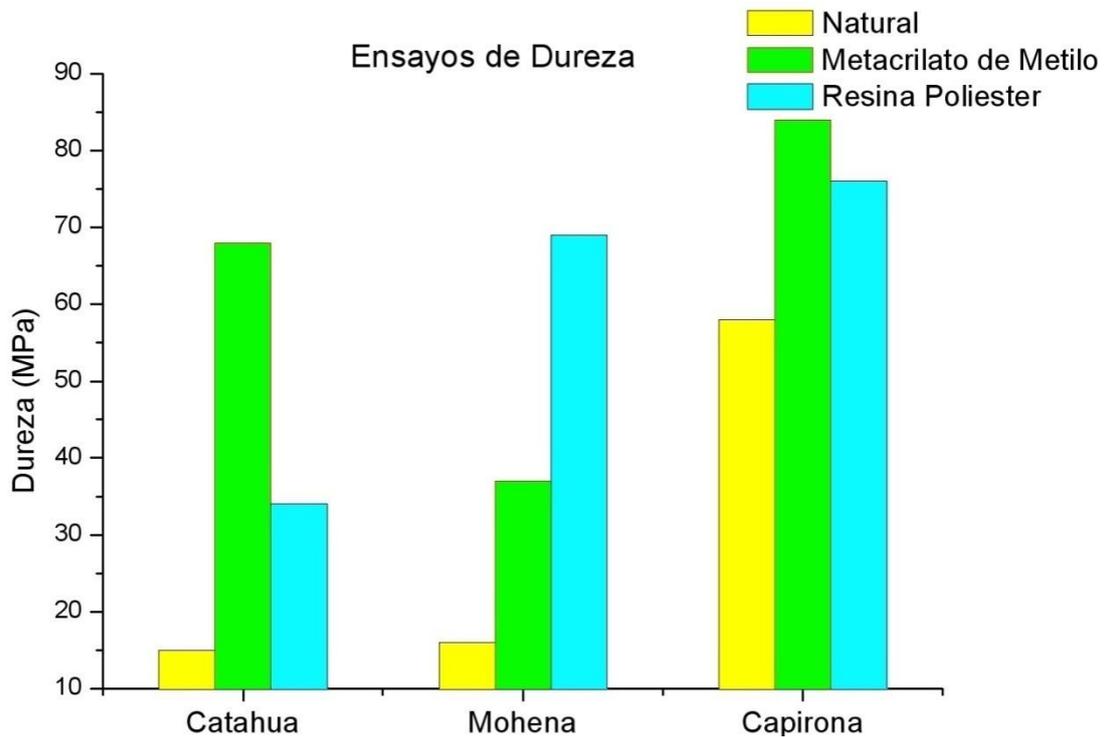


Figura 5.2 La dureza en función del tipo de madera y de polímero.

- La madera Catahua incrementa su dureza, desde aproximadamente 53 MPa al ser tratado con metacrilato de metilo y al ser tratado con la Resina Poliéster MO en 19 MPa. En este caso se establece una relación con el peso del polímero impregnado en la madera según la figura 5.1 Efecto que se observa con claridad en la Catahua en donde la absorción del metacrilato de metilo es mucho mayor que la del poliéster; dando un incremento en la dureza en los mismos términos (Para el caso de la Mohena y la Capirona, la absorción del metacrilato es ligeramente menor que la del poliéster, sin embargo su dureza es mayor).

- La mejora de propiedad impermeable a las maderas tratadas se observa en el ensayo de la disminución de absorción de agua (Figura 5.3). En donde las maderas tratadas con polímeros, en todos los casos reduce la absorción de agua hasta en un 80% en el mejor de los casos.

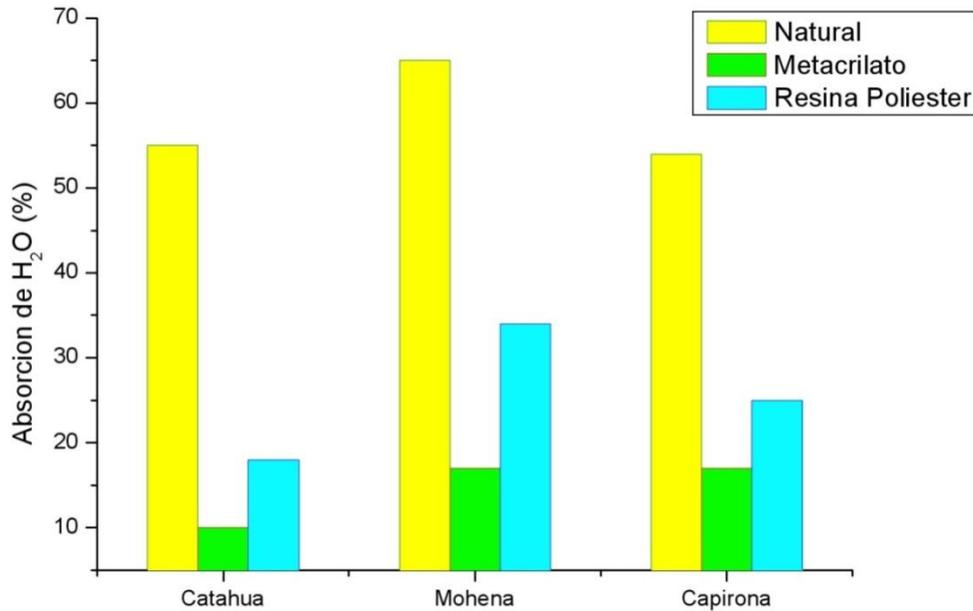


Figura 5.3 Absorción de agua en función del tratamiento.

- En los ensayos durabilidad (Figura 5.4) en el efecto de la impregnación de polímeros dio resultados positivos. La Catahua siendo una madera de baja resistencia al ataque de los agentes microbiológicos (hongos pudridores de madera) mejora considerablemente. En la Mohena no se observa cambios considerables porque resultó ser altamente resistente al ataque del hongo *Polyphorussanguineus*, con y en la Capirona se observa una elevación de su durabilidad mucho mayor que en los casos anteriores.

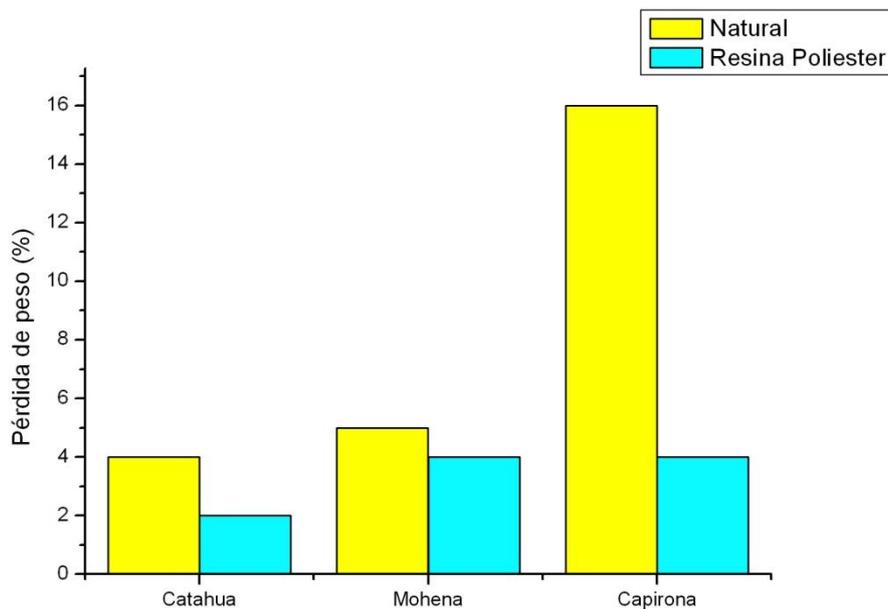


Figura 5.4 Biodegradación en función del tipo de madera y tratamiento.

- La presencia del polímero en la madera influye positivamente en la dureza, disminuyendo la absorción de agua y la biodegradación. La cantidad de polímero absorbida sin embargo, está relacionada con la densidad (Figura 5.5) y la cantidad y tamaño conductos (poros) presentes en las maderas (tabla 4.1).

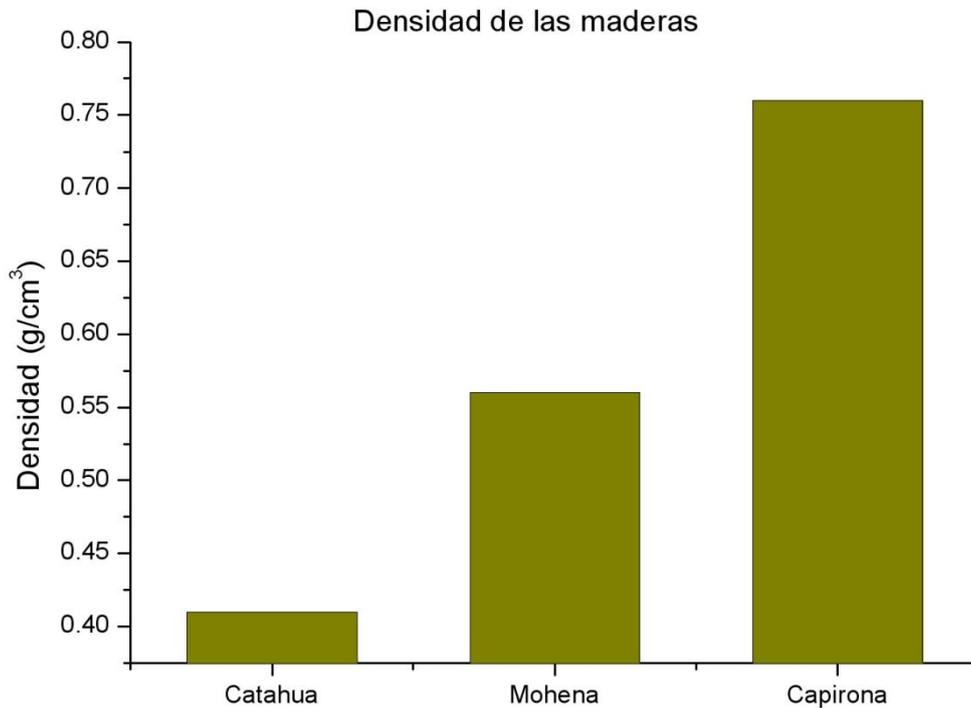


Figura 5.5 Densidad de las maderas ensayadas.

- De las tres maderas estudiadas, la Catahua tiene una menor densidad y un porcentaje de poros que dan un área libre del 52% que permite una mayor absorción de metacrilato respecto a la Resina Poliéster MO, además de la fijación adecuada de estos polímeros en la madera. La Capirona, a su vez presenta un porcentaje de poros (de mayor diámetro promedio: 126 μm en la sección transversal) que dan un área libre del 68% y una densidad alta densidad (0.75 g/cm³), esto explica la elevada dureza del sistema compuesto madera – resina poliéster. Finalmente la Mohena que presenta un porcentaje de poros (diámetro promedio: 154 μm en la sección transversal) que da un área libre del 33% y sumado a una densidad intermedia de 0.75 g/cm³, presenta la menor dureza del grupo de maderas estudiado.

CAPITULO 6

Conclusiones

- La presente investigación ha permitido fabricar y caracterizar maderas con polímeros de modo que su dureza se incremente, mientras que su absorción al agua y biodegradabilidad se reduzcan de manera importante. Se han fabricado y caracterizado maderas plastificadas, utilizando el metacrilato de metilo y Resina Poliéster MO asistido con radiación gamma, siendo 20 kGy la radiación más optima. Este, es un resultado relevante pues es energéticamente más eficiente, que usando procesos térmicos [28], los cuales se llevan a cabo a un equivalente de 300 KGy, o mediante electrones que tienen menor poder de penetración que los rayos gamma [5].
- En los tres materiales compuestos obtenidos en base a las maderas, Catahua Mohena y Capirona. Se han obtenido una dureza que es proporcional a la cantidad de polímero absorbido (área libre) y a la densidad de la madera.
- La utilidad del presente trabajo radica en haber logrado incrementar sustancialmente propiedades físicas importantes para las maderas nativas de poca acogida, mejorando su estabilidad geométrica en el tiempo mediante el secado forzado y la impregnación y polimerización de un agente endurecedor que mejora no solo el acabado si no también la dureza, dando con ello un significativo valor agregado a un producto de baja cotización. Se tiene una evaluación económica-financiera, con unos indicadores positivos sobre la aplicación comercial de estos nuevos compuestos. (ver Anexo B)
- Entre las posibles aplicaciones se podría mencionar por ejemplo, la restauración y preservación de obras de arte en madera, el endurecimiento de maderas para uso estructural o la preservación de maderas usadas bajo fuertes condiciones atmosféricas y de humedad

BIBLIOGRAFIA

- [1] J.A. Meyer. Industrial use of wood-polymer materials: state of the art. *Forest Products Journal*, 1982, 32(1), 24-29.
- [2] D. Ortigosa, F. Rocco, Wood-Polymer Composite: Physical and Mechanical Properties of Some Wood Species Impregnated with Styrene and Methyl Methacrylate, *Materials Research*, 2004, No. 4. *Materials Research*, Vol. 7, No. 4, 611-617
- [3] A. Uyttenhove, B. Tilquin, Wood Xylowall: New process to reduce water exchange by an intra-graft of polymer, *Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Res. B*, 2005, 36, 137–140.
- [4] M. Guiomar Carneiro, E. de B. Feraz, M. Tomazello, Obtenção de composto madeira-plástico polimerização de metacrilato de metila em madeira de *Pinus strobus* var. *Chiapensis* através de radiação gama, *Revista IPEF* (actualmente *Scientia Forestalis*), 1984, 28, 41-44.
- [5] T. Czevikovsky. Wood-Plastic Combination by Monomer Impregnation and Radiation Polymerization, *Atomic Energy Review v*, 19686, 3-99.
- [6] D. Clegg, A. Collyer, Irradiation effects on polymers, *Elsevier Science Publishers LTD*. New York, 1991.
- [7] J.A. de Saja, M. A. Rodríguez Pérez, M. L. Rodríguez Méndez. Materiales. Estructura propiedades y aplicaciones. Editorial Thomson. pag. 298-400. España. 2005
- [8] M. F. Ashby. D.R.H. Jones. Materiales para ingeniería 2. Introducción a la microestructura, el procesamiento y el diseño. Editorial Reverté. . Pág. 342-343. España 2009
- [9] J. Rencoret Pazo. Estudio de lignina y lípidos en madera de eucalipto: Caracterización química en distintas especies y su evolución durante la fabricación y blanqueo químico y enzimático de la pasta de papel. Tesis pag. 190. Universidad de Sevilla. 17 de Septiembre de 2008. España.
- [10] L. García. La madera y su anatomía: anomalías y defectos, estructura microscópica de coníferas y frondosas, identificación de maderas, descripción de especies y pared celular. Mundi-Prensa Libros, 2004 España. 327 páginas.
- [11] Instituto Nacional de investigación Agraria. Manual de identificación de especies forestales de la sub región andina. Universidad Nacional Agraria La Molina. 1996
- [12] www.econegociosagricolas.com/enf/article.php?q=5&id=503&idSeccion=5&idNota=56
- [13] E. Toledo, C. Rincón. Utilización industrial de nuevas especies forestales en el Perú. Editado por Cámara Nacional Forestal. 2º Edición. Págs. 240 Octubre 1999. Perú.
- [14] E. A. Bobadilla. Durabilidad Natural de la madera de cinco especies aptas para la industria de la construcción. [Tesis de Maestría]. Misiones, Argentina: Universidad Nacional de Misiones; 2004.

- [15] J. Gago, A. López, M. Acevedo, J. Rodríguez. Radiación gamma en el mejoramiento de las propiedades físicas de compuestos polímero-madera. En: Instituto Peruano de Energía Nuclear. Informe Científico Tecnológico 2005. p. 71-77. Lima: Perú; 2006.
- [16] <http://es.wikipedia.org/wiki/Radiaci%C3%B3n>
- [17] http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:EM_Spectrum_Properties_es.svg
- [18] J. R. Lamarsh. Introduction to Nuclear Engineering. Company.. Addison-Wesley Publishing Science and Engineering. pags. 626. 1975
- [19] R.B. Firestone, L.P. Ekström. LBNL Isotopes Project - LUNDS Universitet. WWW Table of Radioactive Isotopes. Version 2.1 – USA- SUECIA. 1999
<http://ie.lbl.gov/toi/nuclide.asp?iZA=270060>
- [20] R. O. Bolt, J. G. Carroll. Radiation Effects on Organic Materials. Editorial AcademicPress Inc. 1963. EEUU.
- [21] J. R. Campbell, R. Camaras R. Las Radiaciones II. El Manejo de las Radiaciones Nucleares. FONDO DE CULTURA ECONÓMICA. 1995. México.
- [22] <http://www.textoscientificos.com/polimeros/introduccion>
- [23] S. Raimond B. Charles E. Carraher. Introducción a la química de los polímeros. Editorial Reverté 2002. Pags. 712. España.
- [24]http://4633217891327381678-a-1802744773732722657-s-sites.googlegroups.com/site/mvegachem/Polmeros1.pdf?attachauth=ANoY7cp8xcmelSRRKThMaXfw-ShcvVXlhdWjcU9-8DcndZWARp4zixa6sO8Za5LzE2vVtibvj2nj4HkiXjPTdTJa6wY2cepQrrXpnlU1_7IPDmKePqrzIF9FbqhnA095bbMKyWrs80yZLEQ9AgfDHOHFqrO3cgshyG50tTBVCy_ep6gceFPIFEoPNbwglDz9yH90Blwch&attredirects=1
- [25] <http://www.jorplast.com.br/cbipep/cbip4ep.html>
- [26] J.F. Stevenson. Free radical polymerization models for simulating reactive processing. Polym. Eng. Sci., 26 (1986) 746
- [27] X. Ramis Juan. Estudio de la eficiencia de sistemas químicos de iniciación del curado de resinas poliéster insaturado. Tesis. Universidad Politecnica de Catalunya. 1993 Barcelona. España
- [28] www.empresario.com.co/diverquimicos/docs/resina823.pdf
- [29] www.isof.cnr.it/radpol/gammacell/gamma.html
- [30] A. Avilov, V. Deruyga, G. Popov, V. Rudychev, I. Zalyubovsky. Non-Waste and Resource-Saving Radiation Process of Polymer Modified Wood Production. Kharkiv State University, Kharkiv, Ukraine Proceedings of the 1999 Particle Accelerator Conference, New York, 1999
- [31] E. Silva, L. G. Dos Santos, V. Dos Santos, Obtención de madera plastificada mediante empleo de radiación gamma, *UFPE Recife – Brasil*.

- [32] D. Solpan, Guven O. Modification of some mechanical properties of cedar wood by radiation induced In-situ Copolymerization of Glycidyl ether with Acrylonitrile an Methacrylate. Hacettepe University. Department of Chemistry, 06532, Beytepe, Ankara, Turkey Abril 1999. Iranian Polymer journal / Volume 8 Number 2 (1999). Pages. 73-81
- [33] Zaki Ajjí. Preparation of polyester/gypsum/composite using gamma radiation, and its radiation stability. Polymer Technology Division, Department of Radiation Technology, Atomic Energy Commission of Syria, P.O. Box 6091, Damascus, Syria. August 2004. www.elsevier.com/locate/radphyschem. Radiation Physics and Chemistry 73 (2005) 183–187
- [34] ASTM, Standard Test Method for Water Absorption of Plastics. ASTM D 570 – 95.
- [35] http://es.wikipedia.org/wiki/Filtro_polarizador
- [36] M. Espinoza. Hongos macroscópicos de la clase Basidiomycetes en el centro de Investigación Allpahuayo Loreto Perú, 2003.. Disponible en http://www.iiap.org.pe/avances/pbio/informe_hongos.pdf
- [37] R. Gonzáles. Preservación de postes de eucalipto para líneas aéreas de conducción de energía. Revista Forestal del Perú. 1977; 7(1-2): 1-12.
- [38] M. Álvarez, M. E. PilleuxV. Pobrete Estudio exploratorio de las propiedades eléctricas de los nanocompósitos de cobre-PMMA, polimerizados mediante radiación gamma. Revista Nucleotécnica, No 36, Diciembre 2002, Comisión Chilena de Energía Nuclear. Santiago, Chile.
- [39] R. de Cássia Lazzarini Dutra, M. Faria Diniz.. Separação por Hidrolise e Sua Identificação Em Resinas Através de Espectroscopia no infravermelho con transformada de Fourier (FTIR). ARTIGO. Polímeros: Ciencia y Tecnología. Enero/Marzo 93 pág. 26-30.
- [40] M. Partini, R. Pantano. Determination of crystallinity of an aliphatic polyester by FTIR spectroscopy. Polymer Bulletin 59, 403–412 (2007). DOI 10.1007/s00289-007-0782-9
- [41] V. L. Papinutti, L. A. Diorio, F. Forchiassin. Degradación de madera de álamo por *Fomes sclerodermeus*: producción de enzimas ligninolíticas en aserrín de álamo y cedro. Revista Iberoamericana de Micología. 2003; 20(1): 16-20.
- [42] B. Diaza, P. Peri. Ajuste de técnica de ensayo de la durabilidad de madera de *populus nigra* en laboratorio. 1. Metodologías para el cálculo de la pérdida de peso. Publicación Técnica Forestal. N° 19, INTA, Santa Cruz, Argentina, 1999.

ANEXOS

Anexo A

REGLAMENTO DE SEGURIDAD RADIOLÓGICA (capítulo 1 y 2)

SEGURIDAD RADIOLÓGICA REGLAMENTO DE SEGURIDAD TÍTULO DISPOSICIONES GENERALES CAPÍTULO I DEL OBJETO, FINALIDAD Y ALCANCE

Artículo 1. El objeto del presente reglamento es establecer los requisitos fundamentales para la protección contra la exposición a las radiaciones ionizantes y para la seguridad de las fuentes de radiación que causan dicha exposición.

Artículo 2. La finalidad es garantizar la protección del personal del trabajador, público y del medio ambiente, contra los riesgos indebidos y originados por la exposición a radiaciones ionizantes.

Artículo 3. Su alcance comprende a todas las prácticas e intervenciones que determine la Autoridad Nacional y conforme se especifica en el reglamento.

Artículo 4. La disposición del presente reglamento son complementarias y no sustitutorias de otras regulaciones que se consideren aplicables a otros riesgos no radiológicos asociados a las prácticas y fuentes de radiación.

CAPÍTULO II DEFINICIONES

Artículo 5. Para los propósitos del presente reglamento, las siguientes definiciones tienen vigencia.

1.- Accidente. Todo suceso involuntario, incluido un error de operación, falla de equipo u otro contra tiempo, cuyas consecuencias reales y/o potenciales no pueden desconocerse desde el punto de vista de la protección y seguridad.

2.- Acción protectora. Intervención con el fin de limitar o reducir dosis a los miembros del público en situaciones de exposición crónica o de emergencia.

3.- Acción reparadora. Acción que se realiza cuando se rebasa un nivel de actuación específico para reducir las dosis de radiación que pudiera recibirse en una situación de intervención que implique exposición crónica.

4.- Actividad. Para una cantidad de un radio nucleido en un estado de energía, en un momento dado, la actividad, A, es:

$$A = \frac{dN}{dt}$$

Siendo dN el valor medio del número de transformaciones nucleares espontánea a partir de ese estado de energía, en el intervalo de tiempo dt . En el sistema Internacional, la unidad de actividad es la inversa de segundo, s^{-1} , que recibe el nombre especial de Becquerel (Bq).

5.- Área controlada. Toda zona en la que son o pudieran ser necesarias medidas de protección y disposición de seguridad específicas para controlar las exposiciones normales, y para prevenir las exposiciones potenciales o limitar su magnitud.

6.- Área supervisada. Toda zona que no está definida como zona controlada pero en la que se mantienen en examen en las condiciones de exposición ocupacional, aunque normalmente no sean necesarias medidas protectoras ni disposiciones de seguridad concretas.

7.- Autoridad Nacional. Autoridad designada por el gobierno para regular y fiscalizar en materia de protección en seguridad.

8.- Autorización. Permiso concedido por la Autoridad Nacional, en forma de registro o licencia, a una persona jurídica o natural para realizar una práctica o cualquier otra acción enumerada en el capítulo V del Título I.

9.- Calibración. Establecimiento de la correspondencia exacta entre los valores indicados por el equipo o instrumento y los valores medidos con un instrumento patrón.

10.- Contaminación. Presencia de sustancia radiactivas dentro de una materia o en su superficie, o en el cuerpo humano o en otro lugar donde no son deseables o pudieran ser nocivas.

11.-Contramida. Acción encaminada a atenuar las consecuencias de un accidente.

12.-Cultura de seguridad. Conjunto de características en las organizaciones y en los individuos que establece como primera prioridad la atención a las cuestiones de protección de seguridad, y desalienta la complacencia y/o el conformismo.

13.-Daño Radiológico y/o nuclear. Pérdidas de vidas humanas, lesión corporal, perjuicio material o del medio ambiente, que se produce como resultado de las propiedades peligrosas de las radiaciones ionizantes.

14.-Defensa de Profundidad. Aplicación de más de una medida protectora para conseguir un objetivo de seguridad determinado, de modo que este alcance aunque falle una de las medidas protectoras.

15.-Desechos Radiactivos. Son materias resultantes de prácticas o intervenciones, para los que no se prevé uso posterior, que contiene o está contaminado con radionucleidos en cantidades mayores a los niveles de exención y cuya exposición no puede excluirse del reglamento.

16.-Dispensa. Acción de liberar materias u objetos radiactivos adscritos a prácticas autorizadas, de la aplicación de todo control por parte de la Autoridad Nacional en lo sucesivo.

17.-Dosis. Medida de la radiación que recibe o absorbe un medio y que se utiliza indistintamente para expresar dosis absorbidas, dosis en órganos, dosis equivalente, dosis efectiva, dosis comprometida o dosis efectiva comprometida, cuando no es necesario indicar los términos modificantes para definir la cantidad de interés.

18.-Dosis absorbida. Magnitud fundamental, definida por expresión:

$$D = \frac{d\varepsilon}{dm}$$

En la que D es la dosis absorbida, d es la energía media impartida por la radiación ionizante a la materia en un elemento de volumen y dm es la masa de materia existente en ese elemento de volumen. La unidad de dosis absorbida es el joule por kilogramo (J/kg) y su nombre especial es el Gray (Gy).

19.-Dosis colectiva. Exposición de una población a la radiación total determinada como el producto del número de individuos expuestos a una fuente por sus dosis promedio de radiación.

20.-Dosis efectiva. Suma de las dosis equivalentes en tejido, multiplicada cada una por el factor de ponderación apropiado para el tejido correspondiente:

$$E = \sum_T W_T \cdot H_T$$

Donde H_T es la dosis equivalente en el tejido T y H_T es el factor de ponderación para el tejido T, según se especifica en la tabla VI.2.

La unidad de dosis efectiva es J/kg, denominada Sievert (Sv).

21.-Dosis efectiva colectiva. La dosis efectiva total a una población, definida por la expresión:

$$S = \sum_i E_i \cdot N_i$$

En la que es la dosis efectiva media en el subgrupo de la población i y N_i es el número de individuos del subgrupo.

$$E(\tau) = \sum_T W_T \cdot H_T(\tau)$$

22.-Dosis efectiva comprometida. Magnitud definida por:

Donde $H_{(T)}$ es la dosis equivalente comprometida del tejido **T** en un tiempo τ . Cuando τ no se especifica, su valor es 50 años para los adultos mayores a 18 años, y 75 años para los niños.

23.- Dosis equivalente. Dosis absorbida en un órgano o tejido multiplicada por el correspondiente factor de ponderación de la radiación W_R :

$$H_{T,R} = W_R \cdot D_{T,R}$$

Donde $D_{T,R}$ es la dosis absorbida media en el órgano o tejido **T** y W_R es el factor de ponderación de la radiación **R**, según se indica en la tabla VI.1. La unidad de dosis equivalente es J/Kg, denominada Sievert (Sv).

24.- Dosis equivalente ambiental $H^*(d)$. Es la dosis equivalente en un punto de campo de radiación que sería producida por el correspondiente campo alineado y expandido en la Esfera de la Comisión Internacional de Unidades y Medidas de Radiación a una profundidad **d** sobre el radio orientado en dirección opuesta a la del campo alineado. Para radiación muy penetrante se recomienda una profundidad **d** = 10mm.

25.- Dosis equivalente comprometida $H(\tau)$. Magnitud definida como:

$$H_T(\tau) = \int_{t_0}^{t_0+\tau} H_T(t) dt$$

Donde t_0 es el tiempo al cual ocurre la incorporación, $H_T(t)$ es la tasa de dosis equivalente al tiempo t en u órgano o tejido **T** y τ es el periodo de tiempo transcurrido luego de la incorporación. Cuando τ no se especifica, su valor es 50 años para los adultos mayores a 18 años, y 75 años para los niños.

26.- Dosis equivalente direccional $H^*(d, \Omega)$. Es la dosis equivalente en un punto de un campo de radiación que sería producida por el correspondiente campo expandido en la esfera de la Comisión Internacional de Unidades y Medidas de Radiación a una profundidad **d**, sobre el radio orientado en una dirección especificada, Ω . Para radiación poco penetrante se recomienda una profundidad **d** = 0.07mm.

27.- Dosis equivalente personal $H_p(d)$. Dosis equivalente en tejido blando, a una profundidad adecuada **d**, a partir de un punto especificado sobre el cuerpo humano. Para radiación muy penetrante la profundidad es de 10 mm y para la radiación poco penetrante es 0.07 mm.

28.- Dosis evitable. Dosis que ha de ahorrarse como consecuencia de una acción protectora y es determinada como la diferencia entre las dosis previstas si se realiza la acción y las dosis proyectadas si no se realiza.

29.- Dosis proyectada. Dosis que es de esperar si no se realiza ninguna acción protectora.

30.- Efecto determinístico. Efecto de la radiación para el que existe por lo general. Una dosis umbral por encima de la cual la severidad del efecto se incrementa al elevarse la dosis.

31.- Efecto estocástico. Efecto de la radiación, que se producen por lo general sin un nivel umbral de dosis, cuya probabilidades proporcional a la dosis y cuya severidad es independiente a la dosis.

32.- Esfera de la CIUMR. Esfera de material equivalente a tejido humano cuyo diámetro es 30 cm.

33.- Evaluación de seguridad. Examen de los aspectos de diseño y funcionamiento de una fuente que son relevantes para la protección de personas o la seguridad de la fuente, incluido el análisis de las medidas de seguridad y protección adoptadas en las fases de diseño y de funcionamiento de la fuente, y el análisis de los riesgos asociados con las condiciones normales y las situaciones accidentales.

34.- Exclusión. No sujeción a los requisitos prescritos por el reglamento.

35.- Exención. Acción de permitir la realización de alguna practica o utilizar fuentes escritas a prácticas sin la obligación de cumplir los requisitos prescritos por el reglamento, incluidos la notificación y autorización.

- 36.- Exposición. Exposición de personas a la radiación o a sustancias radiactivas, que puede ser externa, debida a las fuentes situadas fuera del cuerpo humano, o interna, causada por fuentes existentes dentro del cuerpo humano.
- 37.- Exposición crónica. Exposición persistente en el tiempo.
- 38.- Exposición de emergencia. Exposición causada como resultado de un accidente que exige acciones protectoras inmediatas.
- 39.- Exposición del público. Exposición recibida por miembros del público debida a fuentes y prácticas autorizadas y a las situaciones de intervención, pero excluidas la exposición ocupacional o la médica y la radiación natural del fondo normal en una localidad.
- 40.- Exposición médica. Exposición recibida por los pacientes en el curso de su diagnóstico o tratamiento médico o dental; o la recibida por personas que no estén expuestas profesionalmente, a sabiendas, mientras ayudan voluntariamente a procurar el alivio y bienestar a pacientes; y así mismo, la recibida por voluntarios en el curso de un programa de investigación biomédica que implique su exposición.
- 41.- Exposición ocupacional. Toda exposición de los trabajadores recibida durante el trabajo, con excepción de las exposiciones excluidas del ámbito del reglamento y de las exposiciones causadas por fuentes o prácticas exentas por el reglamento.
- 42.- Exposición potencial.- Exposición que no se prevé que ocurra con seguridad, pero que puede ser el resultado de un accidente ocurrido en una fuente o deberse a un suceso o una serie de sucesos de carácter probabilística.
- 43.- Exposiciones naturales. Exposiciones causadas por fuentes naturales.
- 44.- Exposiciones normales. Exposiciones que se prevé se recibirán en condiciones normales de funcionamiento de una instalación o fuente, incluso en el caso de pequeños contratiempos posibles que pueden mantenerse bajo control.
- 45.- Factor de ponderación de la radiación (W_R). Valor por el que se multiplica la dosis equivalente recibida por un órgano o tejido para tener en cuenta la diferente sensibilidad de los distintos órganos y tejidos en cuanto a la producción de efectos estocásticos de la radiación. Los factores usados en protección radiológica son los indicados en la tabla VI.1 del Anexo VI.
- 46.- Factor de ponderación del tejido (W_T). Valor por el que se multiplica la dosis equivalente recibida por órgano o tejido para tener en cuenta la diferente sensibilidad de los distintos órganos o tejidos en cuanto a la producción de los efectos estocásticos de la radiación. Los factores usados en protección radiológica son indicados en la tabla VI.2 del anexo VI
- 47.- Fuente. Entidad física que puede causar exposición a la radiación, concretamente emitiendo radiación ionizante o liberando sustancias o materias radiactivas. A los efectos de la aplicación del reglamento, se considera que una instalación compleja o múltiple situada en el mismo lugar o emplazamiento es una sola fuente.
- 48.- Fuente sellada. Material radiactivo que está a permanentemente encerrado en una capsula o estrechamente unido y en forma sólida. La capsula o el material de una fuente sellada son los suficientemente robustos para mantener la estanqueidad en las condiciones de uso y desgaste para las que la fuente se haya concebido, así como en el caso de contratiempos previsibles.
- 49.- Fuentes naturales. Fuentes de radiación existentes en la naturaleza, entre ellas la radiación cósmica y las fuentes de radiación terrestres existentes, sin que haya mediado la intervención humana para ello.
- 50.- Fuentes no selladas. Fuentes que no satisfacen la definición de fuente sellada
- 51.- Generadores de radiación. Dispositivos capaces de generar radiación tal como rayos X, neutrones, electrones u otras partículas cargadas, que puedan utilizarse con fines científicos, industriales o médicos.
- 52.- Grupo crítico. Grupo de miembros del público cuya exposición, para una fuente de radiación dada una vía de exposición dada, es razonablemente homogénea y es característica de los individuos que reciben la dosis efectiva o la dosis equivalente más alta.
- 53.- Haz primario útil. Radiación que pasa a través de la ventana, abertura, cilindro u otro dispositivo de colimación.
- 54.- Incorporación. Proceso de entrada de radionucleidos en el organismo humano por inhalación, por ingestión o a través de la piel.
- 55.- Inspección. Acción de verificar en el lugar de que se cumpla el reglamento, normas y disposiciones vigentes de seguridad y protección.

- 56.- Instalación. Construcción, ambiente planta o cualquier ubicación física donde se realizan actividades con una o más fuentes de radiaciones, según, lo establece el reglamento y normas específicas
- 57.- Intervención. Toda acción encaminada a reducir o evitar la exposición o probabilidad de exposición a fuentes que no formen parte de una práctica controlada o que se hallen sin control a consecuencia de un accidente.
- 58.- Laboratorio de calibración dosimétrica. Laboratorio reconocido o acreditado por la Autoridad Nacional para establecer, mantener o mejorar patrones primarios o secundarios con fines de dosimetría de radiación.
- 59.- Licencia. Autorización concebida por la Autoridad Nacional a una entidad, instalación o individuo en base a una evaluación de seguridad y complementada con requisitos y condiciones específicas que debe cumplir el titular licenciado.
- 60.- Límites anuales de dosis. Valores de la dosis efectiva o equivalente causada a los individuos por prácticas controladas, que no deben ser rebasadas en un año.
- 61.- Límite anual de incorporación. Incorporación de un radionucleido en un periodo de un año, que daría lugar a una dosis comprometida igual al límite de dosis relevante.
- 62.- Médico. Para fines de reglamento, es una persona que:
- ha sido acreditada como tal por el colegio Médico del Perú, tras cumplir las formalidades nacionales apropiadas;
 - satisface los requisitos nacionales de capacitación y experiencia para la prescripción de procedimientos que impliquen exposición médica; y
 - es un titular registrado o licenciado según lo determine el reglamento y normas específicas, o bien un trabajador designado por el titular del registro o licencia, con el fin de prescribir procedimientos que impliquen exposición médica.
- 63.- Miembro del público. Cualquier individuo de la población, excluidos los individuos expuestos por razones de ocupación o médicas.
- 64.- Nivel de Actuación. Tasa de dosis o concentración de actividad por encima de las cuales deben adoptarse acciones reparadoras o protectoras en situaciones de exposición crónica o de emergencia.
- 65.- Nivel de intervención. Nivel de dosis evitable al alcanzarse el cual se realiza una acción protectora o reparadora específica en una situación de exposición crónica o de emergencia.

LIMITES DE DOSIS

- Las dosis de los trabajadores expuesto ocupacionalmente deben limitarse de modo que no excedan:
 - 20 mSv de dosis efectiva en un año, como promedio, en un periodo de 5 años consecutivos.
 - 50 mSv de dosis efectiva en un año, siempre que no sobrepasa 100 mSv en 5 años consecutivos.
 - 150 mSv de dosis equivalente en un año, en el cristalino.
 - 500 mSv de dosis equivalente en un año, para la piel y extremidades.
- Para aprendices de 16 a 18 años en situación de capacitación para trabajar con radiaciones, y de estudiantes de 16 a 18 años que utilicen radiaciones en el curso de su formación, los límites de dosis son:
 - Una dosis efectiva de 6 mSv en un año.
 - Una dosis equivalente al cristalino de 50 mSv en un año.
 - Una dosis equivalente a las extremidades o piel de 150 mSv por año.
- La exposición al público como consecuencia de las prácticas no deben excederse de:
 - Una dosis efectiva de 1 mSv por año.
 - Una dosis equivalente en cristalino de 15 mSv por año.
 - Una dosis equivalente a la piel de 50 mSv por año.
- La exposición de personas que prestan asistencia voluntarias a pacientes, no como parte de un empleo u ocupación, debe restringirse de modo que sea improbable que su dosis exceda 5 mSv durante el período que abarca el examen diagnóstico o tratamiento del paciente.
- La dosis en niños que visiten pacientes que han incorporado sustancias radiactivas debe restringirse a menos de 1 mSv, durante el período de diagnóstico o tratamiento del paciente.
- Los límites de dosis especificados en el presente Anexo se aplican a la suma de las dosis por exposición externa a radiación penetrante y por incorporaciones en el mismo período.
- Las dosis combinadas deben limitarse por la relación:

$$\frac{H_p(d)}{DL} + \sum \frac{I_{j,ing}}{I_{j,ing,L}} + \sum_j \frac{I_{j,inh}}{I_{j,inh,L}} \leq 1$$

Siendo $H_p(d)$ la dosis equivalente causada por la radiación penetrante durante el año, DL el límite aplicable de dosis efectiva, $I_{j,inh,L}$ y $I_{j,ing,L}$ los Límites Anuales de Incorporación por inhalación o ingestión del radionuclido j , según lo establezca la Autoridad Nacional.

8.- En el caso del radón, las energías potenciales convertidas de los límites principales son 14 mJ h m^{-3} para 20 mSv y 35 mJ h m^{-3} para 50 mSv.

TABLA VI.1
FACTORES DE PONDERACION POR TIPO DE RADIACION Y ENERGIA

Tipo y energía de la radiación	Factor de ponderación,	W_R
Fotones de todas las energías		1
Electrones y muones de todas las energías		1
Neutrones de energía	< 10 keV	5
	10 keV a 100 keV	10
	> 100 keV a 2 MeV	20
	> 2 MeV a 20 MeV	10
	> 20 MeV	5
Protones (no de retroceso) de energía > 2 MeV		5
Partículas alfa, fragmentos de fisión, núcleos pesados		20

TABLA VI.2
FACTORES DE PONDERACION DE TEJIDOS Y/U ORGANOS

Tejido u órgano	Factor de ponderación,	W_T
Gónadas		0,20
Médula ósea		0,12
Colon		0,12
Pulmón		0,12
Estómago		0,12
Vejiga		0,05
Mama		0,05
Hígado		0,05
Esófago		0,05
Tiroides		0,05
Piel		0,01
Superficies óseas		0,01
Órganos y tejidos restantes		0,05

Anexo B

Evaluación Económica Financiera

1 Generalidades

Se presenta una proyección de la posibilidad de contar con un centro de irradiación para la obtención de nuevo producto madera-polímero desde el punto de vista económico financiera.

El presupuesto con que se debe desarrollar este proyecto, se debe señalar las fuentes de financiamiento, los costos que involucra diseñar y construir dicho centro de irradiación gamma. Y la planificación de la utilidad que se espera obtener, para cumplir los objetivos y fines de este centro que solo se enfoca el uso solo para el procesamiento de la madera.

1.1 Evaluación

Los beneficios netos económicos y financieros han sido determinados considerando:

- Los ingresos principales son la madera para pisos parquet, pero con valor agregado
- Los ingresos secundarios son los productos terminados de madera que tengan dimensiones cercanas a la de un parquet
- También puede ser útil en irradiar otros productos que no sean madera, por ejemplo: alimentos, productos o herramientas para medicina que necesite ser esterilizado, etc.
- Los egresos corresponden al costo de los insumos, de operación y mantenimiento del proyecto
- Los costos de inversión en el diseño y construcción de este centro se basa en valores referenciales, tomando aproximadamente la tendencia de la producción en el periodo 2001-2007. y el costo de dicho centro de irradiación en ese periodo.

1.2 Premisas de Evaluación

- El periodo de servicio abarca 18 años
- Se considera un valor remanente del sistema
- La tasa de descuento base utilizada es de 12%, haciéndose sensibilidad entre las tasas de 8 a 16 %
- Se ha tomado como tasa de impuesto a la Renta 30% sobre las utilidades

2 Evaluación del Aspecto Económico

La evaluación económica cuantificara y evaluara las bondades intrínsecas del Proyecto, es decir el flujo real de bienes y servicios absorbidos y generados por este sin tener en cuenta el financiamiento de la inversión

2.1 Inversión

La inversión requerida para el proyecto es de S/. 34,855,400.00 Nuevos Soles sin incluir IGV, para el año 2010 (ver Tabla 1). En la evaluación económica no se considera el IGV.

Tabla 1 Resumen

Descripción	Soles (S/.)
Centro de irradiación	32,704,200.00
Materiales e insumos	160,000.00
Personal asignado a ejecución	1,991,200.00
Total de costo sin impuestos	34,855,400.00
IGV	6,622,526.00
Total	41,477,926.00

La construcción de un centro de irradiación gamma, su valor es aproximadamente 7 millones de dólares U.S.

2.2 Costos de Operación y Mantenimiento

Está constituido por los sueldos, salarios, materiales, repuestos y servicios en la etapa operativa del proyecto. Se ha estimado el 2.5% del costo directo de inversión al año así como los costos directos de operación y mantenimiento.

2.3 Ingresos Anuales del Proyecto

Para calcular ingresos se ha estimado un porcentaje de la exportación de los productos maderables en madera tipo parquet y similares, según los datos obtenidos en las figuras 1 y 2. Y de esta estimación como se muestra en la Tabla 2 solo el 27% se está considerando a ser procesado con irradiación gamma la madera. Y esta manera demostrar la proyección para recuperar la inversión.

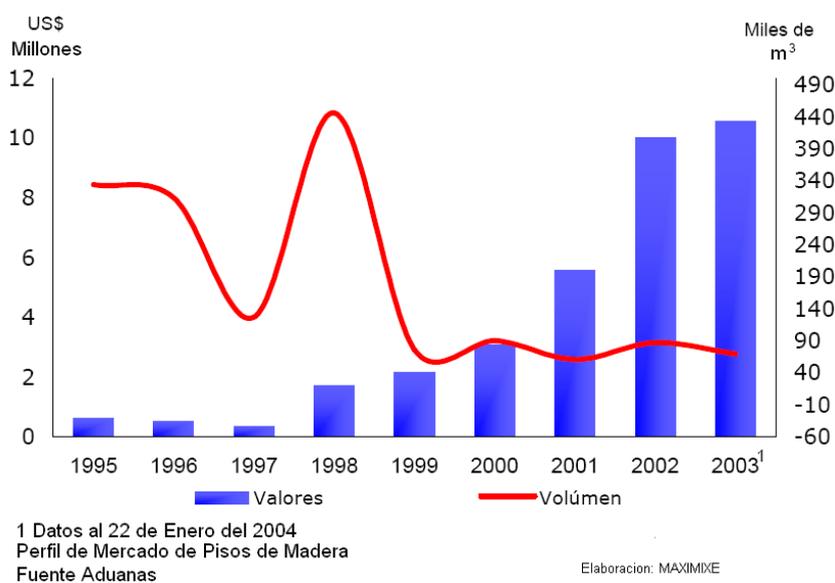


Figura 1 Exportaciones Nacionales de Tablillas, Frisas y Tableros para parquet. Fuente Aduanas, Elaborado por Maximixe.

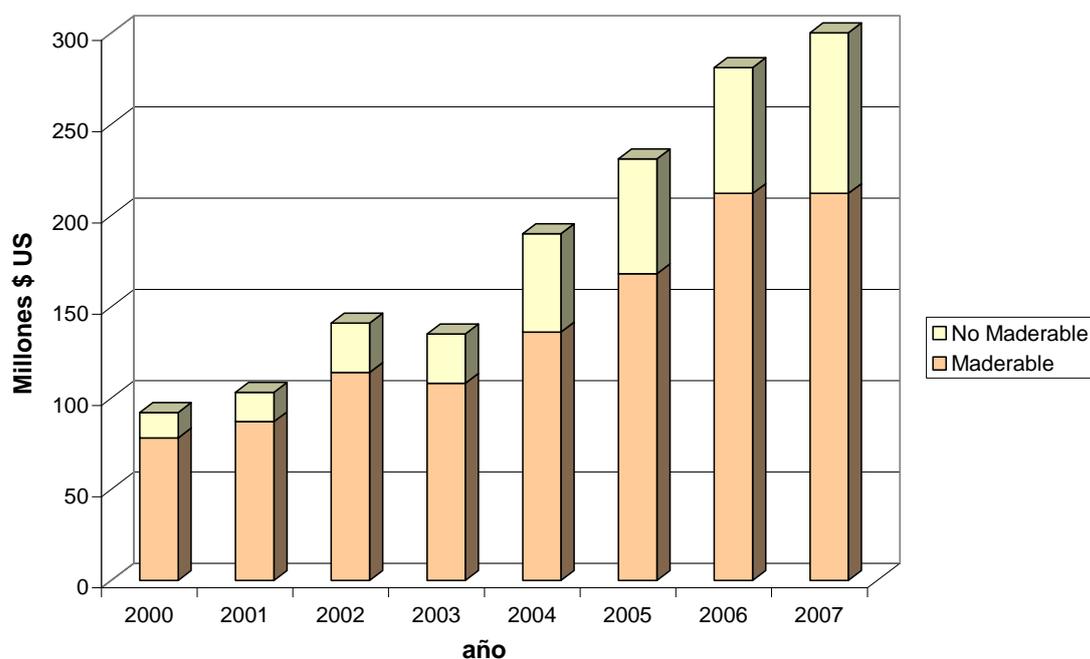


Figura 2 Exportación de productos Maderables y no maderables. Fuente: PROINVERSION Agencia de Promoción de la Inversión Privada

El cálculo de los ingresos del proyecto se muestra en la siguiente Tabla 2.

Tabla 2. Datos exportación de la madera

Año	Millones \$ US	Estimación (%)	Parquet (Millones \$ US)	Gamma 27% (Millones \$ US)	S/.
1	78	4	3.5	1.1	2740500
2	87	7	6.5	2.0	5089500
3	114	9	10.5	3.2	8221500
4	108	10	11	3.3	8613000
5	126	13	16.5	5.0	12922225
6	168	13	22.0	6.6	17229633
7	212	13	27.8	8.3	21742156
8	212	13	27.8	8.3	21742156

2.4 Evaluación Económica

Al partir del flujo económico que se muestra en la Tabla 2 se mostraran los siguientes indicadores económicos en la Tabla 3.

Tabla 3. Evaluación Económica (S/.)

año	Ingreso	Inversión	Gastos Generales	Total costo	flujo económico
1	0	34,855,400		34,855,400	-34,855,400
2	2,740,500	0	871,385	871,385	1,869,115
3	5,089,500	0	871,385	871,385	4,218,115
4	8,221,500	0	871,385	871,385	7,350,115
5	12,922,225	0	871,385	871,385	12,050,840
6	17,229,633	0	871,385	871,385	16,358,248
7	21,742,156	0	871,385	871,385	20,870,771
8	21,742,156	0	871,385	871,385	20,870,771

A.- Valor Actual Neto Económico

Es el valor presente que resulta de descontar al flujo neto económico al costo de oportunidad del capital propio de la empresa (12%)

$$\text{VAN E (S/.)} = 11,038,455.14$$

B.- Tasa Interna de Retorno Económica (TIR E)

Representa la tasa de rendimiento económica del proyecto y se obtiene descontando el saldo neto de caja versus los recursos propios a la inversión.

$$\text{TIR E} = 19\%$$

C.- Relación Beneficio – Costo Económica (B/C E)

Representa la relación entre los fondos económicos invertidos y generados. Se obtiene a partir del cociente del flujo de los ingresos y costos actualizados a la tasa de descuento (12%). Se observa que es mayor que la unidad por lo tanto es rentable

$$B/C E = 1.32$$

2.5 Análisis de Sensibilidad

A.- Tasa de Descuento

Se analizó la variación de la tasa de descuento, para los indicadores económicos VAN y B/C entre 8 y 15 %. Para todo el rango analizado el proyecto muestra indicadores económicos negativos (Ver Tabla 5.4).Se puede apreciar que hasta el 16% el análisis por beneficio vs. Costo se mantiene aceptable (<1).

Tabla 4 Análisis de Sensibilidad Tasa de Descuento

TD	VAN E (S/.)	B/C E
8%	20043768.86	1.58
9%	17537401.65	1.50
10%	15210157.92	1.44
11%	13048089.51	1.37
12%	11038455.14	1.32
13%	9169605.42	1.26
14%	7430879.86	1.21
15%	5812514.46	1.17
16%	4305558.67	1.12

B.- Tarifa

Se analizó la variación de la tarifa de compra y venta entre 0 y + 60 %, para los indicadores económicos VAN, TIR y B/C. (Ver Tabla 5). Cuanto más se aumente la tarifa el proyecto es más rentable.

Tabla 5 Análisis de Sensibilidad Tarifa

	VAN E (S/.)	TIR	B/C
0%	11038455.14	19%	1.32
5%	13323957.76	21%	1.38
10%	15609460.38	22%	1.45
15%	17894963.01	23%	1.51
20%	20180465.63	25%	1.58
25%	22465968.25	26%	1.64
30%	24751470.87	27%	1.71
35%	27036973.50	28%	1.78
40%	29322476.12	29%	1.84
45%	31607978.74	30%	1.91
50%	33893481.36	31%	1.97
55%	36178983.99	32%	2.04
60%	38464486.61	34%	2.10

C.- Inversión

Se analizó la variación de la inversión entre -30 y + 30%, para los indicadores económicos VAN TIR y B/C. (Ver Tabla 5.6)

Tabla 6. Análisis de Sensibilidad
variando el VAN, TIR, B/C VS Inversión

	VAN E (S/.)	TIR	B/C
-30%	20374723.00	29%	1.84
-20%	17262633.71	25%	1.62
-10%	14150544.42	22%	1.41
0%	11038455.14	19%	1.32
10%	7926365.85	17%	1.21
20%	4814276.57	15%	1.12
30%	1702187.28	13%	1.04

3 Evaluación Financiera

El Análisis Financiero evalúa, si es que el Proyecto resulta rentable en las condiciones financieras actuales.

3.1 Plan Financiero

El financiamiento del proyecto se ha previsto de una línea de crédito a través de una línea de crédito preferencial por el 75% de la inversión; los intereses durante la construcción no se capitalizan. En la Tabla 7 se muestran los montos de los recursos propios.

Tabla 7. Estructura de Inversiones (S/.)

Inversiones por fuentes de financiamiento		%
Total costo sin impuestos	34855400.00	
Capital de trabajo	1742770.00	
Total de inversión	36598170.00	
Préstamo	27448627.50	75%
Recursos Propios	6953652.30	19%
aporte de capital	2195890.20	6%
TOTAL DE INVERSIÓN	36598170	

Endeudamiento, se considera que se financia el 75 % del proyecto a las siguientes condiciones: Tasa de Interés anual: 3 %, Periodo de gracia: 1 año.

En la Tabla 8 se detalla el flujo de compromisos del préstamo, y el costo total del préstamo es de 3.4% anual.

Tabla 8. Flujo de Compromisos del Préstamo

AÑO	PRESTAMO	INT CONSTR	CUOTA	INT PAGO DIR	INT AMORT	SALDO	FLUJO PRES
0	27448628	411729				27448628	27036898
1			4,405,679	823,459	3582220	23866407	(4,405,679)
2			4,405,679	715,992	3689687	20176720	(4,405,679)
3			4,405,679	605,302	3800378	16376343	(4,405,679)
4			4,405,679	491,290	3914389	12461954	(4,405,679)
5			4,405,679	373,859	4031820	8430133	(4,405,679)
6			4,405,679	252,904	4152775	4277358	(4,405,679)
7			4,405,679	128,321	4277358	0	(4,405,679)

Tabla 9. Depreciación

	Costo (S/.)	Depreciación (S/.)
Costo Directo	34855400	1161846
Costo Indirecto	0.00	0.00
Gastos de Aduana	0.00	0.00
Int. durante Cont. y Com.	411729	13724
TOTAL	35267129	1175571

Recursos Propios

Se considera que se contara con los ambientes del IPEN y participará como recursos propios el 19% del monto total de la inversión, además debe comprometerse a honrar el préstamo y a solventar los costos de operación y mantenimiento del proyecto.

Aporte de Capital

Para que el proyecto sea financieramente rentable para la empresa es necesario que el estado aporte un 6% de la inversión, en materiales y servicios de energía eléctrica etc.

También existe la probabilidad de obtener aporte por instituciones como es el ARCAL que busca mejorar los servicios de la aplicación de la energía nuclear de los países de la región de América del Sur.

3.2 Análisis Financiero

Para el análisis se estableció un modelo de proyecciones financieras, que nos provean los indicadores financieros del proyecto.

Inicialmente se determinan los ingresos, costos y gastos financieros del proyecto los mismos que ya han sido explicados y mostrados en cuadros anteriores.

Seguidamente se elabora el Estado de pérdidas y Ganancias con el propósito de calcular el impuesto a la renta del proyecto, tal como se muestra en la Tabla 10.

Tabla 10. Estado de Pérdidas y Ganancias

AÑO	INGRESO NETO	O y M	DEPRECIACION	UTILIDAD OPERATIVA	INTERESES	UTILIDAD +IMPUESTOS	IMP. RENTA	UTLIDAD NETA
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	2740500	871385	1161847	707268	823,459	-116,191	0	-116191
3	5089500	871385	1161847	3056268	715,992	2,340,276	702083	1638193
4	8221500	871385	1161847	6188268	605,302	5,582,967	1674890	3908077
5	12922225	871385	1161847	10888993	491,290	10,397,703	3119311	7278392
6	17229633	871385	1161847	15196401	373,859	14,822,543	4446763	10375780
7	21742156	871385	1161847	19708924	252,904	19,456,020	5836806	13619214
8	21742156	871385	1161847	19708924	128,321	19,580,604	5874181	13706423

Para el cálculo del impuesto a la Renta se utilizó la tasa impositiva de 30 % sobre las Utilidades.

Posteriormente se desarrolla el Flujo Financiero en el que se muestran los flujos financieros de ingresos y Egresos así como el flujo Neto, esto se muestra en la Tabla 11.

El IGV desembolsado no se ha tomado en cuenta ya que es un crédito fiscal.

Tabla 11. Flujo Financiero (S/.)

Año	Ingreso Neto	Préstamo	Aporte Capital	Total	Inversión	Costos O Y M	Amortizac + Intereses	Int. Const.	Imp. la Renta	Total	Flujo Financiero
1	0	27448628	2195890	29644518	36598170	0	0	411729	0	37009899	-7365382
2	2740500			2740500	0	871385	4405679	0	0	5277064	-2536564
3	5089500			5089500	0	871385	4405679	0	702083	5979147	-889647
4	8221500			8221500	0	871385	4405679	0	1674890	6951954	12695456
5	12922225			12922225	0	871385	4405679	0	3119311	8396375	4525850
6	17229633			17229633	0	871385	4405679	0	4446763	9723827	7505806
7	21742156			21742156	0	871385	4405679	0	5836806	11113870	10628286
8	21742156			21742156	0	871385	4405679	0	5874181	11151245	10590911

3.3 Indicadores Financieros

A partir del flujo financiero con impuesto a la Renta de 30 %, se han obtenido los indicadores financieros siguientes:

A.- Valor Actual Neto Financiero

Es el valor presente que resulta de descontar al flujo neto económico al costo de oportunidad del capital propio de la empresa (12%)

$$\text{VAN F (S/.)} = 7,031,171$$

B.- Tasa Interna de Retorno Financiero (TIR F)

Representa la tasa de rendimiento financiero del proyecto y se obtiene descontando el saldo neto de caja versus los recursos propios a la inversión

$$\text{TIR F} = 25\%$$

C.- Relación Beneficio – Costo Financiero (B/C F)

Representa la relación entre los fondos financieros invertidos y generados. Se obtiene a partir del cociente del flujo de los ingresos y costos actualizados a la tasa de descuento (12%)

$$B/C F = 1.2$$

5.3.4 Análisis de Sensibilidad

A.- Variación de Tasa de Descuento

Se analizó la variación de la tasa de descuento, para los indicadores financieros VAN y B/C entre 8 y 16 % (Ver Tabla 12)

Tabla 12. Variación VAN Y B/C vs. Tasa de Descuento

TD	VAN F	B/C
8%	10,966,022	1.31
9%	9,866,418	1.28
10%	8,848,334	1.25
11%	7,905,238	1.23
12%	7,031,171	1.20
13%	6,220,697	1.18
14%	5,468,850	1.16
15%	4,771,091	1.14
16%	4,123,267	1.12

B.- Tarifa

Se analizó la variación de la tarifa de compra y venta entre -20 y + 20 %, para los indicadores económicos VAN TIR y B/C. Este análisis demuestra que para una disminución de la tarifa en un 20% (Ver Tabla 13) deja de ser rentable totalmente.

Tabla 13. Variación VAN, TIR y B/C vs. Tarifa

	VAN F	TIR	B/C
-20%	500,681	13.03%	1.01
-10%	3,765,926	19.30%	1.11
0%	7,031,171	25.02%	1.20
10%	10,258,663	30.21%	1.29
20%	13,458,366	35.00%	1.39

C.- Tasa de Inversión

Se analizó la variación de la inversión entre -7.5% y +7.5% para los indicadores económicos VAN TIR B/C. (Ver Tabla 14). En este rango la variación es aceptable para los indicadores económicos.

Tabla 14. Variación VAN, TIR y B/C vs. Tasa de Inversión.

	VAN F	TIR	B/C
-7.50%	9,481,941.28	33.45%	1.27
-5.00%	8,665,017.84	30.20%	1.26
-2.50%	7,848,094.41	27.42%	1.23
0.00%	7,031,170.97	25.02%	1.20
2.50%	6,214,247.53	22.89%	1.17
5.00%	5,397,324.09	21.00%	1.15
7.50%	4,580,400.66	19.29%	1.12

D.- Tasa de Interés

Se analizó la variación de la tasa de interés entre 3 y 9 % para los indicadores VAN TIR y B/C como se muestra en la Tabla 14.

Tabla 14. Variación VAN, TIR y B/C vs. Tasa de Interés

	VAN F (S/.)	TIR	B/C
3%	7,031,171	25%	1.20
4%	6,508,274	24%	1.19
5%	5,976,735	23%	1.17
6%	5,627,691	22%	1.16
7%	4,888,336	21%	1.14
8%	4,331,784	20%	1.12
9%	3,767,208	19%	1.11