

DESARROLLO DE UNA FORMULACIÓN DE UN SOLVENTE PARA REMOVER
PINTURAS CON BASE DE POLIURETANO Y SU COMPARACIÓN CON UN
PRODUCTO ESTÁNDAR COMERCIAL

CARLOS ANDRÉS HERRERA SÁENZ

DIANA MARLEIBIS URIBE JIMÉNEZ

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA

2014

DESARROLLO DE UNA FORMULACIÓN DE UN SOLVENTE PARA REMOVER
PINTURAS CON BASE DE POLIURETANO Y SU COMPARACIÓN CON UN
PRODUCTO ESTÁNDAR COMERCIAL

CARLOS ANDRÉS HERRERA SÁENZ

DIANA MARLEIBIS URIBE JIMÉNEZ

Trabajo de Grado para optar por el título de
Ingeniero Químico

Director

RAMIRO MARTÍNEZ REY Ph.D.

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA

2014

DEDICATORIA

A Dios por iluminar mi camino y brindarme la sabiduría y fortaleza para salir adelante.

A mis padres José Ignacio Herrera Olmos y María Helena Sáenz Reina, por su apoyo, sus consejos y su amor, por ser responsables de todos mis logros obtenidos.

A Luis Eduardo Herrera Olmos y Carmen Elvira Díaz, por su constante compañía y colaboración, por sus buenos deseos de éxito a lo largo de mi profesión.

A mis hermanos Diego Armando y Juan Sebastián por estar orgullosos de mi a pesar de las dificultades.

A mi sobrinito Miguel Esteban que me compromete a ser ejemplo de responsabilidad y dedicación para su vida.

A Diana Uribe por darme ejemplo de paciencia, cariño y amor, por estar a mi lado en momentos difíciles.

CARLOS ANDRÉS.

DEDICATORIA

Gracias a Dios por bendecir cada uno de mis pasos.

A mis padres Néstor Uribe Uribe y Marlen Jiménez Mejía por todos los esfuerzos que han realizado para formarme como persona y como profesional.

A mis hermanos Yuri Katherine, Mayra Alejandra y Néstor Fabián por su compañía y su apoyo brindado.

Al ingeniero de Andrés Felipe Ortiz Meneses por sus valiosos consejos.

A Catalina y Gimeth Tumay por su paciencia y ayuda prestada a lo largo de este camino.

A Carlos Herrera por su amor, respaldo incondicional y por apoyarme en momentos difíciles.

Mil gracias.

DIANA MARLEIBIS

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Ramiro Martínez Rey por dirigir este proyecto con su amplio conocimiento en todas las etapas del mismo.

A los técnicos del laboratorio de procesos Wilson Eduardo Carreño, Eduardo Carreño y laboratorista Guillermo Acero por la completa disponibilidad y atención brindada a lo largo del proyecto.

Al colorista Javier Monsalve por aportarnos su conocimiento y experiencia en cuanto a recubrimientos de poliuretano.

A nuestros padres, hermanos y amigos por su total respaldo y apoyo en los momentos determinantes de este proyecto.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	
1. FUNDAMENTO TEÓRICO	19
1.1 POLIURETANO	19
1.1.1 Propiedades de los polímeros: temperatura de transición vítrea.	19
1.1.2 Recubrimientos de poliuretano.	20
1.2 TÉCNICAS DE REMOCIÓN PARA PINTURAS DE POLIURETANO.	21
1.2.1 Remoción con solvente químico	22
1.3 ALTERNATIVAS PARA REEMPLAZAR EL CLORURO DE METILENO	24
2. METODOLOGÍA	25
2.1 TRATAMIENTO: REMOCIÓN DE GRASA DEL SUSTRATO Y MEDICIÓN DE PESO Y ESPESOR INICIAL	26
2.2 APLICACIÓN DE LA PINTURA DE POLIURETANO SOBRE EL SUSTRATO	26
2.3 CUANTIFICACIÓN DEL AUMENTO EN EL PESO Y ESPESOR DEL SUSTRATO	27
2.4 PREPARACIÓN DEL REMOVEDOR COMERCIAL DE PINTURA DE POLIURETANO	28
2.5 APLICACIÓN DEL REMOVEDOR COMERCIAL DE PINTURA DE POLIURETANO AL SUSTRATO	30
2.6 CUANTIFICACIÓN DE PÉRDIDA DE PESO Y ESPESOR DE LA PELÍCULA DE PINTURA DE POLIURETANO DEPOSITADA EN EL SUSTRATO	30

2.7 APLICACIÓN DE LA PINTURA DE POLIURETANO SOBRE EL SUSTRATO	31
2.7.1 Preparacion del MnOx.	31
2.8 PREPARACIÓN DEL NUEVO REMOVEDOR DE PINTURA DE POLIURETANO	31
2.9 APLICACIÓN DEL NUEVO REMOVEDOR AL SUSTRATO	35
3. RESULTADOS	36
3.1 CUANTIFICACIÓN DEL AUMENTO EN EL PESO Y ESPESOR DEL SUSTRATO.	36
3.2 ACCIÓN DEL REMOVEDOR COMERCIAL PREPARADO SOBRE EL SUSTRATO	38
3.3 ACCIÓN DEL NUEVO REMOVEDOR FORMULADO SOBRE EL SUSTRATO	41
3.4 COMPARACIÓN ENTRE EL REMOVEDOR COMERCIAL Y EL NUEVO REMOVEDOR SELECCIONADO	46
4. CONCLUSIONES	49
5. RECOMENDACIONES	51
BIBLIOGRAFÍA	52
ANEXOS	55

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Esquema de la remoción de la pintura	22
Figura 2. Metodología general para el desarrollo del proyecto	25
Figura 3. Masa de pintura depositada por unidad de área del sustrato	36
Figura 4. Espesor de la capa de pintura de poliuretano depositada.	37
Figura 5. Acción del removedor comercial sobre la pintura de poliuretano.	38
Figura 6. Comparación entre la masa de pintura depositada inicialmente y la masa de pintura que permanece luego de aplicar el removedor comercial por unidad de área	39
Figura 7. Comparación entre el espesor de la capa de pintura depositada inicialmente y el espesor de la capa de pintura que permanece luego de aplicar el removedor comercial.	39
Figura 8. Tiempo de remoción para el removedor comercial	40
Figura 9 Disminución de la temperatura de transición vítrea.	41
Figura 10. Selección del removedor formulado con mejor desempeño	42
Figura 11 Acción del nuevo removedor sobre la superficie del sustrato recubierto con pintura de poliuretano.	42
Figura 12 Tiempo de remoción del nuevo removedor en presencia de MnO_x y tiempo de remoción para el nuevo removedor en ausencia de MnO_x	44
Figura 13 Tiempo de remoción para el nuevo removedor.	44
Figura 14. Comparación entre la masa de pintura depositada inicialmente y la masa de pintura que permanece luego de aplicar el nuevo removedor formulado	45
Figura 15. Comparación entre el espesor de pintura depositada y el espesor remanente luego de aplicar el nuevo removedor.	46
Figura 16. Comparación entre la masa de pintura que permanece en el sustrato luego de aplicar removedor comercial y la masa de pintura que permanece en el sustrato luego de aplicar el nuevo removedor seleccionado.	47

Figura 17. Comparación entre el espesor remanente una vez aplicado el removedor comercial y espesor remanente una vez aplicado el nuevo removedor seleccionado.

47

Figura 18. Reacción de obtención del poliuretano

55

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Variación del pot-life con la Temperatura.	20
Tabla 2. Propiedades físicas y químicas del cloruro de metileno	23
Tabla 3. Componentes usados para el removedor comercial.	28
Tabla 4. Parámetros de solubilidad de Hansen de algunos compuestos.	32
Tabla 5 Removedores preparados	34

TABLA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A Reacción de obtención del poliuretano	55
Anexo B Definición temperatura de transición vítrea	56
Anexo C Hoja informativa de sustancias peligrosas	57

RESUMEN

TÍTULO: DESARROLLO DE UNA FORMULACIÓN DE UN SOLVENTE PARA REMOVER PINTURAS CON BASE DE POLIURETANO Y SU COMPARACIÓN CON UN PRODUCTO ESTÁNDAR COMERCIAL *

AUTORES: HERRERA SÁENZ, Carlos Andrés **

URIBE JIMÉNEZ, Diana Marleibis **

PALABRAS CLAVES: Formulación, Pintura de poliuretano, Removedor, Cloruro de metileno, Alcohol bencílico, Peróxido de hidrógeno

Este trabajo centra su atención en el desarrollo de un nuevo solvente para remover pinturas de poliuretano y su comparación con un producto estándar comercial. El removedor estándar comercial se prepara a partir de cloruro de metileno, un compuesto peligroso de manipular debido a su carácter tóxico. Por el anterior motivo se busca como alternativa la formulación de una mezcla de solventes que remuevan el mismo tipo de pinturas; los principales componentes del nuevo removedor son peróxido de hidrógeno y alcohol bencílico.

Para el nuevo removedor se proponen cuatro alternativas de composición y como criterio para elegir el mejor removedor, se mide el tiempo de remoción para sustratos con dos capas de pintura. El removedor comercial preparado funciona, removiendo prácticamente toda la pintura depositada en el sustrato en un tiempo no mayor a doce minutos.

El nuevo removedor preparado también funciona removiendo la mayor parte de la pintura depositada en los sustratos estudiados, la única capa de pintura que no puede remover es la capa de wash primer, pero esta capa se puede retirar fácilmente con la aplicación de una fuerza externa; el tiempo de remoción varía entre los veinte minutos y las dos horas dependiendo del número de capas de pintura depositadas en el sustrato. Además del tiempo de remoción, la diferencia entre el removedor comercial y el nuevo removedor formulado radica en que el nuevo removedor es más seguro que el removedor comercial en cuanto a su uso, pues sus componentes no se reportan como peligrosos o tóxicos para la salud.

*Trabajo de Investigación

**Facultad de Ingenierías Físico-químicas. Escuela de Ingeniería Química. Director Ph.D. Ramiro Martínez Rey

ABSTRACT

TITLE: DEVELOPMENT OF A SOLVENT FORMULATION TO REMOVE POLYURETHANE BASED PAINT AND ITS COMPARISON WITH A STANDARD COMMERCIAL SOLVENT *

AUTHORS: HERRERA SÁENZ, Carlos Andrés**

URIBE JIMÉNEZ, Diana Marleibis**

KEYWORDS: Formulation, Polyurethane painting, Remover, Methylene Chloride, Benzyl alcohol, Hydrogen peroxide

This work focuses its attention in development of a new solvent to remove polyurethane paints and its comparison to a standard commercial product. The standard commercial remover is made from methylene chloride, a hazardous compound to handle due to its toxic nature. By the reason previous, is searched an alternative formulation is searched an alternative formulation that contain a solvent mixture able of stripping the polyurethane coating; the principal components for new paint remover are hydrogen peroxide and benzyl alcohol.

For the new paint remover is proposed four alternatives to composition and the criteria for selection the best paint remover, is the time late until removal of paint of all surface of the substrate with two layer of paint. The commercial remover works successfully eliminating all the paint deposited practically from substrate in a time around of twelve minutes.

The new remover prepared works too eliminating much of the paint deposited in the substrates studied, the wash primer layer is the unique layer that paint stripping don't eliminated, but this layer can be removed with the application of a external mechanical strength; the removal time varies among twenty minutes and two hours depending of the number of layers applied about substrate. Besides the removal time, the difference between commercial remover and new remover formulated is that the second is more sure than commercial remover in terms of its use, as its components aren't report as hazardous or toxics.

* Research work

**Faculty of Physicochemical Engineering. School of Chemical Engineering. Director Ph.D. Ramiro Martínez Rey

INTRODUCCIÓN.

Al igual que el hombre la pintura ha evolucionado desde el inicio de los tiempos. Las primeras pinturas se basaron en pigmentos naturales hasta llegar a las actuales donde predominan pinturas de tipo polimérico, como por ejemplo, las epóxicas, acrílicas, y las de poliuretano, entre otras; esta última ofrece un excelente desempeño en cuanto a adherencia, brillo, durabilidad, flexibilidad, tiempo de secado y adicionalmente una mayor resistencia a los agentes químicos presentes en el ambiente [10,19]. Las características anteriormente mencionadas, justifican el uso de este tipo de pinturas como elemento de protección para los metales u otros tipos de sustratos. Pero cuando ha terminado el tiempo de vida útil de la pintura, por diversas circunstancias como un cambio en el color o incluso pérdida parcial de la capa de pintura, entonces es necesario removerla para aplicar una nueva.

Existen diferentes técnicas para remover la pintura de poliuretano entre las cuales se encuentran sand-blasting, ablación y la remoción con solventes químicos, esta última es la técnica más utilizada debido a su bajo costo y a su alta efectividad sin afectar la superficie del sustrato. Actualmente estos removedores están basados en compuestos clorados (como por ejemplo el cloruro de metileno) que son efectivos pero presentan la desventaja de ser extremadamente tóxicos para la persona que emplea este producto y para el ambiente. Para las personas que se exponen a este producto, puede causar daño al hígado, riñón y cerebro, además también hay indicios de que el cloruro de metileno puede ser carcinógeno humano y teratogénico, debido a estos cuestionamientos de impactos negativos en el ambiente y en la salud, se hace necesario encontrar un reemplazo adecuado para el cloruro de metileno, pero eliminar los compuestos clorados es muy difícil ya que son altamente efectivos y no se ha podido encontrar un solo compuesto que lo sustituya totalmente. Por lo tanto se busca diseñar y desarrollar un nuevo

removedor de multicomponentes que no tenga en su composición compuestos clorados y por lo tanto el producto sea más seguro al momento de utilizarlo.

1. FUNDAMENTO TEÓRICO

1.1 POLIURETANO

El poliuretano es el polímero formado por la repetición del monómero uretano y se obtiene a partir de la reacción entre un disocianato con compuestos dihidroxi, por ejemplo un diol. Para más detalle véase el **¡Error! No se encuentra el origen de a referencia..** Este polímero se utiliza para la manufactura de tres tipos de productos: fibras, elastómeros y principalmente recubrimientos. Estos últimos se caracterizan por tener una resistencia muy buena a la abrasión y a los disolventes, además poseen una buena flexibilidad y resistencia al impacto. Puede aplicarse por inmersión, pulverización o a brocha, y se adhiere bien a gran variedad de materiales. Se emplean por ejemplo en suelos para gimnasios, pistas de baile y boleras, revestimientos de cables magnéticos y en una gama diversa de usos en exteriores y marinos por su buen comportamiento a la intemperie [2].

1.1.1 Propiedades de los polímeros: temperatura de transición vítrea. Todos los polímeros amorfos toman a temperaturas suficientemente bajas las características de los vidrios, incluidas la dureza, rigidez y fragilidad. Por encima de cierta temperatura las propiedades cambian hasta alcanzar un comportamiento de polímero cuasi-líquido pero con una ausencia completa del movimiento rápido molecular que es típico del líquido, en este punto ocurre la transición vítrea. La temperatura de transición vítrea también se puede definir como la temperatura a la cual ocurre un incremento en el coeficiente de expansión térmica [24,25]. Para profundizar en la definición remítase al anexo B. En la pintura de poliuretano la temperatura de transición vítrea es disminuida por la acción del cloruro de metileno, un componente de los removedores de pintura estándar. El cloruro de metileno causa un hinchamiento por la interacción con el grupo carbonil (responsable de la unión entre cadenas del polímero), permitiendo una dilatación y removiendo de manera efectiva la capa de pintura depositada [26].

1.1.2 Recubrimientos de poliuretano. Consiste en una base poliol y un isocianato que se mezclan, para que al aplicarlo, la película seque químicamente formando una capa muy dura de alto brillo. Además la pintura presenta las siguientes características:

- Excelente brillo.
- Excelente resistencia UV.
- Buena dureza.
- Excelente flexibilidad.
- Buena resistencia química.
- Buena repintabilidad.
- Menor emisión de VOCs en comparación con las lacas.

Cuando se han mezclado los dos componentes, la persona que aplica el producto tiene un determinado período de tiempo para aplicar la pintura, este tiempo se conoce como “post-life”, antes de que el producto se vuelva demasiado viscoso para aplicarlo [4]. El tiempo de vida útil de la pintura varía de acuerdo a la temperatura, a continuación se mostrará esta variación [6]:

Tabla 1 Variación del post-life con la Temperatura.

TEMPERATURA °C	POST-LIFE (Horas)
20	3.5
25	3
30	2.5

Para aplicar este tipo de pintura sobre materiales metálicos, la superficie del sustrato debe estar libre de grasa, polvo y óxido. Sin embargo, la pintura por sí sola no presenta buena adherencia al metal, por lo tanto es necesario aplicar dos productos antes de la pintura:

- Wash primer: Es un producto de dos componentes, el primero basado en polivinil butiral y el segundo es una solución ácida que actúa como catalizador. La mezcla de estos dos componentes promueve la adherencia al sustrato con

una capa anticorrosiva, ya que el componente ácido del wash primer produce rugosidad química a sustratos como el aluminio, estaño, galvanizados, hojalata, zinc entre otros de difícil anclaje [5].

- Base nitro-celulósica: Este producto provee la adherencia entre el wash primer y la pintura de poliuretano [17].

1.2 TÉCNICAS DE REMOCIÓN PARA PINTURAS DE POLIURETANO

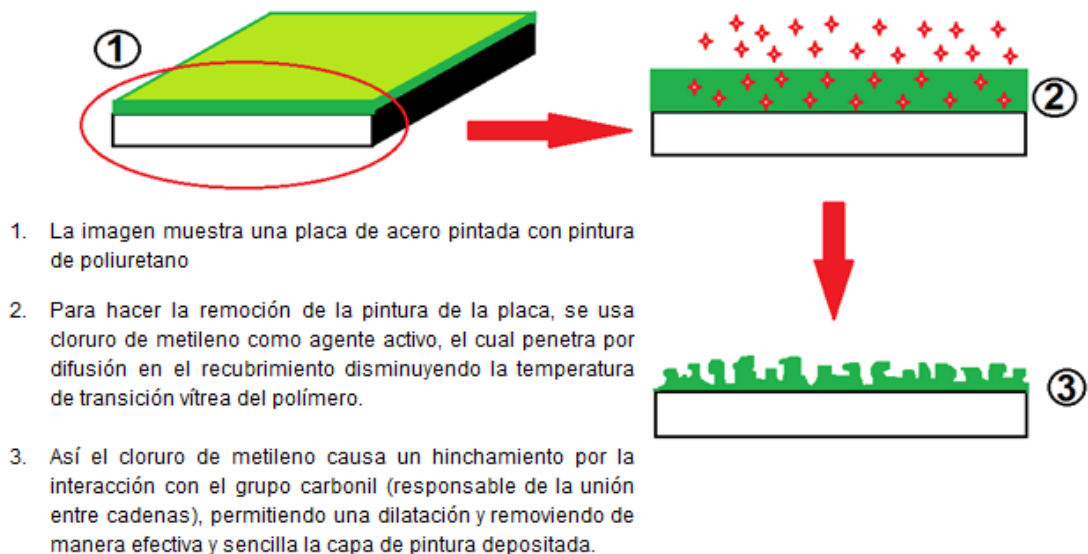
La industria utiliza diferentes métodos para retirar capas de pintura de la superficie del sustrato, entre estos métodos se encuentran las siguientes técnicas:

- Lijado con partículas sólidas (sand-blasting): en esta técnica se emplea una corriente de arena a gran presión que incide sobre el sustrato con el fin de retirar o eliminar las capas de pintura de la superficie, al tiempo que lija el sustrato para la aplicación de la pintura [11]. Este método acarrea el peligro que el polvo generado, si no se elimina adecuadamente, puede llegar a depositarse en los pulmones de las personas que emplean esta técnica y causar problemas respiratorios [14].
- Ablación: consiste en la eyección de material desde la superficie sólida del sustrato como resultado de la irradiación producida por una fuente de alta potencia como el rayo láser [9]. Se emplea principalmente para tratar pequeñas zonas, generalmente en la restauración de obras artísticas. Esta técnica requiere proveer al operario de una protección adecuada contra el láser porque su alta potencia puede ocasionar cortaduras, amputaciones o daños irreversibles en la visión de los operarios [14].
- Remoción con un solvente químico: es el método más económico y más utilizado para retirar pinturas en especial la de poliuretano. La remoción es altamente efectiva y a su vez genera un mínimo impacto en el sustrato. Sin embargo, los removedores actuales contienen dentro de su formulación compuestos clorados (cloruro de metileno), peligroso para el medio ambiente y

para la salud de las personas que lo manipulan [26]. Este trabajo centra su atención en la remoción de pinturas de poliuretano con un solvente químico.

1.2.1 Remoción con solvente químico. La gran mayoría de removedores químicos de pintura, están preparados a base de cloruro de metileno y fenol. Estos removedores son ampliamente efectivos, baratos y no afectan el sustrato [4]. El cloruro de metileno es el agente que abre la puerta para que los otros componentes ataquen y remuevan el recubrimiento; el etanol según la literatura también penetra simultáneamente con el cloruro de metileno [26]. Se ha estudiado el mecanismo de remoción por el cual el cloruro de metileno y los demás componentes de los removedores de pintura trabajan para la remoción de los recubrimientos. Young afirma que los solventes mojan la superficie pintada y por difusión penetran las capas del recubrimiento hasta llegar al sustrato principal. Se cree que los componentes de pequeño volumen molar como el agua, el cloruro de metileno y el alcohol se difunden a través de los espacios y canales entre las cadenas del polímero. Para tener un mejor detalle del mecanismo se puede consultar el artículo de *Young et al* [26]. En la Figura 1, se presenta un breve esquema del mecanismo descrito en el artículo mencionado de *Young et al*.

Figura 1 Esquema de la remoción de la pintura



El **cloruro de metileno** es un compuesto químico muy utilizado como solvente. Se usa como solvente industrial para eliminar pintura, también puede encontrarse en algunos aerosoles y pesticidas [8].

Las principales propiedades del cloruro de metileno son [12]:

Tabla 2. Propiedades físicas y químicas del cloruro de metileno

Denominación química	Cloruro de metileno
Fórmula	CH ₂ Cl ₂
Peso molecular (g/mol)	84,94
N° CAS	75-09-2
Punto de ebullición	40 °C
Punto de congelación	-97 °C
Solubilidad (disolvente en el agua)	2,0% en peso (25 °C)
Solubilidad (agua en el disolvente)	0,2% en peso (25 °C)
Densidad (20 °C)	1,325 g/cm ³

Según New Jersey Department and Health and Senior Service apoyado en lo expresado por diferentes organizaciones como la OSHA, EPA, NIOSH, ACGIH, NTP, IARC, NFPA, NESHAP [7] clasifica al cloruro de metileno como una sustancia extremadamente peligrosa para la salud ya que es **carcinógeno, mutágeno y teratógeno**; su presencia en el ambiente muestra efectos adversos en la fauna y en la flora debido a su alta toxicidad [7]. Para mayor información sobre los límites de exposición y otros riesgos asociados con el cloruro de metileno véase el ANEXO C.

Este proyecto centra su atención en reemplazar el cloruro de metileno en la formulación del removedor de pintura por componentes más seguros para el hombre y con menor impacto sobre el medio. Se busca reemplazar el cloruro de metileno y/o disminuir la proporción de agentes contaminantes presentes en el removedor comercial, para reemplazarlos por compuestos menos tóxicos y más amigables con el ambiente, pues el cloruro de metileno aparece en la lista de

gases contaminantes peligrosos del aire, considerado de alto riesgo para la salud humana [18]. También se ha encontrado que es causa de cáncer en algunos laboratorios con animales y considerado un material orgánico muy tóxico para el agua según lo establece la Ley Federal de Agua Limpia como se cita en el artículo de Hans [15].

1.3 ALTERNATIVAS PARA REEMPLAZAR EL CLORURO DE METILENO

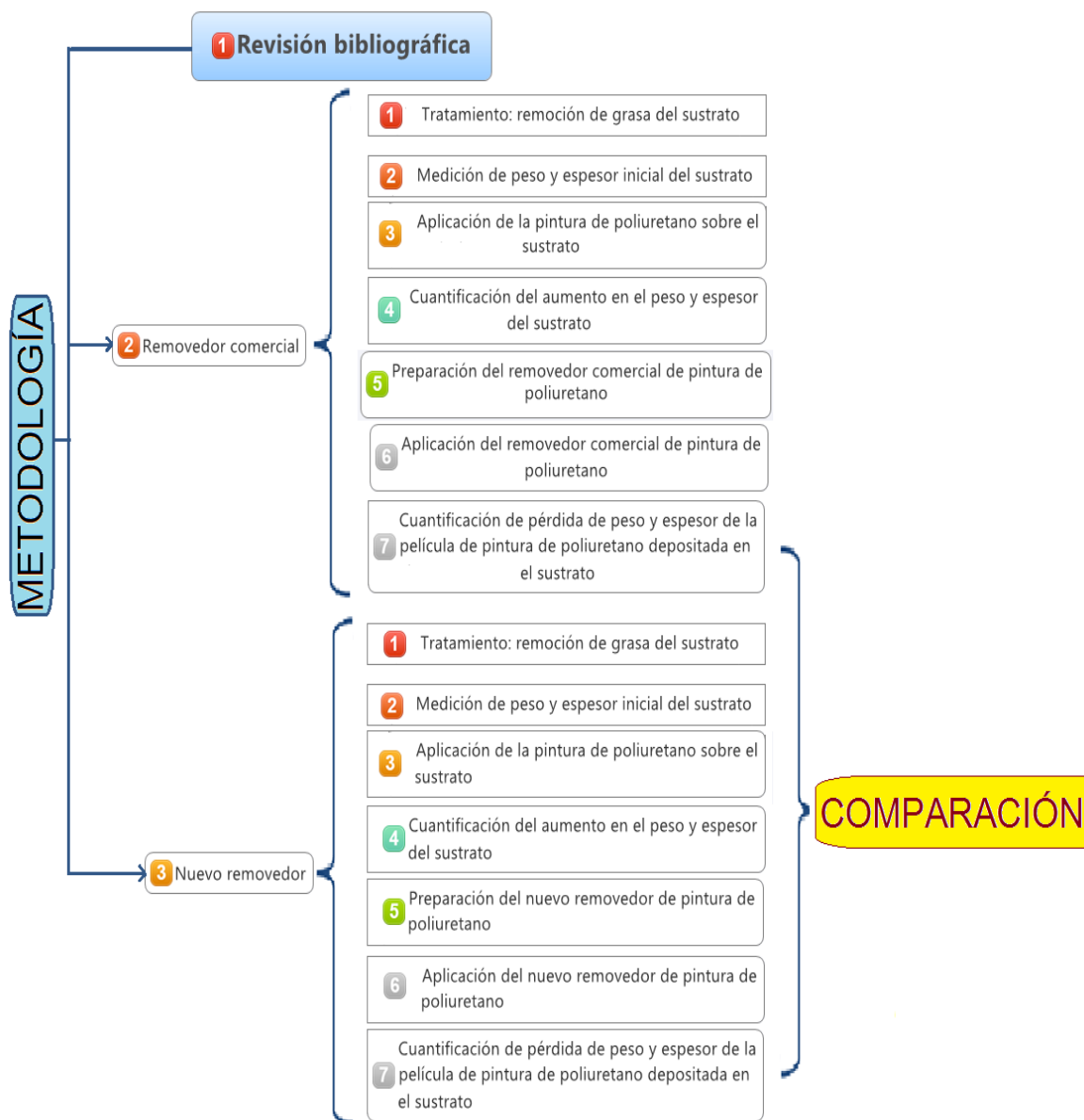
Para reemplazar el cloruro de metileno, se ha encontrado en la literatura una serie de compuestos propuestos como alternativa, uno de ellos el peróxido de hidrógeno [18] y su combinación con algunos tipos de alcoholes [18,15], debido a que pueden remover la pintura con la ventaja de que no son tóxicos.

- **Peróxido de hidrógeno:** se descompone produciendo agua y oxígeno en una reacción altamente exotérmica (libera 196.2 kJ). En solución o en estado puro y a temperatura ambiente su velocidad de descomposición es pequeña, de tal manera que el peróxido se muestra metaestable, sin embargo se descompone fácilmente cuando se calienta y algunas veces es explosivo en presencia de iones metálicos o ciertos compuestos orgánicos [16].
- **Alcohol bencílico:** este alcohol ha sido probado para remover pinturas debido a que presenta propiedades como baja toxicidad, baja presión de vapor y no es peligroso para el hombre ni para el ambiente. Este tipo de alcohol puede remover en dos horas algunos sistemas estándar de pintura de poliuretano, epóxico y en sistemas más complejos requiere más tiempo para remover completamente la capa del recubrimiento. Su efectividad se debe a que la baja volatilidad le permite permanecer activo por períodos de tiempo más largos [15].

2. METODOLOGÍA

En la Figura 2 se presenta el esquema metodológico que se abordará durante el desarrollo del proyecto.

Figura 2. Metodología general para el desarrollo del proyecto



En la primera etapa sobre la revisión bibliográfica, se consultaron y se estudiaron todos los temas relacionados con el desarrollo del proyecto como: características y

método de aplicación de la pintura, formulación del removedor comercial, mecanismo de remoción del removedor tradicional y trabajos publicados en la síntesis de nuevos removedores.

2.1 TRATAMIENTO: REMOCIÓN DE GRASA DEL SUSTRATO Y MEDICIÓN DE PESO Y ESPESOR INICIAL

Se eligió como sustrato acero inoxidable 304; la lámina completa de 30 cm x 28 cm del acero fue cortada en forma de láminas cuadradas de aproximadamente 2 centímetros de lado. Para la aplicación de la pintura, el fabricante sugiere que la superficie del sustrato esté libre de grasa y polvo. La remoción de grasas se llevó a cabo con una solución de detergente disuelto en agua con una concentración de 5 g/L, en la que se sumerge el sustrato y con ayuda de una esponja se retira mecánicamente los rastros de grasa. Vale la pena resaltar que el anterior proceso se realiza con guantes de nitrilo para evitar la contaminación del sustrato con la grasa de las manos. De aquí en adelante la manipulación del sustrato se debe hacer con guantes de nitrilo y pinzas. Para su almacenamiento se utilizan bolsas de polietileno individuales con cierre hermético. Posterior al tratamiento de eliminación de grasa, el sustrato se pesó en una balanza digital de cuatro cifras decimales (PRECISA XB 320M) y se midió el espesor con ayuda del micrómetro manual disponible en el laboratorio de procesos de la Escuela de Ingeniería Química. Para la determinación del área de cada placa, se usó un calibrador del laboratorio de procesos de Ingeniería Química. En las caracterizaciones posteriores se van a utilizar los mismos instrumentos anteriormente mencionados.

2.2 APLICACIÓN DE LA PINTURA DE POLIURETANO SOBRE EL SUSTRATO

Como se explicó anteriormente en la sección 1.1.2, antes de aplicar la pintura de poliuretano se deben aplicar dos productos: wash primer y una base

nitrocelulósica en ese orden. Las recomendaciones del proveedor de la pintura son las siguientes:

- **Preparación Wash Primer** (Pinturas Tonner WP-509A y WP-509B): Requiere la mezcla de dos componentes. La proporción manejada para la mezcla corresponde a 50% v/v de cada uno de los componentes que son adicionados a una pistola para su posterior aplicación. Luego de aplicar el wash primer se debe dejar secar la superficie por un periodo de 15 minutos.
- **Preparación de la base nitro-celulósica** (Pinturas Tonner FL-551): Se prepara con 50% v/v de laca nitro-celulósica y 50% v/v de Tinner. Se aplica con ayuda de una pistola. El tiempo de secado luego de aplicar la base es de 5 minutos.
- **Preparación de la Pintura** (Caralz RX-05): Para la preparación de la pintura se necesita: 80% v/v de pintura, 20% v/v de catalizador. Posteriormente se agregó un 10% v/v de disolvente respecto a la cantidad de pintura preparada. Se aplica con ayuda de una pistola y se deja secar por 1 hora.

Para notar los efectos del removedor comercial sobre el sustrato, se dividió la cantidad de placas que se tenían en cuatro grupos cada uno con ocho placas. Las placas A corresponden al sustrato donde se aplicó una capa de pintura, el grupo B tiene sobre la superficie de sus placas dos capas, grupo C tres capas de pintura y el D cuatro capas de pintura.

2.3 CUANTIFICACIÓN DEL AUMENTO EN EL PESO Y ESPESOR DEL SUSTRATO

Transcurridas 24 horas desde que se aplicó la pintura, se pesó el sustrato; este dato se relacionó con el peso antes de pintar la placa como se muestra en la

ecuación **Ec.1** para obtener la cantidad de masa depositada en las placas por unidad de área.

$$\frac{\text{Masa de pintura depositada}}{\text{Área}} = \frac{\text{Masa del sustrato pintado} - \text{Masa inicial del sustrato}}{\text{Área del sustrato}} \quad \text{Ec. 1}$$

El espesor de la capa de pintura se obtuvo de la siguiente forma

$$\text{Espesor capa de pintura} = \text{Espesor sustrato pintado} - \text{Espesor sustrato inicial} \quad \text{Ec. 2}$$

2.4 PREPARACIÓN DEL REMOVEDOR COMERCIAL DE PINTURA DE POLIURETANO

La formulación de un removedor comercial no se encuentra disponible en la literatura abierta debido a que los fabricantes han hecho diferentes formulaciones y han guardado como secreto la formulación comercial. En este proyecto se hizo un análisis extenso de las formulaciones de removedores de pintura divulgados por Young [26] y la colaboración de la empresa Global Solutions (San Francisco California, EE.UU) con lo cual se ha desarrollado la siguiente formulación:

Tabla 3 Componentes usados para el removedor comercial.

COMPONENTE	% w/w	PUREZA %	PROVEEDOR
Cloruro de Metileno	59.8	99.5	Mallinckrodt
Etanol absoluto	5.9	99	Merck KGaA
Agua destilada	5.9	~99.99	Laboratorio procesos
Fenol	17.5	89.0	Laboratorios LEON S.A
Tolueno	1.3	99.9	Mallinckrodt
Texapón	7.8	70.0	Suquin
Parafina	1.8	-	Suquin

El cloruro de metileno, abre la puerta para que los demás componentes se difundan y remuevan el recubrimiento de poliuretano. Fenol y etanol cumplen la función de ayudar a desprender la película de pintura o dicho de otra manera son los co-solventes del cloruro de metileno. El texapón es el emulsificante que permite mantener en una sola fase los componentes hidrófilos y los componentes hidrófobos. Otros agentes como la parafina y el tolueno permiten la humectabilidad y la compatibilidad de las fases.

A continuación se presentan las etapas importantes de la preparación del removedor comercial, donde resalta el desarrollo de dos fases por separado: la primera, una fase *acuosa* y la segunda, una fase *orgánica*.

A. Fase acuosa:

1. Se mezcla texapón y agua.
2. Por medio de agitación con Ultraturrax (modelo IKA T 25 DSI) se trata de homogenizar la solución a una velocidad de 3400 revoluciones por minuto durante 60 segundos.

B. Fase Orgánica:

1. Solución de parafina y tolueno
2. Adición de fenol y etanol previamente mezclados
3. Adición final de cloruro de metileno
4. La fase orgánica se agitó con Ultraturrax (IKA T 25 DSI) a 4800 revoluciones por minuto durante tres minutos.

C. Mezcla de las dos fases: la etapa final en la preparación del removedor comercial comprende la mezcla de las dos soluciones *A* y *B*. Es importante resaltar que la solución orgánica debe ser agregada sobre la solución acuosa para garantizar la formación de la emulsión aceite en agua. Las condiciones de operación en esta etapa, se llevan a cabo con agitación magnética

(ROCKER HP 220) a 1000 revoluciones por minuto durante 10 minutos. Posteriormente se deja en reposo el producto final y se almacena herméticamente en frascos ámbar de 500 mL.

2.5 APLICACIÓN DEL REMOVEDOR COMERCIAL DE PINTURA DE POLIURETANO AL SUSTRATO

El método de aplicación del removedor fue por inmersión en cajas de Petri (60 mm de radio por 15 mm de altura). Primero se pone el sustrato en la caja de Petri y sobre este se adicionan aproximadamente 5 mL de removedor medidos con pipeta. Para conocer la velocidad de acción del removedor comercial se midió el tiempo de remoción para sustratos con una, dos, tres y cuatro capas de pintura. Este tiempo fue medido con el uso de un cronómetro que inició a correr en el momento en que el sustrato pintado se sumergió totalmente en el removedor. El tiempo de remoción se obtuvo cuando una rugosidad se hiciera evidente y el recubrimiento se dejara retirar fácilmente con una mínima fuerza externa.

2.6 CUANTIFICACIÓN DE PÉRDIDA DE PESO Y ESPESOR DE LA PELÍCULA DE PINTURA DE POLIURETANO DEPOSITADA EN EL SUSTRATO

En esta etapa del proceso se cuantificaron las pérdidas de pintura con los instrumentos de medición descritos en la sección 2.1 y se calculó la variación de masa de pintura removida como se muestra a continuación:

$$\frac{\text{Masa de pintura removida}}{\text{Área}} = \frac{\text{Masa sustrato pintado} - \text{Masa sustrato luego de aplicar removedor}}{\text{Área del sustrato}}$$

La siguiente ecuación, muestra el espesor de la película de pintura retirada una vez se aplicó el removedor

$$\text{Espesor capa de pintura} = \text{Espesor sustrato pintado} - \text{Espesor sustrato con removedor}$$

2.7 APLICACIÓN DE LA PINTURA DE POLIURETANO SOBRE EL SUSTRATO

La aplicación de la pintura sobre el sustrato se lleva a cabo de la misma manera como se describió en la sección 2.2, con la única diferencia que en el componente A del wash primer se suspendió óxido de manganeso en polvo con un tamaño de partícula menor a 0.074 mm.

2.7.1 Preparación del MnOx. Para mejorar la acción del removedor se buscó la descomposición del peróxido desde las primeras capas de pintura, con tal fin se suspendió un catalizador de MnOx dentro del wash primer. La preparación del catalizador se hizo según lo indicado por [1]. El MnOx se obtuvo a partir de la reacción de permanganato de potasio con etanol en exceso para garantizar la completa reducción del permanganato a óxido de manganeso.

El tiempo de reacción fue de siete horas con agitación magnética constante de 200 revoluciones/minuto. Posteriormente se lavó con agua destilada y se secó en un horno a 110 °C durante 2 horas 30 minutos. Finalmente se maceró MnO_x con crisol y mortero hasta obtener un polvo fino. Este catalizador se suspendió en el componente A del wash primer con una concentración del 0,5% w/w del wash primer total preparado, la agitación se hizo con Ultraturrax (Schoot-Gerate CmbH DI 148) a 12,000 revoluciones por minuto durante 3 minutos.

2.8 PREPARACIÓN DEL NUEVO REMOVEDOR DE PINTURA DE POLIURETANO

Siguiendo los criterios de lo descrito por Seider [21] se inició una extensa experimentación en busca de un nuevo removedor. La meta era encontrar una mezcla de solventes para sustituir los compuestos clorados del removedor comercial y que tuviera la capacidad de remover películas de pintura de poliuretano.

En esta etapa del proyecto se desarrollaron cuatro removedores. A continuación se expone cada uno de estos componentes y por qué se eligieron. Para ello se tuvo en cuenta el parámetro de solubilidad de Hansen que refleja la energía cohesiva de un material; por tanto, compuestos con valores similares en el parámetro de solubilidad (δ) tienden a ser miscibles [23]. Este criterio se utilizó para seleccionar los componentes del nuevo removedor. A continuación se compara el parámetro de solubilidad de Hansen del poliuretano con varios solventes [23]:

Tabla 4. Parámetros de solubilidad de Hansen de algunos compuestos

SOLVENTE	PARÁMETRO DE SOLUBILIDAD [MPa ^{1/2}]
Poliuretano	20.0
Etanol	26.5
Agua	47.8
Alcohol bencílico	23.8
E-01	24.1
E-02	18.1
Cloruro de metileno	20.3

Estos datos explican por qué el cloruro de metileno remueve muy bien el poliuretano, pero además, proporciona información importante sobre solventes como el alcohol bencílico, E-01, etanol y E-02 que podrían llegar a remover la pintura de poliuretano. Por este motivo el removedor que se propone debe contener dichos componentes, pues su parámetro de solubilidad está en una vecindad al parámetro de solubilidad del poliuretano.

El removedor también debe contar con un agente que inhiba la corrosión del sustrato, esta es la función que cumple un ácido graso, que en este caso se optó por experimentar con el ácido láurico. Como agente humectante y retardante de evaporación se utilizó el etilenglicol. Uno de los co-solventes empleados en esta

formulación fue el tolueno, aunque este compuesto está clasificado como una sustancia peligrosa a concentraciones superiores al 2% como lo reporta el California Department of Public Health, no se excedió esta concentración [3].

El agente emulsificante probado fue texapón, que permite disminuir la tensión superficial de la fase acuosa para posteriormente mezclarla con la fase orgánica.

Como se mencionó en la sección 1.1.2, para aplicar la pintura de poliuretano primero es necesario depositar una capa de base nitrocelulósica, el componente E-02, podría actuar como solvente de esta base y tal vez mejorar la efectividad del solvente primario en el removedor.

Según lo expresado por Newman [18], otro componente importante dentro de la formulación del removedor es el peróxido de hidrógeno, pues según lo reporta la literatura, al descomponerse genera agua y oxígeno [16]. Se busca que la descomposición del peróxido ocurra cuando ya se ha difundido a través de las capas de pintura, generando que los productos de la reacción de descomposición del peróxido de hidrógeno salgan desde el interior del recubrimiento hacia el exterior y sea más fácil para el solvente primario difundirse. Un riesgo asociado al trabajar con peróxido es que puede llegar a ser explosivo debido a que la reacción de su descomposición es altamente exotérmica. Para disminuir este riesgo se debe trabajar con peróxido diluido en agua, tal como se encuentra disponible en el mercado. Así pues, la única función del agua es hacer más seguro el uso del peróxido.

El criterio para mezclar los componentes a ensayar, se basó en la polaridad y la afinidad entre los mismos, de tal modo que se preparan dos soluciones por separado, como se hizo para el removedor comercial. La *solución acuosa* está conformada por peróxido de hidrógeno, texapón y etilenglicol, para mezclar estos componentes se utilizó agitación magnética (ROCKER HP 220) a 250 revoluciones/min durante 5 minutos en el orden mencionado.

Para la *solución orgánica* se mezclaron los componentes en el siguiente orden: ácido láurico, tolueno, E-01, alcohol bencílico, E-02 y etanol, donde las condiciones de agitación fueron las mismas de la fase acuosa. Finalmente, se adicionó la fase orgánica sobre la fase acuosa para garantizar la correcta formación de la emulsión.

En la siguiente tabla, se presenta la composición de cada uno de los cuatro removedores formulados. Como punto de partida se formuló el batch I, a partir de este se ensayó con la presencia o ausencia de los componentes E-01 y E-02.

Tabla 5 Removedores preparados

BATCH	COMPONENTES
I	Alcohol bencílico
	Peróxido de Hidrógeno
	Etilenglicol
	Tolueno
	Ácido Láurico
	Texapón
	Etanol
	Agua
II	Alcohol bencílico
	Peróxido de Hidrógeno
	Etilenglicol
	Tolueno
	Ácido Láurico
	Texapón
	E-01
	Etanol
	Agua

III	Alcohol bencílico
	Peróxido de Hidrógeno
	Etilenglicol
	Tolueno
	Ácido Láurico
	Texapón
	E-02
	Etanol
	Agua
IV	Alcohol bencílico
	Peróxido de Hidrógeno
	Etilenglicol
	Tolueno
	Ácido Láurico
	Texapón
	E-01
	E-02
	Etanol
	Agua

2.9 APLICACIÓN DEL NUEVO REMOVEDOR AL SUSTRATO

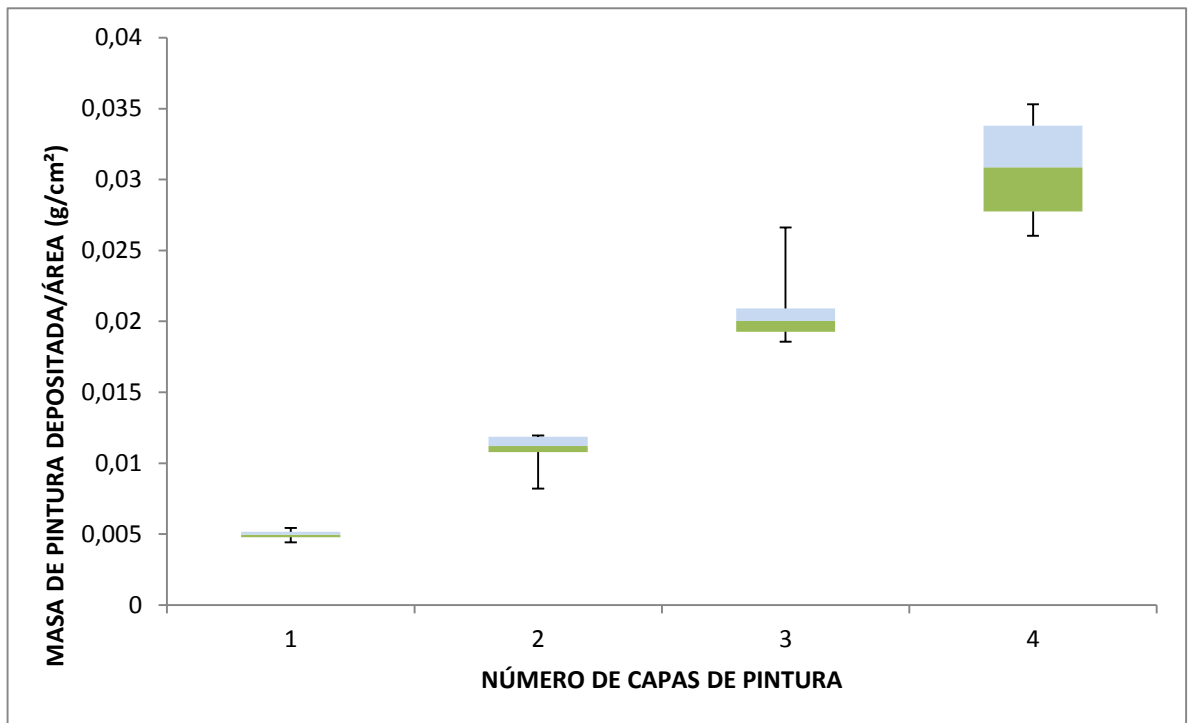
Se realizó la misma técnica de aplicación descrita en la sección 2.5.

3. RESULTADOS

3.1 CUANTIFICACIÓN DEL AUMENTO EN EL PESO Y ESPESOR DEL SUSTRATO.

Los resultados que se presentan a continuación se refieren al sustrato empleado tanto para probar el removedor a base de cloruro de metileno como al nuevo removedor desarrollado en este estudio. Es así como la Figura 3 muestra la masa de pintura depositada por unidad de área del sustrato como función del número de capas de pintura, siguiendo el procedimiento indicado en la sección 2.2.

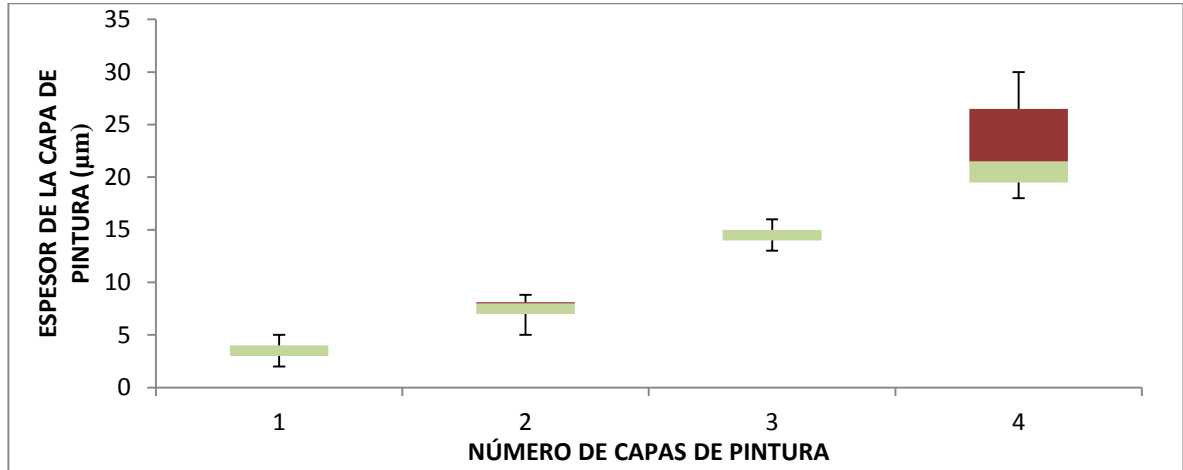
Figura 3. Masa de pintura depositada por unidad de área del sustrato



La Figura 4 muestra el espesor de la capa de pintura depositada en el sustrato en función del número de capas aplicadas. Los instrumentos y las ecuaciones

usadas para la determinación del espesor de pintura depositada se indicaron en la sección 2.1 y 2.3 respectivamente.

Figura 4. Espesor de la capa de pintura de poliuretano depositada



En la Figura 3 y en la Figura 4 se observa una tendencia lineal donde se puede apreciar la relación existente entre el espesor y la masa de pintura con el número de capas aplicadas, estas dos gráficas se pueden relacionar debido a que la masa de pintura depositada es función del espesor de la capa de pintura como sigue

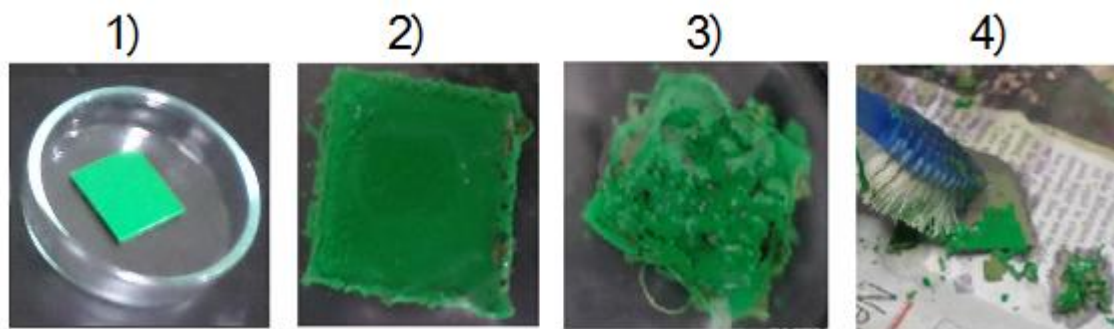
$$m = \rho V; \quad V = A * \varepsilon$$

Donde m es la masa de pintura de poliuretano; ρ la densidad de la pintura; A es el área que ocupa la pintura (área del sustrato) y ε representa el espesor de la capa de pintura. En síntesis, $m = \rho A \varepsilon$ relaciona la masa de pintura depositada por unidad de área proporcionalmente con el espesor de las capas de pintura depositada. Es así como la ecuación anterior explica la tendencia lineal en las Figura 3 y Figura 4. En las dos gráficas también se evidencia, como aspecto importante que la dispersión de los datos aumenta para las placas con mayor número de capas de pintura aplicadas.

3.2 ACCIÓN DEL REMOVEDOR COMERCIAL PREPARADO SOBRE EL SUSTRATO

En la Figura 5 se presentan cuatro fotografías donde se observa la acción progresiva del removedor después de aplicarlo sobre un sustrato recubierto con dos capas pintura de poliuretano.

Figura 5. Acción del removedor comercial sobre la pintura de poliuretano



En la primera imagen (1) se muestra el sustrato en la caja de petri listo para ser sometido a la acción del removedor comercial preparado. En la segunda imagen (2) se muestra la acción del removedor cuando han transcurrido aproximadamente 40 segundos después de su aplicación; se puede notar cómo el removedor empieza a actuar desde los bordes del sustrato y cómo se va extendiendo por toda la placa tal como se puede ver en la tercera imagen (3). Finalmente, en la imagen (4) tres minutos después de aplicado el removedor, la capa de pintura se puede retirar de la superficie con un pequeño esfuerzo mecánico debido a que la capa se ha desprendido completamente.

A continuación, se reporta la cuantificación de la masa y espesor de pintura remanente luego de aplicar el removedor comercial (a base de cloruro de metileno) y se compara con la masa y el espesor de pintura depositada inicialmente.

Figura 6. Comparación entre la masa de pintura depositada inicialmente y la masa de pintura que permanece luego de aplicar el removedor comercial por unidad de área

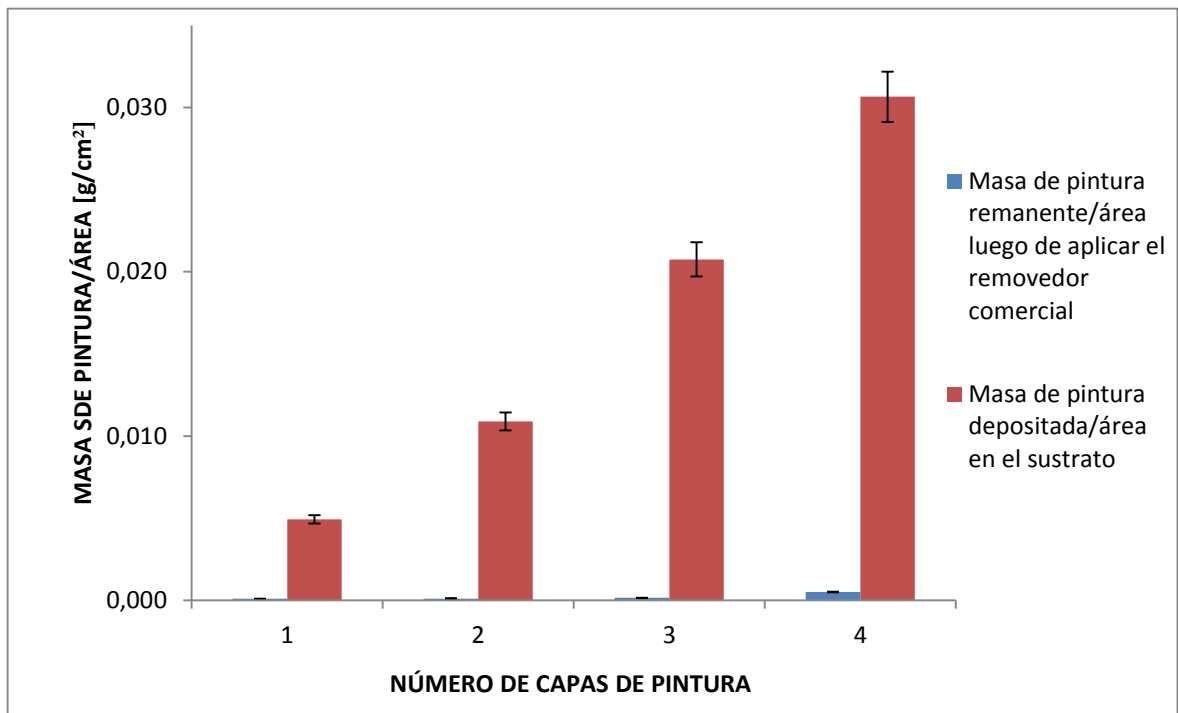
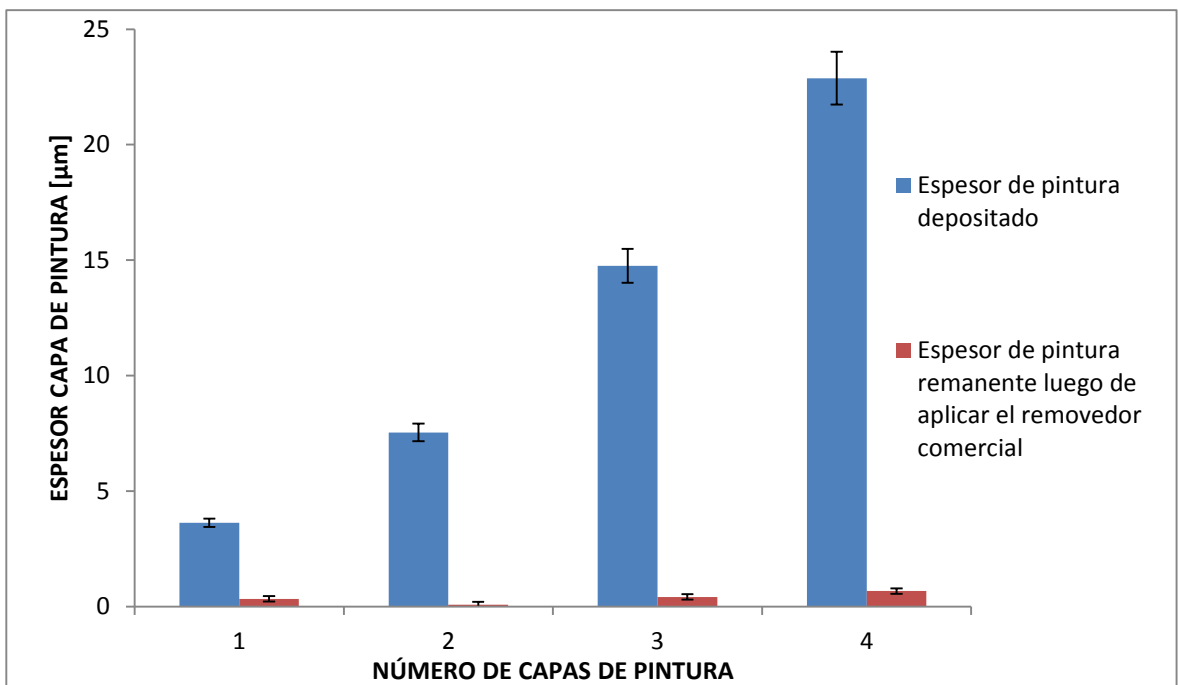
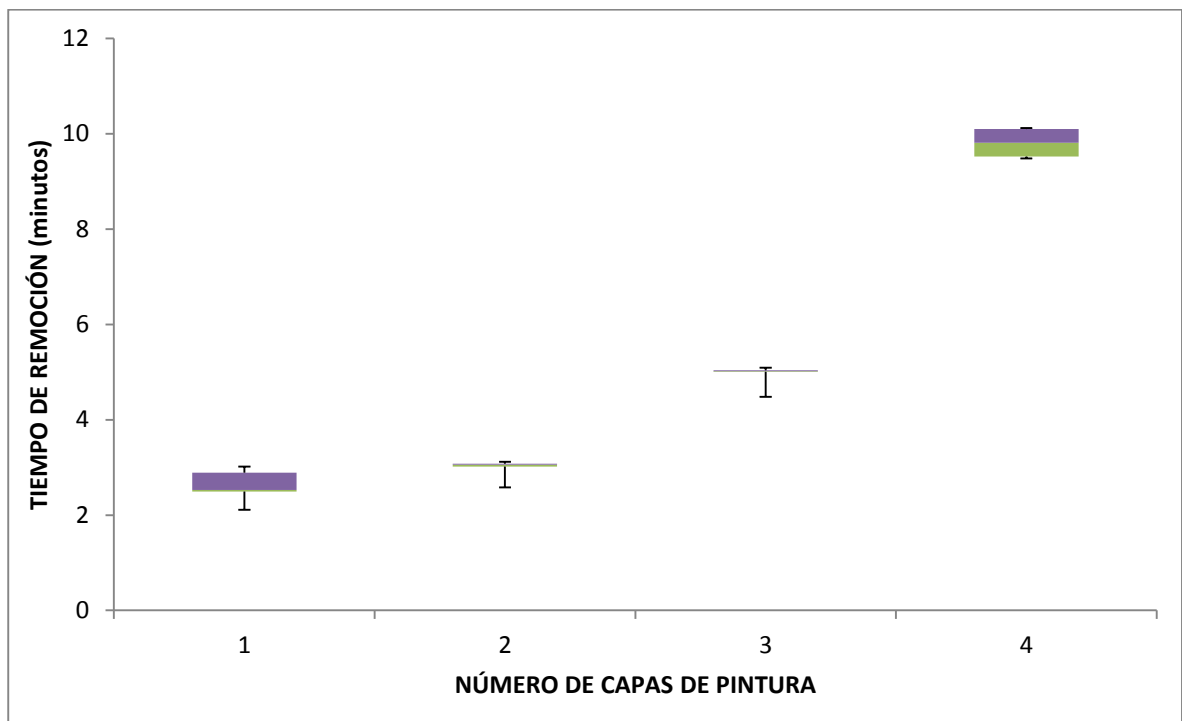


Figura 7. Comparación entre el espesor de la capa de pintura depositada inicialmente y el espesor de la capa de pintura que permanece luego de aplicar el removedor comercial.



A partir de la Figura 6 y la Figura 7 se comprobó que el removedor comercial es efectivo debido a que la masa y espesor remanentes luego de aplicar el removedor comercial son despreciables, o dicho de otra forma estos valores son próximos a los datos del sustrato sin pintar. Para conocer la velocidad de acción del removedor comercial se midió el tiempo de remoción para sustratos con una, dos, tres y cuatro capas de pintura como lo muestra la Figura 8. La determinación del tiempo de remoción se describe en la sección 2.5.

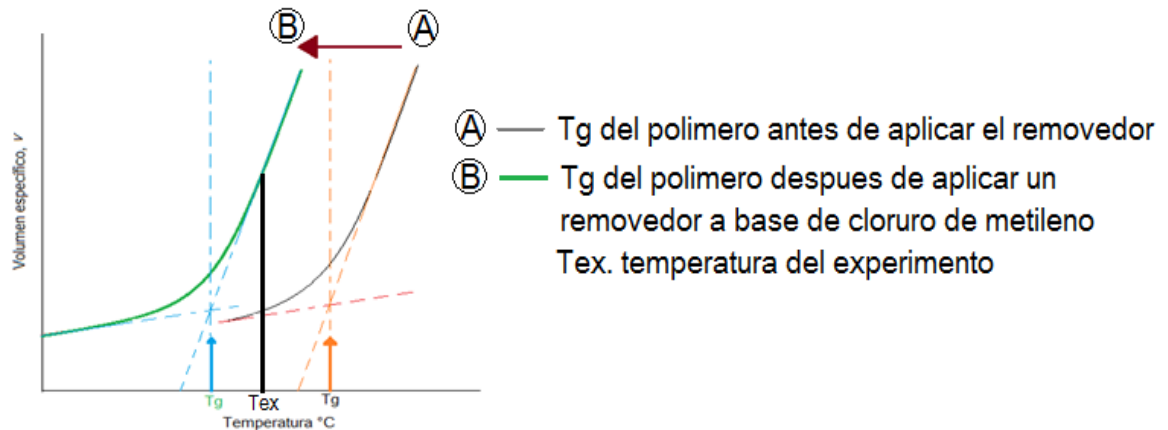
Figura 8. Tiempo de remoción para el removedor comercial.



En la Figura 8 se evidencia que la diferencia de tiempo de remoción no es apreciable entre placas con una y dos capas de pintura. Las placas con cuatro capas, muestran un tiempo de remoción mayor respecto a los demás grupos de placas. Esto se debe a que las moléculas del removedor deben difundirse a través de un espesor mayor.

La acción del cloruro de metileno sobre el poliuretano se expone a continuación pues con la siguiente figura se tiene un punto de partida, para comprender el mecanismo de remoción del removedor comercial.

Figura 9 Disminución de la temperatura de transición vítrea

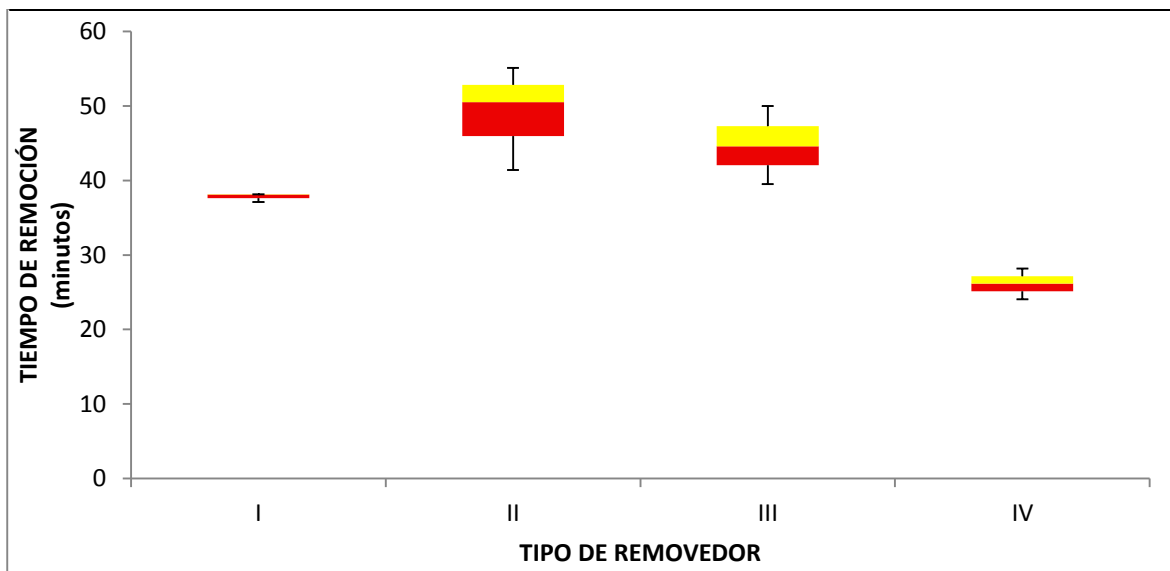


Según lo reportado por Young *et al* [26], la interacción del componente principal del removedor comercial (cloruro de metileno) sobre el poliuretano, hace que el polímero disminuya su temperatura de transición vítrea y se manifieste macroscópicamente a través del hinchamiento de la capa de pintura. En la Figura 9 se describe gráficamente la disminución en la temperatura de transición vítrea.

3.3 ACCIÓN DEL NUEVO REMOVEDOR FORMULADO SOBRE EL SUSTRATO

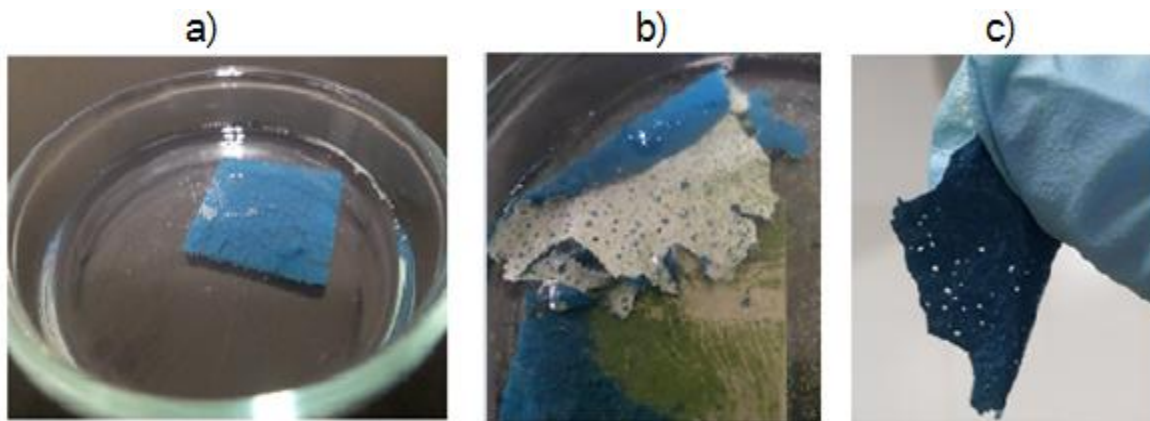
Como se explicó en la sección 2.8, fueron preparados cuatro nuevos removedores. Para elegir el removedor con mejor desempeño, se trabajó el sustrato recubierto con dos capas de pintura y el parámetro usado para esta elección fue el tiempo de remoción. La figura siguiente muestra la determinación en el tiempo de remoción de los cuatro solventes.

Figura 10. Selección del removedor formulado con mejor desempeño

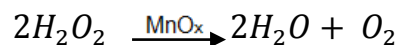


El removedor tipo IV se consideró como el mejor solvente, pues como lo presenta la Figura 10 tuvo un menor tiempo de remoción para la pintura. Se cree que el mejor desempeño de este removedor corresponde a la presencia de E-01 y E-02. Estos dos componentes quizás actúan favoreciendo la difusión más rápida del alcohol bencílico dentro de la capa de pintura para que sea removida con mayor facilidad. La Figura 11 muestra la acción del nuevo removedor sobre la superficie del sustrato.

Figura 11. Acción del nuevo removedor sobre la superficie del sustrato recubierto con pintura de poliuretano.

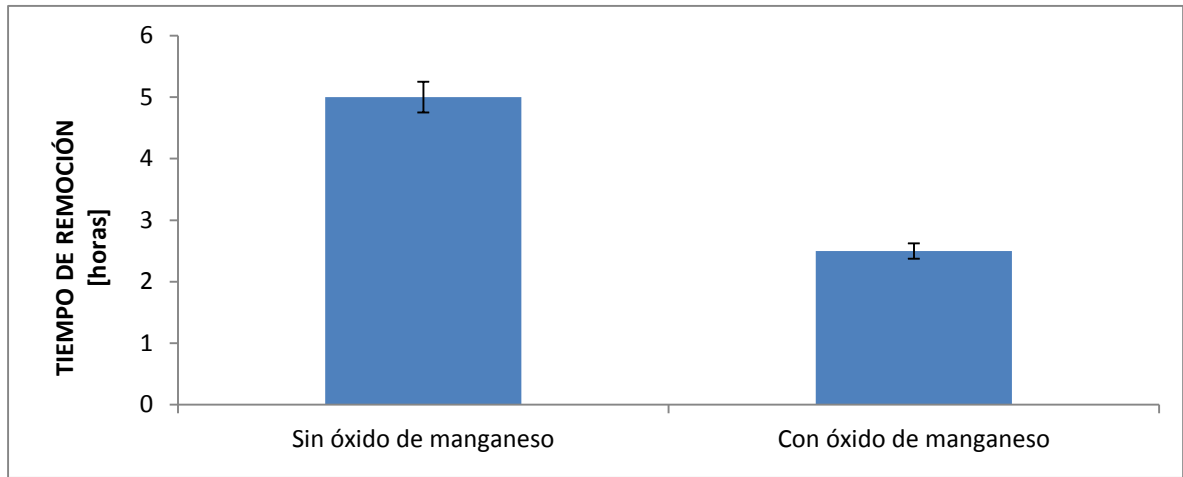


En la primera fotografía (a) de la Figura 11, se muestra el sustrato de dos capas inmerso en el nuevo removedor y al cabo de doce minutos se observa una rugosidad en la superficie del sustrato. La segunda fotografía (b) de la misma figura muestra la remoción de la capa de pintura, esto ocurrió aproximadamente a los treinta minutos de agregado el removedor, la presencia de los pequeños orificios en la capa de pintura retirada es posible que se deba a la formación del agua y del oxígeno producido durante la descomposición del peróxido de hidrógeno con MnO_x como catalizador disperso en el wash primer. La reacción de descomposición del peróxido es la siguiente.



Vale la pena resaltar que la capa de wash primer que se observa en la fotografía b) de color verde oliva no es removida por la acción del removedor, sin embargo puede ser retirada con un pequeño esfuerzo mecánico. El sistema de remoción formulado como alternativa en este proyecto, comprende la modificación del wash primer y la preparación de un nuevo removedor de pintura de poliuretano, en cuya composición esté ausente el cloruro de metileno. La modificación del wash primer corresponde a la incorporación de un catalizador de MnO_x suspendido en el componente A; este catalizador mejora la acción del nuevo removedor, puesto el peróxido de hidrógeno según la literatura [16] se descompone en presencia de óxido de manganeso generando O_2 gaseoso que probablemente ayuda a desprender más fácilmente la capa de pintura adherida al sustrato. En el laboratorio se realizó una prueba de remoción con sustratos de cuatro capas de pintura en ausencia del MnO_x y en presencia de MnO_x . En la Figura 12, se observa el tiempo de remoción para la nueva formulación del removedor utilizando una suspensión de MnO_x en el wash primer y el tiempo de remoción para la nueva formulación en ausencia del MnO_x .

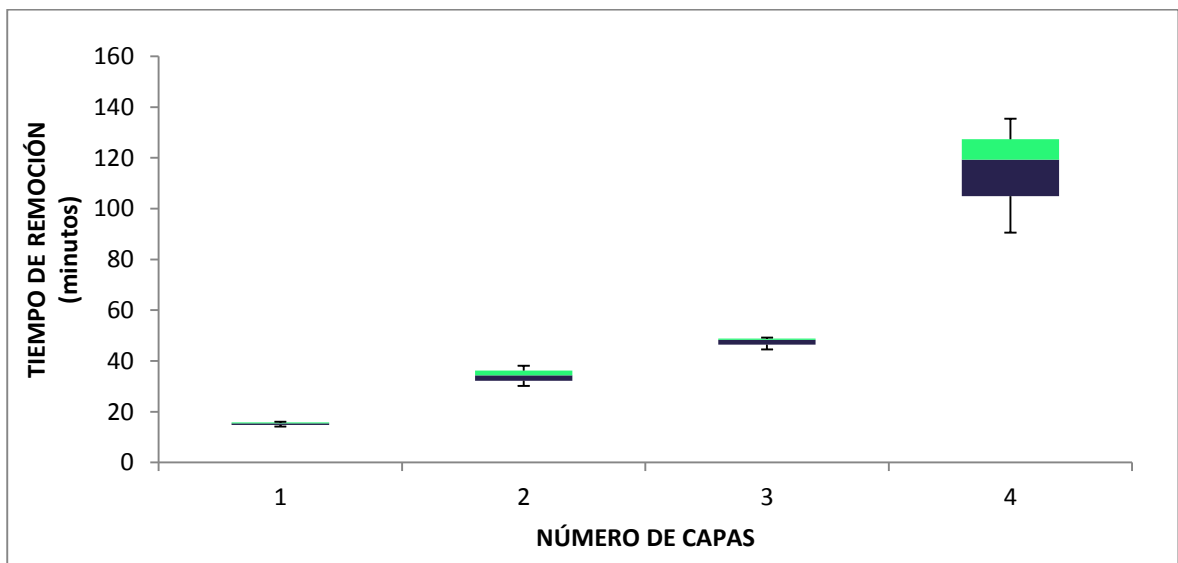
Figura 12 Tiempo de remoción del nuevo removedor en presencia de MnO_x y tiempo de remoción para el nuevo removedor en ausencia de MnO_x



Los resultados fueron contundentes: en ausencia del óxido, el sistema de remoción tardó más de cinco horas; en presencia MnO_x la remoción se llevó a cabo en tan solo dos horas y media. Por lo tanto es justificable el uso de óxido de manganeso para modificar el wash primer.

En la Figura 13 se muestra el tiempo que le toma a este removedor retirar una, dos, tres y cuatro capas de pintura aplicadas sobre el sustrato.

Figura 13 Tiempo de remoción para el nuevo removedor



En la gráfica se observa que el tiempo de remoción para el nuevo removedor tiende a aumentar en la medida que aumenta el número de capas de pintura con las que está recubierto el sustrato. En comparación con la Figura 8, es evidente que al nuevo removedor formulado, le toma aproximadamente diez veces más de tiempo remover la misma cantidad de capas de pintura que el removedor a base de cloruro de metileno. De la misma forma que ocurre en la Figura 8, los datos con mayor dispersión corresponden al grupo de placas pintadas con cuatro capas.

En la Figura 14 se muestra la comparación entre la masa depositada inicialmente en el sustrato y la masa de pintura que permanece en el sustrato, luego que se ha aplicado el nuevo removedor seleccionado. Al igual que en la sección 3.2 los resultados se publican para sustratos con 1, 2, 3 y 4 capas de pintura. La Figura 15, muestra la comparación entre el espesor de película de pintura depositada inicialmente en el sustrato, y el espesor de la película que permanece depositado luego que se aplicó el nuevo removedor seleccionado.

Figura 14. Comparación entre la masa de pintura depositada inicialmente y la masa de pintura que permanece luego de aplicar el nuevo removedor formulado.

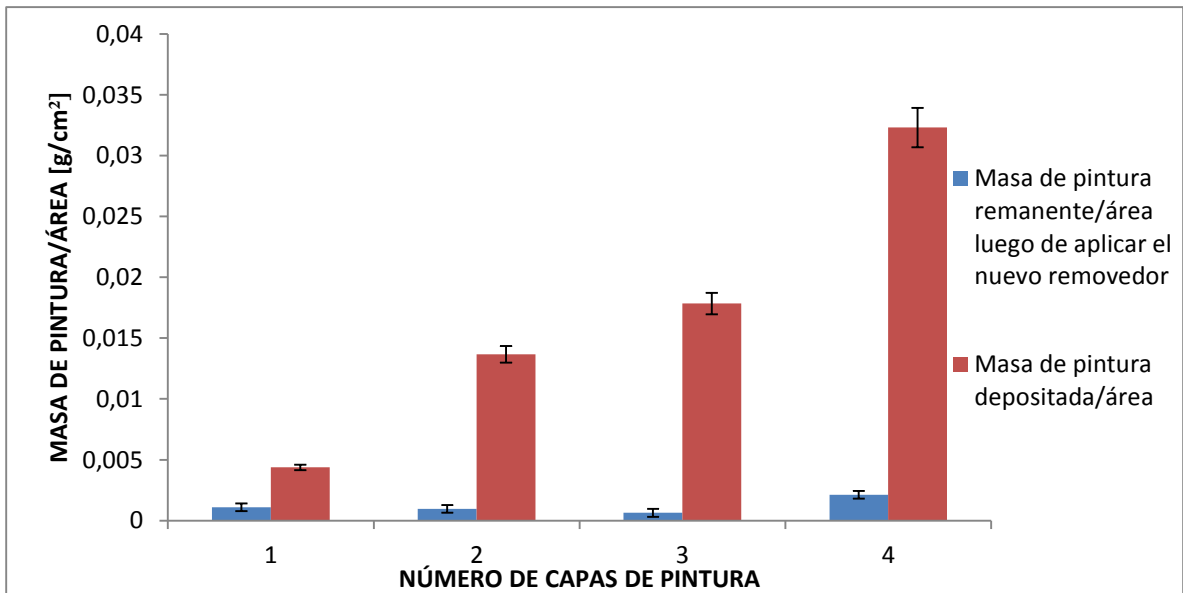
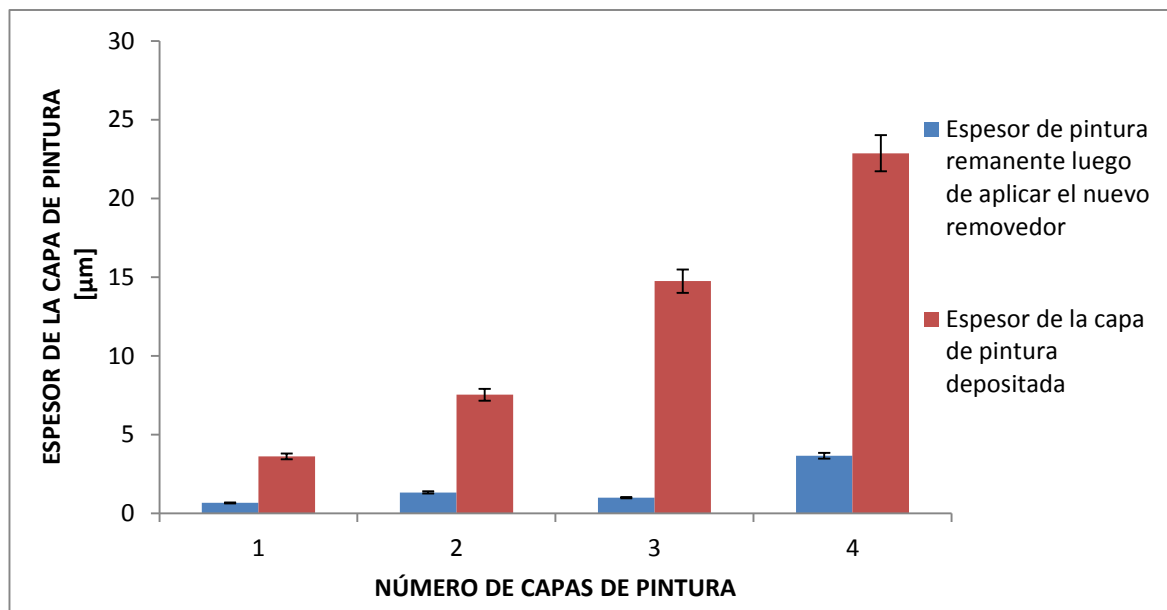


Figura 15 Comparación entre el espesor de pintura depositada y el espesor remanente luego de aplicar el nuevo removedor



La Figura 14 y la Figura 15 confirman que el nuevo removedor es efectivo para remover la pintura de poliuretano, ya que ha retirado aproximadamente 93-97% de la masa depositada inicialmente en el sustrato. La parte del sistema de pintura que el removedor no fue capaz de retirar fue el wash primer, sin embargo, esta capa se puede remover de forma sencilla con un pequeño esfuerzo mecánico (por ejemplo limpiando el sustrato con un cepillo).

3.4 COMPARACIÓN ENTRE EL REMOVEDOR COMERCIAL Y EL NUEVO REMOVEDOR SELECCIONADO

La siguiente figura muestra la comparación entre los dos removedores estudiados en este proyecto. Los criterios de comparación escogidos, fueron las cuantificaciones de masa y espesor que permanecieron en los sustratos una vez que se aplicó el removedor comercial y el nuevo removedor seleccionado a sustratos con 1, 2, 3 y 4 capas de pintura de poliuretano.

Figura 16 Comparación entre la masa de pintura que permanece en el sustrato luego de aplicar removedor comercial y la masa de pintura que permanece en el sustrato luego de aplicar el nuevo removedor seleccionado.

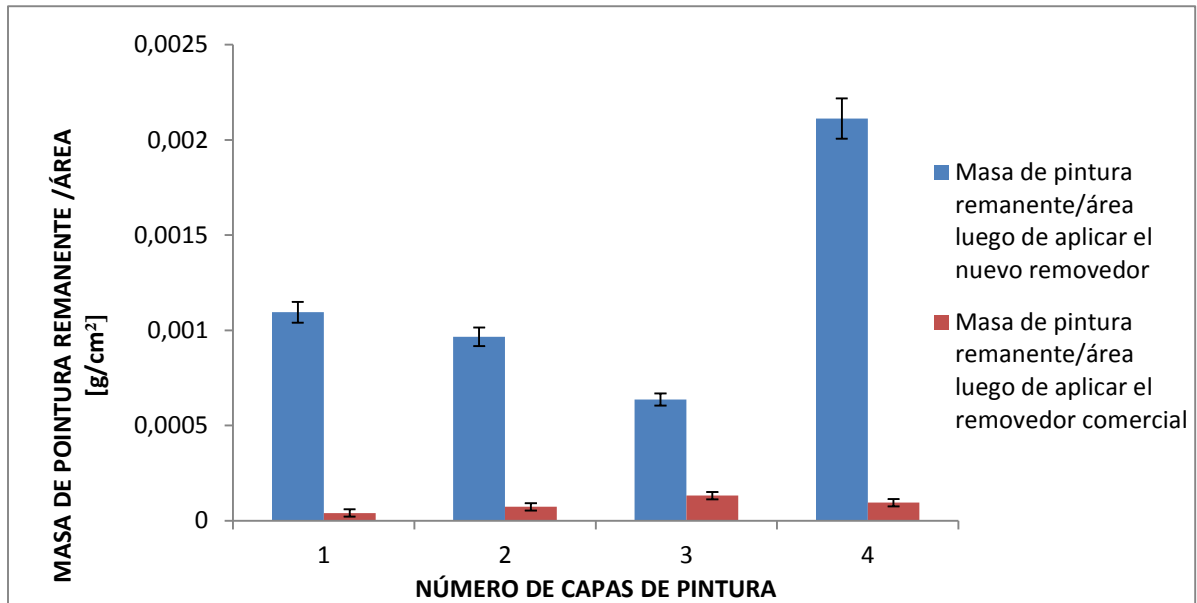
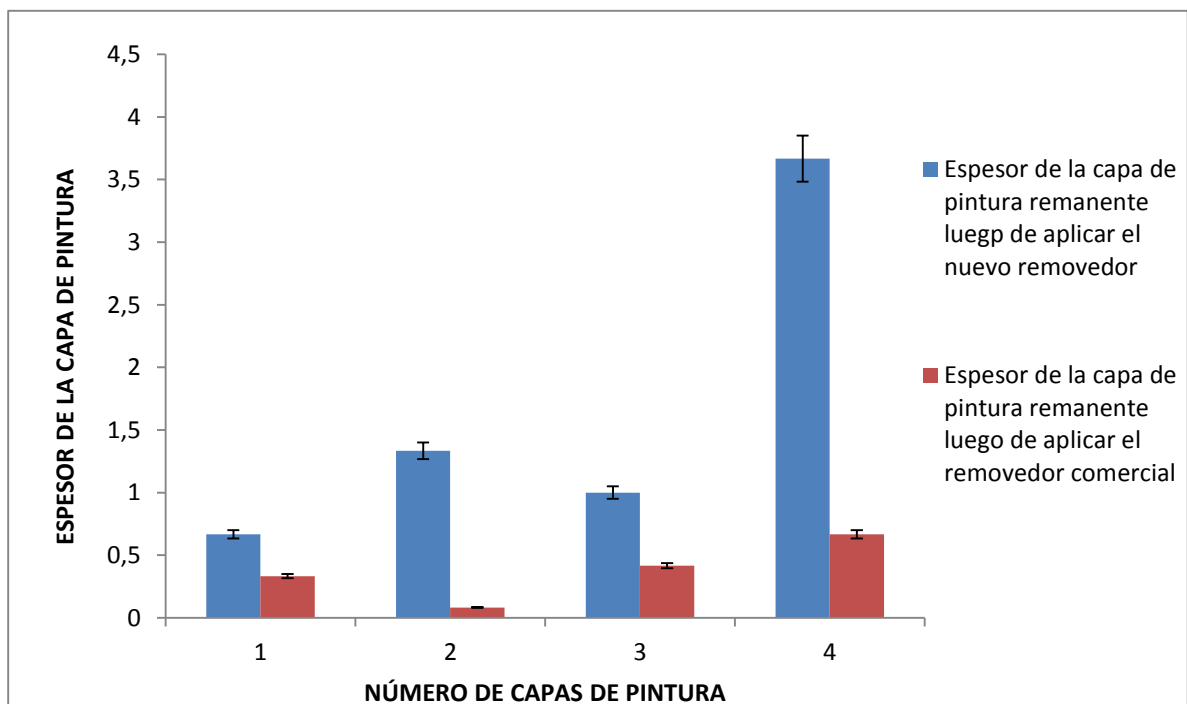


Figura 17 Comparación entre el espesor remanente una vez aplicado el removedor comercial y espesor remanente una vez aplicado el nuevo removedor seleccionado.



A partir de la Figura 16 y la Figura 17 se confirma que el removedor comercial a base de cloruro de metileno es altamente efectivo en cuanto a masa y espesor de la capa de pintura remanente luego de ser aplicado al sustrato, esto contrastado con un tiempo de remoción bastante bajo (de 10 a 12 minutos máximo para remover cuatro capas de pintura) lo ubican como el mejor sistema de remoción en el mercado actual. Pero el aumento en las investigaciones sobre los efectos que el cloruro de metileno trae sobre la salud de las personas expuestas a él, ha obligado a que organizaciones gubernamentales y ambientales se cuestionen sobre la seguridad del removedor basado en cloruro de metileno, debido a que en el proceso de remoción de pintura puede generar efectos adversos no sólo en la salud sino también en el medio ambiente lo que inclina la balanza a favor de la búsqueda de nuevos sistemas de remoción efectivos y que no representen ningún tipo de riesgo para la salud y el ambiente. El removedor comercial que se propone en este proyecto es efectivo, aunque requiere más tiempo para remover recubrimientos de poliuretano se enfatiza en que esta formulación es más segura. Se cree que el mayor aporte de este proyecto es el inicio de una búsqueda de removedores ambientalmente más seguros y adicionalmente que no tengan efectos negativos en la salud de las personas que laboran en la remoción de pinturas.

4. CONCLUSIONES

1. Se llegó a la formulación de un removedor comercial estándar que funciona efectivamente, pero que representa un alto riesgo para el medio ambiente y para la salud de las personas, debido a que según estudios el cloruro de metileno presente en la formulación de este removedor es un agente cancerígeno y teratógeno para los humanos y en el ambiente está reportado como agente contaminante del aire y de cuerpos de agua.
2. Se logró formular un removedor para pinturas de poliuretano que no contiene compuestos clorados, ya que el cloruro de metileno fue reemplazado por peróxido de hidrógeno y alcohol bencílico. Este nuevo removedor presenta buenos resultados de remoción, además los componentes utilizados en su formulación son más seguros para el ambiente y para la persona encargada de su uso.
3. El nuevo removedor formulado presenta un tiempo de remoción elevado comparado con el removedor comercial, pero el uso de esta nueva formulación se justifica desde el punto de vista de la seguridad para el operario y para el ambiente, pues la mayoría de los componentes presentes en la formulación no están reportados como sustancias peligrosas, y el que está reportado se maneja en una baja concentración.
4. La presencia de óxido de manganeso suspendido en el wash primer favorece la descomposición del peróxido de hidrógeno presente en la nueva formulación, pues el oxígeno gaseoso y el agua liberados ayudan a hacer más fácil la remoción de la pintura depositada en el sustrato, lo que se traduce en una disminución en el tiempo de remoción para el nuevo removedor.

5. El removedor IV fue el solvente que se eligió entre las cuatro posibles alternativas, pues presentó un tiempo de remoción menor por la presencia de los componentes E-01 y E-02, que posiblemente actúan como co-solventes para que el alcohol bencílico se difunda a través de la película de pintura y los demás componentes actúen para retirar el recubrimiento.

6. El tiempo de remoción para el decapante formulado es aproximadamente diez veces mayor al tiempo que tarda el removedor comercial en eliminar la pintura, pues una vez más se menciona que el removedor comercial contiene un agente dañino para la salud y el nuevo removedor desarrollado es la alternativa a su reemplazo.

5. RECOMENDACIONES

- Se sugiere para estudios posteriores analizar el mecanismo de remoción para el decapante formulado en el presente trabajo.
- Estudiar nuevos catalizadores para la descomposición de H_2O_2 con el fin de disminuir el tiempo de remoción.
- Probar otro método de aplicación del removedor, pues existen sustratos más grandes y la inmersión no se podría aplicar.
- Optimizar la proporción de componentes implicados en la nueva formulación.

BIBLIOGRAFÍA

1. Barrio, Izaskun. Dominguez, Maria Isabel. Centeno, Miguel. Odriozola, José. Montes, Mario. *Estudio del efecto de las variables de preparacion de metodo de precipitacion deposito redox para la preparacion de catalizadores de MnOx soportados sobre monolitos metálicos*. Gramado (Brasil), 2002. XX Simposio Iberoamericano de Catálisis 2006.
2. Billmeyer Jr., FRED. *Ciencia de los Polímeros*. Segunda Edición. Editorial Reverté, España 2004.
3. California department of public health. [En línea] Mayo de 2014. <http://www.cdph.ca.gov/programs/hesis/Documents/Paint-Removal-Methods.pdf>.
4. Caralz. ¿Qué es una pintura?. [En línea] Junio de 2011. [Citado el: 19 de Agosto de 2014.]
http://www.caralz.com/index.php?option=com_jdownloads&Itemid=96&view=finish&catid=367&cid=93.
5. Caralz. Documentación Técnica [En línea] Junio de 2011. [Citado Agosto de 2014]
http://www.caralz.com/index.php?option=com_jdownloads&Itemid=7&view=finish&cid=31&catid=185.
6. Caralz. Documentación Técnica. [En línea] Caralz LTDA, Septiembre de 2011. [Citado Agosto de 2014]
http://www.caralz.com/index.php?option=com_jdownloads&Itemid=7&view=finish&cid=86&catid=702.
7. Charretton, Marc. Vincent, Raymon. Occupational exposure to organic solvents during paint stripping and painting. [aut. libro] Paul. Cheremisinoff. *Health and toxicology. Advances in environmental control technology serires. Capítulo 12* Gulf publishing company, Houston, 1997.

8. Consejería de sanidad de la región de Murcia. Consejería de Sanidad. *Murcia Salud*. [En línea] Julio de 2007. [Citado el: 21 de Agosto de 2014.] <http://www.murciasalud.es/recursos/ficheros/106978-Diclorometano.pdf>.
9. Cooper, Martín. *Introducción a la limpieza con láser*. Primera Edición. Editorial Istmo, España 2005.
10. Domínguez, Esteban. *Embelllecimiento de superficies*. Editorial Editex, España, 2014.
11. Donaldson Company. Sand blasting.[En línea] [Citado el: 15 de Julio de 2014.] <http://www2.donaldson.com/torit/es-mx/pages/applications/blasting.aspx>.
12. Dow Chemical Company. Ficha de Información del Producto: Dow Chemical Company. [En línea] The Dow Chemical Company. [Citado el: 9 de Septiembre de 2014.] www.dow.com.
13. Ege, Seyhan. Química orgánica: estructura y reactividad. Tercera edición, volumen II, págs. 1278-1279. Editorial Reverté, España, 2000.
14. Groshart, E. *Finishing in the green: paint stripping - without methylene chloride*. Metal Finishing, Volumen 95, páginas 55-57, 1997.
15. Hans, Harvey. *Paint stripping with nontoxic chemicals*. Metal finishing, California, Abril de 1995.
16. Holleman, Arnold F. y Wiberg, Forgef von Egon. Inorganic Chemistry. [trad.] Eagleson Mary. *Lehrbuch der Anorganischen Chemie*. New York : Jhon Wiley & Sons., 1912.
17. Monsalve, Javier. Fondos nitrocelulósicos. *Sistema de aplicación de pintura de poliuretano*. Bucaramanga, Mayo de 2014.
18. Newman, Pierce. *Peroxide- Activate paint removers in aerospace applications*. Metal finishing, Indianapolis, Marzo de 2004.

19. Palet, Antoni. *Tratado de pintura: color, pigmentos y ensayo*. Primera Edición. Ediciones de la Universidad de Barcelona, España, 2002.
20. Pereira, José. *Materiales y técnicas aplicados al moldeo y vaciados de obras de arte*. Primera edición. Edición Kindle, 2013.
21. Seider, Warren. Seader J.D. Lewin, Daniel. *Step in the design industrial and consumer products . Products and process design principles*. Segunda edición. John Wiley and Sons Inc., New York, 2003.
22. Stevens, Malcolm. *Polymer chemistry. An introduction*. Tercera edición, Oxford University Press., págs. 378-381, New York, 1999.
23. Universidad Nacional Tecnológica de Argentina. Universidad Nacional Tecnológica de Argentina. [En línea] Facultad Regional de La Plata. [Citado el: 15 de Marzo de 2014.] www.frlp.utn.edu.ar/materias/protecmat/solventes.pdf.
24. Vicent, Maria, Alvarez, Silvia y Zaragoza, José. *Ciencia y Tecnología de Polimeros*. Editorial de la UPV, España, 2006.
25. Wicks, Zeno. Jones, Frank. Pappas Peter. *Organic coatings , science and technology* . Segunda edición. Wiley Interscience, New York, 1999.
26. Young, Christopher. Clayton, Clive. Yesinowskil, James. *Physicochemical investigation of chemical paint removers: Interactions of methylene chloride with polyurethane coatings. Progress in Organic Coatings, Vol. 77, páginas 233-241, 2014.*

ANEXOS

ANEXO A

REACCIÓN DE OBTENCIÓN DEL POLIURETANO

La reacción que origina el esqueleto de un poliuretano es la adición de un alcohol de un isocianato [13, 22].

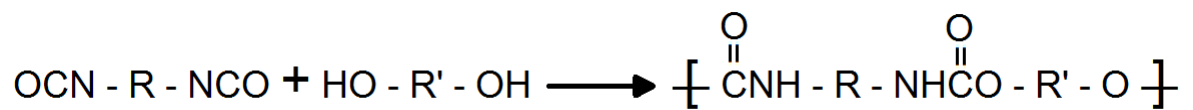


Figura 18 Reacción de obtención del poliuretano

La elección de los tipos de polioles determinarán la flexibilidad y dureza del producto final [20], para producir recubrimientos de poliuretano se emplean isocianatos aromáticos y alifáticos, los primeros son económicos y los segundos proporcionan a la película mejor retención del color y mayor durabilidad exterior [25].

ANEXO B

DEFINICIÓN TEMPERATURA DE TRANSICIÓN VÍTREA

Consideremos polímeros completamente amorfos es decir aquellos polímeros que no cristalizan aun cuando se enfrían de un polímero fundido a una velocidad extremadamente lenta. El efecto principal de enfriar el fundido es disminuir la violencia de la agitación térmica de los segmentos de las moléculas. En el fundido los segmentos de las moléculas cambian de lugar por saltos activados térmicamente de hecho el orden de saltos es bastante grande del orden de 10^6 s^{-1} si continua el enfriamiento se alcanza un punto a la cual la velocidad de los segmentos es extremadamente lenta hasta que detiene

El espécimen polimérico entonces consiste en moléculas largas enredadas como espaguetis en un estado cuasi-liquido pero con una ausencia completa del movimiento rápido molecular que es típico del líquido; esta es la transición vítrea. Esto se distingue del estado líquido en una sola cosa; la inmovilidad del esqueleto molecular el cual está congelado [25].

ANEXO C

HOJA INFORMATIVA DE SUSTANCIAS PELIGROSAS



Nombre común: **CLORURO DE METILENO**

Número CAS: 75-09-2

Número DOT: UN 1593

Número de la Sustancia RTK: 1255

Fecha: Mayo de 2001
2007

Traducción: Diciembre

RESUMEN DE RIESGOS

- ❖ El cloruro de metileno puede afectar al inhalarlo y al pasar a través de la piel.
- ❖ El cloruro de metileno debe manipularse como **CARCINÓGENO: CON EXTREMA PRECAUCIÓN**
- ❖ El contacto puede irritar y quemar la piel y los ojos, con la posibilidad de causar daño ocular
- ❖ Respirar **cloruro de metileno** puede irritar la nariz, la garganta y los pulmones, causando tos, respiración con silbido o falta de aire.
- ❖ El cloruro de metileno podría causar daño al hígado y afectar al riñón y al cerebro.

LÍMITES DE EXPOSICIÓN LABORAL

- ❖ OSHA: El PEL, límite de exposición admisible en el aire, es de 25 ppm como promedio durante un turno laboral de 8 horas y de 125 ppm, que no debe sobrepasarse en ningún período de 15 minutos.

- ❖ NIOSH: Recomienda que la exposición a carcinógenos ocupacionales se limite a la concentración más baja factible.
- ❖ ACGIH: El límite de exposición recomendado en el aire es de 50 ppm como promedio durante un período laboral de 8 horas.

- ❖ El cloruro de metileno puede ser un CARCINÓGENO humano. Puede que no exista ningún nivel seguro de exposición a un carcinógeno y, por consiguiente, siempre debe reducirse al mínimo posible el nivel de contacto.
- ❖ Los límites de exposición ya mencionados son sólo para los niveles en el aire. La sobreexposición puede ocurrir aún si los niveles en el aire son inferiores a los ya mencionados si también hay contacto con la piel.

INFORMACIÓN SOBRE LOS RIESGOS PARA LA SALUD

Efectos Agudos sobre la salud

Los siguientes efectos agudos (a corto plazo) sobre la salud pueden ocurrir inmediatamente o poco tiempo después de la exposición al no:

- ❖ El contacto puede irritar y quemar la piel y, con la posibilidad de daño ocular.
- ❖ Respirar cloruro de metileno puede irritar la garganta y los pulmones, causando tos, respiración silbido o falta de aire.

Efectos crónicos sobre la salud

Los siguientes efectos crónicos (a largo plazo) sobre la salud pueden ocurrir algún tiempo después de la exposición al cloruro de metileno y pueden durar meses o años:

Riesgo de cáncer

- ❖ El cloruro de metileno puede ser CARCINÓGENO humano, ya que se ha demostrado que causa cáncer hepático y pulmonar en animales.

- ❖ Muchos científicos creen que ningún nivel de exposición a un carcinógeno es seguro. Las sustancias carcinógenas tienen el potencial de causar daño a la reproducción en humanos.

Riesgos para la Reproducción

- ❖ Hay indicios limitados el cloruro de metileno causa abortos espontáneos.

Otros efectos a largo plazo

- ❖ El cloruro de metileno puede irritar los pulmones. La exposición puede causar bronquitis, con tos, flema o falta de aire.
- ❖ El cloruro de metileno podría causar daños al hígado y afectar el riñón.
- ❖ La exposición a largo plazo podría afectar al cerebro, causando la pérdida de memoria, mala coordinación y reducida capacidad para pensar.