

La radiación gamma en el mejoramiento de las propiedades físicas de compuestos polímero-madera

Javier Gago¹ jgago@ipen.gob.pe, Alcides López¹ alopez@ipen.gob.pe, Moisés Acevedo² macevedo@lamolina.edu.pe, Juan Rodríguez¹ jrodriguez@ipen.gob.pe

¹ Departamento de Física, Instituto Peruano de Energía Nuclear, Lima 41, Perú

² Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima 12, Perú

Resumen

En nuestro medio existen muchas variedades de maderas que son poco apreciadas, porque poseen características desventajosas como son, la resistencia a las termitas, a la humedad, la poca dureza, entre otras. Esto hace que su costo sea bajo. El presente trabajo está orientado a mejorar las propiedades indicadas 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 (aspecto técnico económico) a fin de disminuir la absorción de agua ha sido una de las principales evaluaciones realizadas sistemáticamente en 3 tipos de madera sumamente comunes: Catahua, Mohena y Capirona. La mejora de sus propiedades, además de proporcionar un eficiente esterilizado en su interior que garantiza una alta protección contra agentes biológicos e incrementando sustancialmente el valor agregado dando como consecuencia que se incentive el uso de estas materias primas.

Abstract

In the Peruvian natural forest there are several kind of woods, some of those are not of commercial interest, because have not resistance at termites and wet, are too soft, or can not be well finished, in the others. The present work is devoted to improvement of the physical properties of wood, such as hardness, traction, wet resistance, etc., by means of the generation of a composite wood-polymers cured by using gamma irradiation. The main objective is to establish the main parameters for the polymerization process (economic technical aspect) that decrease the amount of water absorption, in consequence the volumetric variation of Catahua, Mohena and Capirona woods. Gamma irradiation also provides good protection against the biological agents. In consequence, these woods increase its intrinsic and economic values.

1. Introducción

Uno de los problemas, de una parte, de nuestros recursos naturales forestales, es que no poseen cualidades atractivas para su comercialización y consumo. El mejoramiento de las propiedades físicas y químicas es un desafío permanente para hacer del producto un material competitivo. En el caso de la madera, que es un recurso abundante y renovable, alguna de ellas, no es aprovechada adecuadamente, por sus propiedades físicas inadecuadas, tienen bajo costos o desinterés por parte de la industria. El presente estudio propone una solución al problema de la madera de bajo interés comercial, haciendo modificaciones en su estructura interna por medio de la formación de compuestos polímero-madera, mediante la aplicación de tecnologías avanzadas como es el uso de la radiación gamma en la iniciación de la reacción de polimerización de los monómeros impregnados en la estructura porosa de la madera. La radiación gamma actúa a temperatura ambiente y es capaz de inducir diversos tipos de reacciones de forma simultánea como la polimerización del monómero y la copolimerización de monómeros como injerto con la celulosa de la

madera. 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 [1, 2].

2. La polimerización por radiación

La iniciación de un proceso de polimerización en cadena puede ser inducida por calor, por agentes químicos (iniciadores) o por radiación (ultravioleta o rayos δ). La iniciación por calor o radiación proporciona la homólisis del enlace doble del monómero, resultando en un mecanismo de reacción vía radicales libres [1]; mientras que la iniciación química, se consigue con sustancias que pueden provocar tanto la homólisis como la heterólisis del enlace doble. Por tanto, la polimerización puede transcurrir a través de radicales libres por vía catiónica o por vía aniónica.

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 instantánea 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 de irradiación comprendido entre 20 y 40 kGy, dosis que además hace despreciable la degradación del compuesto celulósico de la madera [3, 4].
- La ausencia de iniciadores químicos dentro del monómero presenta doble ventaja: siendo una la ausencia de impurezas provenientes de los productos de la descomposición de los iniciadores y la otra es dar la posibilidad de reutilizar el sobrante del monómero después de la impregnación.

3. Procedimiento experimental

Para la presente investigación se uso el equipo Gammacell 220 con fuente de Co-60, actividad entre 2.4 y 24 kCi del Instituto Peruano de Energía Nuclear. Los monómeros y polímeros empleados han sido los siguientes:

- **Metacrilato de Metilo** (Merck Schuchardt OHG Germany) $\text{CH}_2=\text{C}(\text{CH}_3)\text{COOCH}_3$.
- **Estireno** (Vinilbenceno, Feniletileno) $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}=\text{CH}_2$.
- **Resina Poliéster insaturado**. Se obtiene por condensación de etilenglicol con anhídrido ftálico y anhídrido maleico. Estos poliésteres se disuelven con estireno para usarse como resina de reticulación.

Las pruebas de dureza han sido realizadas haciendo uso de la Prensa de Ensayos Mecánicos Tinius Olsen del Laboratorio de Tecnología de la Madera de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

Las muestras para el análisis morfológico por microscopía de bajo aumento han sido preparadas en el Laboratorio de Microscopía Electrónica de la Facultad de Ciencias de la UNI.

Los estudios se han realizado con tres tipos de madera de nuestra amazonía: Catahua, Mohena y Capirona, las muestras fueron cortadas como paralelepípedos de 45*45*10mm para los ensayos de absorción. La serie 1 de muestras han sido impregnadas con Metacrilato de Metilo y la serie 2 con una mezcla de Estireno con Resina. Para el proceso de impregnación del polímero se ha diseñado y construido un dispositivo que se detalla en la Figura 1 y cuya vista fotográfica se puede apreciar en la Figura 2, previo al mencionado proceso se inicia con la selección del tipo de madera, el corte,

pesado, acotado y colocación de las muestras en el sistema de impregnación.

Para el proceso de impregnación, que se detalla a continuación, se han tomado en cuenta recomendaciones técnicas apropiadas [2,5] y son explicadas con ayuda de la Fig. 1.

3.1 Procedimiento de impregnación

1. Colocación de las muestras de madera en la cámara.
2. Llenado del matraz con el monómero seleccionado.
3. Cerrado de la Válvula 1 (V1).
4. Apertura de las Válvulas 2 y 3. (V2 y V3).
5. Encendido de la bomba de vacío hasta alcanzar 80 mm de Hg, por 1 h.
6. Cerrado de las válvulas 2 y 3 y apagado de la bomba de vacío.
7. Apertura de la válvula 1. Se observa el desplazamiento del monómero por los ductos.
8. Se observa que el monómero fluye al recipiente y se deja impregnar la madera por una hora.
9. Se saca la madera y se seca con papel absorbente.
10. Pesado inmediato, envoltura con papel aluminio y luego en una envoltura de plástico hasta sellarlo.

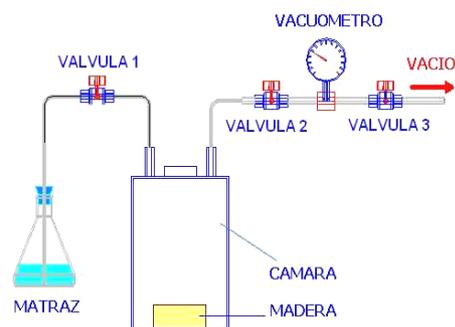


Figura 1. Representación esquemática del sistema de impregnación de la madera con el polímero.

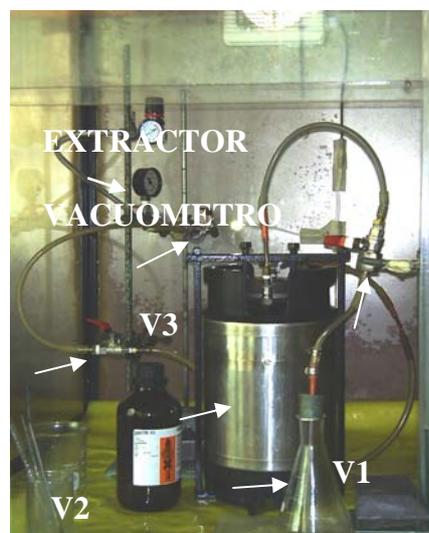


Figura 2. Fotografía del sistema de impregnación madera-polímero.

Para llevar a cabo el proceso de irradiación, las muestras impregnadas se colocan en el irradiador Gammacell con los parámetros de dosis y tiempo establecidos para iniciar y mantener el proceso de polimerización. Posteriormente se toma las medidas de peso de las muestras y se llevan a cabo las demás pruebas (ensayo mecánico, absorción de agua, etc.).

4. Resultados

4.1 Determinación de la dosis óptima de irradiación para la polimerización

Con la finalidad de determinar la dosis adecuada de irradiación, se ha llevado a cabo un proceso de optimización para la polimerización de los monómeros, realizándose las pruebas a dosis de 10, 20, 30, 60 y 100 kGy a un volumen de 5 ml de metacrilato contenidos en tubos de ensayo, tal como se puede apreciar en la Figura 3.

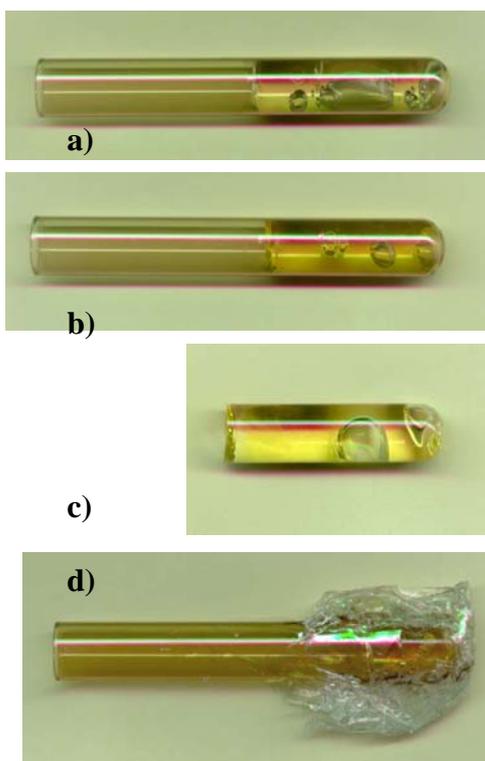


Figura 3. Monómero Metacrilato contenido en tubos de ensayo sometidos a diferentes dosis y mostrando los efectos de polimerización por irradiación. a) 20 kGy, b) 30 kGy c) 60 kGy y d) 100 kGy.

Los resultados de este proceso de polimerización fueron los siguientes:

Para la dosis de 10 kGy el monómero resultó ligeramente viscoso y sin

posibilidades de uso, mientras que a 20 y 30 kGy el monómero solidificó pero mostrando a la vez algunas burbujas en el interior, cuando fueron irradiadas a 60 kGy el polímero fracturó el tubo e incrementó el tamaño de las burbujas en el interior, mientras que a una dosis de 100 kGy el polímero se expande rompiendo el tubo de vidrio y filtrándose bruscamente formando laminas, tal como se puede apreciar en la Figura 3. Estos resultados están de acuerdo con los reportados por R. Ramiere y E. Silva y colaboradores [2, 4]. El principal resultado de esta prueba ha sido la obtención de la dosis óptima para el proceso de polimerización.

4.2 Estudio de la variación del peso y del volumen

A continuación se describen las series de muestras preparadas y el análisis en peso y volumen realizadas en el presente estudio.

Serie 1. Muestras impregnadas con Metacrilato de Metilo e irradiadas con una dosis de 20 kGy.

Serie 2. Muestra Impregnada con una mezcla de Estireno y Poliéster en proporciones iguales e irradiadas con una dosis de 20 kGy.

Tabla 1. Variación del volumen y peso de las muestras de la Serie 1 y Serie 2.

	Peso (g)	Variación (%)	
		Δ Volumen	Δ Peso
		Mohena	12.98
Catahua	9.78	2.00	46.53
Capirona	15.84	2.61	25.77

	Peso (g)	Variación (%)	
		Δ Volumen	Δ Peso
		Mohena	12.98
Catahua	9.78	3.49	29.13
Capirona	15.84	4.57	27.14

Los resultados experimentales muestran las variaciones en volumen y peso indicadas en la Tabla 1, en donde se observa el aumento del peso de la madera tratada con el monómero polimerizado en el interior, después de haber sido irradiado con rayos gamma. Al medir la variación volumétrica de las muestras se ha notado que el cambio dimensional es mayor en las direcciones

radial y tangencial de la madera, mientras que en la dirección longitudinal este cambio es poco perceptible, resultado que está en concordancia con lo reportado en la literatura especializada [6]. También se ha observado que durante el proceso de solidificación, el metacrilato es el polímero que ofrece menor incremento de volumen que la obtenida en la mezcla del Estireno-Poliéster.

4.3 Estudio de la absorción de H₂O

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 a diferentes dosis de radiación. 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 [7], el valor representativo es el valor obtenido a las dos horas. El cálculo de la cantidad de agua absorbida se determinó por la siguiente relación [7]:

$$H_2O(\%) = \frac{H_2O(g)}{W_{madera\ sec a} (g)} \times 100 \quad \dots\dots(1)$$

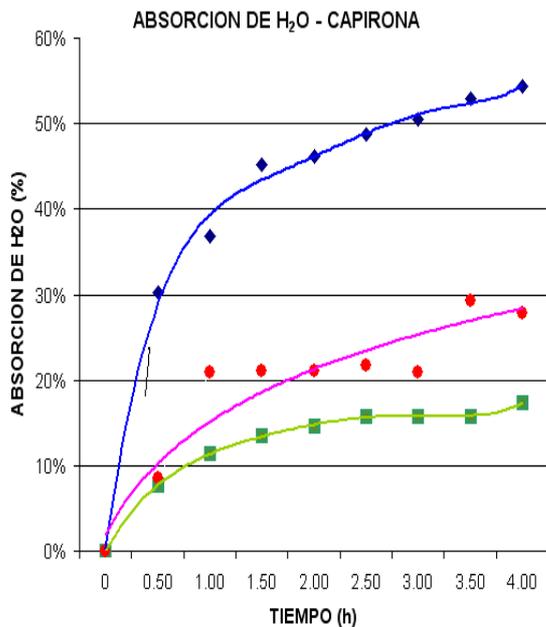


Figura 4. Absorción del H₂O por la madera Capirona. La línea azul es madera natural, la línea roja con Metacrilato y la línea verde con Estireno-Poliéster.

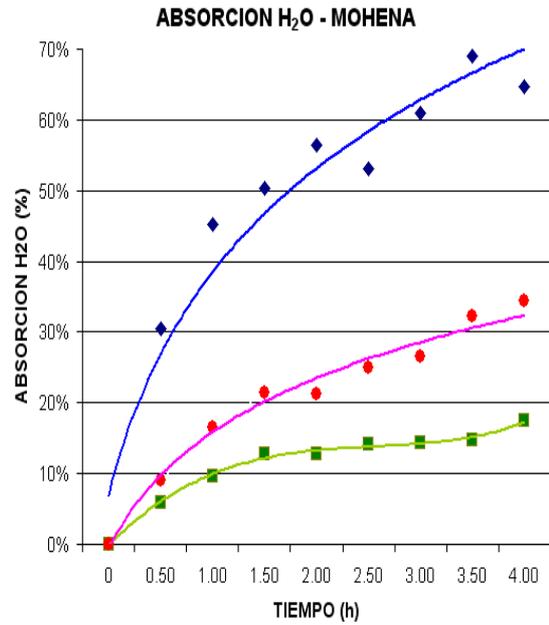


Figura 5. Absorción del H₂O por la madera Mohena. La línea azul es madera natural, la línea roja con Metacrilato y la línea verde con Estireno-Poliéster.

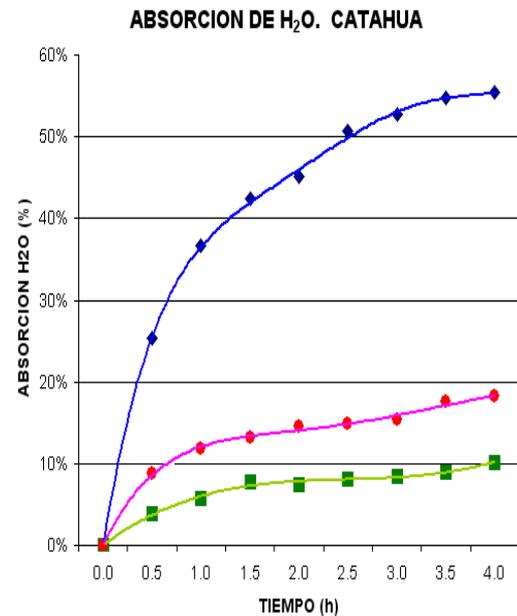


Figura 6. Absorción del H₂O por la madera Catahua. La línea azul es madera natural, la línea roja con Metacrilato y la línea verde con Estireno-Poliéster.

En las Figuras 4, 5 y 6 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, mas del 50 % para el metacrilato y mas del 60 % para la mezcla Estireno-Poliéster, ambos polímeros

irradiados con 20 kGy.

4.4 Estudio de la 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.

Tabla 2. Mediciones de Dureza en diferentes condiciones y en las direcciones transversal, radial y tangencial, a) Catahua, b) Mohena y c) Capirona.

Catahua	Dureza (MPa)		
	Trans	Rad	Tang
Natural	15.42	12.85	15.18
Natural Irradiada	12.15	9.34	11.91
Metacrilato / 20 kGy	67.74	15.18	14.01
Estir. Poliést./20 kGy	34.10	9.58	12.15

a)

Mohena	Dureza (MPa)		
	Trans	Rad	Tang
Natural	15.88	11.68	15.18
Natural Irradiada	16.82	10.51	12.85
Metacrilato / 20 kGy	37.37	68.90	72.41
Estir. Poliést./20 kGy	68.90	22.19	22.19

b)

Capirona	Dureza (MPa)		
	Trans	Rad	Tang
Natural	57.81	41.81	47.88
Natural Irradiada	56.06	42.04	44.38

c)

Las medidas geométricas de las muestras para este ensayo fueron de 50*50*150 mm, 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 las referencias consultadas [1]. 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 mezcla Estireno Poliéster la mayor dureza se obtiene en dirección transversal.

4.5 Análisis por microscopía de luz

Las imágenes han sido obtenidas con un microscopio óptico de baja magnificación, para tal efecto las muestras fueron preparadas haciendo un corte transversal tanto a las maderas en forma natural (fotos del lado izquierdo) como en las maderas impregnadas con la mezcla Estireno-poliéster e irradiadas a 20 kGy (fotos del lado derecho) tal como pueden verse en la Figura 7.

El principal cambio observado en las muestras es la variación de la coloración debido a la impregnación, ya que los polímeros son transparentes y pueden además disolver la resina de la madera, la penetración del polímero en los capilares se hacen imperceptibles al microscopio de luz.

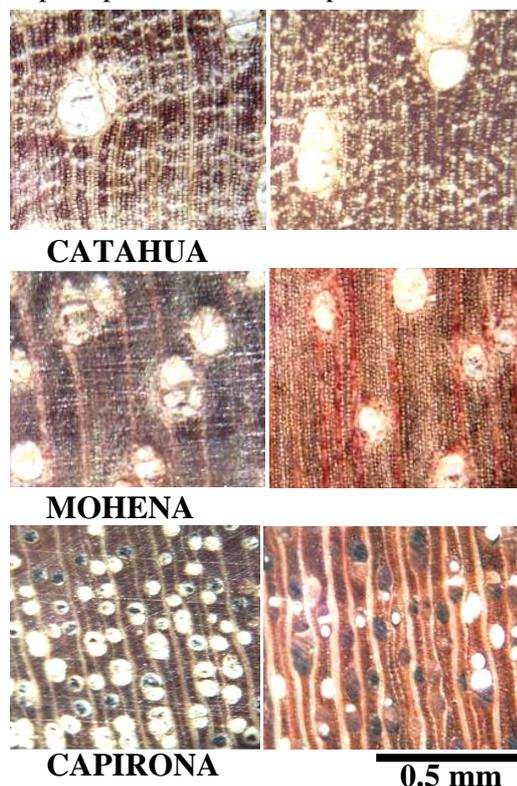


Figura 7. Imágenes de las maderas. El lado izquierdo corresponde a las muestras naturales sin irradiar y al lado derecho cuando han sido impregnadas e irradiadas.

5. Conclusiones

La presente investigación ha permitido obtener los parámetros optimizados del proceso de polimerización con el metacrilato asistidos con radiación gamma, siendo el

valor mas adecuado la dosis de 20 kGy. El incremento del volumen de la madera luego de impregnado y polimerizado pueden explicar el deterioro o el escaso incremento de la dureza en algunas direcciones de las maderas, lo cual podría deberse a deterioro estructural de la madera por efecto del aumento de volumen del polímero dentro de los capilares del mismo, cada madera revela sus propias características al respecto, por otro lado el decremento de la dureza de la madera natural luego de ser irradiada se explica por la fotólisis experimentada por la celulosa ante la radiación gamma. Los estudios de la absorción de agua muestran un efecto positivo luego de la impregnación y polimerización, habiéndose obtenido mejoras sustanciales en la impermeabilidad de la madera, siendo la mezcla estireno poliéster la mas efectiva.

La utilidad del presente trabajo radica en haber logrado incrementar sustancialmente propiedades físicas importantes para las maderas 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.

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.

6. Agradecimientos

Se agradece la colaboración de los Drs. Julio Santiago, José Solís y Justo Rojas por las fructíferas discusiones. A los Ingenieros Marco Linares, Jhonny Vargas y Mónica Vivanco por su apoyo en las actividades de irradiación. Al Bach. Wilson Carhuapoma y al Sr. Wilfredo Pumahucre por proveer las muestras. Asimismo, se agradece el apoyo del Laboratorio de Microscopía Electrónica de la facultad de Ciencias de la UNI.

7. Bibliografía

- [1] T. Czvikovsky. *Wood-Plastic Combination by Monomer Impregnation And Radiation Polymerization*. Atomic Energy Review v. 6 (1968) 3-99.
- [2] R. Ramiere. (Ponencia) *Seminario: Tratamientos de Conservación del Patrimonio por Irradiación Gamma*. Lima- Perú, 2004.
- [3] D. Clegg and A. Collyer, *Irradiation effects on polymers*. Crown House. Linton Road, Barking, Essex IG11 8JU, UK: Elsevier Science (1991).
- [4] A. Fernandez Fernandez, B. Brichard, and F. Berghmans. *Irradiation facilities at sck-cen for radiation tolerance assessment of space materials*. SCK-CEN, Belgian Nuclear Research Centre, Boeretang 2000, B-2400 Mol, Belgium
- [5] E. Silva, L. G. Dos Santos, V. Dos Santos. *Obtención De Madera Plastificada Mediante Empleo de Radiación Gamma*. UFPE Recife – Brasil.
- [6] D. Askeland, *Ciencia e Ingeniería de los Materiales*. Ed. Paraninfo, España. (2002) 561.
- [7] ASTM, *Standard Test Method for Water Absorption of Plastics*. ASTM D 570 – 95.