



**PREPARACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE RECUBRIMIENTOS
PARA MADERA Y ACERO A PARTIR DE ACEITE DE HIGUERILLA
MODIFICADO CON PENTAERITRITOL Y ALMIDÓN DE YUCA**

SERGIO ARMANDO LEON LAVERDE

JUAN JOSE MORENO MARTINEZ

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN POLÍMEROS
BUCARAMANGA
2006**

**PREPARACION Y CARACTERIZACIÓN DE RECUBRIMIENTOS
PARA MADERA Y ACERO A PARTIR DE ACEITE DE HIGUERILLA
MODIFICADO CON PENTAERITRITOL Y ALMIDÓN DE YUCA**

SERGIO ARMANDO LEON LAVERDE

JUAN JOSE MORENO MARTINEZ

**Trabajo presentado como requisito para optar al título de
Ingeniero Químico**

Directores

**Prof. JORGE ENRIQUE PULIDO
Prof. ÁLVARO RAMÍREZ GARCÍA**

Codirector

MANUEL FERNANDO VALERO

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN POLÍMEROS
BUCARAMANGA
2006**

A Dios por ser el guía de todas mis acciones.

A mi papa y a mi mama (Constantino y Ernestina) por su gran apoyo incondicional, esfuerzo y confianza que siempre han depositado en mi.

A mis hermanos Cesar y Diego porque siempre han estado atentos para brindarme su ayuda y soporte en cada momento.

A toda mi familia por el orgullo inmenso que tengo de ser parte de ella.

A la linda Luis Angela por estar presente y sentir que puedo contar contigo.

A Juan José porque, aparte de ser mi compañero de proyecto, es un gran amigo.

Gracias

Sergio A. León

A mis padres (Juan y Teresa), que siempre me han dado la fuerza necesario para no desfallecer en este largo camino.

A Myriam y demás hermanos, por su apoyo incondicional.

A todos mis compañeros de la Unidad de Cuidados Intensivos de la FOS-CAL por su colaboración.

A Leslie por su comprensión y cariño

A Sergio por ser un excelente compañero y amigo.

Gracias.

Juan José.

AGRADECIMIENTOS

A los profesores Jorge Enrique Pulido y Álvaro Ramírez García directores de este proyecto y del Grupo de Investigación en Polímeros UIS.

Al Ingeniero Manuel Fernando Valero, coordinador del Grupo de Investigación en Polímeros UIS.

Al Ingeniero Daniel Navas y a la Ingeniera Diana Camargo, y a quienes nos antecedieron en el Grupo de Investigación en Polímeros UIS.

A los técnicos del laboratorio de Operaciones Unitarias de Ingeniería Química, Luís Eduardo Carreño y Wilson Eduardo Carreño.

Al Ingeniero David Tirado.

Al físico Dannier Niño, coordinador del laboratorio del Plasma.

A la Universidad Industrial de Santander, a la Escuela de Ingeniería Química y a todos aquellos que de una u otra forma colaboraron o hicieron parte de este proyecto.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Preparar y caracterizar recubrimientos para madera y acero a partir de aceite de higuera modificado con pentaeritritol y almidón de yuca por medio de reacciones de transesterificación, glucoxilación y adición física del almidón.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Preparar recubrimientos poliméricos a partir de los diferentes polioles y suspensiones obtenidos a partir del aceite de higuera modificado.
- Caracterizar físico-química y físico-mecánicamente los recubrimientos obtenidos en función del tipo de polirol y una relación NCO/OH constante y comparar los resultados obtenidos con el comportamiento de otros tipos de recubrimientos.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
1. MARCO TEORICO	3
1.1 MATERIAS PRIMAS	3
1.1.1. ACEITE DE HIGUERILLA (4, 5, 6).....	3
1.1.2 ALMIDÓN ⁽⁷⁾	4
1.1.3 POLIOLES ^(2, 8)	4
1.1.4 POLIURETANOS ^(9, 10)	6
1.2. RECUBRIMIENTOS (11)	7
1.2.1 La aplicación del recubrimiento.....	8
1.2.2 Preparación de la superficie	9
1.2.3 El curado	9
1.3 ANÁLISIS Y ENSAYOS ^(12, 13, 14)	10
1.3.1. Ataque químico:	10
1.3.2 Deformación por tensión (12):.....	11
1.3.3 Adhesión (15):	11
1.3.3.1 Clasificación de las fallas de adhesión	12
1.3.4 Desgaste Mecánico: ⁽¹⁷⁾	13
1.3.4.1 Mecanismos del desgaste abrasivo	14
1.3.4.2 Tipos de desgaste abrasivo.....	15
1.3.5. Biodegradación de materiales plásticos ⁽¹⁸⁾ :	15
2. DESARROLLO DE LA METODOLOGIA EXPERIMENTAL	16
2.1. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	16
2.2 REACTIVOS	17
2.2.1 Reactivos de Síntesis.....	17
2.2.2 Reactivos de análisis	17
2.3 DESCRIPCION DE LA METODOLOGÍA EXPERIMENTAL ...18	
2.3.1 Modificación del aceite de higuera con pentaeritritol ⁽⁹⁾ : 18	18
2.3.2 Incorporación de almidón de yuca al aceite.....	19
2.3.3 Modificación del almidón de yuca (preparación de glucósidos)	20
2.3.4 Preparación de poliál-glicósidos.....	20
2.3.5 Síntesis de recubrimientos de poliuretano ^(19, 20) :	21
2.3.6. Descripción del sustrato y Preparación de la superficie	22

2.3.7. CARACTERIZACION DE LOS RECUBRIMIENTOS:	23
3. ANÁLISIS DE RESULTADOS	27
3.1. Ensayos de tensión	27
3.2. Pruebas de adhesión:	32
3.3. Desgaste Mecánico:	37
3.4. Ataque químico:.....	39
3.5. Biodegradación:	40
CONCLUSIONES	42
RECOMENDACIONES	43
BIBLIOGRAFIA	44
ANEXOS	48

LISTA DE TABLAS

	Pág.
TABLA 1 Valores de N° de hidroxilo y nomenclatura usada para cada poliol.	6
TABLA 2 Poliol–glucósidos preparados.	21
TABLA 3 Especificaciones y preparación del substrato.	22
TABLA 4 Resultados de prueba de adhesión	36
TABLA 5 Pérdida de peso en prueba de biodegradación	41

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
FIGURA 1 Molécula del triglicérido del ácido ricinoléico.....	3
FIGURA 2 Estructura de la amilosa y amilopectina.	4
FIGURA 3 Estructura general de los poliuretanos.	7
FIGURA 4 Curva generalizada de tensión–deformación para plásticos.	11
FIGURA 5 Posibles fallas en pruebas de adhesión.	13
FIGURA 6 Montaje reacción transesterificación ⁽³⁾	19
FIGURA 7 Montaje preparación polioliol–suspensiones ⁽³⁾	19
FIGURA 8 Montaje preparación glucósidos.	20
FIGURA 9 Montaje de prueba de biodegradación.	23
FIGURA 10 Maquina de tensión INSTRON.	24
FIGURA 11 (a) Abrasímetro ABRASER 5130, (b) Pesas 1Kg (arriba), ruedas desgastadoras (abajo), (c) Fuerzas que actúan en el abrasímetro (17)	25
FIGURA 12 Maquina de tracción lenta ⁽²¹⁾	26
FIGURA 13 Interfase gráfica en LabVIEW ⁽²¹⁾	26
FIGURA 14 Ensayos de tensión para aceite en probetas de acero.....	28
FIGURA 15 Ensayos de tensión para polioliol 1 en probetas de acero. ...	29
FIGURA 16 Ensayos de tensión para polioliol 0 en probetas de acero. ...	29
FIGURA 17 Ensayos de tensión para aceite en probetas de madera...	30
FIGURA 18 Ensayos de tensión para polioliol 0 en probetas de madera.	31
FIGURA 19 Ensayos de tensión para polioliol 1 en probetas de madera.	31
FIGURA 20 Ensayos de adhesión para polioliol 0 en probetas de madera	33

FIGURA 21 Ensayos de adhesión para polioliol 1 en probetas de mader	34
FIGURA 22 Ensayos de adhesión para polioliol 0 en probetas de acero .	34
FIGURA 23 Ensayos de adhesión para polioliol 1 en probetas de acero .	35
FIGURA 24 Ensayos de abrasión para recubrimientos a base de polioliol 0	38
FIGURA 25 Ensayos de abrasión para recubrimientos a base de polioliol 1	38
FIGURA 26 Índice de abrasividad.....	39
FIGURA 27 (De izquierda a derecha) SAC, SP1, Blanco, P1+5GG. A los 60 días.	41

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXOS A DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE HIDROXILO SEGÚN NORMA ASTM D1957-86	48
ANEXOS B RESULTADOS OBTENIDOS EN PRUEBAS DE ADHESION	50
ANEXOS C	57
ANEXOS D	60
ANEXOS E CANTIDAD DE REACTIVOS NECESARIOS PARA PREPARAR LOS RECUBRIMIENTOS.....	64
ANEXOS F FOTOS	65
ANEXOS G NORMA PARA PRUEBAS DE ADHESION	69
ANEXOS H NORMA PARA PRUEBAS DE ABRASIÓN.....	71
ANEXOS I RESULTADOS DE PRUEBAS DE TENSIÓN.....	73

RESUMEN

TÍTULO: Preparación y caracterización de recubrimientos para madera y acero a partir de aceite de higuera modificados con pentaeritritol y almidón de yuca.

AUTORES: SERGIO ARMANDO LEON L. y JUAN JOSE MORENO M.**

PALABRAS CLAVES: Aceite de higuera, almidón de yuca, reacción de transesterificación, poliuretano, polioliol, recubrimientos para madera y acero, pruebas de caracterización.

CONTENIDO

Se llevó a cabo una modificación del aceite de higuera mediante tres rutas diferentes; por transesterificación con pentaeritritol para obtener los polioliols 0 y 1, la incorporación física del almidón para obtener las polioliol-suspensiones y una doble modificación del almidón por glucoxilación y posterior transesterificación para obtener los denominados polioliol-glucósidos. A partir de estos polioliols, polioliol-suspensiones y polioliol-glucósidos, fueron sintetizados los recubrimientos para ser aplicados sobre sustratos de madera y acero para su posterior caracterización por medio de pruebas de Biodegradabilidad, ataque químico, tensión, abrasión y adhesión.

Los recubrimientos obtenidos a partir de los polioliol-glucósidos presentan mayor resistencia al ataque químico, mayor resistencia de adhesión, mayor resistencia a la abrasión, mejores propiedades tensiles y brinda una buena protección al sustrato sometido a un ambiente de biodegradación. Los recubrimientos obtenidos a partir de polioliol-suspensiones obtuvieron los valores más bajos en las pruebas de tensión, debido a que la rigidez de los gránulos de almidón genera puntos críticos de concentración de esfuerzos los cuales provocan la falla del material bajo tensión.

Comparando algunos adhesivos disponibles comercialmente con los recubrimientos sintetizados en este trabajo, se encontró que éstos últimos presentan mejores características adhesivas que los adhesivos comerciales comunes usados para madera y acero.

** Facultad de Ingenierías Físico-Química, Ingeniería Química, Ing. Químico M.Sc. Jorge E. Pulido F., Ing. Químico PhD Álvaro Ramírez García.

ABSTRACT

TITLE: Preparation and characterization of film coating for wood and steel starting from castor oil modified with pentaeritritol and yucca starch.

AUTHORS: SERGIO ARMANDO LEON L. and JUAN JOSE MORENO M.**

KEY WORDS: Castor oil, yucca starch, transesterificación reaction, poliuretano, polioli, film coating for wood and steel, tests of characterization.

CONTENT

It was carried out a modification of the castor oil by means of three different routes; for transesterificación with pentaeritritol to obtain the polioles 0 and 1, the physical incorporation of the starch to obtain the polioli-suspensions and a double modification of the starch for glucoxilación and later transesterificación to obtain the denominated polioli-glucósidos. Starting from these polioles, Polioli-suspensions and polioli-glucósidos, the film coating was synthesized to be applied on wooden substrata and I steel for their later characterization by means of tests of Biodegradation, chemical attack, tension, abrasion and adhesion.

The film coating obtained starting from the polioli-glucósidos presents bigger resistance to the attack chemical, bigger resistance of adhesion, bigger resistance to the abrasion, better properties tensiles and it offers a good protection to the subjected substratum to a biodegradation atmosphere. The film coating obtained starting from polioli-suspensions obtain the values but first floor in the tests of tension, because the rigidity of the granules of starch generates critical points of concentration of efforts which cause the flaw of the material low tension.

Comparing some available adhesives commercially with the film coating synthesized in this work, it was found that these last they present better adhesive characteristics that the common commercial adhesives used for wood and steel.

* Degree Project.

** Faculty of Physical-Chemistry Engineerings, Chemical Engineer. Jorge Enrique Pulido F. (Chemical Engineer M.Sc) Álvaro Ramirez García (Chemical Engineer PhD)

INTRODUCCIÓN

La búsqueda de nuevas alternativas para el aprovechamiento de los diferentes recursos naturales, es una necesidad muy importante en el desarrollo industrial y económico de una comunidad. El aceite de higuera es uno de estos recursos que a lo largo del tiempo ha sido estudiado, con resultados de gran interés e importancia, en la búsqueda de reemplazar a los materiales tradicionales.

En el Grupo de Investigación en Polímeros de la Universidad Industrial de Santander se ha estudiado la modificación del aceite de higuera por dos vías diferentes (1- 3), la reacción de transesterificación con pentaeritritol y la incorporación de almidón de yuca. Estos estudios han mostrado, no solo una diversidad de productos poliméricos, sino también un espectro de nuevas aplicaciones.

Los recubrimientos a partir de aceite de higuera no han sido suficientemente estudiados puesto que los materiales obtenidos a partir del aceite sin modificar poseen bajas propiedades mecánicas y químicas. El aspecto novedoso de este trabajo, consiste en la síntesis de recubrimientos a partir del aceite de higuera sin modificar y a partir del aceite modificado con pentaeritritol y almidón de yuca; con lo cual se pretende abrir una luz para intensificar el trabajo de la utilización de nuevos productos tipo recubrimiento que podrían reemplazar a aquellos materiales de este tipo que debido al continuo aumento en el costo de su materia prima y fabricación, repercuten económicamente sobre la industria de la protección de estructuras.

En este trabajo, los recubrimientos obtenidos fueron sometidos a una serie de pruebas estándares que determinaron el desempeño del nuevo producto. Estos ensayos son: resistencia a la abrasión, fuerza de adhesión al substrato, fuerza de tensión, ataque químico y determinación de biodegradabilidad en contacto con un medio sólido.

En el primer capítulo del documento se presentan algunos aspectos teóricos relacionados con los recubrimientos y ensayos realizados. En el siguiente capítulo se muestra la metodología seguida y la descripción de condiciones de las pruebas.

Finalmente se discute el análisis y las descripciones de los resultados obtenidos, y se presentan algunas conclusiones del trabajo.

1. MARCO TEORICO

1.1 MATERIAS PRIMAS

A continuación se presenta una breve descripción de las materias primas utilizadas para la síntesis de los recubrimientos:

1.1.1. ACEITE DE HIGUERILLA (4, 5, 6)

Aproximadamente el 90% del aceite esta constituido por el triglicérido del ácido ricinoléico, esta molécula contiene un doble enlace en la posición 9,10, y un grupo hidroxilo en el carbono número 12. Su estructura trihidroxílica permite la producción de sistemas de uretano altamente entrecruzados. Debido a las largas cadenas del ácido graso, el aceite de higuera imparte características no polares a los polímeros de uretano, dándole a éstos flexibilidad y buena resistencia al agua.

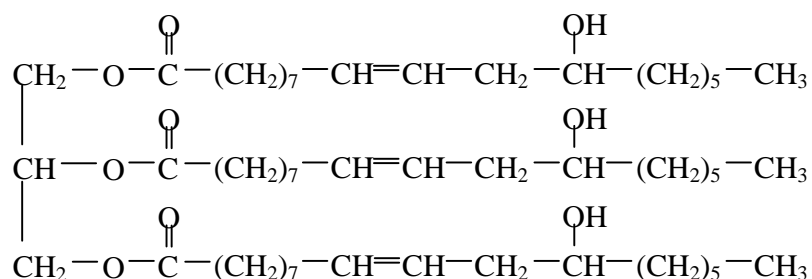


FIGURA 1 Molécula del triglicérido del ácido ricinoléico

1.1.2 ALMIDÓN ⁽⁷⁾

El almidón representa la reserva de carbohidratos de las plantas y se forma en las hojas verdes por medio de la fotosíntesis. Está constituido principalmente por dos polímeros estructuralmente diferentes, formados por unidades repetitivas de D-glucopiranosil unidas entre sí por enlaces glucosídicos: ellos son la amilosa y la amilopectina (FIGURA. 2).

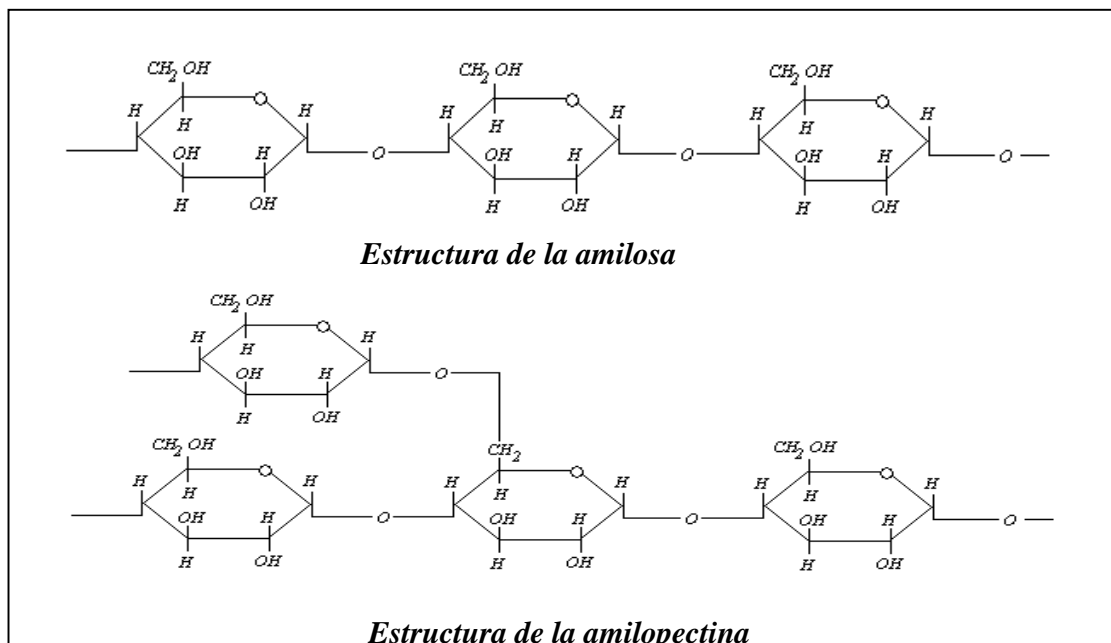


FIGURA 2 Estructura de la amilosa y amilopectina.

1.1.3 POLIOLES ^(2, 8)

Son alcoholes que contienen en su estructura tres o más grupos hidroxilo sobre átomos de carbono diferentes. Estos compuestos son materia prima importante para muchas clases de polímeros, incluyendo

ésteres acrílicos, resinas alquílicas, resinas epóxicas, amino resinas, poliésteres, polímeros de vinil éter y poliuretanos.

Los polioles que se utilizaron en este trabajo fueron obtenidos a partir de las siguientes tres rutas:

- a) Transesterificación del aceite de higuera con pentaeritritol, para obtener polioles denominados P0 y P1 (el polirol 1 contiene una mayor proporción de pentaeritritol).
- b) Incorporación del almidón al aceite, y a los polioles P0 y P1, para obtener lo que se denominó suspensión polirol-almidón. Se obtuvieron las siguientes suspensiones: Suspensión aceite de higuera-almidón denominada SAC, suspensión Polirol 0-almidón y suspensión Polirol 1-almidón denominadas SP0 y SP1, respectivamente.
- c) Glucosilación del almidón con etilenglicol y/o glicerina para obtener glucósidos; éstos se denominaron glucósido de etilenglicol, GE, y glucósido de glicerina, GG. Posteriormente, los glucósidos obtenidos reaccionaron por transesterificación con el aceite sin modificar y los polioles P0 y P1, para obtener los polioles denominados polirol-glucósidos. La reacción se llevó a cabo en las siguientes proporciones: Polirol 0 con 5% de glucósido de etilenglicol, y 5% de glucósido de glicerina (P0+5GE, P0+5GG), Polirol 1 con 5% de glucósido de etilenglicol y 5% de glucósido de glicerina (P0+5GE, P1+5GG).

Los índices de hidroxilo de los diferentes polioles, suspensiones y polioliol – glucósidos se indican en la TABLA 1

POLIOL	NOMENCLATURA	Nº hidroxilo
Aceite	(AC)	160
Aceite +5% de Glucoxil- Etilenglicol	(AC+5GE)	257.9
Aceite +5% de Glucoxil- Glicerina	(AC+5GG)	242.5
Suspensión de Aceite al 5%	(SAC5%)	185.53
Poliol 0	(P0)	186.3
Poliol 0 +5% de Glucoxil- Etilenglicol	(P0+5GE)	265.9
Poliol 0 +5% de Glucoxil- Glicerina	(P0+5GG)	263.9
Suspensión de Polioliol 0 al 5%	(SP0 5%)	215.23
Poliol 1	(P1)	233.8
Poliol 1 +5% de Glucoxil- Etilenglicol	(P1+5GE)	297.09
Poliol 1 +5% de Glucoxil- Glicerina	(P1+5GG)	287.5
Suspensión de Polioliol 1 al 5%	(SP1 5%)	258.07

TABLA 1 Valores de Nº de hidroxilo y nomenclatura usada para cada polioliol.

1.1.4 POLIURETANOS ^(9, 10)

El nombre poliuretano se deriva del uso de la palabra *uretano*, usada genéricamente para describir los ésteres del ácido carbámico (H₂N–COOH). El método comercial más común para formar poliuretanos es la reacción de compuestos hidroxil di o polifuncionales, como los poliésteres o poliéteres con terminación hidroxil, con isocianatos di o polifuncionales. La estructura general de un poliuretano se presenta en la FIGURA 3.

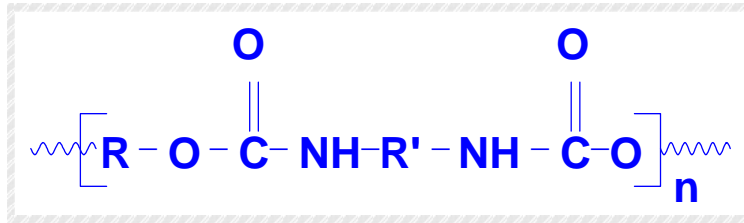


FIGURA 3 Estructura general de los poliuretanos.

Debido a su composición química, los poliuretanos presentan propiedades físico mecánicas muy superiores a los elastómeros utilizados convencionalmente. Por sus excelentes propiedades físico-mecánicas el poliuretano es un material único e ideal para muchas aplicaciones críticas donde se exige un alto grado de desempeño.

Entre las aplicaciones intermedias se incluyen espumas flexibles para sellantes, cojines y colchones, espumas de recubrimiento en volantes, tablero de instrumentos e interiores para automóviles. Las espumas semirígidas se usan para paneles industriales, espumas de absorción de energía, como material termo aislante. Mediante el uso de aditivos y catalizadores los poliuretanos pueden también ser formulados como recubrimientos, adhesivos, sellantes o elastómeros.

1.2. RECUBRIMIENTOS (11)

El recubrimiento es un proceso que consiste en la aplicación de un producto químico en estado líquido o una formulación compuesta, sobre un sustrato, directamente o por transferencia, a una o dos caras para obtener un material con propiedades específicas y funcionales.

Una de las aplicaciones más comunes de los recubrimientos es ofrecer protección contra la corrosión, mediante la aplicación de una barrera física; frecuentemente, la corrosión sucede cuando una especie química corrosiva, como el CO₂, ataca al acero debajo del revestimiento. Este fenómeno sucede en la mayoría de las ocasiones debido a que el recubrimiento no tiene buena adhesión al sustrato.

La adhesión recubrimiento-sustrato está relacionada con las fuerzas de unión entre metal y las moléculas del recubrimiento. Estas uniones pueden:

- Químicas, que son las más fuertes, pero necesitan de grupos funcionales tanto en la molécula polimérica como en el sustrato y raramente son usadas en recubrimientos.
- Polares-polares que son las más frecuentes y son las que actúan en el tipo de recubrimiento que se estudia en nuestro trabajo.
- Polares inducidas o de Van Der Waals que son las más débiles y son las fuerzas intermoleculares en los termoplásticos.

A continuación se presentan algunos aspectos importantes acerca del tratamiento previo de estos recubrimientos:

1.2.1 La aplicación del recubrimiento

Ningún recubrimiento interno, por más sofisticado que sea, puede operar bien si está mal aplicado. En efecto, la experiencia muestra que el 98% de las fallas se debe a mala aplicación, en particular, a la mala

preparación de la superficie, mientras que el 2% restante se debe a la inapropiada selección del recubrimiento sometiéndolo a medios para el que no estuvo diseñado.

1.2.2 Preparación de la superficie

Por mejor que sea el recubrimiento polimérico, el estado de la superficie en el momento de la aplicación tendrá una influencia decisiva en el comportamiento del recubrimiento en servicio. El análisis de las fuerzas de unión que mantienen un revestimiento compatible y unido a un sustrato, en particular, acero y madera conlleva la necesidad de generar un determinado tipo de superficies denominadas superficies aptas para ser recubiertas, con lo cual se logra que las cadenas poliméricas del recubrimiento estén en íntimo contacto con los átomos del sustrato.

1.2.3 El curado

El curado es un proceso que afecta las propiedades del recubrimiento, como la dureza, la tenacidad o fragilidad y resistencia a la corrosión. El curado es una reacción química por la cual se realiza el entrecruzamiento entre moléculas poliméricas, con lo que el material pasa de un estado líquido a un estado sólido rígido. Las propiedades físico-mecánicas y físico-químicas del sólido dependen del grado de entrecruzamiento entre cadenas poliméricas; al incrementar la densidad de entrecruzamiento, se incrementa la rigidez, dureza y resistencia química del recubrimiento.

Otro aspecto importante es que al aumentar la temperatura de curado, la rigidez, la dureza y la resistencia química aumentan; este efecto se debe a que al incrementar la temperatura, las reacciones de polimerización se ven favorecidas.

1.3 ANÁLISIS Y ENSAYOS ^(12, 13, 14)

El recubrimiento puede perder adherencia debido a una gran variedad de mecanismos; se han catalogado una serie de posibles mecanismos, estos pueden ser:

- Por enlace pobre entre el recubrimiento y el sustrato, debido a fallas en su morfología.
- Por corrosión bajo la película, encima de la superficie del sustrato, por acción de la humedad.
- Por degradación química de la capa por humedad, medios ácidos o alcalinos.
- Por expansión y contracción entre el sistema estudiado e impurezas sobre la superficie del sustrato.

Para valorar cada uno de estos factores, se realizaron una serie de ensayos, los cuales se presentan a continuación:

1.3.1. Ataque químico:

La disolución de un polímero es un proceso lento, que acontece en dos fases. Primero, las moléculas de disolvente se difunden lentamente

dentro del polímero, produciendo un gel hinchado. Si las fuerzas intermoleculares polímero-polímero son superadas por la introducción de interacciones polímero-disolvente, se podría presentar la segunda fase de la disolución, en la que el gel se desintegra gradualmente.

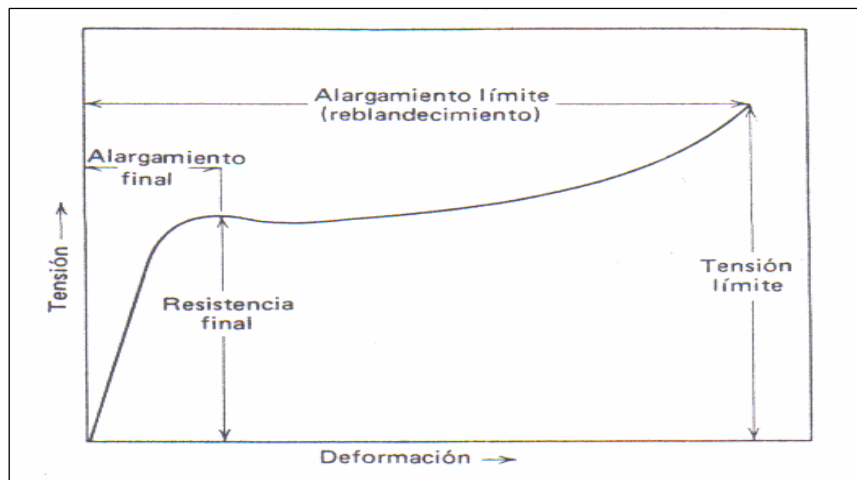


FIGURA 4 Curva generalizada de tensión–deformación para plásticos.

1.3.2 Deformación por tensión (12):

Esta se realiza por medida continuada de la fuerza que se desarrolla mientras la muestra es elongada a velocidad constante de tensión. La curva generalizada de tensión-deformación para plásticos se muestra en la FIGURA 4, y sirve para definir algunas magnitudes, tales como: módulo, tensión límite, resistencia y elongación en ruptura.

1.3.3 Adhesión (15):

El término “adhesión” es complejo, y antes de embarcarse en la metodología de la medida de adhesión, es necesario comprender su significado y la forma en que se relaciona con los valores medidos en el laboratorio. La adhesión puede definirse dependiendo del campo de interés (químico, físico, adhesivos, pinturas, etc.), pero, esencialmente, la adhesión es la suma de las interacciones moleculares (iónicas, covalentes, polares o de Van Der Waals), entre dos materiales.

Los valores de estas interacciones dependen de la proximidad de los materiales y del tipo de interacción. La medida tomada en el laboratorio se denomina “Esfuerzo de Bond”; éste esfuerzo se mide en términos de fuerza/área, fuerza/longitud o energía/área, requerida para romper la interfase entre dos materiales.

Las fallas en la adhesión de recubrimientos se clasifican como adhesivas o cohesivas, dependiendo de la forma y del sitio en que ocurra la fractura. Cada una involucra ciertas características que se describen a continuación.

1.3.3.1 Clasificación de las fallas de adhesión

Existen dos tipos de fallas que comúnmente se presentan; si el rompimiento ocurre en la interfase, entonces se denomina **falla adhesiva**, y si el rompimiento ocurre en el interior del recubrimiento, se denomina **falla cohesiva. (16)**

Existen dos tipos de fuerza de las cuales depende el tipo de falla:

- la fuerza de adhesión, que es una manifestación de las fuerzas moleculares que hace que las moléculas de distintas sustancias puestas para que permanezcan en contacto unas junto a otras.
- la fuerza de cohesión, que es la coexistencia de un cuerpo debido a las fuerzas moleculares, es decir, la propiedad por la cual las moléculas se mantienen juntas, entonces las fallas se presentan debido al debilitamiento de dichas fuerzas.

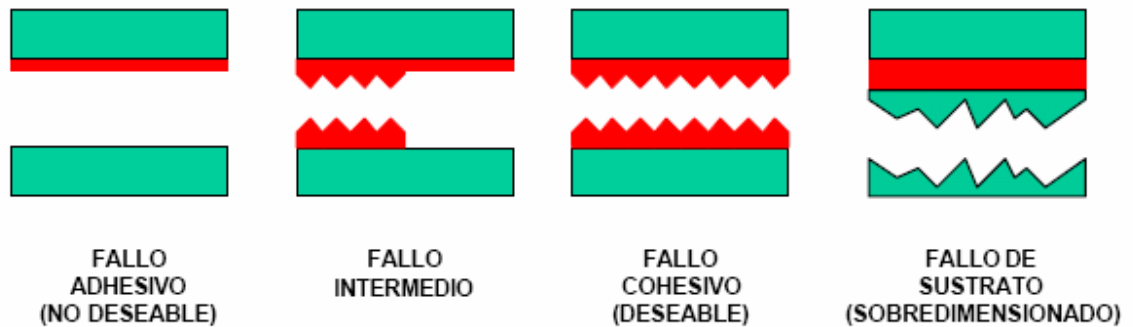


FIGURA 5 Posibles fallas en pruebas de adhesión.

1.3.4 Desgaste Mecánico: ⁽¹⁷⁾

El desgaste mecánico es la base sobre la cual se sustentan varios métodos de elaboración de materiales, como son: el pulido, esmerilado, el lapeado, etc. También es la causa de la sustitución del 50% de los elementos de máquinas en la industria pudiendo llegar al 85% en caso de la maquinaria agrícola.

El desgaste en superficies sólidas se clasifica de forma general en:

- desgaste adhesivo, también llamado desgaste por fricción o deslizante, se produce debido a la adhesión molecular entre los cuerpos en contacto.
- desgaste por fatiga, el cual es debido a causas mecánicas producto de tensiones variables y repetidas.
- desgaste mecánico-corrosivo que es el desgaste mecánico acelerado por la acción corrosiva del medio.
- desgaste abrasivo o desgaste mecánico, que es el resultado de la acción de corte o rayado de asperezas de alta dureza o de partículas abrasivas, que es el tipo de desgaste seleccionado para evaluar en el presente trabajo.

A continuación se presentan algunos aspectos importantes con relación al desgaste abrasivo.

1.3.4.1 Mecanismos del desgaste abrasivo

El mecanismo de desgaste abrasivo se define por la forma en que la partícula abrasiva entra en contacto con la superficie del recubrimiento y ocasiona el desgaste, estos son:

Mecanismo de micro-corte: Si la penetración de la partícula abrasiva sobrepasa el límite de rotura del material, se produce el micro-corte de las superficies; estos micro-cortes generan partículas de desgaste en forma de limallas o virutas.

Mecanismo de deformación plástica: Si las partículas abrasivas producen tensiones, por debajo del límite de rotura del material, se

produce deformación plástica de las capas superficiales; este tipo de deformación se caracteriza por el arrugamiento de la superficie y la aparición de ralladuras.

1.3.4.2 Tipos de desgaste abrasivo

Se distinguen dos tipos fundamentales de desgaste abrasivo según el grado de libertad del grano:

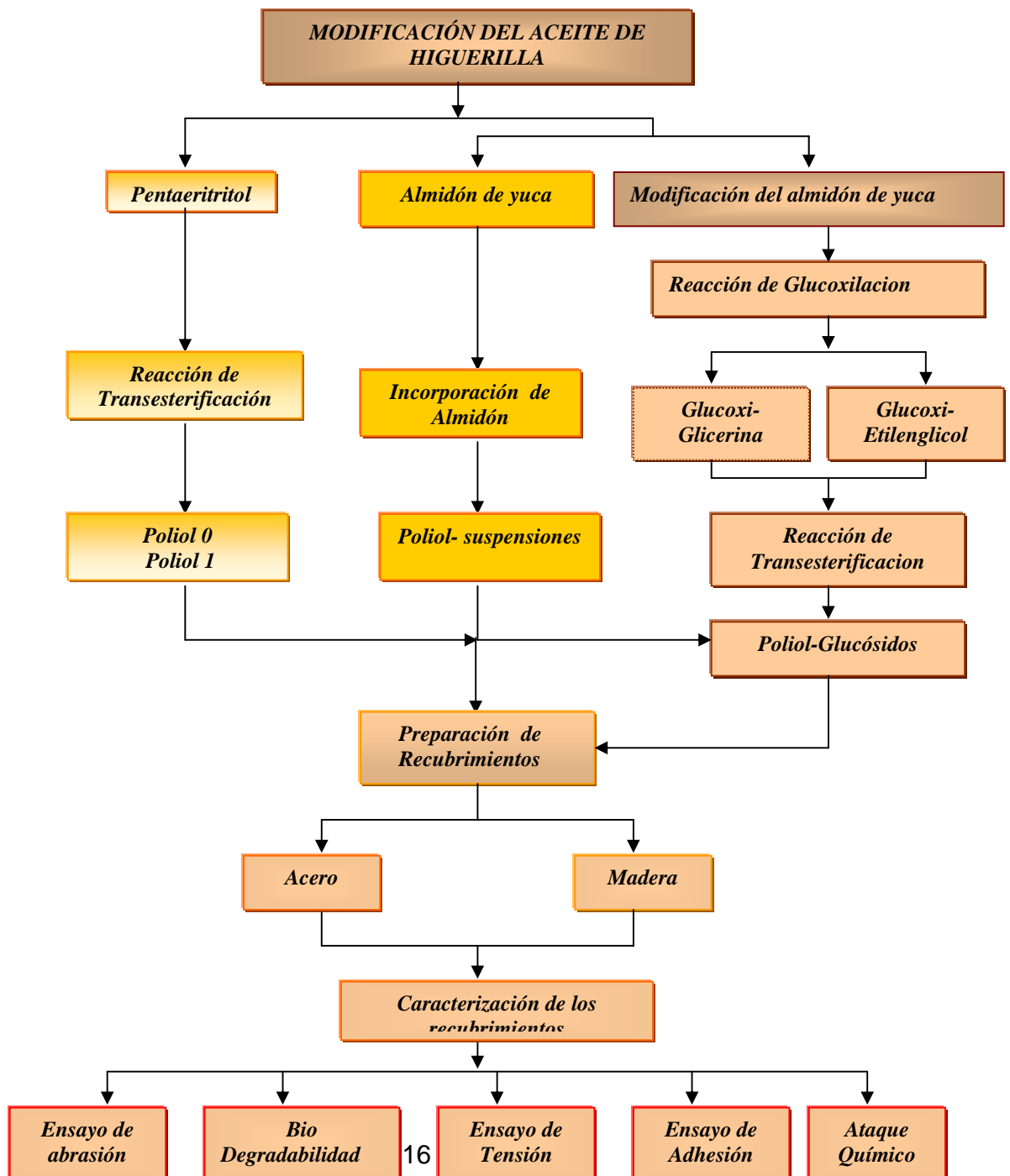
- **Desgaste contacto-abrasivo:** conocido también como desgaste por partículas fijas, producido por las asperezas o micro-irregularidades superficiales al penetrar y deslizarse sobre el otro cuerpo. La magnitud del desgaste contacto - abrasivo depende de la rugosidad superficial del cuerpo duro y de las propiedades mecánicas del cuerpo blando.
- **Desgaste contaminante-abrasivo:** Producido por la acción de partículas libres, proveniente de diferentes medios, estas partículas deforman plásticamente y/o cortan las capas superficiales. Al desgaste contaminante abrasivo se le denomina simplemente desgaste abrasivo por ser la forma más difundida de designarlo.

1.3.5. Biodegradación de materiales plásticos ⁽¹⁸⁾ :

Este ensayo se realiza para determinar el grado de biodegradación de materiales plásticos en contacto con el suelo, o una mezcla de suelo y compost en forma natural.

2. DESARROLLO DE LA METODOLOGIA EXPERIMENTAL

2.1. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL



2.2 REACTIVOS

2.2.1 Reactivos de Síntesis

- Aceite de higuera grado USP. distribuido por Laboratorios León, Bucaramanga.
- Almidón de yuca comercial, marca Yucarina. fabricado por DISA S.A., Cali.
- Pentaeritritol, marca Fisher. distribuido por Produquímica de Colombia S.A., Bogotá.
- Oxido de plomo, marca Merck. distribuido por Produquímica de Colombia S.A., Bogotá.
- Isoforona Diisocianato ,marca Sigma, distribuido por Arquilab,Bucaramanga.
- Nitrógeno inerte.
- Etilenglicol dimetacrilato (EGDMA).

2.2.2 Reactivos de análisis

- Etanol, marca Carlo Erba. Grado reactivo analítico. distribuido por Prolar Ltda., Bucaramanga.
- Fenolftaleina.
- Tolueno, marca Mallinckrodt. distribuido por Arquilab Ltda., Bucaramanga.
- Hidróxido de potasio, marca Carlo Erba. Grado reactivo analítico, distribuido por Prolar Ltda., Bucaramanga.

- Acetona, marca Merck. Grado reactivo analítico, distribuido por Arquilab Ltda., Bucaramanga.
- Anhídrido acético, marca Merck. distribuido por Prolar Ltda., Bucaramanga.
- Piridina, marca Merck. distribuido por Produquímica de Colombia S.A., Bogotá.
- Gasolina corriente comercial.
- Hidróxido de sodio, marca Carlo Erba. Grado reactivo analítico, distribuido por Prolar Ltda., Bucaramanga.
- Tetracloruro de carbono.

2.3 DESCRIPCION DE LA METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

2.3.1 Modificación del aceite de higuera con pentaeritritol ⁽⁹⁾:

Se modificó el aceite de higuera con pentaeritritol por reacción de transesterificación; la reacción se llevó a cabo a una temperatura de 210 +/- 5 °C, utilizando óxido de plomo como catalizador y en presencia de nitrógeno, para asegurar una atmósfera inerte. Las condiciones de reacción se tomaron de trabajos anteriores ⁽³⁾.

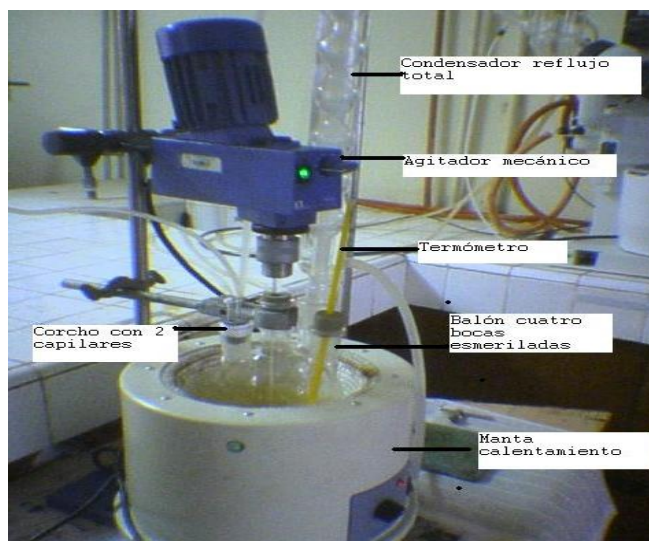


FIGURA 6 Montaje reacción transesterificación ⁽³⁾

2.3.2 Incorporación de almidón de yuca al aceite

Se incorporó almidón de yuca al aceite sin modificar y a los polioles obtenidos por transesterificación a una temperatura: 130 +/- 5 °C. Las condiciones de reacción se establecieron en trabajos previos ^(1,3).

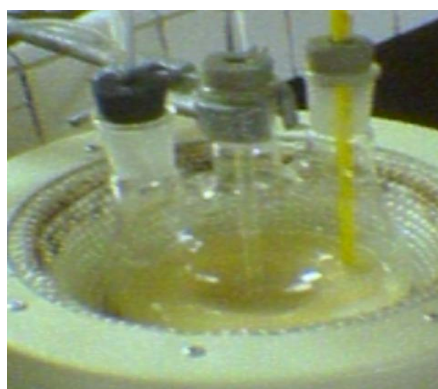


FIGURA 7 Montaje preparación polioliol-suspensiones ⁽³⁾.

2.3.3 Modificación del almidón de yuca (preparación de glucósidos)

El almidón se mezcló con etilenglicol o glicerina; la mezcla se agitó vigorosamente, luego se adicionó el catalizador, ácido sulfúrico concentrado, en relación 0.5% p/p . La reacción se llevó a cabo en un balón reactor de tres bocas esmeriladas, equipado con agitador magnético, termómetro, entrada de nitrógeno y línea de vacío, según condiciones establecidas en trabajos previos ⁽¹⁹⁾.

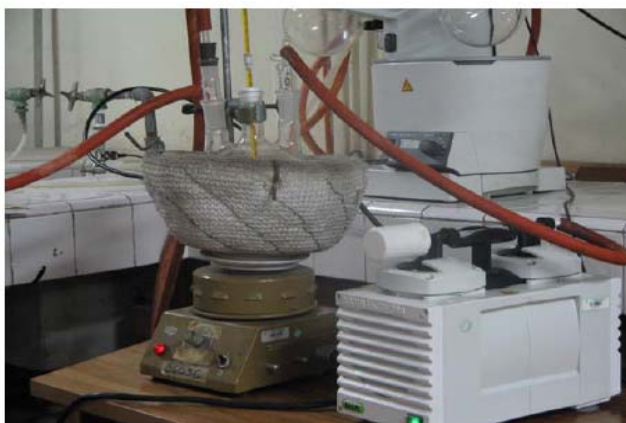


FIGURA 8 Montaje preparación glucósidos.

2.3.4 Preparación de poliol–glucósidos

El procedimiento utilizado fue el mismo descrito anteriormente para la obtención de polioles; se realizó por reacción de transesterificación, se utilizó óxido de plomo como catalizador en presencia de nitrógeno para tener una atmósfera inerte y a una temperatura: 210 ± 5 °C, reaccionando los glucósidos con el respectivo poliol según procedimiento ya estudiado en anteriores trabajos **(19)**.

NOMBRE	NOMENCLATURA	PESO POLIOL (g)	PESO ALMIDÓN (g)
Aceite + 5% glucósido etilenglicol	AC+5GE	200	10
Aceite + 5% glucósido glicerina	AC+5GG	200	10
Poliol 0 + 5% glucósido etilenglicol	P0+5GE	200	10
Poliol 0 + 5% glucósido glicerina	P0+5GG	200	10
Poliol 1 + 5% glucósido etilenglicol	P1+5GE	200	10
Poliol 1 + 5% glucósido glicerina	P1+5GG	200	10

TABLA 2 Polioli-glucósidos preparados.

2.3.5 Síntesis de recubrimientos de poliuretano ^(19, 20):

Se llevó a cabo en reactores de vidrio de 250 ml; se pesó el polioli y el diisocianato isofozona, la mezcla se agitó por 4 minutos; luego, el prepolímero obtenido se sometió a vacío para retirar las burbujas presentes. Posteriormente se aplicó el poliuretano como recubrimiento en la superficie de las diferentes probetas de acero y madera. Las probetas fueron curadas por un tiempo de 24 horas a temperatura ambiente y 48 horas a 90 °C. En todos los casos se mantuvo la relación de NCO/OH constante e igual a uno. Las cantidades de reactivos se muestran en el Anexo C.

2.3.6. Descripción del sustrato y Preparación de la superficie

El tratamiento y especificaciones de los sustratos trabajados se presentan en la siguiente tabla.

ESPECIFICACIONES	MADERA	ACERO
NOMBRE COMERCIAL	Zapan	Acero al carbono calibre 22
DIMENSIONES	Tensión: Piezas de 25x300x3 mm. Otras pruebas: Piezas de 60x40x10 mm.	Tensión: Piezas de 25x300x0.6 mm. Otras pruebas: Piezas de 60x40x0.6 mm.
TRATAMIENTO PREVIO	Lijado con papel de lija # 60 (250 μm)	Lijado con papel de lija # 60 (250 μm)
MODO DE APLICACIÓN	Adhesión: Se aplica a un área de 20 mm de diámetro. Con brocha de 2 pulgadas recubriendo totalmente la probeta	Adhesión: Se aplica a un área de 20 mm de diámetro. Con brocha de 2 pulgadas recubriendo totalmente la probeta
TIEMPO DE CURADO	12 h a temperatura ambiente y 48 h a 90°C	12 h a temperatura ambiente y 48 h a 90°C

TABLA 3 Especificaciones y preparación del sustrato.

2.3.7. CARACTERIZACION DE LOS RECUBRIMIENTOS:

Se efectuaron pruebas fisicoquímicas y físico mecánicas para determinar el comportamiento que estos recubrimientos tienen dependiendo del tipo de sustrato. Los sustratos seleccionados se presentan en la TABLA 3.

Propiedades Físicoquímicas:

- Resistencia al ataque químico, según norma ASTM D543-87. Las muestras tomadas fueron probetas de madera de 6X4X1 cms. Los reactivos usados para tal fin fueron tolueno, gasolina y tetracloruro de carbono.
- Prueba de biodegradación, por pérdida de masa del recubrimiento sobre el sustrato metálico, sometiénolo a un ambiente de agresión biológica, según la norma ASTM G85.



FIGURA 9 Montaje de prueba de biodegradación.

Propiedades físico mecánicas:

- Resistencia a la tensión, según la norma ASTM 906. Las pruebas se realizaron en el Laboratorio de Resistencia de materiales de la Escuela de Ingeniería Civil de la UIS con una máquina INSTRON.



FIGURA 10 Máquina de tensión INSTRON.

- Resistencia a la abrasión, según la norma ISO/DIS 5470, se realizaron con ruedas abrasivas H-18 calibradas con 1 Kg. de peso y con probetas de 4 pulgadas de diámetro y 2 +/- 0.5mm de espesor sin sustrato. Estas pruebas se realizaron en el Laboratorio del Plasma de la escuela de Física de la UIS con el abrasímetro ABRASER 5130 marca Taber; El índice de abrasión de TABER es la pérdida de peso en mg por 1000 ciclos de abrasión para pruebas

a condiciones específicas. Cuando el recubrimiento posee un menor índice de abrasión, este tiene mejor resistencia al desgaste. Este índice de Taber se calcula de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\frac{\left[(w_f - w_i) * 1000 \right]}{500} = \text{Indice de TABER}$$

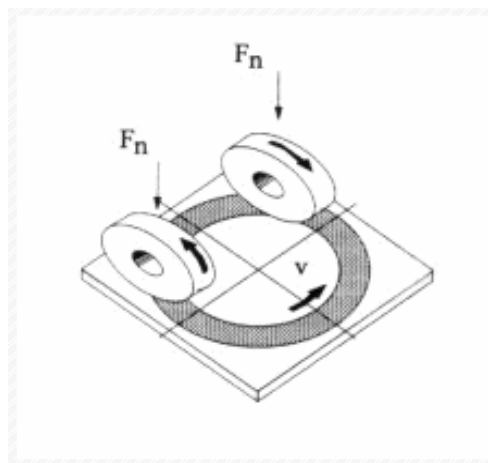
Donde $w_f - w_i$ Es la diferencia entre el peso inicial y el peso final de la muestra en gramos.



(a)



(b)



(c)

FIGURA 11 (a) Abrasímetro ABRASER 5130, (b) Pesas 1Kg (arriba), ruedas desgastadoras (abajo), (c) Fuerzas que actúan en el abrasímetro (17)

- Resistencia a la adhesión, según la norma ASTM 2651-01. Las pruebas fueron realizadas con la maquina de tracción lenta (FIGURA 9), en el laboratorio de investigación en Minerales, Biohidrometalurgia y Ambiente de Guatiguará.

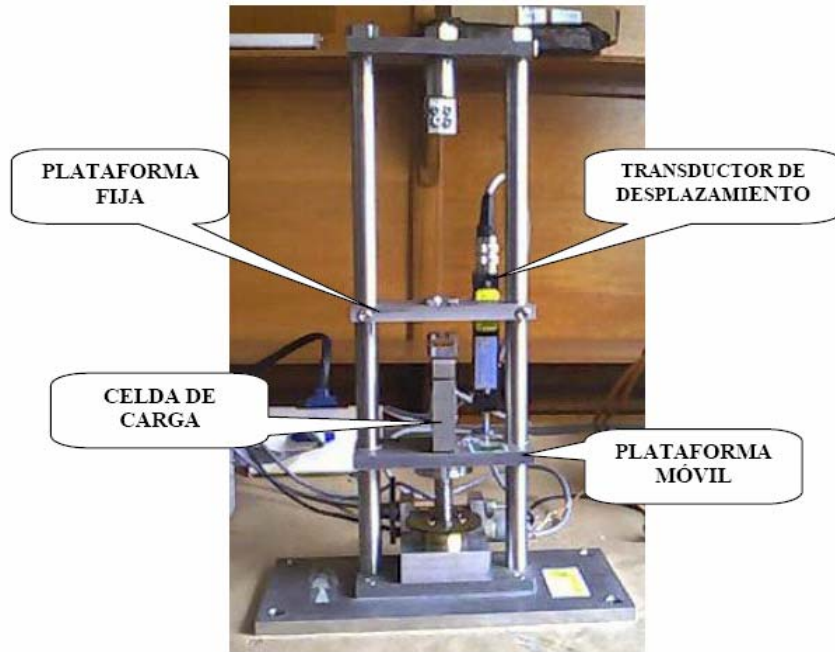


FIGURA 12 Maquina de tracción lenta ⁽²¹⁾



FIGURA 13 Interfase gráfica en LabVIEW ⁽²¹⁾

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Las pruebas de caracterización realizadas a los recubrimientos, se llevaron a cabo con el fin de determinar su influencia en las propiedades físico mecánicas y fisicoquímicas del substrato, que en este trabajo son la madera y el acero. Las pruebas realizadas a estos recubrimientos son:

3.1. Ensayos de tensión

Se obtuvieron diferentes tipos de recubrimientos dependiendo del aceite de higuera sin modificar y a partir del aceite de higuera modificado por las rutas propuestas; el índice de hidroxilo de los polioles obtenidos se presenta en la TABLA 1. Como era de esperarse, los valores de esfuerzo obtenidos para los recubrimientos en madera son menores que para los recubrimientos aplicados en acero; esto se atribuye a la fragilidad del substrato y la disminución de elasticidad debido a la rigidez y unidireccionalidad de sus fibras.

Los resultados de tensión se presentan en las FIGURAS 14-19 según el tipo de material recubierto y sus diferentes variaciones en la composición. Se encontró, que para todos los casos la resistencia a la tensión fue mayor para los materiales recubiertos, en comparación con la probeta del material sin recubrir, denominada blanco.

Se encontró que, como se puede observar en las FIGURAS 14-19, los recubrimientos preparados a partir de los poliol-glucósidos muestran una mayor resistencia tensil, en comparación con los recubrimientos obtenidos a partir del aceite de higuera modificada por transesterificación y los recubrimientos obtenidos a partir de las suspensiones poliol-almidón. Este resultado se debe a que los poliol-glucósidos, obtenidos a partir del almidón químicamente modificado, poseen una mayor funcionalidad hidroxílica que las suspensiones poliol-almidón, las cuales son simplemente una mezcla física entre el poliol y el almidón. Entonces, al utilizar un poliol de mayor índice de hidroxilo se produce un recubrimiento con mayor grado de entrecruzamiento. Es decir, al incrementar el número de enlaces se forma una red polimérica más densa, por lo que se necesita una mayor energía para romper el material.

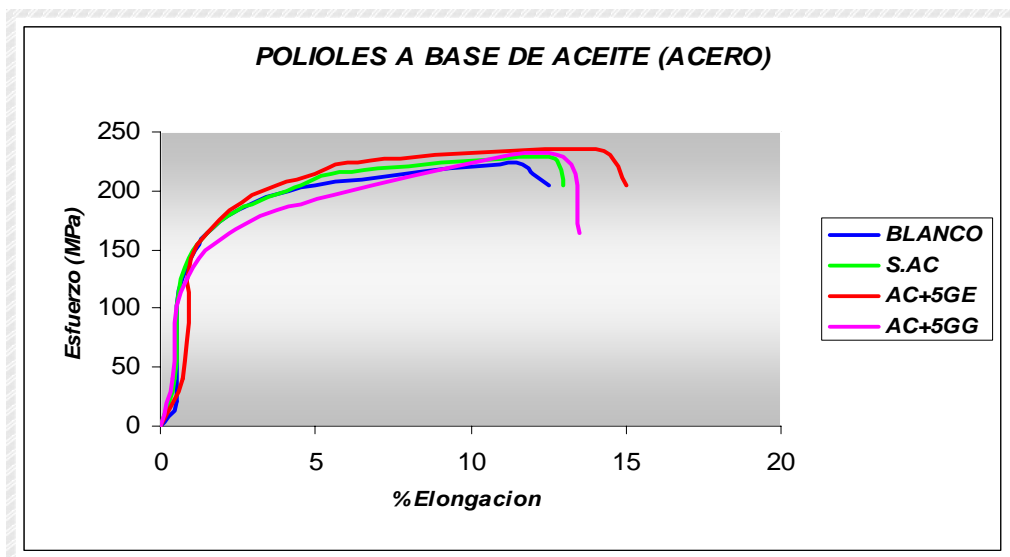


FIGURA 14 Ensayos de tensión para aceite en probetas de acero.

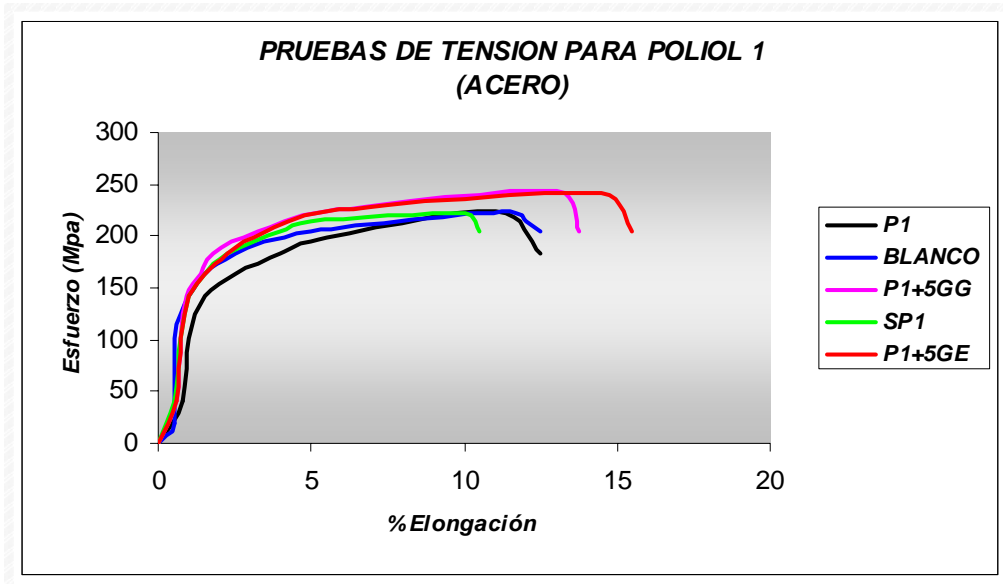


FIGURA 15 Ensayos de tensión para polioliol 1 en probetas de acero.

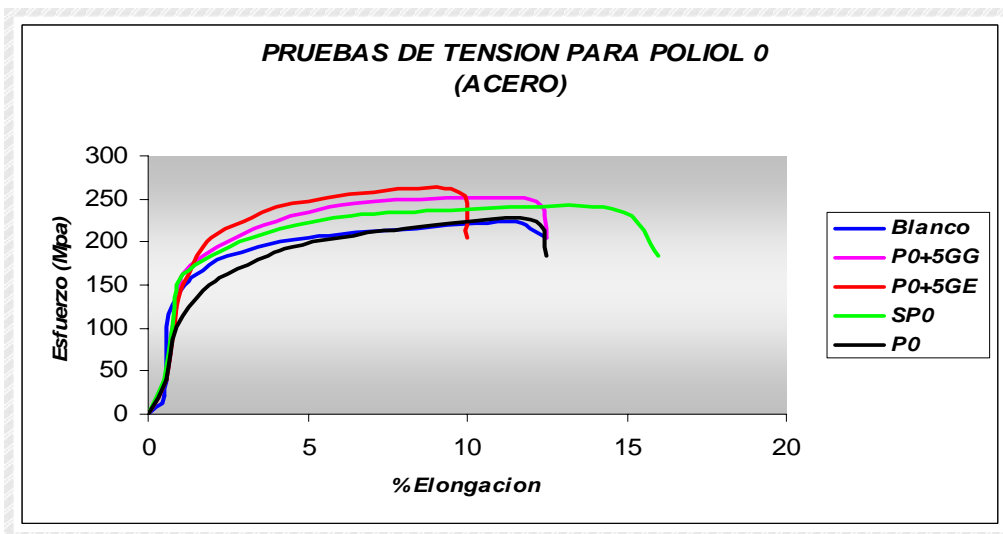


FIGURA 16 Ensayos de tensión para polioliol 0 en probetas de acero.

Se observa en las FIGURAS 14-16, correspondientes a los recubrimientos aplicados al acero, que no existe una variación significativa en los valores del módulo de Young para los distintos tipos de recubrimientos obtenidos; en contraste, se observa que el esfuerzo último y la elongación de ruptura varían considerablemente. Este resultado puede deberse a que, en la zona de comportamiento plástico es resultado principalmente de la tensión generada por el sustrato, en este caso el acero; y en la zona de comportamiento elástico la tensión es generada debido a las interacciones sustrato-recubrimiento.

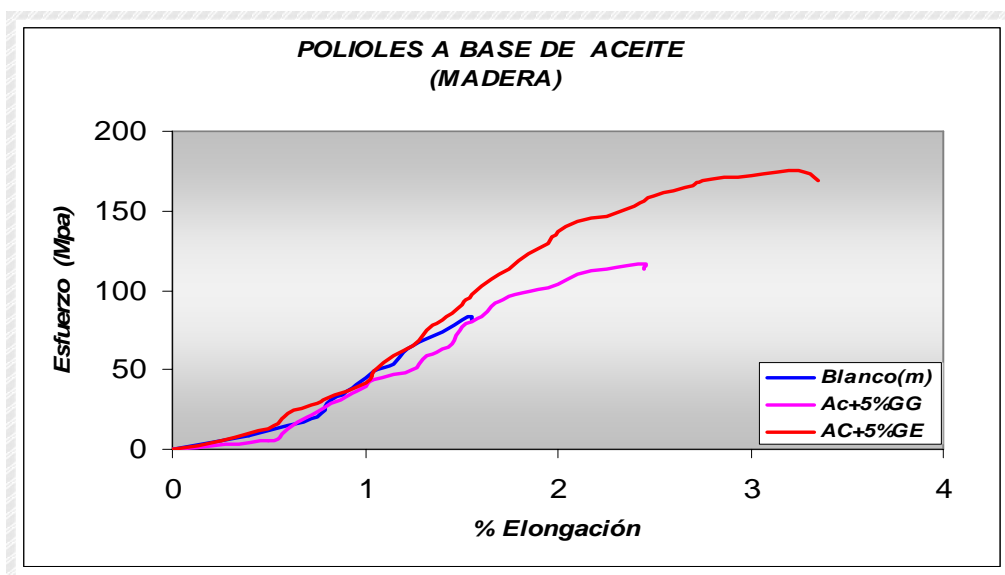


FIGURA 17 Ensayos de tensión para aceite en probetas de madera

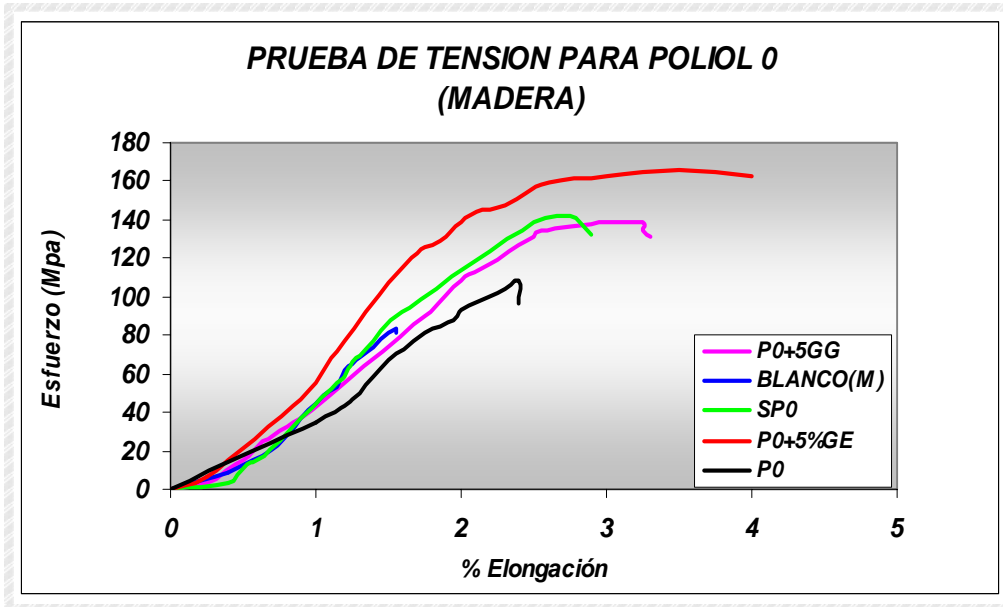


FIGURA 18 Ensayos de tensión para poliol 0 en probetas de madera

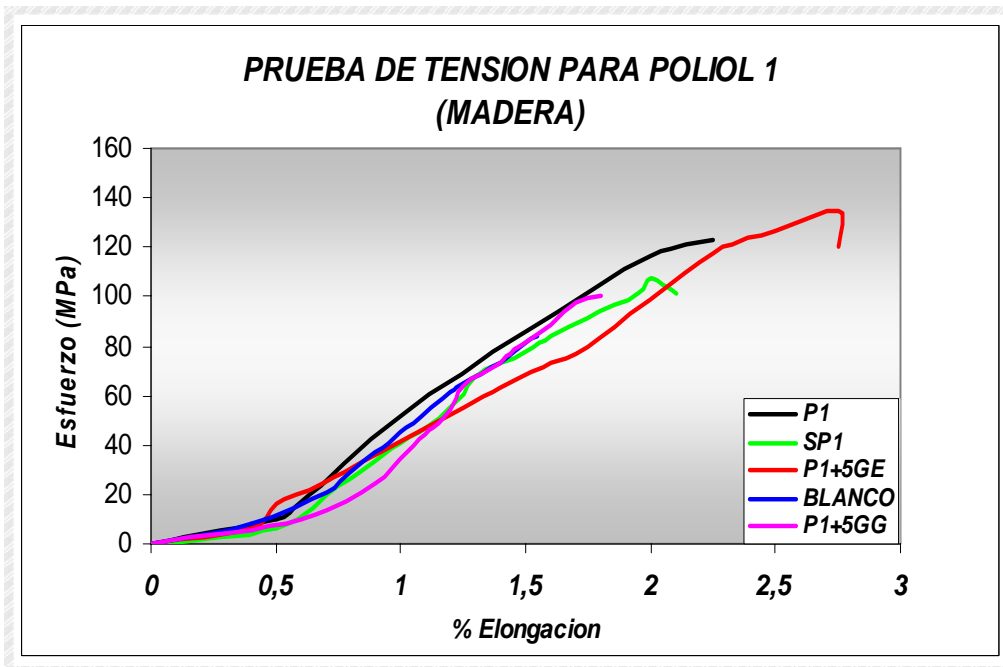


FIGURA 19 Ensayos de tensión para poliol 1 en probetas de madera

Se observan en las FIGURAS 17-19, correspondientes a los recubrimientos aplicados sobre madera, diferencias considerables en los valores del módulo, esfuerzo último y elongación de ruptura entre los diferentes tipos de recubrimientos evaluados. Estas diferencias pueden explicarse debido a la porosidad de la madera; esta porosidad genera una mayor interacción entre el recubrimiento y el sustrato, por lo que se hace más notable la diferencia del grado de entrecruzamiento de los recubrimientos obtenidos a partir de los distintos poliols (TABLA 1).

3.2. Pruebas de adhesión:

Los resultados de las pruebas de adhesión se muestran en las FIGURAS 20-23. Se encontró que los mayores valores de resistencia a la adhesión fueron para los recubrimientos obtenidos a partir de los poliols-glucósidos. Este comportamiento se debe a que, al utilizar un poliol de alto índice de hidroxilo, se genera una estructura de red más densa, con mayor fuerza de cohesión y poder adhesivo. Estos resultados concuerdan con los obtenidos para las pruebas de tensión.

Se observa en las FIGURAS 20 y 21, un comportamiento diferente en la prueba de adhesión de los recubrimientos para madera preparados a partir de poliols-suspensiones. Este efecto se puede explicar debido a que la adición física del almidón (el almidón no hace parte de la matriz del poliuretano, resultado que se verificó mediante microfotografías en un microscopio electrónico de barrido) genera gránulos donde es factible la aparición de puntos críticos concentradores de esfuerzo; estos puntos críticos provocan la falla del material debido a la rigidez del almidón; como respuesta a esta falla, los alrededores tratan de

impedir el avance de la fractura, respuesta que se evidencia en la disminución del esfuerzo y un aumento en la elongación.

En la FIGURA 21 se observa un incremento considerable del esfuerzo máximo de desprendimiento, para los recubrimientos obtenidos a partir de los glucósidos; este incremento se debe al aumento de la interacción molecular del recubrimiento con la superficie del sustrato. Este resultado se verificó al observar las probetas de los recubrimientos evaluados. Se encontró que la falla de los recubrimientos sintetizados a partir de polioles con bajo índice de hidroxilo (recubrimientos a partir de aceite de higuera sin modificar, polioles P0 y P1, y suspensiones poli-ol-almidón) presentaron las características típicas de una falla adhesiva; mientras que, los recubrimientos obtenidos a partir de polioles de alto índice de hidroxilo (poliol-glucósidos de etilenglicol y glicerina) presentaron falla del sustrato.

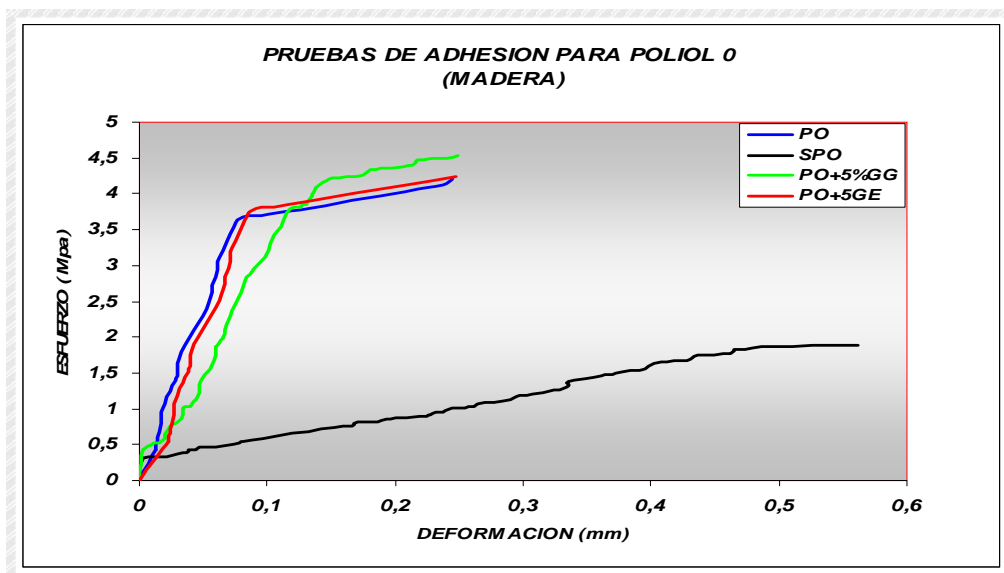


FIGURA 20 Ensayos de adhesión para poli-ol 0 en probetas de madera

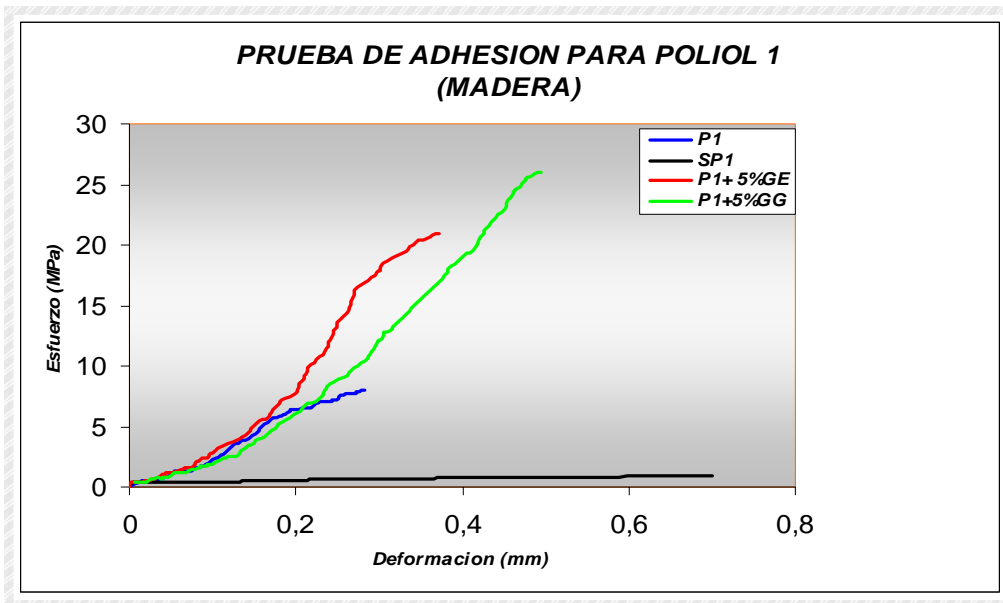


FIGURA 21 Ensayos de adhesión para poliol 1 en probetas de mader

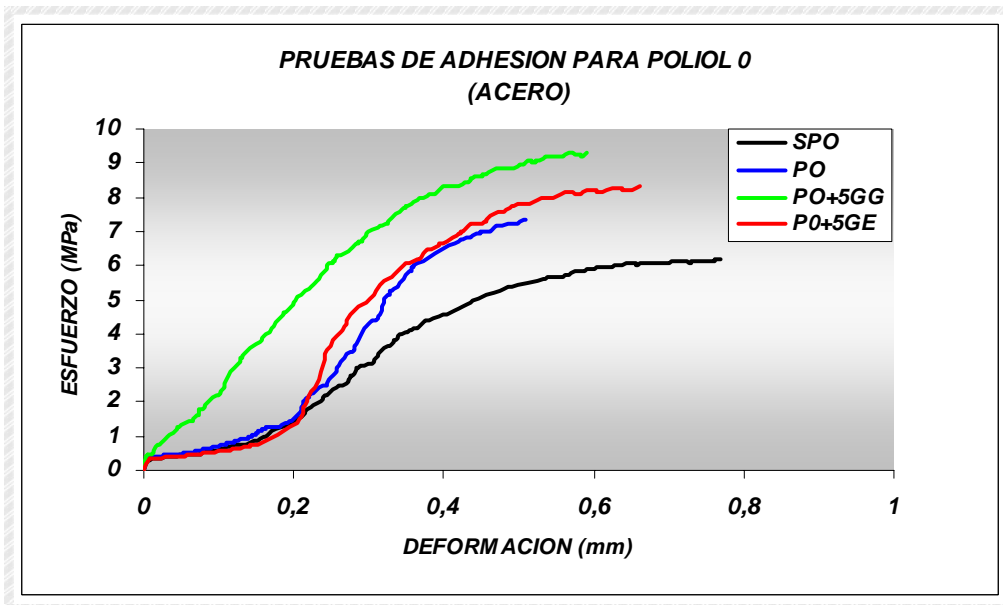


FIGURA 22 Ensayos de adhesión para poliol 0 en probetas de acero

Al observar las probetas ensayadas, se encontró que el recubrimiento aun se mantenía unido al sustrato. Es decir, que la falla se produjo en el seno del recubrimiento. Esta característica es típica de una falla cohesiva; tal comportamiento se debe a la fuerte interacción de las moléculas sustrato-recubrimiento. Adicionalmente se observó que lámina de acero se doblaba al aplicar la fuerza; esta deformación de la superficie da una idea del gran poder adhesivo entre el recubrimiento y el sustrato.

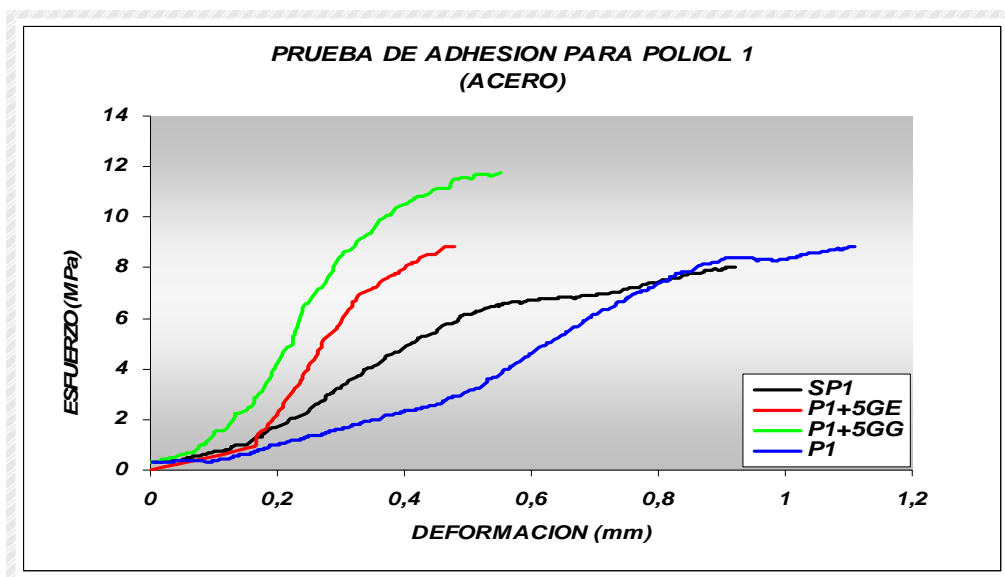


FIGURA 23 Ensayos de adhesión para polioliol 1 en probetas de acero

Los resultados de las mejores muestras de adhesión se presentan en forma resumida en la TABLA 4 donde se han incluido algunos adhesivos comerciales para establecer comparaciones⁽²²⁾

RECUBRIMIENTO	SUSTRATO	FUERZA (Mpa)
Poliol 0 +5% de Glucoxí- Glicerina	Acero	9.288
Poliol+5% de Glucoxí- Etilenglicol	Acero	8.3184
Suspensión de Polioli 0 al 5%	Acero	7.3624
Polioli 0	Acero	6.208
Polioli 1 +5% de Glucoxí- Glicerina	Acero	11.743
Polioli 1 +5% de Glucoxí- Etilenglicol	Acero	8.807
Polioli 1	Acero	8.838
Suspensión de Polioli 1 al 5%	Acero	8.043
Polioli 0 +5% de Glucoxí- Glicerina	Madera	4.526
Poliol+5% de Glucoxí- Etilenglicol	Madera	4.24
Suspensión de Polioli 0 al 5%	Madera	4.22

Polioli 1 +5% de Glucoxí- Glicerina	Madera	26.056
Polioli 1 +5% de Glucoxí- Etilenglicol	Madera	20.88
Polioli 1	Madera	8.042
Dunlop adhesive	Acero y Madera	1.2+/- 0.4
Fevicol®	Acero y Madera	2.02 +/- 0.7
Araldite®	Acero y Madera	2.83 +/- 0.9
Synthesized PU adhesive	Madera	6.31 +/- 1.7
TeMo 401	Aluminio	7.84

TABLA 4 Resultados de prueba de adhesión

Se puede apreciar que los materiales experimentados como recubrimientos superan notablemente a los comerciales encontrados como se evidencia en la TABLA 4

3.3. Desgaste Mecánico:

La prueba se realizó para los recubrimientos obtenidos a partir de los Polioles, poliol-glucósidos y poliol-suspensiones; para los preparados a partir del aceite sin modificar no fue posible realizar la prueba, debido a que no curaron adecuadamente.

Los resultados de la prueba de desgaste se muestran en las FIGURAS 24 y 25. Se encontró que la pérdida de peso es insignificante para todos los recubrimientos evaluados. Los recubrimiento que presenta mejores resultados fueron los obtenidos a partir de poliol-suspensiones; este resultado se puede atribuir a que la rigidez de los gránulos de almidón brinda mayor resistencia al desgaste.

Este resultado se corrobora con el índice de TABER que muestra en un valor más bajo para los obtenidos de Poliol- Suspensiones, tal como se indica en la FIGURA 26.

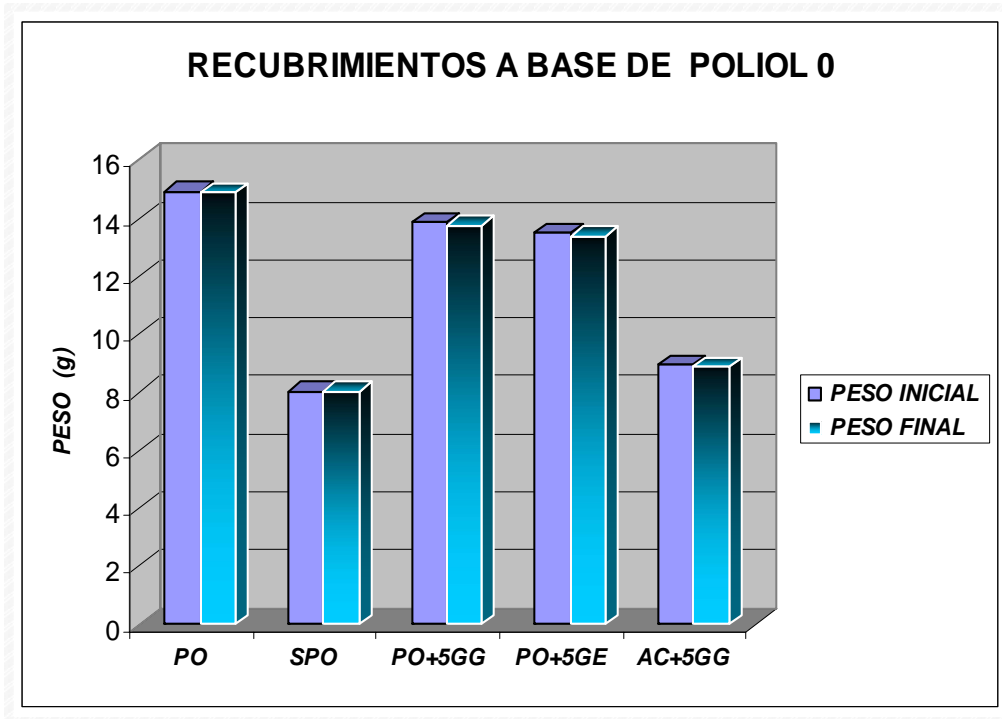


FIGURA 24 Ensayos de abrasión para recubrimientos a base de polioli 0

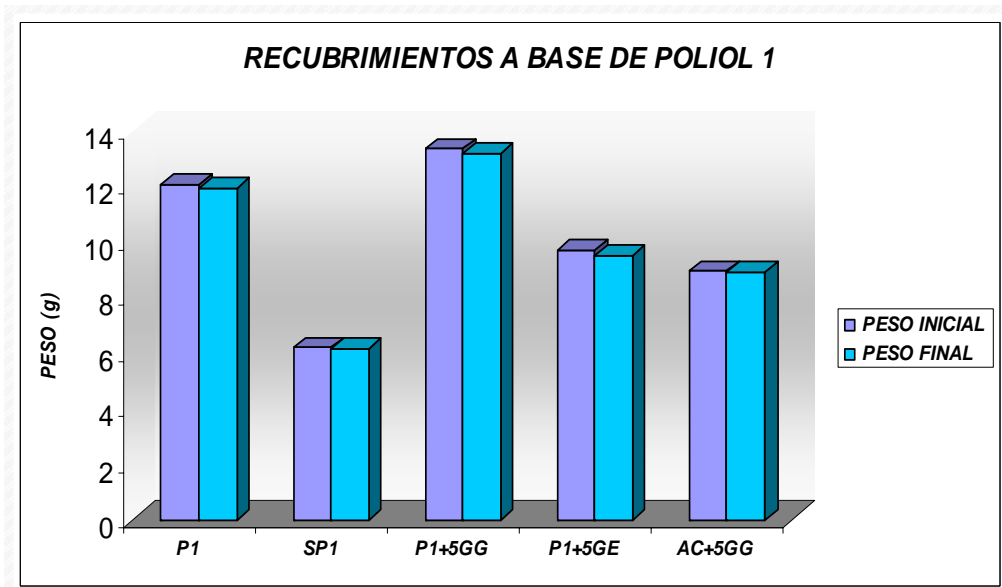


FIGURA 25 Ensayos de abrasión para recubrimientos a base de polioli 1

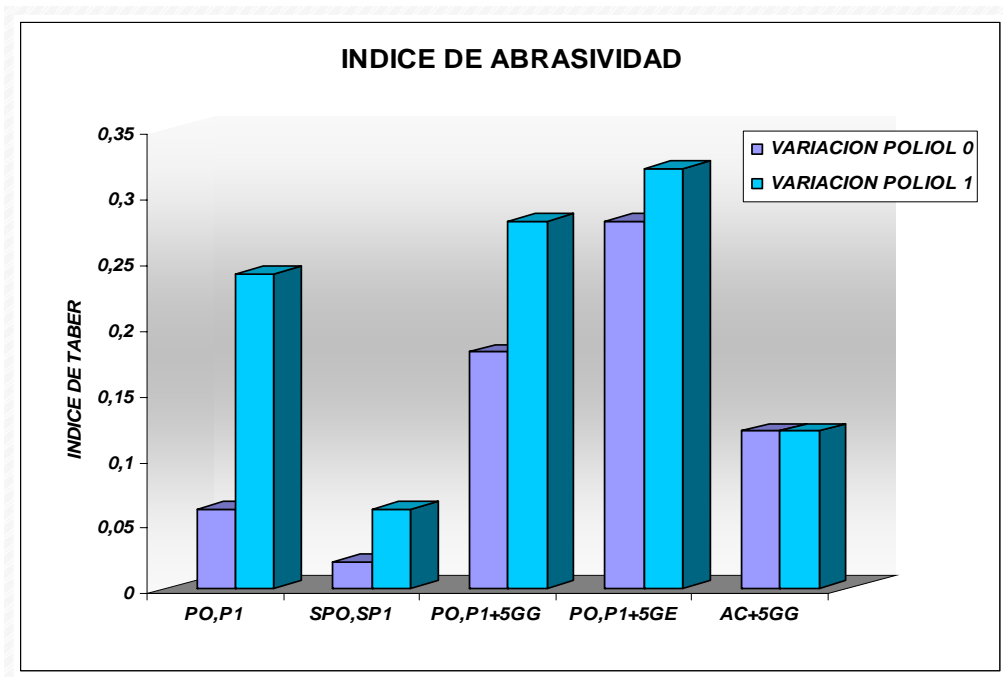


FIGURA 26 Índice de abrasividad.

3.4. Ataque químico:

En general se presentó un comportamiento similar para todos los recubrimientos evaluados; se observó un hinchamiento y cambio de color, con los tres solventes probados (tolueno, gasolina y tetracloruro de carbono). Se encontró que el grado de hinchamiento fue menor en los recubrimientos obtenidos a partir de los polioliol-glucósidos de glicerina y etilenglicol. Este resultado concuerda con evaluaciones realizadas en trabajos anteriores, que muestran que este tipo de materiales posee un mayor grado de entrecruzamiento⁽³⁾. En contraste, se observó en los recubrimientos obtenidos a partir de aceite sin modificar y en los recubrimientos obtenidos a partir del polioliol 0, desprendimiento y agrietamiento del recubrimiento. La menor

resistencia puede deberse a la menor densidad de entrecruzamiento del recubrimiento, ya que proviene de un poliol de bajo índice de hidroxilo.

Se encontró que el solvente más nocivo para los recubrimientos es el tolueno; se observó en las muestras una mayor destrucción de la superficie e hinchamiento del material.

3.5. Biodegradación:

La interacción del medio simulado con la probeta sin recubrimiento denominada blanco, produjo un deterioro la superficie del material por oxidación, afectando las propiedades físicas y químicas. (FIGURA 27).

Se encontró que los recubrimientos a partir de los glucósidos reportan la menor pérdida de peso. Se observó que la superficie del material y el recubrimiento no presentaron cambios sustanciales.

El grupo de investigación en polímeros esta llevando a cabo investigaciones de este tipo en distintos ambientes, tratando de explicar los mecanismos de degradación de cada tipo de material, dependiendo del poliol proveniente.



FIGURA 27 (De izquierda a derecha) SAC, SPI, Blanco, P1+5GG. A los 60 días.

RECUBRIMIENTO	PESO INICIAL(g)	%PESO PERDIDO (30 DIAS)	% PESO PERDIDO (60 DIAS)
BLANCO	6.528	4.76	7,263
SUSP. ACEITE 5%	11.530	0.086	0,094
ACEITE +5% GE	12.024	0.021	0,108
ACEITE +5%GG	12.161	0.049	0,115
POLIOL 0	11.783	0.016	0,079
SUSP. POLIOL 0	12.017	0.099	0,141
POLIOL 0 +5% GE	6.951	0.11	0,132
POLIOL 0 +5% GG	5.920	0.016	0,135
POLIOL 1	11.930	0.075	0,109
SUSP. POLIOL 1	5.471	0.018	0,109
POLIOL 1 +5% GE	5.862	0.061	0,083
POLIOL 1 +5% GG	12.481	0.008	0,008

TABLA 5 Perdida de peso en prueba de biodegradación

CONCLUSIONES

1. Los recubrimientos obtenidos a partir de los poliol-glucósidos presentan mayor resistencia al ataque químico, mayor resistencia de adhesión, mayor resistencia a la abrasión, mejores propiedades tensiles y brinda una buena protección al substrato sometido a un ambiente de biodegradación.
2. Los recubrimientos obtenidos a partir de poliol-suspensiones obtuvieron los valores mas bajos en las pruebas de tensión, debido a que la rigidez de los gránulos de almidón genera puntos críticos de concentración de esfuerzos los cuales provocan la falla del material bajo tensión.
3. Comparando algunos adhesivos disponibles comercialmente con los recubrimientos sintetizados en este trabajo, se encontró que éstos últimos presentan mejores características adhesivas que los adhesivos comerciales comunes usados para madera y acero.

RECOMENDACIONES

1. Garantizar una apropiada presión de vacío que permita la eliminación total del aire contenido en el poliuretano preparado para evitar la formación de burbujas dentro del recubrimiento , y así la posibilidad de que el material recubierto falle prematuramente.
2. Para un resultado confiable en las pruebas de tensión es importante garantizar un área efectiva y una aplicación uniforme del recubrimiento que evite concentraciones de esfuerzos.
3. Para complementar la prueba de corrosión se propone realizar estudios de biodegradabilidad a este tipo de material debido a la pérdida de peso observada en esta prueba.

BIBLIOGRAFIA

1. ESCALANTE, Susana, SOCARRAS, Jorge. Síntesis y caracterización de elastómeros de poliuretano a partir de metilen difenil diisocianato (MDI) y aceite de higuera modificado con almidón de yuca. Trabajo de Grado (Ingeniero Químico), Universidad Industrial de Santander. Escuela de Ingeniería Química. Bucaramanga, 2005.
2. GOMEZ, Marco. Química orgánica. Bogotá, 1988. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias, 191–196.
3. NAVAS, Daniel, CAMARGO, Diana C., Síntesis y caracterización de polímeros tipo IPN con base en aceite de higuera modificado, almidón y monómero acrílico. Trabajo de grado (Ingeniero Químico). Universidad Industrial de Santander. Escuela de Ingeniería Química. Bucaramanga, 2006.
4. DEVIA, N. MANSON, J.A. SPERLING, H. CONDE, A. En *Journal of Applied Polymer Science*, vol.24, 559-582, 1979.
5. MEJÍA, Sandra, La Higuera (Ricinus communis), Universidad Nacional. Bogotá.
6. SAUNDERS, J. FRISCH, K. En *Chem. and techn.* Parte I, vol XVI, p. 49-53, 1964.

7. BADILLO, L., Ríos, J.. Estudio técnico para la producción y aplicaciones de copolímeros vinílicos de almidón. Trabajo de grado (Ingeniero Químico), Universidad Industrial de Santander, Escuela de Ingeniería Química. Bucaramanga, 1987.
8. WILEY, J. Encyclopedia of polymer. Science and Techn. Vol. 1, p.586- 607,1964.
9. DUARTE, Diana, VALDIVIESO, María Lucia. Obtención y Caracterización de elastómeros de poliuretano a partir de Aceite de higuera modificada. Trabajo de Grado, Universidad Industrial de Santander. Escuela de Ingeniería Química. Bucaramanga, 2004.
10. <http://www.pslc.ws/spanish/urethane.htm>
11. <http://intcover.com/PDFs/ct>
12. BILLMEYER, Fred. Ciencia de los Polímeros. Barcelona. Reverté, 1975. p. 129 - 136.
13. SAUNDERS, J and FRISCH, K. Chem. y techn. Parte II, Vol XVI, 1964; p. 400.
14. SKOOG, Douglas; HOLLER, James and NIEMAN, Timothy. Principios de Análisis Instrumental, Mc Graw Hill, Quinta Edición, Madrid, 1998
15. SALOMON, G y HOUWINK, R. Adhesion and Adhesives, Elsevier, New York, 1965, Vol I, p. 3.

16. SARD, Richard, LEIDHEISER, Henry y OGBURN, Fielding. Properties of electrodeposits: their measurement and significance. New Jersey, The Electrochemical Society, 1960.
17. http://www.monografias.com/trabajos14/maquinasagricolas/maquina_sagricolas.shtml
18. <http://www.monografias.com/trabajos3/corrosion/corrosion.shtml>.
19. HERNANDEZ, Juan C., POSADA, José A.. Síntesis y caracterización de elastómeros de poliuretano a partir de almidón de yuca y aceite de higuera modificados. Trabajo de grado (Ingeniero Químico). Universidad Industrial de Santander. Escuela de ingeniería química. Bucaramanga, 2005.
20. CABRERA, Juan, NAVAS, Kelly. Síntesis y caracterización de elastómeros de poliuretano y redes poliméricas interpenetradas (IPN's) a partir de poliálcool-suspensiones de aceite de higuera y almidón de yuca, y estireno. Trabajo de Grado (Ingeniero Químico), Universidad Industrial de Santander. Escuela de Ingeniería Química. Bucaramanga, 2005.
21. TIRADO A., David F. Estudio de la influencia de las técnicas de deposición, corriente directa y corriente pulsante inversa, en la adherencia del cobre sobre zamak y níquel sobre cobre. Trabajo de grado (Ingeniero Químico). Universidad Industrial de Santander. Escuela de ingeniería química. Bucaramanga, 2006.

22. S.D. Desai et al. / International Journal of Adhesion & Adhesives 23
(2003) 396–399

ANEXOS

ANEXOS A DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE HIDROXILO SEGÚN NORMA ASTM D1957-86

Según la norma ASTM 1957-86, el índice de hidroxilo calculado como el número de miligramos de KOH equivalente al contenido de grupos OH presentes en un gramo de la muestra estudiada, se expresa así:

$$\text{Índice.hidroxilo} = \frac{B + \left(\frac{D * A}{C} \right) - V}{D} * N * 56.1 \quad [\text{mgKOH/ g..muestra}]$$

A = Solución de KOH requerida para la titulación del valor ácido (ml).

B = Solución de KOH requerida para la titulación del blanco (ml).

C = Muestra usada para el valor ácido (g).

V = Solución de KOH requerida para la titulación de la muestra acetilada (ml).

S = Muestra usada para la acetilación (g).

Poliol .Aceite	Índice de hidroxilo
AC	160,00
P0	186,30
P1	233,80
SAC	185,53
SP0	215,23
SP1	258,07
AC+5GE	257,90
AC+5GG	242,50

P0+5GE	265,90
P0+5GG	283,90
P1+5GE	297,09
P1+5GG	287,50

ANEXOS B RESULTADOS OBTENIDOS EN PRUEBAS DE ADHESION

FECHA martes, 18 de julio de 2006

HORA INICIAL 16:55:50

COMENTARIOS

Nombre del Usuario: Grupo de Polímeros

Tipo de Sustrato: acero

Tipo de Recubrimiento: polimerico P0

***** *****

TIEMPO	DESPLAZ.	FUERZA(N)	ESFUERZO (MPa)	N/mm
0,000000	0,004600	9,800000	0,305827	2130,434735
0,270000	0,007900	9,800000	0,305827	1240,506389
0,481000	0,013100	10,780000	0,336409	822,900757
0,692000	0,018100	10,780000	0,336409	595,580080
0,902000	0,023600	10,780000	0,336409	456,779644
1,112000	0,024300	11,760000	0,366992	483,950623
1,322000	0,026800	11,760000	0,366992	438,805984
1,531000	0,031100	11,760000	0,366992	378,135056
1,741000	0,033600	12,740000	0,397575	379,166680
1,950000	0,035900	12,740000	0,397575	354,874647
2,160000	0,038000	12,740000	0,397575	335,263169
2,370000	0,041200	12,740000	0,397575	309,223295
2,580000	0,044600	13,720000	0,428157	307,623327
2,789000	0,047500	13,720000	0,428157	288,842109
3,001000	0,051200	13,720000	0,428157	267,968757
3,212000	0,053700	14,700000	0,458740	273,743017
3,422000	0,056700	14,700000	0,458740	259,259265
3,634000	0,060400	14,700000	0,458740	243,377477
0,000000	0,063800	15,680000	0,489323	245,768026
0,405000	0,066100	14,700000	0,458740	222,390313
0,615000	0,068800	15,680000	0,489323	227,906969
0,826000	0,071500	15,680000	0,489323	219,300689
1,035000	0,073700	15,680000	0,489323	212,754400

1,245000	0,075400	16,660000	0,519905	220,954900
1,456000	0,079300	17,640000	0,550488	222,446403
1,666000	0,085700	17,640000	0,550488	205,834311
1,875000	0,091500	18,620000	0,581071	203,497270
2,085000	0,094000	18,620000	0,581071	198,085113
2,294000	0,095900	18,620000	0,581071	194,160586
2,504000	0,098700	18,620000	0,581071	188,652479
2,714000	0,101300	19,600000	0,611653	193,484697
2,924000	0,102800	19,600000	0,611653	190,661485
3,134000	0,104000	19,600000	0,611653	188,461535
3,343000	0,105300	20,580000	0,642236	195,441592
3,553000	0,107300	20,580000	0,642236	191,798698
3,763000	0,110200	21,560000	0,672819	195,644278
3,973000	0,113100	22,540000	0,703401	199,292662
4,183000	0,115200	22,540000	0,703401	195,659726
4,393000	0,117500	22,540000	0,703401	191,829788
4,603000	0,120800	22,540000	0,703401	186,589399
4,813000	0,125600	23,520000	0,733984	187,261154
5,023000	0,130900	23,520000	0,733984	179,679150
5,232000	0,134000	24,500000	0,764567	182,835816
5,442000	0,140400	25,480000	0,795149	181,481472
5,652000	0,144700	25,480000	0,795149	176,088452
5,862000	0,147100	26,460000	0,825732	179,877632
6,072000	0,148900	27,440000	0,856315	184,284752
6,282000	0,149600	28,420000	0,886897	189,973263
6,492000	0,153400	29,400000	0,917480	191,655797
6,702000	0,155500	29,400000	0,917480	189,067530
6,912000	0,157500	30,380000	0,948063	192,888890
	7,121000	0,159400	31,360000	0,978645
		196,737765		
7,331000	0,163700	32,340000	1,009228	197,556506
7,541000	0,165300	33,320000	1,039811	201,572902
7,751000	0,168600	35,280000	1,100976	209,252678
7,961000	0,169700	36,260000	1,131559	213,671189
8,170000	0,171000	37,240000	1,162141	217,777773
8,379000	0,172600	37,240000	1,162141	215,758979
8,589000	0,175400	38,220000	1,192724	217,901934
8,799000	0,178800	39,200000	1,223307	219,239371
9,009000	0,181400	40,180000	1,253889	221,499447
9,219000	0,185600	42,140000	1,315055	227,047417
9,429000	0,192300	43,120000	1,345637	224,232961
9,639000	0,199100	45,080000	1,406803	226,418882
9,849000	0,202800	46,060000	1,437385	227,120309

10,059000	0,205700	48,020000	1,498551	233,446773
10,269000	0,209600	49,980000	1,559716	238,454197
10,479000	0,211600	50,960000	1,590299	240,831752
10,689000	0,213200	51,940000	1,620881	243,621010
10,899000	0,214700	53,900000	1,682047	251,047976
11,109000	0,215900	55,860000	1,743212	258,730889
11,352000	0,218700	57,820000	1,804377	264,380422
11,562000	0,221800	58,800000	1,834960	265,103698
11,772000	0,225800	60,760000	1,896125	269,087697
11,982000	0,231200	62,720000	1,957290	271,280283
12,191000	0,235900	64,680000	2,018456	274,183977
12,448000	0,237900	66,640000	2,079621	280,117692
12,703000	0,240100	68,600000	2,140786	285,714290
12,913000	0,241700	69,580000	2,171369	287,877542
13,123000	0,244300	70,560000	2,201952	288,825223
13,383000	0,247200	72,520000	2,263117	293,365699
13,593000	0,249900	74,480000	2,324282	298,039218
13,803000	0,251600	76,440000	2,385448	303,815584
14,013000	0,256600	78,400000	2,446613	305,533914
14,256000	0,264500	80,360000	2,507778	303,818535
14,465000	0,269300	82,320000	2,568944	305,681381
14,675000	0,271800	84,280000	2,630109	310,080929
14,885000	0,273600	85,260000	2,660692	311,622793
15,095000	0,275200	87,220000	2,721857	316,933129
15,354000	0,276700	88,200000	2,752440	318,756788
15,606000	0,278400	89,180000	2,783022	320,330455
15,815000	0,281200	91,140000	2,844188	324,110963
16,026000	0,282900	94,080000	2,935936	332,555667
16,283000	0,287200	96,040000	2,997101	334,401110
16,493000	0,294500	98,000000	3,058266	332,767410
16,703000	0,301000	99,960000	3,119432	332,093024
16,913000	0,303600	100,940000	3,150014	332,476929
17,123000	0,306300	102,900000	3,211180	335,945136
17,383000	0,308200	103,880000	3,241762	337,053859
17,593000	0,309400	104,860000	3,272345	338,914036
17,803000	0,311300	106,820000	3,333510	343,141654
18,013000	0,313000	108,780000	3,394676	347,539943
18,245000	0,314100	110,740000	3,455841	352,562881
18,489000	0,317300	112,700000	3,517006	355,184377
18,698000	0,319900	114,660000	3,578172	358,424501
18,908000	0,326300	116,620000	3,639337	357,401170
19,118000	0,329200	117,600000	3,669920	357,229648
19,370000	0,330700	118,580000	3,700502	358,572714

19,623000	0,332100	119,560000	3,731085	360,012040
19,833000	0,333000	121,520000	3,792250	364,924920
20,042000	0,335100	122,500000	3,822833	365,562524
20,300000	0,337900	124,460000	3,883998	368,333813
20,510000	0,339300	126,420000	3,945164	372,590620
20,719000	0,344700	128,380000	4,006329	372,439793
20,930000	0,350700	130,340000	4,067494	371,656696
21,140000	0,354400	131,320000	4,098077	370,541751
21,400000	0,357000	132,300000	4,128660	370,588242
21,610000	0,360900	133,280000	4,159242	369,298960
21,820000	0,364600	134,260000	4,189825	368,239163
22,030000	0,368200	135,240000	4,220408	367,300376
22,273000	0,369900	137,200000	4,281573	370,911069
22,483000	0,371500	139,160000	4,342738	374,589517
22,693000	0,378200	140,140000	4,373321	370,544691
22,903000	0,386300	142,100000	4,434486	367,848824
23,113000	0,392700	143,080000	4,465069	364,349388
23,362000	0,396300	144,060000	4,495652	363,512502
23,572000	0,400000	145,040000	4,526234	362,599995
23,782000	0,402800	146,020000	4,556817	362,512419
23,991000	0,405000	147,000000	4,587400	362,962962
24,201000	0,406200	148,960000	4,648565	366,715911
24,411000	0,411400	149,940000	4,679148	364,462818
24,621000	0,412800	150,920000	4,709730	365,600763
24,835000	0,418400	152,880000	4,770896	365,391978
25,044000	0,424100	153,860000	4,801478	362,791784
25,254000	0,426500	154,840000	4,832061	363,048072
25,464000	0,428300	154,840000	4,832061	361,522303
25,678000	0,429000	155,820000	4,862644	363,216791
25,888000	0,431200	156,800000	4,893226	363,636366
26,098000	0,436200	157,780000	4,923809	361,714816
26,308000	0,439100	158,760000	4,954392	361,557734
26,518000	0,443000	160,720000	5,015557	362,799106
26,728000	0,449300	162,680000	5,076722	362,074345
26,938000	0,457300	164,640000	5,137888	360,026235
27,148000	0,458900	164,640000	5,137888	358,770970
27,357000	0,461200	165,620000	5,168470	359,106679
27,567000	0,463200	165,620000	5,168470	357,556129
27,777000	0,465400	165,620000	5,168470	355,865914
27,987000	0,468000	166,600000	5,199053	355,982910
28,197000	0,471500	167,580000	5,229636	355,418869
28,407000	0,476100	168,560000	5,260218	354,043270
28,616000	0,481200	169,540000	5,290801	352,327508

28,827000	0,487100	171,500000	5,351966	352,083757
29,037000	0,490300	172,480000	5,382549	351,784622
29,247000	0,492600	173,460000	5,413132	352,131551
29,457000	0,496400	173,460000	5,413132	349,435940
29,667000	0,500000	173,460000	5,413132	346,920000
29,876000	0,502900	173,460000	5,413132	344,919464
30,086000	0,506200	174,440000	5,443714	344,606864
30,303000	0,509200	176,400000	5,504880	346,425782
30,513000	0,513100	176,400000	5,504880	343,792614
30,723000	0,518200	177,380000	5,535462	342,300283
30,934000	0,520200	178,360000	5,566045	342,868118
31,144000	0,522200	178,360000	5,566045	341,554967
31,391000	0,524000	178,360000	5,566045	340,381687
31,600000	0,525800	178,360000	5,566045	339,216439
31,810000	0,527500	178,360000	5,566045	338,123240
32,020000	0,529200	178,360000	5,566045	337,037026
32,245000	0,532400	179,340000	5,596628	336,851983
32,527000	0,535600	180,320000	5,627210	336,669152
32,740000	0,542800	181,300000	5,657793	334,008837
32,949000	0,549300	182,280000	5,688376	331,840515
33,159000	0,553400	182,280000	5,688376	329,382014
33,401000	0,555400	182,280000	5,688376	328,195887
33,652000	0,556400	182,280000	5,688376	327,606038
33,861000	0,558000	182,280000	5,688376	326,666650
34,071000	0,559300	182,280000	5,688376	325,907381
34,323000	0,561500	183,260000	5,718958	326,375772
34,597000	0,563900	184,240000	5,749541	326,724600
34,807000	0,567300	184,240000	5,749541	324,766425
35,017000	0,570100	185,220000	5,780123	324,890365
35,263000	0,572600	186,200000	5,810706	325,183370
35,473000	0,575400	186,200000	5,810706	323,600976
35,683000	0,579700	186,200000	5,810706	321,200625
35,892000	0,582600	187,180000	5,841289	321,283901
36,102000	0,585900	187,180000	5,841289	319,474308
36,354000	0,588800	187,180000	5,841289	317,900808
36,618000	0,591700	188,160000	5,871871	317,998977
36,830000	0,595800	188,160000	5,871871	315,810684
37,040000	0,600700	189,140000	5,902454	314,865979
37,292000	0,604700	190,120000	5,933037	314,403822
37,505000	0,607200	190,120000	5,933037	313,109341
37,714000	0,609200	191,100000	5,963619	313,690085
37,924000	0,611200	191,100000	5,963619	312,663625
38,134000	0,614900	191,100000	5,963619	310,782245

38,385000	0,618500	191,100000	5,963619	308,973325
38,598000	0,620800	190,120000	5,933037	306,249991
38,808000	0,624800	191,100000	5,963619	305,857862
39,018000	0,630200	192,080000	5,994202	304,792116
39,276000	0,633700	193,060000	6,024785	304,655193
39,491000	0,637700	194,040000	6,055367	304,281000
39,701000	0,640600	194,040000	6,055367	302,903516
39,911000	0,644100	194,040000	6,055367	301,257564
40,121000	0,647700	194,040000	6,055367	299,583135
40,363000	0,650900	194,040000	6,055367	298,110306
40,573000	0,653500	194,040000	6,055367	296,924245
40,813000	0,655900	193,060000	6,024785	294,343649
41,023000	0,657800	194,040000	6,055367	294,983269
41,274000	0,662000	194,040000	6,055367	293,111782
41,484000	0,665000	195,020000	6,085950	293,263148
41,694000	0,670600	196,000000	6,116533	292,275575
41,904000	0,678100	196,000000	6,116533	289,042918
42,114000	0,681500	195,020000	6,085950	286,162869
42,370000	0,684400	195,020000	6,085950	284,950312
42,625000	0,689600	195,020000	6,085950	282,801628
42,835000	0,693600	194,040000	6,055367	279,757786
43,044000	0,695400	194,040000	6,055367	279,033650
43,302000	0,697500	194,040000	6,055367	278,193552
43,512000	0,700000	195,020000	6,085950	278,600005
43,722000	0,701700	195,020000	6,085950	277,925050
43,933000	0,703800	196,000000	6,116533	278,488198
44,142000	0,707700	196,000000	6,116533	276,953506
44,401000	0,710200	196,980000	6,147115	277,358486
44,615000	0,715000	196,980000	6,147115	275,496514
44,825000	0,719100	196,000000	6,116533	272,562926
45,035000	0,722600	196,000000	6,116533	271,242741
45,285000	0,726400	195,020000	6,085950	268,474663
45,495000	0,729600	195,020000	6,085950	267,297145
45,705000	0,733400	196,000000	6,116533	267,248437
45,915000	0,736000	196,000000	6,116533	266,304347
46,125000	0,743200	196,980000	6,147115	265,043056
46,385000	0,748000	196,980000	6,147115	263,342237
46,596000	0,753000	196,980000	6,147115	261,593618
46,806000	0,754800	196,980000	6,147115	260,969786
47,016000	0,757000	196,980000	6,147115	260,211351
47,276000	0,758000	196,980000	6,147115	259,868068
47,489000	0,759100	196,000000	6,116533	258,200494
47,699000	0,760100	196,980000	6,147115	259,150109

47,908000	0,761200	196,980000	6,147115	258,775614
48,118000	0,764800	197,960000	6,177698	258,838908
48,370000	0,767500	197,960000	6,177698	257,928344
48,636000	0,769900	198,940000	6,208281	258,397186
48,852000	0,772700	198,940000	6,208281	257,460848
49,062000	0,774300	198,940000	6,208281	256,928846
0,000000	0,775300	197,960000	6,177698	255,333411
0,000000	0,777100	197,960000	6,177698	254,741981

HORA FINAL16:56:47
MAXIMO ESFUERZO APLICADO [MPa]: 6,208281
TEMPERATURA [°C]: 24,918
HUMEDAD RELATIVA [%] :83,070

ANEXOS C

FECHA martes, 18 de julio de 2006

HORA INICIAL 16:18:28

COMENTARIOS

Nombre del Usuario:GRUPO DE POLIMEROS

Tipo de Sustrato: MADERA

Tipo de Recubrimiento:POLIMERICO (P0+5GG)

TIEMPO	DESPLAZ N/mm	FUERZA(N)	ESFUERZO(MPa)	
0,000000	0,003200	13,720000	0,428157	4287,500108
0,270000	0,008400	15,680000	0,489323	1866,666733
0,481000	0,011300	16,660000	0,519905	1474,336236
0,692000	0,013800	16,660000	0,519905	1207,246391
0,902000	0,015200	16,660000	0,519905	1096,052613
1,112000	0,017200	17,640000	0,550488	1025,581361
1,322000	0,019600	18,620000	0,581071	949,999989
1,531000	0,020300	19,600000	0,611653	965,517198
1,741000	0,022000	21,560000	0,672819	980,000005
1,950000	0,024400	24,500000	0,764567	1004,098380
2,160000	0,032300	27,440000	0,856315	849,535626
2,370000	0,033600	31,360000	0,978645	933,333367
2,580000	0,036100	33,320000	1,039811	922,991686
2,789000	0,039100	33,320000	1,039811	852,173940
3,001000	0,040300	33,320000	1,039811	826,798998
3,212000	0,042600	35,280000	1,100976	828,169045
3,422000	0,046200	37,240000	1,162141	806,060610
3,634000	0,047400	41,160000	1,284472	868,354404
0,000000	0,048800	45,080000	1,406803	923,770510
0,405000	0,055100	49,980000	1,559716	907,078017
	0,615000	0,058700	53,900000	1,682047
				918,2282
0,826000	0,059900	58,800000	1,834960	981,636049
1,035000	0,061200	60,760000	1,896125	992,810452
1,245000	0,063600	62,720000	1,957290	986,163464
1,456000	0,065500	63,700000	1,987873	972,519104
1,666000	0,066300	65,660000	2,049038	990,346949
1,875000	0,067800	69,580000	2,171369	1026,253683

2,085000	0,071600	73,500000	2,293700	1026,536348
2,294000	0,075300	79,380000	2,477196	1054,183258
2,504000	0,079700	84,280000	2,630109	1057,465488
2,714000	0,083000	89,180000	2,783022	1074,457872
2,924000	0,087000	92,120000	2,874770	1058,850605
3,134000	0,090000	95,060000	2,966518	1056,222180
3,343000	0,093700	97,020000	3,027684	1035,432240
3,553000	0,097800	99,960000	3,119432	1022,085874
3,763000	0,100600	102,900000	3,211180	1022,862856
3,973000	0,102500	105,840000	3,302928	1032,585375
4,183000	0,104700	109,760000	3,425258	1048,328567
4,393000	0,110300	113,680000	3,547589	1030,643727
4,603000	0,113900	117,600000	3,669920	1032,484650
4,813000	0,117800	121,520000	3,792250	1031,578971
5,023000	0,123000	122,500000	3,822833	995,934932
5,232000	0,126700	122,500000	3,822833	966,850837
5,442000	0,128600	123,480000	3,853416	960,186615
5,652000	0,130100	123,480000	3,853416	949,116087
5,862000	0,131000	123,480000	3,853416	942,595440
6,072000	0,132400	125,440000	3,914581	947,431981
6,282000	0,134700	127,400000	3,975746	945,805492
6,492000	0,135900	129,360000	4,036912	951,876340
6,702000	0,141300	132,300000	4,128660	936,305780
6,912000	0,146600	134,260000	4,189825	915,825418
7,121000	0,151200	135,240000	4,220408	894,444465
7,331000	0,157300	135,240000	4,220408	859,758448
7,541000	0,163200	135,240000	4,220408	828,676441
7,751000	0,164800	134,260000	4,189825	814,684450
7,961000	0,167100	134,260000	4,189825	803,470988
8,170000	0,169200	134,260000	4,189825	793,498803
8,379000	0,171500	136,220000	4,250990	794,285726
8,589000	0,175400	136,220000	4,250990	776,624841
8,799000	0,179400	138,180000	4,312156	770,234127
9,009000	0,182600	139,160000	4,342738	762,102930
9,219000	0,186800	139,160000	4,342738	744,967868
9,429000	0,190500	138,180000	4,312156	725,354308
9,639000	0,195100	137,200000	4,281573	703,229133
9,849000	0,199000	137,200000	4,281573	689,447233
10,059000	0,202200	136,220000	4,250990	673,689431
10,269000	0,206500	137,200000	4,281573	664,406800
10,479000	0,209700	139,160000	4,342738	663,614677
10,689000	0,213700	141,120000	4,403904	660,365009
10,899000	0,217500	143,080000	4,465069	657,839077

11,109000	0,221200	144,060000	4,495652	651,265810
11,352000	0,223700	144,060000	4,495652	643,987478
11,562000	0,226600	143,080000	4,465069	631,420989
11,772000	0,230600	142,100000	4,434486	616,218562
11,982000	0,232400	141,120000	4,403904	607,228915
12,191000	0,234900	140,140000	4,373321	596,594301
12,448000	0,236300	141,120000	4,403904	597,206924
12,703000	0,237100	143,080000	4,465069	603,458443
12,913000	0,240700	144,060000	4,495652	598,504346
13,123000	0,248900	145,040000	4,526234	582,723994
13,383000	0,253900	145,040000	4,526234	571,248542
13,593000	0,261000	144,060000	4,495652	551,954007
13,803000	0,263900	142,100000	4,434486	538,461514

HORA FINAL16:20:09
MAXIMO ESFUERZO APLICADO [MPa]: 4,526234
TEMPERATURA [°C]: 24,627
HUMEDAD RELATIVA [%] :83,070

ANEXOS D

FECHA martes, 18 de julio de 2006
HORA INICIAL 15:59:45

COMENTARIOS
Nombre del Usuario:GRUPO DE POLIMEROS
Tipo de Sustrato: MADERA
Tipo de Recubrimiento:POLIMERICO (P1+5GG)

TIEMPO	DESPLAZ	FUERZA(N)	ESFUERZO(MPa)	N/mm
0,000000	0,005200	14,700000	0,458740	2826,923069
0,404000	0,013100	14,700000	0,458740	1122,137396
0,700000	0,016900	13,720000	0,428157	811,834356
0,947000	0,018200	12,740000	0,397575	699,999971
1,164000	0,018600	13,720000	0,428157	737,634406
1,434000	0,019800	14,700000	0,458740	742,424246
1,653000	0,023200	17,640000	0,550488	760,344837
1,866000	0,028600	21,560000	0,672819	753,846158
2,187000	0,032600	23,520000	0,733984	721,472382
2,467000	0,035400	23,520000	0,733984	664,406790
2,680000	0,037800	22,540000	0,703401	596,296310
2,900000	0,039800	22,540000	0,703401	566,331666
3,117000	0,041300	24,500000	0,764567	593,220357
3,332000	0,044900	25,480000	0,795149	567,483295
3,545000	0,049500	28,420000	0,886897	574,141417
3,802000	0,052000	33,320000	1,039811	640,769218
4,015000	0,054200	38,220000	1,192724	705,166038
4,272000	0,056900	38,220000	1,192724	671,704765
4,485000	0,059500	38,220000	1,192724	642,352926
4,703000	0,061600	39,200000	1,223307	636,363640
4,915000	0,065500	40,180000	1,253889	613,435127
5,141000	0,070100	43,120000	1,345637	615,121238
5,355000	0,078400	46,060000	1,437385	587,499993
5,567000	0,082600	50,960000	1,590299	616,949171
5,783000	0,085300	52,920000	1,651464	620,398604
5,999000	0,086700	53,900000	1,682047	621,683969
6,211000	0,089200	54,880000	1,712629	615,246654
6,423000	0,092900	55,860000	1,743212	601,291708
6,681000	0,096100	58,800000	1,834960	611,862627
6,905000	0,099400	61,740000	1,926708	621,126768

7,118000	0,101900	65,660000	2,049038	644,357236
7,397000	0,105400	68,600000	2,140786	650,853868
7,637000	0,109600	72,520000	2,263117	661,678832
7,858000	0,112900	75,460000	2,354865	668,379118
8,071000	0,116900	76,440000	2,385448	653,892232
8,330000	0,120700	79,380000	2,477196	657,663619
8,544000	0,124900	83,300000	2,599526	666,933556
8,801000	0,130000	87,220000	2,721857	670,923102
9,015000	0,133300	93,100000	2,905353	698,424573
9,267000	0,136100	98,000000	3,058266	720,058811
9,480000	0,138400	101,920000	3,180597	736,416167
9,696000	0,140300	105,840000	3,302928	754,383433
9,909000	0,143600	109,760000	3,425258	764,345394
10,155000	0,146400	112,700000	3,517006	769,808719
10,370000	0,149000	116,620000	3,639337	782,684543
10,613000	0,151400	122,500000	3,822833	809,114928
10,827000	0,156200	127,400000	3,975746	815,620964
11,072000	0,161300	132,300000	4,128660	820,210769
11,319000	0,165900	141,120000	4,403904	850,632876
11,531000	0,169300	147,000000	4,587400	868,281133
11,795000	0,170900	150,920000	4,709730	883,089515
12,010000	0,173700	154,840000	4,832061	891,421967
12,266000	0,175700	158,760000	4,954392	903,585688
12,487000	0,178700	165,620000	5,168470	926,804700
12,737000	0,183200	171,500000	5,351966	936,135362
12,972000	0,188200	180,320000	5,627210	958,129665
13,210000	0,194400	188,160000	5,871871	967,901247
13,457000	0,197800	192,080000	5,994202	971,081923
13,691000	0,202400	196,980000	6,147115	973,221349
13,927000	0,205700	201,880000	6,300029	981,429289
14,171000	0,208200	207,760000	6,483525	997,886682
14,425000	0,210800	214,620000	6,697603	1018,121408
14,676000	0,214800	221,480000	6,911682	1031,098696
14,923000	0,225000	228,340000	7,125761	1014,844471
15,157000	0,230200	237,160000	7,401005	1030,234611
15,415000	0,231700	244,020000	7,615083	1053,172191
15,674000	0,233100	249,900000	7,798579	1072,072086
15,922000	0,234800	254,800000	7,951493	1085,178894
16,155000	0,236700	261,660000	8,165571	1105,449944
16,420000	0,239100	268,520000	8,379650	1123,044778
16,637000	0,244600	276,360000	8,624311	1129,844654
16,896000	0,251300	284,200000	8,868973	1130,919188
17,140000	0,257100	292,040000	9,113634	1135,900489

17,403000	0,261800	296,940000	9,266547	1134,224637
17,625000	0,264000	302,820000	9,450043	1147,045461
17,869000	0,265800	307,720000	9,602956	1157,712569
18,081000	0,270000	314,580000	9,817035	1165,111065
18,341000	0,273700	321,440000	10,031114	1174,424557
18,558000	0,279200	329,280000	10,275775	1179,369680
18,813000	0,283800	338,100000	10,551019	1191,331899
19,036000	0,287400	345,940000	10,795680	1203,688209
19,294000	0,289000	351,820000	10,979176	1217,370223
19,542000	0,290100	357,700000	11,162672	1233,023060
19,790000	0,292000	363,580000	11,346168	1245,137005
20,004000	0,295200	371,420000	11,590830	1258,197873
20,244000	0,297200	379,260000	11,835491	1276,110388
20,458000	0,299900	387,100000	12,080152	1290,763608
20,671000	0,303000	394,940000	12,324814	1303,432330
20,921000	0,304500	403,760000	12,600058	1325,976952
21,169000	0,307200	411,600000	12,844719	1339,843686
21,423000	0,313400	416,500000	12,997632	1328,972558
21,636000	0,316700	424,340000	13,242294	1339,879964
21,895000	0,319500	431,200000	13,456372	1349,608767
22,113000	0,324000	441,000000	13,762199	1361,111107
22,329000	0,327600	449,820000	14,037443	1373,076913
22,574000	0,332200	457,660000	14,282104	1377,664096
22,788000	0,336900	465,500000	14,526765	1381,715660
23,008000	0,339200	472,360000	14,740844	1392,570796
23,279000	0,340800	478,240000	14,924340	1403,286437
23,541000	0,345800	486,080000	15,169001	1405,667966
23,786000	0,348800	493,920000	15,413663	1416,055032
24,023000	0,353200	502,740000	15,688907	1423,386229
24,268000	0,357300	513,520000	16,025316	1437,223568
24,504000	0,361100	521,360000	16,269977	1443,810626
24,755000	0,365800	531,160000	16,575804	1452,050327
24,994000	0,369900	538,020000	16,789883	1454,501263
25,210000	0,373100	545,860000	17,034544	1463,039350
25,497000	0,376000	552,720000	17,248622	1470,000050
25,714000	0,379000	560,560000	17,493284	1479,050100
25,965000	0,382000	569,380000	17,768528	1490,523563
26,184000	0,385400	580,160000	18,104937	1505,345107
26,447000	0,390300	588,980000	18,380181	1509,044303
26,691000	0,394400	598,780000	18,686008	1518,204866
26,940000	0,398200	605,640000	18,900086	1520,944229
27,176000	0,404000	613,480000	19,144748	1518,514799
27,434000	0,408500	621,320000	19,389409	1520,979245

27,684000	0,412600	629,160000	19,634070	1524,866660
27,926000	0,416700	641,900000	20,031645	1540,436745
28,164000	0,420200	651,700000	20,337472	1550,928165
28,409000	0,422000	660,520000	20,612716	1565,213304
28,645000	0,425500	669,340000	20,887960	1573,066960
28,884000	0,427000	678,160000	21,163203	1588,196773
29,104000	0,429000	684,040000	21,346699	1594,498871
29,371000	0,431700	692,860000	21,621943	1604,957179
29,587000	0,435500	704,620000	21,988935	1617,956387
29,842000	0,441300	714,420000	22,294762	1618,898691
30,058000	0,447300	725,200000	22,631171	1621,283302
30,303000	0,450000	734,020000	22,906415	1631,155599
30,544000	0,452300	742,840000	23,181659	1642,361221
30,789000	0,453400	750,680000	23,426321	1655,668335
31,002000	0,455000	758,520000	23,670982	1667,076875
31,245000	0,457000	766,360000	23,915643	1676,936589
31,464000	0,460300	777,140000	24,252053	1688,333701
31,709000	0,464400	786,940000	24,557879	1694,530601
31,952000	0,469100	796,740000	24,863706	1698,443834
32,173000	0,473100	805,560000	25,138950	1702,726673
32,388000	0,475800	812,420000	25,353028	1707,482108
32,635000	0,477900	818,300000	25,536524	1712,282910
32,887000	0,479800	822,220000	25,658855	1713,672414
33,108000	0,484100	826,140000	25,781186	1706,548185
33,373000	0,490500	831,040000	25,934099	1694,271141
33,595000	0,495000	834,960000	26,056430	1686,787863
33,843000	0,502000	827,120000	25,811768	1647,649487

******* *****HORA FINAL17:01:12**
MAXIMO ESFUERZO APLICADO [MPa]: 26,056430
TEMPERATURA [°C]: 24,053
HUMEDAD RELATIVA [%] :83,070

**ANEXOS E CANTIDAD DE REACTIVOS NECESARIOS PARA PREPARAR LOS
RECUBRIMIENTOS**

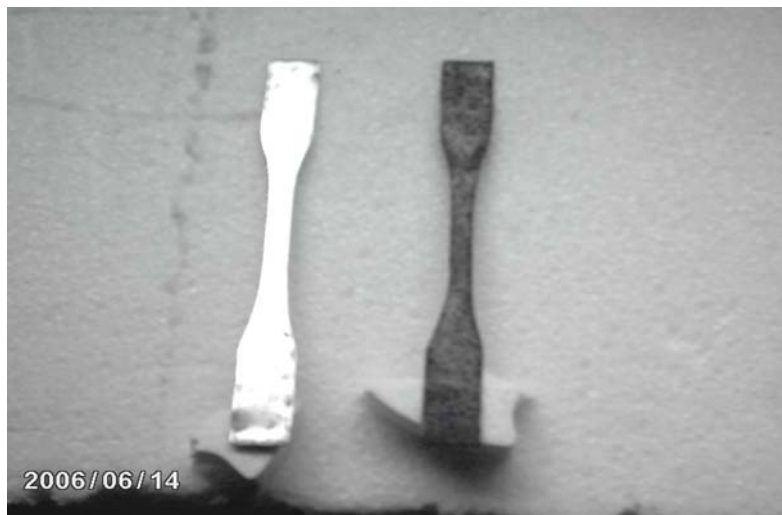
POLIOL	N° HIDROX	N°MOL OH/GMUES	N°MOL OH REQ.	G REQ	NCO	W (ISOPRONE)
AC	160,00	0,00285205	0,06	20	0,06	6,34
P0	186,30	0,00332086	0,07	20	0,07	7,38
P1	233,80	0,00416756	0,08	20	0,08	9,26
SAC	185,53	0,00330713	0,07	20	0,07	7,35
SP0	215,23	0,00383654	0,08	20	0,08	8,53
SP1	258,07	0,00460018	0,09	20	0,09	10,23
AC+5GE	257,90	0,00459715	0,09	20	0,09	10,22
AC+5GG	242,50	0,00432264	0,09	20	0,09	9,61
P0+5GE	265,90	0,00473975	0,09	20	0,09	10,54
P0 +5GG	283,90	0,00506061	0,10	20	0,10	11,25
P1+5GE	297,09	0,00529572	0,11	20	0,11	11,77
P1+5GG	287,50	0,00512478	0,10	20	0,10	11,39

ANEXOS F FOTOS

F.1 PREPARACION DE LA SUPERFICIE



Probetas antes y después de ser lijadas



F.2 APLICACIÓN DEL RECUBRIMIENTO (ACERO)



F.3 APLICACIÓN DEL RECUBRIMIENTO (MADERA)



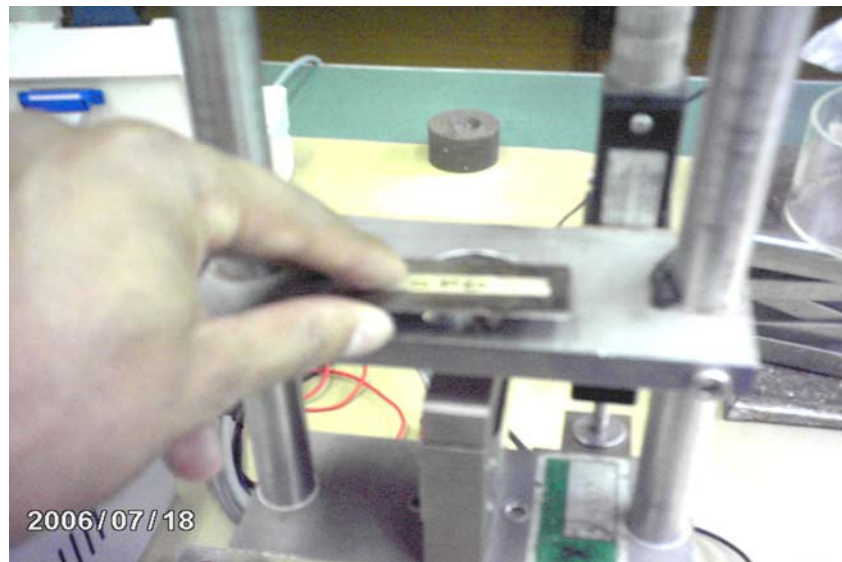
F.4 PROBETAS DESPUES DE LAS PRUEBAS DE TENSION



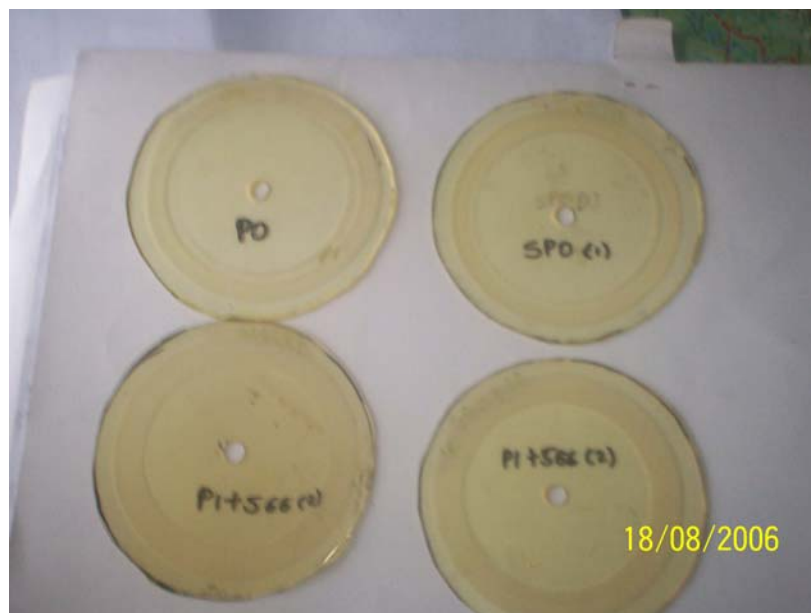
F.5 PROBETAS MONTADAS PARA PRUEBA DE ADHESION



F. 6 Montaje de la probeta en la maquina de tracción lenta



F. 7 Probetas después de prueba de abrasión



ANEXOS G NORMA PARA PRUEBAS DE ADHESION

ANEXO B.3. NORMA ASTM 2651-01



Designation: D 2651 – 01

Standard Guide for Preparation of Metal Surfaces for Adhesive Bonding¹

This standard is issued under the fixed designation D 2651; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last approval. A superscripted epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or approval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

INTRODUCTION

It is impossible and impractical to present a single surface-preparation method for a metal group, such as aluminum alloys, stainless steels, magnesium alloys, etc. The wide variety of individual alloys and heat treatments under each group, the fact that certain adhesives exhibit specific compatibilities with surface preparation and the complexity and nature of parts being bonded preclude the use of an all-inclusive procedure for a metal group. Procedures for aluminum alloys are well standardized, possibly because more bonding has been done with these alloys. Preliminary tests should be conducted with the specific adhesive and the exact lot of metals to determine performance. This is especially true for stainless steel. The adhesive manufacturers' recommendation should also be considered.

1. Scope

1.1 This guide covers procedures that have proved satisfactory for preparing various wrought metal surfaces for adhesive bonding. It does not address the preparation of cast metals.

1.2 The values stated in SI units are to be regarded as the standard. The values given in parentheses are for information only.

1.3 Surface preparation methods are included for:

Metal	Section
Aluminum Alloys	7
Stainless Steel	8
Carbon Steel	9
Titanium Alloys	10
Magnesium Alloys	11
Copper and Copper Alloys	12

1.4 Procedures included herein are based on the commercial practice of numerous agencies and organizations. The methods may be revised or supplemented, as necessary, to include methods based on proven performance.

1.5 The surface preparation of metal systems used for qualification and quality control testing of the adhesive should be agreed upon by both manufacturer and user.

1.6 This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applica-

bility of regulatory limitations prior to use.²

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

D 907 Terminology Relating to Adhesives³

D 1125 Test Methods for Electrical Conductivity and Resistivity of Water⁴

D 2674 Methods of Analysis of Sulfochromate Etch Solution Used in Surface Preparation of Aluminum³

D 3933 Guide for Preparation of Aluminum Surfaces for Structural Adhesive Bonding (Phosphoric Acid Anodizing)³

2.2 ASTM International Document:⁵

Metals Handbook Volume V

2.3 Military Specifications:⁶

MIL-A-8625 Type II, Anodic Coatings for Aluminum and Aluminum Alloys

MIL-M-3171 Magnesium Alloy, Processes for Pretreatment and Prevention of Corrosion

MIL-M-45202 Magnesium Alloy, Anodic Treatment of

2.4 SAE Standards:⁷

Aerospace Material Specification 2470—Anodic Treatment of Aluminum Base Alloy, Chromic Acid Treatment

² A surfactant that has been found suitable for this purpose consists of a 50 % mixture of a cationic and a nonionic surfactant such as Zonyl FSC manufactured by E. I. du Pont, Wilmington, DE 19885.

³ Annual Book of ASTM Standards, Vol. 15.05.

⁴ Annual Book of ASTM Standards, Vol. 11.01.

⁵ Available from ASTM International, Menlo Park, OH 44073.

⁶ Available from Standardization Documents, Order Desk, Bldg. 4, Section D, 700 Robbins Ave., Philadelphia, PA 19111, Attn: NPODS.

⁷ Available from the Society of Automotive Engineers (SAE), 400 Commonwealth Dr., Warrendale, PA 15096.

¹ This guide is under the jurisdiction of ASTM Committee D14 on Adhesives and is the direct responsibility of Subcommittee D14.80 on Metal Bonding Adhesives. Current edition approved Oct. 10, 2001. Published December 2001. Originally published as D 2651 – 67. Last previous edition D 2651 – 90 (1995).

3. Terminology

3.1 *Definitions*—Many of the terms in this guide are defined in Terminology D 907.

4. Apparatus

4.1 *Trays or Pans*, suitable for preparation of laboratory specimens and small parts. Generally in production, a series of tanks containing the necessary solutions is arranged with overhead cranes to transport parts to be prepared. Tanks should be lined with suitable materials to resist the solutions, and methods for circulating the solutions and heating with temperature controls should be included if required.

4.2 *Hooks, Baskets, Clamps*, or other holding devices, may be used to convey parts being prepared. The use of a 300 Series stainless steel for such equipment is suggested. Other metals may be used if they are resistant to the solution used.

5. Conditions

5.1 *Handling*—All parts during and after processing and before bonding should be handled as little as possible and only with clean, lint-free cotton or nylon fabric gloves.

5.2 Water used for preparing solutions should be distilled, steam condensate, demineralized, deionized or otherwise treated, if necessary, to obtain a condition of not more than 50 ppm of solids and have a pH between 5.5 and 10, or not more than 50 ppm of dissolved solids and not over 30 micromhos conductance (see Test Methods D 1125). Rinsing may be done by spray or by dipping in a tank in which the water is circulated and constantly being renewed by an overflow method. After removing from any rinse the water-break test is commonly used. If the water film is discontinuous, it indicates that the process is unsatisfactory and must be repeated (see 5.5.4). Other methods, such as indicator paper and contact angle, have been used to determine the effectiveness of the process. Rinsing should be sufficiently long and vigorous to assure removal of soluble residue chemicals, or particles. Critical specific temperatures are specified for the rinse water in some processes. Where not specified, temperature is not critical. The number of times a process may be repeated depends upon the amount of metal removed in relation to the tolerance requirements for the part and whether clad or bare metal is used. Generally, not more than two repeat treatments are permitted.

NOTE 1—No entirely foolproof method exists to determine bondability of a metal surface after preparation. Trial bonding followed by testing and evaluation against mechanical strength standards should be conducted to determine initial and continuous effectiveness of a method.

5.3 *Solutions*—The life of solutions should be standardized. The useful life of solutions depends upon the number and size of the parts being prepared. Solutions should be sampled periodically and analyzed for materials pertinent to the particular treatment method, such as, titration for hexavalent chromium (CrO_3), iron, chlorides, aluminum, etc. A pH reading or acid content of trichloroethane vapor degreasing solution, or both, should be obtained. Standards should be established and records kept for such tests on each lot or vat of solution. Records should indicate the continuous conditions of solutions, such as amount of constituents added to bring solutions within limits, amount of contaminants present and date prepared (see Methods D 2674).

5.4 *Room Conditions* for surface preparation as well as other adhesive bonding operations should be controlled for temperatures of 18 to 24°C (65 to 75°F), relative humidity of 40 to 65 %, air-filtered to remove dust and pressure maintained at slightly higher than ambient.

5.4.1 The time and conditions between surface preparation and applying adhesive primer, if used, and bonding are critical. Usually, the time should not exceed 8 h and parts should be covered or wrapped in Kraft paper. Prepared surfaces can change their characteristics on standing and adhesives vary widely in their tolerance of adherend surface conditions. In production bonding of complicated or large parts, the time interval may exceed 8 h. Investigation should be made to determine the time limitation of the adhesive and the rate of change on the surface of the adherend. On the basis of the results of such an investigation, it may be possible to extend the length of time and establish standards for the interval between surface preparation and adhesive application to fit production schedules. Contaminating operations in the area should be avoided. Especially detrimental are paint or other spraying operations, processes using powdered materials, oil vapors from pumps and other machinery and spraying of mold release agents.

5.5 Common Steps:

5.5.1 Remove ink markings or stamped identifications from the metals. This can be accomplished by wiping with a cloth wetted with a variety of commercial solvents, such as acetone, methyl ethyl ketone, lacquer thinner and naphtha.

5.5.2 The preferred degreasing method is vapor degreasing with 1,1,1-trichloroethane. Commercial vapor degreasing equipment is usually used. This equipment has a deep tank with provision for heating a chlorinated solvent to 82 to 87°C (180 to 190°F). Parts are suspended in the vapor zone above the hot liquid and allowed to remain until there is condensation and run off (approximately 5 min). This step is repeated if necessary until all visible contamination is removed. The parts are raised above the tank and allowed to dry thoroughly. Previously bonded parts, such as honeycomb core materials, are usually not degreased due to difficulty in removing residue.

5.5.3 Following vapor degreasing, mechanical or chemical cleaning methods are usually employed.

5.5.4 A water-break test is a common method used to analyze surface cleanliness. This test depends on the observation that a clean surface (one that is chemically active or polar) will hold a continuous film of water, rather than a series of isolated droplets. This is known as a water-break-free condition. A break in the water film indicates a soiled or contaminated area. Distilled water should be used in the test, and a drainage time of about 30 s should be allowed. Any trace of residual cleaning solution should be removed or a false conclusion may be made. If a water-break-free condition is not observed on the treated surface, it should not be used for bonding. The surface should be recleaned until the test is passed. If continuous failures occur, the treating process itself should be analyzed to determine the cause of the problem.

6. Report

6.1 The report for all methods consists of flow charts, record sheets or other methods that indicate all steps in the surface preparation used, with spaces for entries made upon completion of each step.

ANEXOS H NORMA PARA PRUEBAS DE ABRASIÓN



Designation: D 4060 - 90

Standard Test Method for Abrasion Resistance of Organic Coatings by the Taber Abraser¹

This standard is issued under the fixed designation D 4060; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

1. Scope

1.1 This test method covers the determination of the resistance of organic coatings to abrasion produced by the Taber Abraser on coatings applied to a plane, rigid surface, such as a metal panel.

1.2 Because of the poor reproducibility of this test method, it should be restricted to testing in only one laboratory when numerical abrasion resistance values are to be used. Interlaboratory agreement is improved significantly when rankings of coatings are used in place of numerical values.

1.3 *This standard does not purport to address the safety problems associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

- D 823 Test Methods for Producing Films of Uniform Thickness of Paint, Varnish, and Related Products on Test Panels²
- D 968 Test Methods for Abrasion Resistance of Organic Coatings by Falling Abrasive²
- D 1005 Test Methods for Measurement of Dry-Film Thickness of Organic Coatings Using Micrometers²
- D 1186 Test Methods for Nondestructive Measurement of Dry Film Thickness of Nonmagnetic Coatings Applied to a Ferrous Base²
- D 1400 Test Method for Nondestructive Measurement of Dry Film Thickness of Nonconductive Coatings Applied to a Nonferrous Metal Base²
- D 2240 Test Method for Rubber Property—Durometer Hardness³

3. Terminology

3.1 Descriptions of Terms Specific to This Standard:

3.1.1 Abrasion resistance can be expressed as one or more of the following terms:

3.1.1.1 *wear index*—1000 times the loss in weight in milligrams per cycle.

3.1.1.2 *weight loss*—the loss in weight in milligrams,

determined at a specified number of cycles.

3.1.3 *wear cycles per mil*—the number of cycles of abrasion required to wear a film through to the substrate per mil of film thickness.

4. Summary of Test Method

4.1 The organic coating is applied at uniform thickness to a plane, rigid panel and, after curing, the surface is abraded by rotating the panel under weighted abrasive wheels.

4.2 Abrasion resistance is calculated as loss in weight at a specified number of abrasion cycles, as loss in weight per cycle, or as number of cycles required to remove a unit amount of coating thickness.

5. Significance and Use

5.1 Coating on substrates can be damaged by abrasion during manufacturing and service. This test method has been useful in evaluating the abrasion resistance of attached coatings. Ratings produced by this test method have correlated well with ratings produced by the falling abrasive values in Test Method D 968.

6. Apparatus

6.1 Taber Abraser⁴

6.2 *Abrasive Wheels*—Resilient calibrase wheels No. CS-10 or CS-17, as required, shall be used. Because of the slow hardening of the rubber bonding material in this type of wheel, the wheels should not be used after the date marked on them, or one year after their purchase if the wheels are not dated.

NOTE 1—The hardness of the wheels can be checked by Test Method D 2240. An acceptable hardness for both types of wheels is 81 ± 5 units on Shore Durometer A-2 Scale.

NOTE 2—The CS-17 wheels produce a harsher abrasion than the CS-10 wheels.

6.3 *Resurfacing Medium*, an S-11 abrasive disk, used for resurfacing the abrasion wheels.

6.4 *Vacuum Pick-Up Assembly*, consisting of a vacuum unit, a variable transformer suction regulator, a nozzle with bracket attachment, and a connecting hose with adaptor.

7. Test Specimens

7.1 Apply a uniform coating of the material to be tested to a plane, rigid panel. Specimens shall be a disk 4 in. (100 mm) in diameter or a plate 4-in. (100-mm) square with rounded corners and with a 1/4-in. (6.3-mm) hole centrally located on

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D-1 on Paint and Related Coatings and Materials and is the direct responsibility of Subcommittee D01.23 on Physical Properties of Applied Paint Films.
Current edition approved May 23, 1990. Published July 1990. Originally published as D 4060 - 81. Last previous edition D 4060 - 84.

² *Annual Book of ASTM Standards*, Vol. 06.01.

³ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol. 09.01.

⁴ Available from Teledyne Taber, North Tonawanda, NY 14120.

each panel. Prepare a minimum of two coated panels for the material.

NOTE 3—The coatings should be applied in accordance with Test Methods D 823, or as agreed upon between the purchaser and the seller.

NOTE 4—The thickness of the dry coatings should be measured in accordance with Test Methods D 1005, D 1186, or D 1400.

8. Standardization

8.1 Mount the selected abrasive wheels on their respective flange holders, taking care not to handle them by their abrasive surfaces. Adjust the load on the wheels to 1000 g.

8.2 Mount the resurfacing medium (S-11 abrasive disk) on the turntable. Lower the abrading heads carefully until the wheels rest squarely on the abrasive disk. Place the vacuum pick-up nozzle in position and adjust it to a distance of 1/2 in. (1 mm) above the abrasive disk.

8.3 Set the counter to "zero" and set the suction regulator to approximately 50 points on the dial. The setting may be increased to 90 if more effective removal of the abradings appears necessary.

8.4 Start the vacuum pick-up and then the turntable of the abrader. Resurface the wheels by running them 50 cycles against the resurfacing medium.

NOTE 5—The wheels should be resurfaced in this manner before testing each specimen and after every 500 cycles.

9. Conditioning

9.1 Cure the coated panel under conditions of humidity and temperature as agreed upon between purchaser and seller.

9.2 Unless otherwise agreed upon between purchaser and seller, condition the coated panel for at least 24 h at 23 ± 2°C and 50 ± 5 % relative humidity. Conduct the test in the same environment or immediately on removal therefrom.

10. Procedure

10.1 Weigh the test specimen to the nearest 0.1 mg and record this weight, if either the wear index or the weight loss is to be reported.

10.2 Measure the coating thickness of the test specimen in several locations along the path to be abraded.

10.3 Mount the test specimen on the turntable. Place the abrading heads on the test film and the vacuum pick-up nozzle in position as outlined in 8.2. Set the counter and suction regulator as outlined in 8.3.

10.4 Start the vacuum pick-up and then the turntable of the abrader. Subject the test specimen to abrasion for the specified number of cycles or until wear through of the coating is observed. In determining the point of wear through, stop the instrument at intervals for examination of the test specimen.

10.5 Remove any loose abradings remaining on the test specimen by light brushing. Reweigh the test specimen.

10.6 Repeat 10.1 to 10.5 on at least one additional test specimen of the material under test.

11. Calculation

11.1 Wear Index—Compute the wear index, *I*, of a test specimen as follows:

$$I = \frac{(A - B) 1000}{C}$$

where:

A = weight of test specimen before abrasion, mg.
B = weight of test specimen after abrasion, mg, and
C = number of cycles of abrasion recorded.

NOTE 6—In calculating wear index it may be advisable to discard the last 200 cycles because the results may be affected by abrasion of the exposed substrate.

11.2 Weight Loss—Compute weight loss, *L*, of the test specimen as follows:

$$L = A - B$$

where:

A = weight of test specimen before abrasion, mg, and
B = weight of test specimen after abrasion, mg.

11.3 Wear Cycles Per Mil—Compute the wear cycles per mil, *W*, of the test specimen as follows:

$$W = D/T$$

where:

D = number of cycles of abrasion required to wear coating through to substrate and
T = thickness of coating, mils (0.001 in.) (to one decimal place).

NOTE 7—In calculating the wear cycles, it is advisable to discard the first and last readings because the first may be affected by an uneven surface and the last by abrasion of parts of the substrate.

12. Report

12.1 Report the following information for each test material:

12.1.1 Temperature and humidity during conditioning and at the time of testing,

12.1.2 Thickness of coating when wear cycles are specified,

12.1.3 Kind of calibrase abrasive wheels used,

12.1.4 Load applied to the abrasive wheels,

12.1.5 Number of wear cycles recorded for each test specimen,

TABLE 1 Precision of Taber Abrasion Values

	Within Laboratory		Between Laboratories	
	Coefficient of Variation, %	Maximum Allowable Difference, %	Coefficient of Variation, %	Maximum Allowable Difference, %
Weight loss at 500 cycles	12	48	36	105
Weight loss at 1000 cycles	10	46	30	90
Wear index at 500 cycles	13	52	36	105
Wear index at 1000 cycles	10	46	30	92
Cycles per mil	13	44	31	92

ANEXOS I RESULTADOS DE PRUEBAS DE TENSIÓN

	BLANCO MADERA	
DEFORMACIÓN (mm)	FUERZA (Kg)	ESFUERZO (Mpa)
0		0
0,4	20	8,17166667
0,75	50	20,4291667
0,8	70	28,6008333
0,9	90	36,7725
0,95	100	40,8583333
1	110	44,9441667
1,05	120	49,03
1,15	130	53,1158333
1,2	150	61,2875
1,25	160	65,3733333
1,4	180	73,545
1,5	200	81,7166667
1,55	205	83,7595833
1,55	200	81,7166667

	BLANCO ACERO	
DEFORMACIÓN (mm)	FUERZA (kg)	ESFUERZO (Mpa)
0	0	0
0,5	10	20,4291667
0,55	50	102,145833
1	70	143,004167
1,5	80	163,433333
2,5	90	183,8625
5	100	204,291667
11,5	110	224,720833
12	105	214,50625
12,5	100	204,291667

PRUEBA DE TENSIÓN (AC+5%GG) MADERA		
DEFORMACIÓN (mm)	FUERZA (Kg)	ESFUERZO (Mpa)
0	0,5	0,16676871
0,5	15	5,00306122
0,55	20	6,6707483
0,6	40	13,3414966
0,65	50	16,6768707
0,7	60	20,0122449
0,75	70	23,347619
0,9	100	33,3537415
0,95	110	36,6891156
1	120	40,0244898
1,05	130	43,3598639
1,25	150	50,0306122
1,3	170	56,7013605
1,35	180	60,0367347
1,45	200	66,707483
1,5	230	76,7136054
1,6	250	83,3843537
1,65	270	90,055102
1,7	280	93,3904762
1,75	290	96,7258503
1,9	300	100,061224
2	310	103,396599
2,1	330	110,067347
2,25	340	113,402721
2,45	350	116,738095
2,45	340	113,402721

PRUEBA DE TENSION (AC+5%GE) MADERA		
DEFORMACIÓN (mm)	FUERZA (Kg)	ESFUERZO (Mpa)
0	0	0
0,25	15	4,8705298
0,5	40	12,9880795
0,55	50	16,2350993
0,6	70	22,7291391
0,75	90	29,2231788
0,8	100	32,4701987
1	130	42,2112583
1,05	150	48,705298
1,15	180	58,4463576
1,25	200	64,9403974
1,3	220	71,4344371
1,35	240	77,9284768
1,4	250	81,1754967
1,5	280	90,9165563
1,55	300	97,410596
1,65	330	107,151656
1,75	350	113,645695
1,85	380	123,386755
1,95	400	129,880795
2	420	136,374834
2,1	440	142,868874
2,25	450	146,115894
2,4	470	152,609934
2,5	490	159,103974
2,7	510	165,598013
2,75	520	168,845033
3	530	172,092053
3,25	540	175,339073
3,35	520	168,845033

PRUEBA DE TENSION (SP1) ACERO		
DEFORMACION (mm)	FUERZA (kg)	ESFUERZO (Mpa)
0	0	0
0,5	20	40,8583333
0,75	50	102,145833
1	70	143,004167
1,5	80	163,433333
2,25	90	183,8625
4	100	204,291667
5	105	214,50625
10	109	222,677917
10,5	100	204,291667

PRUEBA DE TENSION (P0) ACERO		
DEFORMACION (mm)	FUERZA (kg)	ESFUERZO (Mpa)
0	0	0
0,6	20	40,8583333
0,9	50	102,145833
1,7	70	143,004167
2,5	80	163,433333
3,75	90	183,8625
4,5	95	194,077083
6	100	204,291667
8	105	214,50625
12	111	226,76375
12,5	90	183,8625