

**OBTENCIÓN, EVALUACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE UN RECUBRIMIENTO
ASFÁLTICO MODIFICADO PARA ACABADOS INTERIORES Y EXTERIORES
EN ACCESORIOS DE HIERRO GRIS PARA TUBERIAS HIDRAULICAS DE LA
EMPRESA INDUSTRIAL DE ACCESORIOS LTDA. (IDEA)**

**ROCIO CAMACHO RAMIREZ
PAALO ANDREA MORENO YAÑEZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA
BUCARAMANGA**

2007

**OBTENCIÓN, EVALUACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE UN RECUBRIMIENTO
ASFÁLTICO MODIFICADO PARA ACABADOS INTERIORES Y EXTERIORES
EN ACCESORIOS DE HIERRO GRIS PARA TUBERIAS HIDRAULICAS DE LA
EMPRESA INDUSTRIAL DE ACCESORIOS LTDA. (IDEA)**

**ROCIO CAMACHO RAMIREZ
PAALO ANDREA MORENO YAÑEZ**

**Trabajo de grado para optar el título de
Ingeniero Químico**

**Director De Proyecto
Ramiro Augusto Salazar La Rotta
Ingeniero Químico, Ph.D**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA
BUCARAMANGA**

2007

DEDICATORIA

*A Dios por guiarme y bendecirme
en este largo camino.*

*A mis padres y hermanos porque con su apoyo y afecto
hicieron posible la realización de mi sueño
y quienes son dueños de este triunfo.*

*A Efrén por su apoyo incondicional en los momentos difíciles
y por ser la inspiración de mi vida.*

A mis amigos por su colaboración y aprecio.

ROCIO

DEDICATORIA

*A Dios, A mis padres que me apoyaron en todo momento,
A mis hermanos que me acompañaron y aguantaron,
A mis abuelos, tíos y primos por hacer mi vida más divertida
Y a mis amigos, en especial Francy y Luís Alejandro
Por ayudarme en toda la carrera*

PAALO

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a todos los profesores por sus conocimientos impartidos, en especial a nuestro Director de Proyecto Ramiro Augusto Salazar La Rotta; a las escuelas de Ingeniería Metalúrgica e Ingeniería Civil, por permitirnos hacer uso de sus laboratorios. A Eduardo y Wilson por su colaboración en el transcurso del proyecto y a todas las personas que nos apoyaron en esta etapa de nuestras vidas.

CONTENIDO

INTRODUCCION	1
1.MARCO TEORICO	2
1.1 CONCEPTOS BASICOS	2
1.2 RECUBRIMIENTOS BITUMENOS	3
2. DESARROLLO EXPERIMENTAL	6
2.1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	6
2.2 SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES DEL RECUBRIMIENTO	6
2.2.1. Asfaltos.	7
2.2.1.1. Composición química del asfalto.	7
2.2.1.2 Características Físicas y/o Reológicas.	8
2.2.1.3 Asfaltos Usados.	8
2.2.2. Disolvente.	9
2.2.3 Aceite de Linaza.	10
2.2.4 Colofonia.	10
2.3 FORMULACIÓN DE LAS MEZCLAS	11
2.4 PRUEBAS FISICAS Y QUIMICAS	12
2.4.1. Pruebas Físicas	12
2.4.1.1 Estabilidad de la Mezcla.	12
2.4.1.2. Determinación de la densidad.	12
2.4.1.3. Determinación de la Viscosidad.	12
2.4.1.4. Determinación del Espesor de la Película Húmeda.	13
2.4.1.5. Homogeneidad Superficial.	13
2.4.1.6. Secado.	14
2.4.2. Pruebas Químicas.	14
2.4.2.1 Pruebas Electroquímicas	15
2.4.2.1.1 Determinación del Potencial Electroquímico	15
2.4.2.1.2 Extrapolación de Tafel:	16
3. DISCUSION DE RESULTADOS	19
3.1. ASFALTOS UTILIZADOS	19
3.1.1. Asfalto 80/100.	19
3.1.2. Asfalto Comercial.	19
3.2. ESTABILIDAD DE LAS MEZCLAS	20
3.3 DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD	20
3.4 DETERMINACIÓN DE LA VISCOSIDAD	21
3.5. DETERMINACIÓN DEL ESPESOR DE LA PELÍCULA HÚMEDA	21
3.6. HOMOGENEIDAD SUPERFICIAL.	22
3.7. SECADO.	23
3.8 PRUEBAS ELECTROQUIMICAS	24

3.9. SELECCIÓN DE LA MEZCLA	25
3.10. DISEÑO DE EQUIPOS	25
3.10.1. Almacenamiento	26
3.10.2. Tanques de Mezclado	27
3.11. PRE-ESTUDIO ECONOMICO	28
CONCLUSIONES	29
RECOMENDACIONES	30
BIBLIOGRAFIA	31

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.	Características Físicas del Asfalto de Barrancabermeja	9
Tabla 2.	Composición de las Mezclas Preparadas con el Asfalto 80/100	11
Tabla 3.	Composición de las Mezclas Preparadas con el Asfalto Comercial	12
Tabla 4.	Caracterización del Asfalto Comercial	19
Tabla 5.	Mediciones y Cálculos Realizados en la Determinación del Espesor de la Película Húmeda y el Rendimiento Aproximado	42
Tabla 6.	Prueba de Secado	23
Tabla 7.	Resultados de la Extrapolación de Tafel	24
Tabla 8.	Dimensiones de los Tanques y Silo de Almacenamiento	26
Tabla 9.	Dimensiones de los Tanques de Mezclado	27
Tabla 10.	Costos de la Materia Prima y Valor de los galones de recubrimiento	28

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Estructura del ácido abiótico	10
Figura 2.	Viscosímetro Brookfield Modelo DV-III	40
Figura 3.	Microscopio Labophot – 2 Nikon M088E	40
Figura 4.	Celda Plana de tres Electrodo	40
Figura 5.	Equipo Gamry (GIC)	40
Figura 6.	Diagrama de Pourbaix para el hierro	16
Figura 7.	Determinación Experimental de la pendiente de Tafel y la i_{corr}	17
Figura 8.	Penetrometro	41
Figura 9.	Ductilometro	41
Figura 10.	Aparato de Anillo y Bola	41
Figura 11.	Comparación entre la densidad de las mezclas preparadas con la muestra patrón	20
Figura 12.	Comparación entre la viscosidad de las mezclas preparadas con la muestra patrón	21
Figura 13.	Relación entre el rendimiento y el espesor de la película húmeda de las mezclas preparadas y la muestra patrón	22
Figura 14.	Diagrama de Bloques	46
Figura 15.	Diagrama de Flujo	46

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A.	Objetivos	33
ANEXO B.	Propiedades Deseables en un Recubrimiento	34
ANEXO C.	Metodología del Proyecto	36
ANEXO D.	Clasificación de los Asfaltos	37
ANEXO E.	Pruebas Físicas para Caracterizar un Asfalto	38
ANEXO F.	Ficha Técnica del Aceite de Linaza Usado en la Preparación de Algunas Mezclas	39
ANEXO G.	Ficha Técnica de la Colofonia	40
ANEXO H.	Equipos Utilizados en la Realización de las Pruebas	41
ANEXO I.	Determinación del Espesor de la Película Húmeda y el Rendimiento Aproximado	43
ANEXO J.	Gráficos Obtenidos en la Extrapolación de Tafel	44
ANEXO K.	Ficha Técnica del Recubrimiento Seleccionado	45
ANEXO L.	Diagramas de Bloques y Flujo del Proceso de Elaboración del Recubrimiento	46

RESUMEN

TITULO: OBTENCIÓN, EVALUACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE UN RECUBRIMIENTO ASFÁLTICO MODIFICADO PARA ACABADOS INTERIORES Y EXTERIORES EN ACCESORIOS DE HIERRO GRIS PARA TUBERIAS HIDRAULICAS DE LA EMPRESA INDUSTRIAL DE ACCESORIOS LTDA. (IDEA) *

AUTOR(ES): ROCIO CAMACHO RAMIREZ
PAALO ANDREA MORENO YAÑEZ**

PALABRAS CLAVES: recubrimiento, asfalto colofonia,

DESCRIPCION

Los recubrimientos asfálticos son usados para proteger de forma económica materiales como la madera y el hierro, los cuales están sujetos a ambientes húmedos o a la acción de las bacterias. En este trabajo se evaluó el uso de dos clases de asfaltos, el 80/100 y uno, de tipo comercial, diluidos en un solvente alifático. Estos asfaltos fueron usados como recubrimientos del hierro gris, material empleado para elaborar los accesorios de la empresa IDEA; utilizado comúnmente en el transporte de agua. Se ensayaron modificaciones del asfalto con diferentes proporciones de colofonia y aceite de linaza, evaluando en cada ensayo la densidad, el espesor de la película húmeda, la viscosidad, el secado y las propiedades electroquímicas de los recubrimientos mediante la extrapolación de Tafel. Los resultados indican que la adición de colofonia en el asfalto comercial mejora las propiedades del recubrimiento. Finalmente se realizó el diseño preliminar de una planta para elaborar el recubrimiento seleccionado

* Proyecto de grado

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química. Director Ph.D. Ramiro Augusto Salazar La Rotta

SUMMARY

TITLE: OBTAINING, EVALUATION AND CHARACTERIZATION OF MODIFIED ASPHALT COVERING FOR FINISHED INTERIORS AND EXTERIORS IN GRAY IRON ACCESSORIES FOR HYDRAULIC PIPELINES OF THE COMPANY INDUSTRIAL DE ACCESORIOS LTDA. (IDEA) *

AUTHORS: ROCIO CAMACHO RAMIREZ
PAALO ANDREA MORENO YAÑEZ **

KEY WORDS: covering, asphalt, colophony

ABSTRACT

The asphalt coverings are used to protect in a cheap way materials like wood and iron, which are subject to humid environments or to the bacteria action. In this work it is evaluated the use of two asphalts, the 80/100 and one of commercial type, whom were diluted in an aliphatic solvent. These asphalts were used like gray iron coverings, this material is employed for elaborate the IDEA company accessories; this iron is commonly used in water transport. It has been tested asphalt modifications with different proportions of colophony and linseed oil, having evaluated in every test the density, the wet film thickness, the viscosity, the drying and the covering electrochemical properties using Tafel's extrapolation. The results indicate that the colophony addition in the commercial asphalt improves the covering properties. Finally it has been made preliminary design of a plant for produce the covering selected.

* Proyecto de grado

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química. Director Ph.D. Ramiro Augusto Salazar La Rotta

INTRODUCCION

La gran acogida en el mercado de los productos fabricados en la empresa Industrial de Accesorios Ltda., ha creado la necesidad de una expansión y en consecuencia una estandarización del proceso de acabado (recubrimiento) de las piezas (accesorios).

El recubrimiento asfáltico utilizado en la actualidad no posee ficha técnica, generalmente presenta un aspecto pegajoso permitiendo que se adhieran fácilmente partículas (arena, hojas) en la superficie; y ha presentado algunos problemas de corrosión.

La propuesta presentada a continuación pretende resolver estos problemas mediante la profundización en los conocimientos acerca de la obtención, evaluación y caracterización de recubrimientos asfálticos.

El siguiente trabajo presenta cuatro partes fundamentales; en la primera, se exponen los conceptos teóricos necesarios para el desarrollo experimental; en la segunda, se muestra el desarrollo experimental y la metodología utilizada para la obtención del recubrimiento; en la tercera se presenta una discusión acerca de los resultados y las pruebas (físicas y químicas) realizadas; y por último, se presenta el diseño de los equipos usados para elaborar el recubrimiento de acuerdo a las exigencias de la empresa.

1. MARCO TEORICO

La Empresa Industrial de Accesorios Ltda., trabaja con hierro gris. Para este tipo de material se utilizan principalmente recubrimientos bitumenos, teflón, caucho, y de resinas alquídicas. En este capítulo se encuentran los conceptos básicos sobre recubrimientos, haciendo énfasis en los de tipo asfáltico.

1.1 CONCEPTOS BASICOS

Un Recubrimiento Protector es cualquier material compuesto esencialmente de resinas sintéticas, polímeros inorgánicos u otros materiales, los cuales cuando son aplicados a un sustrato proveen una capa continúa la cual resiste ambientes industriales o marinos y previene daños serios en la estructura básica a pesar de la abrasión o imperfecciones en la capa.

- **Recubrimiento Protector Exterior:** Es un material aplicado en la superficie exterior del sustrato, el cual no esta necesariamente sujeto a la inmersión en algún líquido o químico. El recubrimiento debe ser elegido y aplicado cuidadosamente para asegurar la protección a la corrosión.
- **Recubrimiento Protector Interior:** Es un material aplicado en la superficie interior del sustrato sujeto al contacto directo o inmersión en líquidos, químicos u otros productos. Este recubrimiento además de mitigar la corrosión, es deseable que no contamine los productos contenidos.⁹

Las propiedades deseables de un recubrimiento son: resistencia química, resistencia al agua, fácil aplicación al sustrato, adhesión al sustrato, resistencia al impacto, resistencia a la abrasión y resistencia a la temperatura. (Ver anexo B).

Los recubrimientos líquidos tienen dos componentes mayores el pigmento y el vehículo. El pigmento es un producto en polvo, puede ser orgánico e inorgánico, insoluble por si solo en el medio líquido de la pintura; su función es suministrar

color y poder cubridor, contribuir a las propiedades anticorrosivas del producto y darle estabilidad frente a diferentes condiciones ambientales y agentes químicos. Entre los pigmentos más utilizados en la fabricación de pinturas se encuentran variados compuestos en base a cromo y plomo, zinc en polvo, dióxido de titanio, sulfato de bario, negro de humo, aluminio en polvo y óxido de hierro.

El vehículo es la base líquida del recubrimiento. Compuesto por un solvente, una resina y en algunos casos aceites secantes y/o aditivos menores.

El solvente cumple dos funciones principales: Facilitar la aplicación y disolver la resina. La resina es el término aplicado a un grupo de sustancias orgánicas, líquidas y pegajosas, que normalmente se endurecen por la acción del aire, al evaporarse el disolvente convirtiéndose en sólidos de aspecto amorfo y brillante. Es el cuerpo principal de la pintura, quien da las características más relevantes de ella. Puede ser natural o sintética. El aceite secante es un éster formado por la reacción de un ácido carboxílico de cadena larga (como el ácido linoleico), con un alcohol viscoso (como la glicerina). Y por último, los aditivos menores son sustancias añadidas en pequeñas dosis para desempeñar funciones específicas, que no cumplen los componentes principales. Entre los más utilizados se encuentran los materiales secantes, plastificantes y antisedimentantes.

1.2 RECUBRIMIENTOS BITUMENOS¹⁰

También llamados barnices negros, son disoluciones de breas, asfaltos o alquitranes en disolventes (White spirit, Xileno, aguarrás, etc.). Algunas veces se les adicionan resinas especiales adecuadas, para conferirles propiedades especiales. También se presentan estos productos emulsionados en agua para usos particulares.

Propiedades e inconvenientes: Tienen buena adherencia sobre metal y hormigón. Son muy impermeables al agua y tienen muy buena resistencia a los aceites de

petróleo, ácidos débiles, álcalis y sales, pero no resisten los disolventes. Su aspecto negro brillante y sus propiedades van perdiéndose en la exposición prolongada al sol y al aire, por oxidarse y hacerse quebradizo. El fabricante puede compensar esta tendencia seleccionando los asfaltos y cociéndolos con productos adecuados.

Usos: Se usan preferiblemente para proteger el hierro que está sujeto a grandes humedades o sumergido en agua, porque crean una barrera sustancial a los ambientes corrosivos y pueden ser aplicadas a un costo razonable en capas mucho más gruesas que la mayoría de recubrimientos, pinturas y barnices. Ofrecen una buena protección a los materiales enterrados, ya que además de contener la humedad, resisten la acción de las bacterias del suelo. No es recomendable usarlas expuestas a la atmósfera porque los efectos del aire, calor y luz solar, producen un rápido envejecimiento y un adelgazamiento en la capa.

Clases:

- Brea de alquitrán de hulla: Es un residuo de la destilación o tratamiento térmico del alquitrán de hulla. Está constituida por mezclas complejas de numerosos hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) y compuestos heterocíclicos. Su servicio se limita a proteger metales, es usado generalmente como un impermeabilizador. Usa como solvente la nafta.
- Esmalte de alquitrán: La brea de alquitrán de hulla se convierte en esmalte de alquitrán incorporando un mineral de relleno, soporta mayores temperaturas que la brea y es más usado para tubería sumergida con transporte de agua. Es un excelente aislante eléctrico.
- Alquitrán de aplicación en frío: Es hecho con la combinación de solventes, rellenos y otros constituyentes, los solventes más usados son el xileno y el

nafta. Su aplicación es más sencilla que la de las anteriores, pero su duración es menor.

- Emulsiones de alquitrán: Se adhieren satisfactoriamente a superficies húmedas y es prácticamente inodora. Además, muestra mejor resistencia a la luz del sol, que las anteriores.
- Recubrimientos asfálticos: Están disponibles en tres formas; esmalte, emulsión y dilución. El esmalte es generalmente sólido a temperatura ambiente y debe ser calentado para ser aplicado; La emulsión esta hecha de partículas microscópicas de asfalto suspendidas en agua; Y la dilución son soluciones de asfalto en solventes volátiles alifáticos

Teniendo como base estos conceptos, se procede a describir el desarrollo experimental del Trabajo de Grado.

2. DESARROLLO EXPERIMENTAL

Tomando como base los componentes usados en la actual preparación del recubrimiento asfáltico de la Empresa Industrial de Accesorios Ltda., y con la información encontrada en la literatura se seleccionaron los posibles componentes del recubrimiento. Se realizaron diversas pruebas físicas y químicas y se analizaron los resultados. De esta forma se obtuvo la mezcla final y se realizó la caracterización de la misma.

A continuación se muestra la explicación de cada etapa metodológica del proyecto. Ver Anexo C

2.1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Esta etapa se dedica a la búsqueda de conceptos teóricos que fundamenten el desarrollo experimental que se propone. De esta manera se analizan las diferentes posibilidades para elaborar un recubrimiento asfáltico. Para ello se contó con la biblioteca, Internet, bases de datos, motores de búsqueda de la UIS, y expertos en el tema.

Después se realizó un análisis y clasificación de la información obtenida; teniendo como base costos, restricciones y facilidad de obtención de las materias primas.

2.2 SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES DEL RECUBRIMIENTO

Los recubrimientos asfálticos no tienen pigmentos; así que solo se componen de asfalto (Resina); disolvente y algunas veces, aceites secantes y aditivos menores. En la literatura³ se encontró que el aceite secante y el aditivo más usado en protección de hierro, y sus aleaciones son el aceite de linaza y la Colofonia. Pero

no se encontró el beneficio de estas modificaciones. Por lo tanto se requiere verificar la utilidad de estos componentes y cuantificarlos.

2.2.1. Asfaltos. El asfalto es la resina principal; de acuerdo con la norma ASTM, se define como un “material cementoso, de color negro o marrón oscuro, sólido, o de consistencia semisólida en donde los constituyentes predominantes son bitúmenes que se encuentran en la naturaleza o se obtienen como residuos en procesos de alta temperatura y presión en la refinación del petróleo como condensación, polimerización y oxidación”.¹² (Ver Anexo D)

El asfalto está constituido principalmente de hidrocarburos, sus cualidades aglutinantes y propiedades físicas y químicas lo hace apto para un sinnúmero de aplicaciones. Las más conocidas son, revestir carreteras, impermeabilizar estructuras, fabricar baldosas, pisos y tejas y como resina en la fabricación de recubrimientos.

2.2.1.1. Composición química del asfalto. Químicamente el asfalto esta constituido por asfáltenos y maltenos.

Los asfáltenos conforman la fase dispersa micelar. Son macromoléculas complejas tipo multipolímeros, se presentan en forma sólida de color negro o marrón e imparten propiedades de color y dureza al asfalto; son la fase polar más pesada del asfalto. Tienen un peso molecular promedio de 3500 u.m.a., una posible fórmula molecular es $(C_{79}H_{92}N_2S_2O)_3$. La estructura y peso molecular varían de acuerdo con el origen del asfalto.

Los Maltenos son un líquido viscoso formado por las resinas (aromáticos polares) y aceites (saturados) que proporcionan propiedades de ductilidad, adhesividad y viscosidad.

Los aromáticos polares o resinas son líquidos pesados de color marrón, proveen cualidades adhesivas al asfalto; se consideran como el agente estabilizante (peptizante), o coloidal protector de los asfaltos, tienen un peso molecular promedio de 1100 u.m.a., son frágiles a bajas temperaturas y muy sensibles a cambios de esta, presentan anillos aromáticos o nafténicos con grupos polares, así como hidrocarburos insaturados y cíclicos.

Los saturados son hidrocarburos de cadenas lineales ramificadas y cíclicas, tienen un peso molecular promedio de 600 u.m.a., forman la parte aceitosa de los asfaltos, son incoloros, actúan como el medio en el cual son transportados los asfaltenos (medio dispersante o intermicelar).

2.2.1.2 Características Físicas y/o Reológicas. La reología es una de las propiedades más importantes de los productos asfálticos. Hace referencia a la variación de las propiedades de flujo a través del tiempo de aplicación de una carga. Un asfalto se puede caracterizar físicamente mediante las pruebas de punto de ablandamiento, penetración, viscosidad, ductilidad, y susceptibilidad térmica. (Ver Anexo E).

2.2.1.3 Asfaltos Usados. El asfalto 80/100, es producido por ECOPETROL en la Refinería de Barrancabermeja, este proviene de la mezcla de fondo de vacío de base nafténica y fondos de vacío de fase intermedia, ajustando la penetración, punto de ablandamiento y punto de chispa mediante la adición de distintas cantidades de gasóleo de los mismos crudos. En la tabla 1, se muestran las principales características físicas de este asfalto.⁴

Tabla 1. Características Físicas del Asfalto de Barrancabermeja

PRODUCTO: ASFALTO 80/100			
Grado		Asfalto Líquido	
Referencia		ASTM D 1437	
ENSAYO	METODO DE ENSAYO (ASTM)	MINIMO	MAXIMO
PESO ESPECIFICO a 25 °C	D 70	1.000	1.028
PENETRACION, 100g, 5 s, 25°C, (0.1 mm)	D5	80	100
PUNTO DE CHISPA (°C)	D92	232	335
DUCTIBILIDAD A 25 °C (cm)	D113	100	
PUNTO DE ABLANDAMIENTO (Anillo y bola) (°C)	D36	42	53
VISCOSIDAD ABSOLUTA a 60°C (Poises)	D2171	1370.64	

El asfalto comercial distribuido por la Ferretería Aldía, actualmente usado por la Empresa IDEA no cuenta con ficha técnica, por tanto se realiza su caracterización física de acuerdo a las normas ASTM.

Se realizan mezclas con estos dos tipos de asfalto; escogiendo finalmente, el más adecuado.

2.2.2. Disolvente. Cuando se preparan disoluciones asfálticas es necesario utilizar disolventes alifáticos y aromáticos. Los solventes más conocidos y usados en los recubrimientos bitumenos son: xileno, Nafta (gasolina), White Spirit, Tolueno y Aguarrás. ECOPETROL vende varios disolventes (disolventes 1A, 2, 3, 4, hexano y Apiasol 1), estos son productos de la destilación de naftas o de gasolina natural.; se separan controlando el punto de ebullición y luego se someten a procesos de purificación, neutralización y rectificación de sus límites de destilación. Estos productos son incoloros, de olor agradable y con poder solvente por lo cual tienen variados usos en la industria; los más utilizados en la industria

de los Recubrimientos son el Disolvente 1A, 3, 4 y Apiasol 1. No existe diferencia apreciable entre utilizar uno u otro disolvente.¹⁵

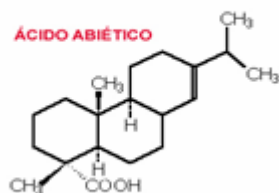
Para la formulación de las mezclas se usa el Disolvente 4 (Varsol Comercial) por su costo y facilidad de obtención.

2.2.3 Aceite de Linaza. Es un líquido de color amarillo dorado más o menos oscuro, obtenido de la semilla del lino. Químicamente está constituido por un 13% de glicéridos sólidos de los ácidos palmítico, esteárico, mirístico y aráquico; y un 87% de glicéridos líquidos de los ácidos oleico, linólico, linolénico e isolinolénico. El ácido linólico, y los linolénico e isolinolénico, constituyen con la glicerina el éster linoleína, que compone la mayor parte del aceite de linaza. La linoleína al entrar en contacto con el aire se oxida formando una película de cuerpo elástico, brillante e insoluble, esta oxidación se favorece por la acción de la luz y la temperatura.

El aceite seleccionado para la preparación de las mezclas cumple con todas las características y reconocimientos de los aceites empleados en la industria de recubrimientos³. (Ver Anexo F)

2.2.4 Colofonia. Es dura, brillante y translúcida, normalmente de color ámbar, se obtiene como residuo en la destilación de la trementina. La colofonia está constituida por el ácido abiético o abietínico³.

Figura 1. Estructura del Acido Abietico



Su fórmula es $C_{19}H_{28}O_2$ y contiene anhídrido abiético. Están igualmente considerados como otros ácidos integrantes de la colofonia el pimárico y el sílvico. Tiene una densidad relativa de 1,08. Es soluble en alcohol, éter y otros disolventes orgánicos, pero resulta insoluble en agua. Se ablanda si se calienta a unos 80 °C y tiene un punto de fusión entre 120 ° y 135 °C. Comercialmente es una de las resinas más importantes y se emplea en la elaboración de recubrimientos como desecante de pinturas. (Ver Anexo G).

2.3 FORMULACIÓN DE LAS MEZCLAS

En los diferentes tipos de recubrimientos líquidos, no se presenta una variación significativa en las proporciones de resina, disolvente, aceite y aditivos. Estas proporciones han sido estudiadas y publicadas por diversas fuentes.

En general, la resina conforma del 20 - 40% en peso del recubrimiento, entre el aceite y el aditivo no se supera el 10% en peso y el resto es constituido por el disolvente.

Lo que se pretende averiguar es el tipo de asfalto adecuado, la acción de la colofonia, el aceite de linaza y estos dos juntos en el recubrimiento. Para esto se preparan las mezclas reportadas en la Tabla 2 y 3. (Los porcentajes son en peso)

Tabla 2. Composición de las Mezclas Preparadas con el Asfalto 80/100

MEZCLA	ASFALTO 80/100 (%)	COLOFONIA (%)	ACEITE (%)	DISOLVENTE 4 (%)
1	40	-	-	60
2	30	-	10	60
3	30	10	-	60
4	30	5	5	60

Tabla 3. Composición de las Mezclas Preparadas con el Asfalto Comercial

MEZCLA	ASFALTO (%)	COLOFONIA (%)	ACEITE (%)	DISOLVENTE 4 (%)
5	40	-	-	60
6	30	10	-	60
7	30	-	10	60
8	30	5	5	60

2.4 PRUEBAS FISICAS Y QUIMICAS

Para realizar los siguientes ensayos se toma como muestra patrón (Muestra No.0), un recubrimiento asfáltico modificado encontrado en el comercio. El propósito de estas pruebas es seleccionar el recubrimiento que iguale o supere las características presentadas en el recubrimiento Comercial.

2.4.1. Pruebas Físicas

2.4.1.1 Estabilidad de la Mezcla. Esta prueba se realiza mediante un método estándar a diferentes condiciones de temperatura, en condiciones de presión estándar.*

2.4.1.2. Determinación de la densidad. Teniendo en cuenta los parámetros del método estándar para la determinación de la densidad en las pinturas, lacas y barnices; se realiza el ensayo utilizando un picnómetro[†]; en condiciones de presión y temperaturas estándar.

2.4.1.3. Determinación de la Viscosidad. Se utiliza el viscosímetro Brookfield modelo DV-III, con la aguja número 18. Ver Anexo H, Figura 2.

**ASTM D 564-87 Standard Test Method For Liquid Paint Driers

† ASTM D 1475-98 Standard Test Method For Density of Liquid Coatings, Inks, and Related Products

2.4.1.4. Determinación del Espesor de la Película Húmeda.¹³ El espesor del recubrimiento es una variable importante en la calidad del producto. La medición de espesores de película puede ser hecha con diferentes instrumentos. La técnica utilizada para la medición de la pintura es la medición gravimétrica (masa); que consiste en medir la masa y el área del recubrimiento. Una vez que se ha determinado el área y la masa, el espesor es calculado usando la siguiente ecuación:

$$E = \frac{m * 10.000}{A * \rho} \quad (1)$$

Donde, E es el espesor en micrómetros, m es la masa del recubrimiento en gramos, A es el área de prueba en centímetros cuadrados, y ρ es la densidad de la mezcla. Se debe tener en cuenta que la base debe ser pareja y el recubrimiento debe ser aplicado de manera uniforme.

Es posible dar una estimación del rendimiento del recubrimiento teniendo el área de la superficie pintada y el volumen de recubrimiento usado en esa superficie, así:

$$R = \frac{A * 0.1}{V} \quad (2)$$

Donde, R es el rendimiento en metros cuadrados por litro, A es el área en centímetros cuadrados y V, es el volumen en centímetros cúbicos.

2.4.1.5. Homogeneidad Superficial. El análisis morfológico se hizo mediante la utilización de un microscopio, para observar la distribución de las fases a nivel macro. Con esta técnica se puede observar la homogeneidad de la mezcla, sus posibles aglomeraciones o separación de fases, si se presentan. Se utiliza un microscopio LABOPHOT-2 marca NIKON modelo M088E de la Escuela de Ingeniería Química Ver Anexo H figura 3. Se cubren los porta muestra de vidrio con una pequeña cantidad de cada mezcla, formando una película delgada y se hace pasar a través del microscopio para ver su estructura interfacial.

2.4.1.6. Secado. El secado es el cambio de fase de líquido a sólido que ocurre en una película de recubrimiento. El tiempo que tarda en ocurrir depende de las condiciones a las que se realiza. Existen tres mecanismos de secado: reacción del recubrimiento (polimerización o oxidación), no reacción del recubrimiento (evaporación del solvente), y, por enfriamiento y revestimiento.

En las diluciones asfálticas no modificadas (Mezclas No. 1 y 5), el secado es por evaporación del solvente. Las mezclas que contienen colofonia (Mezclas No. 3 y 6) tienen dos mecanismos simultáneos, evaporación del solvente y reacción de polimerización. Las que contienen aceite de linaza (Mezclas No. 0, 2 y 7), presentan dos mecanismos simultáneos, evaporación del solvente y reacción de oxidación. Y por último, las que contienen colofonia y aceite de linaza (Mezclas No. 4 y 8), el secado ocurre por tres mecanismos simultáneos evaporación del solvente, reacción de polimerización y reacción de oxidación.

La importancia del secado, esta en la posterior durabilidad del recubrimiento, ya que un secado insuficiente entre capas lleva a una acumulación de solvente entre ellas; haciendo que la capa sea dispareja y débil; y a su vez prolongando el tiempo de secado. Para evitar esto, se considera que una película de recubrimiento esta seca, cuando no se distorsiona por una moderada presión con el dedo pulgar y el giro del pulgar a 90° en el plano de la película de recubrimiento.¹⁰ De esta forma, se calcula el tiempo de secado a temperatura ambiente de una película de recubrimiento para cada una de las mezclas preparadas.

2.4.2. Pruebas Químicas.

La Corrosión es el deterioro o la destrucción gradual de un metal o de sus propiedades debido a la reacción del metal con el medio ambiente que lo rodea. En presencia de un medio acuoso, la corrosión es de naturaleza electroquímica, este es un proceso espontáneo que denota la existencia de una zona anódica

(que sufre la corrosión), una zona catódica y un electrolito, siendo imprescindible la presencia de estos tres elementos.¹ Este tipo de corrosión se presenta cuando el metal se encuentra enterrado, en contacto con un líquido o en una humedad relativa superior al 70%. Siendo las dos primeras situaciones a las que se exponen las piezas (accesorios) de la empresa IDEA.

2.4.2.1 Pruebas Electroquímicas

Las pruebas electroquímicas miden parámetros termodinámicos y cinéticos; una medida termodinámica es el potencial electroquímico de un material, este permite determinar si el proceso de corrosión se llevara a cabo, pero no da ningún dato acerca de la cinética. Para predecir la velocidad a la cual el metal se va a corroer se utiliza una técnica sencilla y conocida, como es la Extrapolación de Tafel.

Para realizar estas pruebas se utiliza el software Gamry Framework perteneciente al GIC (Grupo de Investigación de la Corrosión) y una celda plana. La Celda esta constituida por tres electrodos, el de referencia (Calomel), un electrodo de trabajo (probeta circular de hierro gris recubierta) y un contra electrodo de grafito; la solución a utilizar como electrolito es NaCl al 3%. Ver Anexo H, figura 4 y 5.

2.4.2.1.1 Determinación del Potencial Electroquímico

El potencial electroquímico, también llamado potencial de corrosión se crea a partir de las reacciones anódicas y catódicas que ocurren en la superficie del metal. Este potencial es una característica del sistema metal-solución, no se puede medir directamente, por eso se busca un electrodo cuyo potencial sea fácilmente reproducible y se toma como patrón. Se utiliza como electrodo de referencia el Calomel, cuyo potencial electroquímico es 0,241 Voltios.⁷

Con un diagrama de Pourbaix, el potencial electroquímico obtenido y el pH del medio, es posible determinar termodinámicamente si ocurre el proceso de corrosión. Estos diagramas están divididos en áreas de estabilidad para las diferentes fases derivadas de la ecuación de Nernst. Ver figura 6.

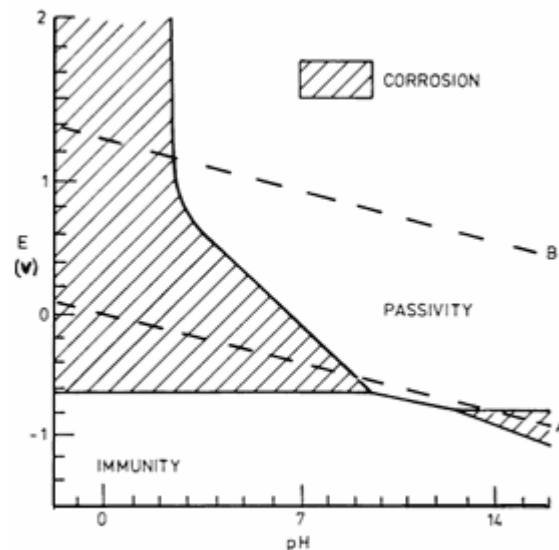
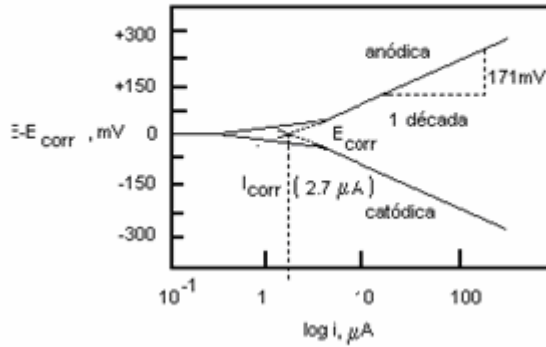


Figura 6. Diagrama de Pourbaix para el Hierro

2.4.2.1.2 Extrapolación de Tafel:

La técnica de extrapolación de Tafel se fundamenta en la teoría de potencial mixto, la cual establece que la reacción anódica (oxidación) como catódica (reducción) se lleven a cabo simultáneamente, de modo que la densidad de corriente total es igual a la diferencia de las densidades de corriente de las dos reacciones. Esta técnica se utiliza para medir la corriente de corrosión (i_{corr}) de tal forma que se pueda calcular la velocidad de corrosión. Una curva de Tafel puede proporcionar directamente la i_{corr} .

Figura 7. Determinación Experimental de las Pendientes de Tafel y la i_{corr}



La velocidad de corrosión puede calcularse mediante la siguiente formula:

$$V_{corr} (mpy) = \frac{0.13 * i_{corr} * P.E}{d} \quad (3)$$

mpy = milipulgadas por año,

P.E. = peso equivalente de la especie que se corroe, gramos,

d = densidad de la especie que se corroe, gramos/cm³,

i_{corr} = densidad de corriente de corrosión en $\mu A/cm^2$,

Para el hierro, P. E. es 27.92 gramos y d es 7.87 gramos/cm³. Entonces la formula número tres queda:

$$V_{corr} (mpy) = 0.46 * i_{corr} \quad (4)$$

La importancia de la magnitud de V_{corr} , depende de factores tales como uso y precio del metal; en algunos casos una velocidad de 5 mpy es aceptable y en otros es inconcebible. Para recubrimientos el mpy debe estar en el orden de magnitud de 10^{-1} .

En este capítulo se expuso la metodología utilizada en la parte experimental y a su vez se referencia los equipos utilizados para las mediciones respectivas de donde se generan los datos utilizados en el capítulo siguiente.

3. DISCUSION DE RESULTADOS

En este capítulo se selecciona la mezcla apropiada en base a la discusión de los resultados obtenidos en los diferentes ensayos realizados. Y a partir de esta, se diseñan los equipos necesarios para su realización, según la demanda de la Empresa Industrial de Accesorios Ltda. (IDEA).

3.1. ASFALTOS UTILIZADOS

3.1.1. Asfalto 80/100. Al analizar las propiedades del asfalto 80/100, se puede deducir que es dúctil, y tiene una gran cantidad de maltenos. Esto, aunque es una ventaja en cuanto a las propiedades de ductilidad, es una desventaja en cuanto al tiempo de secado, por la cantidad de aceites.

3.1.2. Asfalto Comercial. La caracterización de este asfalto se realizó en el laboratorio de la Escuela de Ingeniería Civil. Los resultados se muestran en la Tabla 4. Ver Anexo H, Figura 8, 9 y 10.

Tabla 4. Caracterización del Asfalto Comercial

PRODUCTO: ASFALTO COMERCIAL			
Grado		Asfalto Sólido	
ENSAYO	METODO DE ENSAYO (ASTM)	MINIMO	MAXIMO
PENETRACION, 100g, 5 s, 25°C, (0.1 mm)	D5	6	9
DUCTIBILIDAD A 25 °C (cm)	D113	-	0
PUNTO DE ABLANDAMIENTO (Anillo y bola) (°C)	D36	90	100

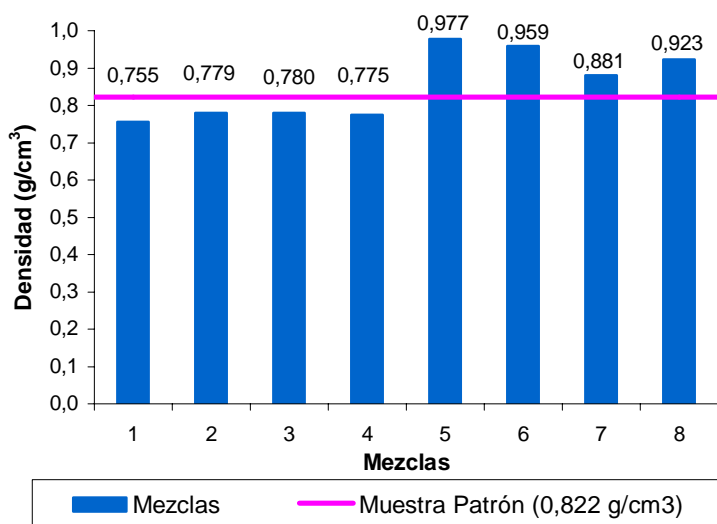
Podemos concluir que el asfalto comercial es un sólido rígido y duro; este tipo de materiales fallan de manera frágil, es decir, se rompen sin que haya deformación plástica previa.² Los resultados indican un alto contenido de asfáltenos y un bajo

contenido de maltenos. Por lo tanto no es recomendable un recubrimiento con solo esta resina, ya que es frágil y no dúctil, pero al ser modificada puede llegar a ser idónea. Por lo anterior, se justifica el análisis de las distintas mezclas con los dos tipos de asfalto.

3.2. ESTABILIDAD DE LAS MEZCLAS El ensayo para la determinación de la estabilidad de las mezclas se realizó teniendo en cuenta el procedimiento, sujeto a la norma citada en el capítulo anterior. Se observó que todas las mezclas preparadas son estables en el intervalo de tiempo de la prueba, ya que ninguna presento precipitación de sólidos o separación de fases.

3.3 DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD El ensayo para la determinación de la densidad se realizó teniendo en cuenta el procedimiento, sujeto a la norma citada en el capítulo anterior. A continuación la Figura 10 presenta una comparación entre el recubrimiento comercial y cada mezcla preparada.

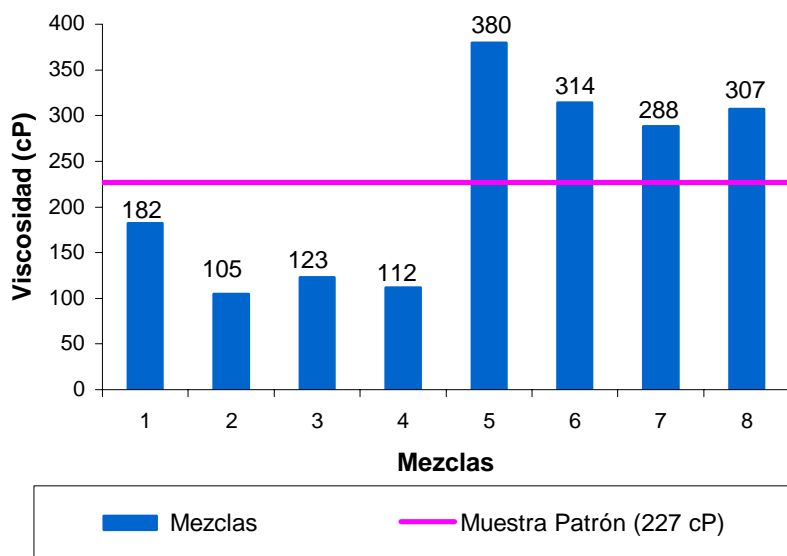
Figura 11. Comparación entre la densidad de las mezclas preparadas con la muestra patrón



Se observa que las mezclas preparadas con el asfalto 80/100, son menos densas que las hechas con el asfalto comercial; las mezclas con densidad más cercana a la comercial son la 3 y la 7.

3.4 DETERMINACIÓN DE LA VISCOSIDAD La determinación de la viscosidad se realizó con el viscosímetro Brookfield, citado en el capítulo anterior. El número de aguja utilizada se escogió según la viscosidad de las mezclas. A continuación la Figura 11 presenta una comparación entre el recubrimiento comercial y cada mezcla preparada.

Figura 12. Comparación entre la viscosidad de las mezclas preparadas con la muestra patrón, utilizando una revolución de 120 rpm

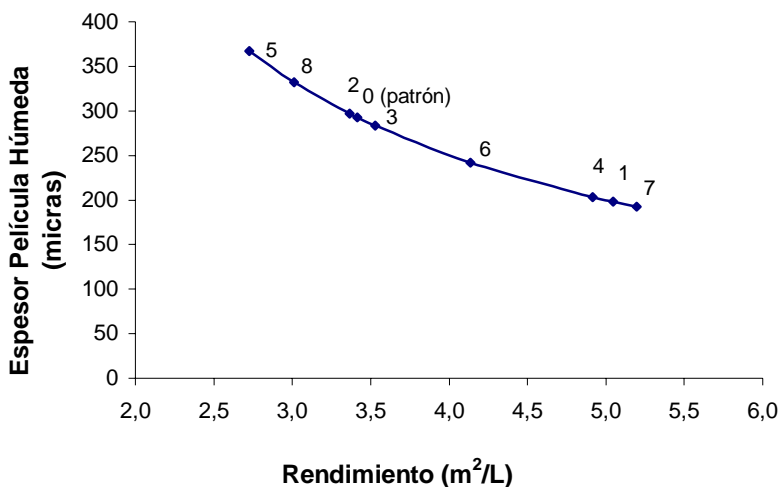


Las mezclas realizadas con el asfalto 80/100 son menos viscosas que las preparadas con el asfalto comercial.

3.5. DETERMINACIÓN DEL ESPESOR DE LA PELÍCULA HÚMEDA Para la realización de esta prueba, se utilizaron probetas circulares, con diámetros comprendidos entre 2,11 y 2,18 cm. Todos los valores medidos y calculados en

esta prueba, se encuentran en el Anexo I, Tabla 5. Los resultados principales se presentan en la Figura 13

Figura 13. Relación entre el rendimiento y el espesor de la película húmeda de las mezclas preparadas y la muestra patrón



Según la figura, las muestras preparadas presentan el comportamiento esperado, ya que el rendimiento reportado en la literatura para recubrimientos asfálticos es de 2,5 a 5 m²/Litro; y además, se comprobó que a menor espesor de película húmeda se tiene mayor rendimiento; las mezclas más cercanas a la comercial son la 2 y 3.

3.6. HOMOGENEIDAD SUPERFICIAL. Al pasar las muestras por el microscopio, se observó que las preparadas con el asfalto comercial no permiten el paso de la luz. Al revisar las mezclas preparadas con el asfalto 80/100, se observó una coloración rojiza y algunos puntos negros en la película. En ninguna de las mezclas se encontró aglomeración, separación de fases o alguna fisura como tal. Esto indica una buena homogeneidad superficial en cada una de las mezclas preparadas. Fue imposible realizar un registro fotográfico; por el nulo o poco paso de la luz.

3.7. SECADO. Los resultados obtenidos en el desarrollo de esta prueba se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6. Prueba de Secado

MEZCLA	TIEMPO DE SECADO (Horas)	APARIENCIA FINAL
0	15	Brillante
1	8	Brillante
2	No seca	Brillante
3	7	Brillante
4	No seca	Brillante
5	1	Opaca
6	0.5	Opaca
7	4	Opaca
8	0.75	Opaca

La cantidad de aceites (sea de linaza o los presentes en los maltenos) hacen que el tiempo de secado sea mayor. Como se esperaba, las mezclas preparadas con el asfalto comercial secaron más rápido que las del asfalto 80/100, ya que este tiene una cantidad mayor de maltenos.

Las mezclas 2 y 4 quedan descalificadas, porque su excesiva cantidad de aceites no permite que sequen a temperatura ambiente (que es lo exigido por la empresa IDEA).

También se noto que la colofonia es un buen secante ya que las mezclas 3 y 6 son las más rápidas de secar dentro del grupo de mezclas preparadas para cada tipo de asfalto.

3.8 PRUEBAS ELECTROQUIMICAS

Para la realización de estas pruebas, se utilizaron probetas circulares, con diámetros comprendidos entre 2,11 y 2,18 cm. Los gráficos obtenidos con el software Gamry Framework, se encuentran en el Anexo J. En el análisis de estos datos se utilizó el software Alemán SPK22D16 y el calculo de la velocidad de corrosión se realizó con la formula 4, citada en el capitulo anterior. Ver Tabla 7.

Tabla 7. Resultados de la Extrapolación de Tafel

Mezcla	Potencial Electroquímico (mV)	I_{corr} ($\mu A/cm^2$)	Velocidad de Corrosión	
			MPY	$\mu m/año$
Blanco	-714	1,486	0,684	17,362
0 (Patrón)	-655	0,198	0,091	2,313
1	-700	0,136	0,063	1,589
3	-665	0,225	0,104	2,629
5	-686	0,155	0,071	1,811
6	-622	0,117	0,054	1,367
7	-704	0,139	0,064	1,624
8	-604	0,095	0,044	1,110

Con los potenciales electroquímicos obtenidos, el pH del medio y el diagrama de Pourbaix para la fundición gris, se determinó que la corrosión es termodinámicamente posible. Se observó que al aplicar cualquier recubrimiento, la velocidad de corrosión se reduce como mínimo 7 veces. Todas las mezclas presentaron una velocidad de corrosión menor al patrón, excepto la mezcla 3.

Aunque la velocidad de corrosión del blanco pueda parecer pequeña, hay que tener en cuenta que los accesorios están expuestos a diversos tipos de suelos, y aguas con diferentes pH, lo que puede generar mayores velocidades de corrosión. Además estas piezas no son de pronta renovación, deben soportar altas presiones, por lo que se requiere asegurar que tengan el menor desgaste posible, para garantizar el buen funcionamiento de la tubería.

3.9. SELECCIÓN DE LA MEZCLA

En la prueba de secado, se descartaron las mezclas 2 y 4, porque no secan a temperatura ambiente. Se elimina la mezcla número 5 por su difícil manejo, aplicación y mayor desviación en las pruebas de viscosidad, densidad y espesor. Además sus resultados en las pruebas electroquímicas no fueron sobresalientes.

No fue posible realizar pruebas cuantitativas de adhesión por su alto costo y no disponibilidad del equipo. Se realizaron pruebas cualitativas y se observó que las mezclas preparadas con el asfalto comercial tienen mayor adhesión de la capa al sustrato, en especial las mezclas 6 y 8. En cuanto a las preparadas con el asfalto 80/100, la que obtuvo mejor resultado fue la mezcla número 3. Lo que nos lleva a pensar que la colofonia probablemente ayude a la mejor adherencia del recubrimiento.

Según los resultados, la mezcla más favorable es la número 6, porque presenta menor tiempo de secado, buena adherencia, baja velocidad de corrosión y tiene el mejor acabado. Ver Anexo K (Ficha técnica del recubrimiento seleccionado).

3.10. DISEÑO DE EQUIPOS

Teniendo en cuenta la actual producción de accesorios de la empresa IDEA, el crecimiento que esta presenta y la mezcla seleccionada; se diseña la planta para una producción de 30 galones mensuales. En el anexo L se encuentra el diagrama de bloques y el de flujo del proceso de producción de la mezcla seleccionada. Según estos diagramas, se observa que el proceso de elaboración del recubrimiento sigue las siguientes etapas y especificaciones.

3.10.1. Almacenamiento

Se dispone de 2 tanques de almacenamiento y un silo, para la resina (asfalto), el disolvente (Varsol), y la colofonia, respectivamente.

Ecuaciones de Diseño Generales:

$$V_{TOTAL} = V_{MATERIAL} + V_{LIBRE}$$

$$V_{LIBRE} = \% Seguridad * V_{MATERIAL}$$

$$\% Seguridad = 10 - 15\%$$

$$V_{TOTAL} = A_{TOTAL} * h_{TOTAL}$$

Ecuaciones para Tanques:

$$h_{TOTAL} = D$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 * V_{TOTAL}}{\pi}}$$

Ecuaciones para Silos:

$$h_{TOTAL} = 3 * D$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 * V_{TOTAL}}{3 * \pi}}$$

Tabla 8. Dimensiones de los Tanques y Silo de Almacenamiento

EQUIPOS DE ALMACENAMIENTO	VOLUMEN (m ³)	DIAMETRO (m)
1 (asfalto)	0,0359	0,3575
2 (disolvente)	0,0985	0,5005
3 (colofonia)	0,0109	0,1666

3.10.2. Tanques de Mezclado

Se realiza una premezcla del asfalto y el disolvente, utilizando una bomba de asfalto de capacidad 1 m³/h y potencia 0,5 HP; el sistema de calentamiento está compuesto por un serpentín de tubo de acero. Posteriormente se efectúa la mezcla de todos los componentes en un tanque con agitador.

Se utiliza un agitador tipo turbina, para calcular su potencia, se tienen en cuenta los parámetros de diseño dados en el Manual del Ingeniero Químico; suponiendo una eficiencia del 80%, se tiene que la potencia del agitador debe ser de 1 HP.

Tabla 9. Dimensiones de los Tanques de Mezclado

TANQUES DE MEZCLADO	VOLUMEN (m ³)	DIAMETRO (m)
1 (asfalto+disolvente)	0,1344	0,5551
2 (mezcla final)	0,1598	0,5882

Para el diseño de los tanques de mezclado se utilizaron las ecuaciones mostradas anteriormente. Por heurística, el material de construcción de los equipos es acero al carbono.

3.11. PRE- ESTUDIO ECONOMICO

IDEA se ha caracterizado por mantener una relación de mutuo beneficio con los estudiantes UIS, donde el estudiante obtiene un proyecto de grado y la empresa logra mejoras a un bajo precio. Por esto, no se realiza un estudio de costos para la planta del recubrimiento, ya que la empresa asignara su construcción y completo estudio económico a futuros proyectos.

En este pre-estudio económico se calcula el precio del galón de recubrimiento asfáltico teniendo en cuenta solo la materia prima y se compara este valor, con el galón del recubrimiento comercial.

Teniendo en cuenta la producción mensual (30 galones), la composición y la densidad del recubrimiento seleccionado; la Tabla 10 muestra la cantidad y precio de cada uno de los componentes, el valor del galón producido por la empresa y del recubrimiento comercial.

Tabla 10. Costos de la Materia Prima y Valor de los Galones de Recubrimiento

MATERIAL	CANTIDAD	PRECIO* (\$)
COLOFONIA	11 Kg.	103.000
VAR SOL	25 Galones	158.900
ASFALTO	33 Kg.	59.400
RECUBRIMIENTO 6	1 Galón	10.710
RECUBRIMIENTO COMERCIAL	1 Galón	12.750

*Los precios fueron proporcionados por Laboratorios León, Ferretería Aldia y Asfaltec.

En la tabla se observa que el costo del recubrimiento comercial es mayor al costo en materiales del recubrimiento producido, pero este valor no es aún un factor de decisión porque el costo final de dicho recubrimiento se supone un poco mayor. Hay que ver también que las características del recubrimiento formulado en el presente trabajo son mejores para la empresa que las características del recubrimiento comercial.

CONCLUSIONES

1. Se logró obtener la composición de un recubrimiento que cumpliera con las especificaciones requeridas comercialmente.
2. Se obtuvo un recubrimiento asfáltico con unas características superiores en el secado, la adherencia y la protección electroquímica, comparadas con el recubrimiento comercial.
3. Se verificó la influencia positiva de la colofonia en el secado y la apariencia final, observándose además una mejora en la adherencia.
4. Se realizó el diseño preliminar de una planta para la elaboración del recubrimiento seleccionado.
5. Se efectuó un aporte por parte de la Universidad industrial de Santander, al asesorar una empresa regional, para el mejoramiento de la calidad de sus productos ofrecidos al comercio.

RECOMENDACIONES

1. Para una mejor caracterización del recubrimiento se recomiendan pruebas de adhesión cuantitativas y microscopia de fuerza atómica.
2. Una investigación de la acción del recubrimiento en los diferentes tipos de suelos, aguas y posibles contaminantes a los que son expuestas las piezas (accesorios) dará mayor información sobre la efectividad del recubrimiento escogido.
3. Se recomienda a la empresa IDEA la implementación de un proceso de decapado. Ya que el funcionamiento del recubrimiento depende de la limpieza del accesorio.
4. Teniendo en cuenta que el estudio realizado en el presente trabajo constituye un análisis explorativo, se sugiere efectuar una optimización de la composición del recubrimiento por medio de herramientas tales como el análisis de experimentos.
5. Se sugiere realizar un diseño detallado de la planta presentada, un estudio de factibilidad y un estudio económico sobre la posibilidad de realizar este recubrimiento para distribuir en las otras empresas productoras de accesorios de hierro.

BIBLIOGRAFIA

1. ALMERAYA, Facundo. Técnicas Electroquímicas para el Monitoreo de Corrosión. CIMAV, S. C. 2000. Notas del Curso de Técnicas Electroquímicas Chihuahua, México
2. ARENAS DE PULIDO, Helena. Conferencias de Química I: El Estado Sólido y Propiedades de los Materiales. Bucaramanga: Publicaciones UIS, 1999
3. CAMPINS, Antonio. Tecnología Química de los Barnices y Pinturas. Barcelona: Reverté, 1951
4. CARTILLA PRÁCTICA PARA EL MANEJO DE LOS ASFALTOS COLOMBIANOS. ECOPETROL 1999
5. FOUST, Alan y otros. Principios de Operaciones Unitarias. Octava edición. Compañía Editorial Continental.
6. Gonzáles Carlos Ramón. Zambrano Pérez Cristóbal ESTUDIO DE LAS TECNICAS ELECTROQUÍMICAS PARA EL ANALISIS DE CORROSION Y ORGANIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN PARA EL MANTENIMIENTO DEL EQUIPO CIENTIFICO DEL PIC - ICP Tesis de Grado UIS. 1992
7. JONES, Denny A. Principles and Prevention of Corrosion. Second Edition. USA: Prentice-Hall, 1996
8. MCCABE, SMITH HARMOT. Operaciones Unitarias en Ingeniería Química.
9. NACE INTERNATIONAL THE CORROSION SOCIETY. Protective Coatings and Linings. Course I

10. PAINT MANUAL. A water resources technical publication. Third Edition.
11. PERRY, Robert. Manual del Ingeniero Químico. Sexta edición. Editorial Mc Graw-Hill. México, 1992.
12. Ramírez Julio Cesar. Amaya Arias Julio Cesar. Rueda Niño Carlos Alberto. ANALISIS DE MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE, UTILIZANDO ANHIDRICO MALEICO Y LA 4460 DOW COMO MODIFICADORES DE ASFALTO. Tesis de Grado UIS. 2004
13. Salazar Ramiro. Quintero Dallos Viviana. Pieruccini Ramirez Diana Carolina OBTENCIÓN, EVALUACIÓN DE PINTURAS FERROMAGNÉTICAS Y DISEÑO DE UNA PLANTA A ESCALA SEMI-INDUSTRIAL Tesis de Grado UIS. 2006
14. www.e-asphalt.com
15. www.ecopetrol.com.co
16. www.equiposdeconstruccion.com

ANEXO A

OBJETIVOS

Objetivo General

Obtener, evaluar y caracterizar un recubrimiento asfáltico modificado para acabados interiores y exteriores en accesorios de hierro gris para tuberías hidráulicas de la Empresa Industrial de Accesorios Ltda.

Objetivos Específicos

1. Formular un recubrimiento que cumpla con las especificaciones requeridas (Pruebas físicas y químicas) y compararlo con un recubrimiento comercial.
2. Elaborar la ficha técnica del recubrimiento seleccionado.
3. Diseñar los equipos utilizados en la realización del recubrimiento

ANEXO B

PROPIEDADES DESEABLES EN UN RECUBRIMIENTO⁹

- **Adhesión al Sustrato:** La adhesión es creada por la interacción de las fuerzas químicas y físicas de la interfase del recubrimiento y el sustrato. En un sentido práctico, una buena adhesión al sustrato es obtenida por una buena preparación de la superficie y una correcta aplicación del recubrimiento.

- **Fácil Aplicación del Sustrato:** Un recubrimiento debe ser fácilmente aplicado al sustrato por métodos que no afecten las propiedades de éste, Esta propiedad es muy importante especialmente para exposiciones críticas donde la estructura puede ser intrincada, con muchas esquinas, bordes y áreas similares. Si el recubrimiento tiene alguna dificultad para aplicarse, estas áreas serán más propensas a la corrosión.
Aún en las mejores condiciones las esquinas y los bordes pueden ser los puntos clave para el inicio de la corrosión y si la aplicación no es fácil, la resistencia a la corrosión se ve afectada.

- **Resistencia a la Temperatura:** Es la habilidad del recubrimiento para resistir el deterioro de sus propiedades a temperaturas extremas.

- **Resistencia al Agua:** Esta es una propiedad muy importante del recubrimiento, ya que todos los sustratos están de una u otra forma en contacto con el agua. Los tipos de agua que pueden ser encontrados son:
 - Agua de pantano: Es ordinariamente acida y puede corroer el acero y el concreto.
 - Agua con sulfuros: Reacciona con la mayoría de los metales como el hierro, el acero, el cobre, etc.
 - Agua de mar: Permite la rápida formación de áreas ánodo-cátodo causando severos daños en el acero.

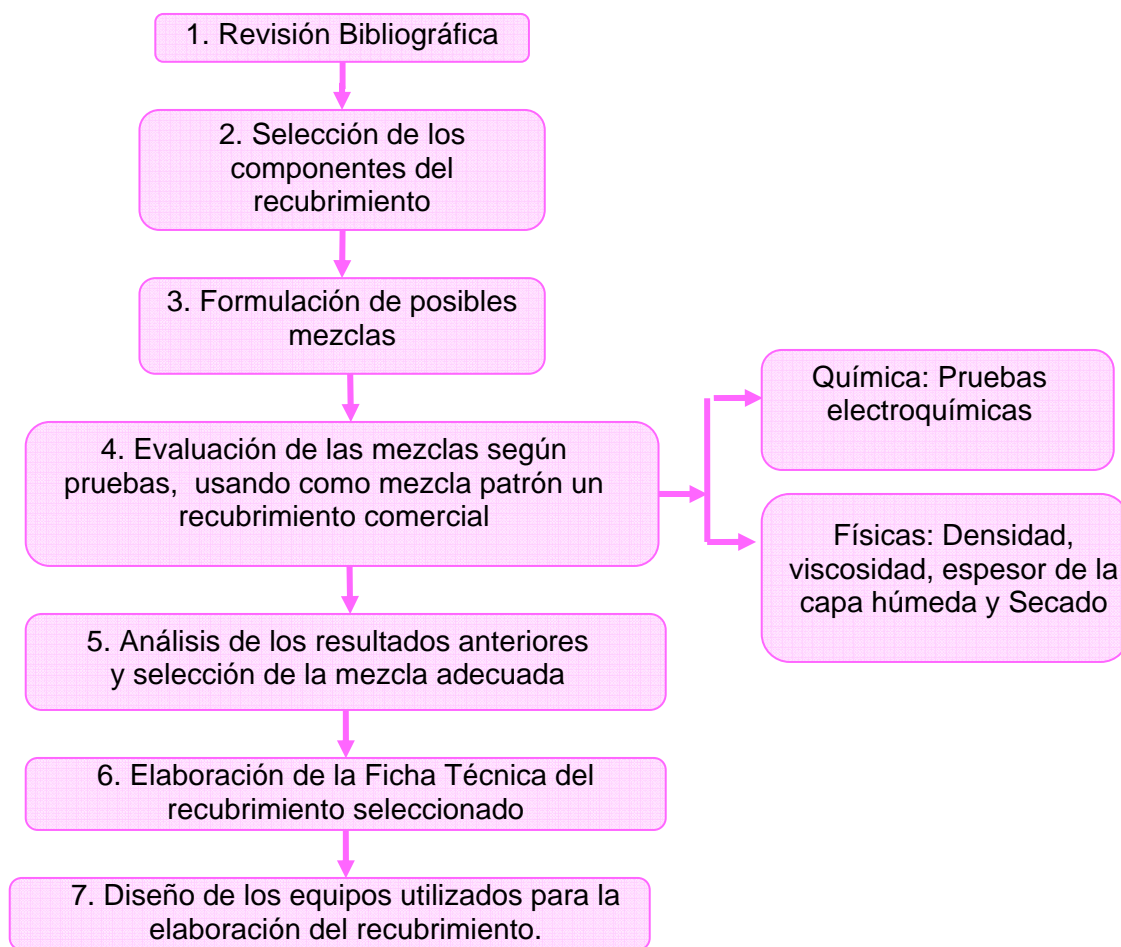
- Agua pura: Causa abrasión y ataca los pigmentos.
- Agua con alto contenido de oxígeno: Puede crear corrosión tipo ánodo-cátodo.

Un recubrimiento se considera con una excelente resistencia al agua si su funcionamiento no desmejora al estar en inmersión continúa, el funcionamiento se evalúa en cuanto a adhesión, abrasión, rompimiento, ablandamiento e hinchazón.

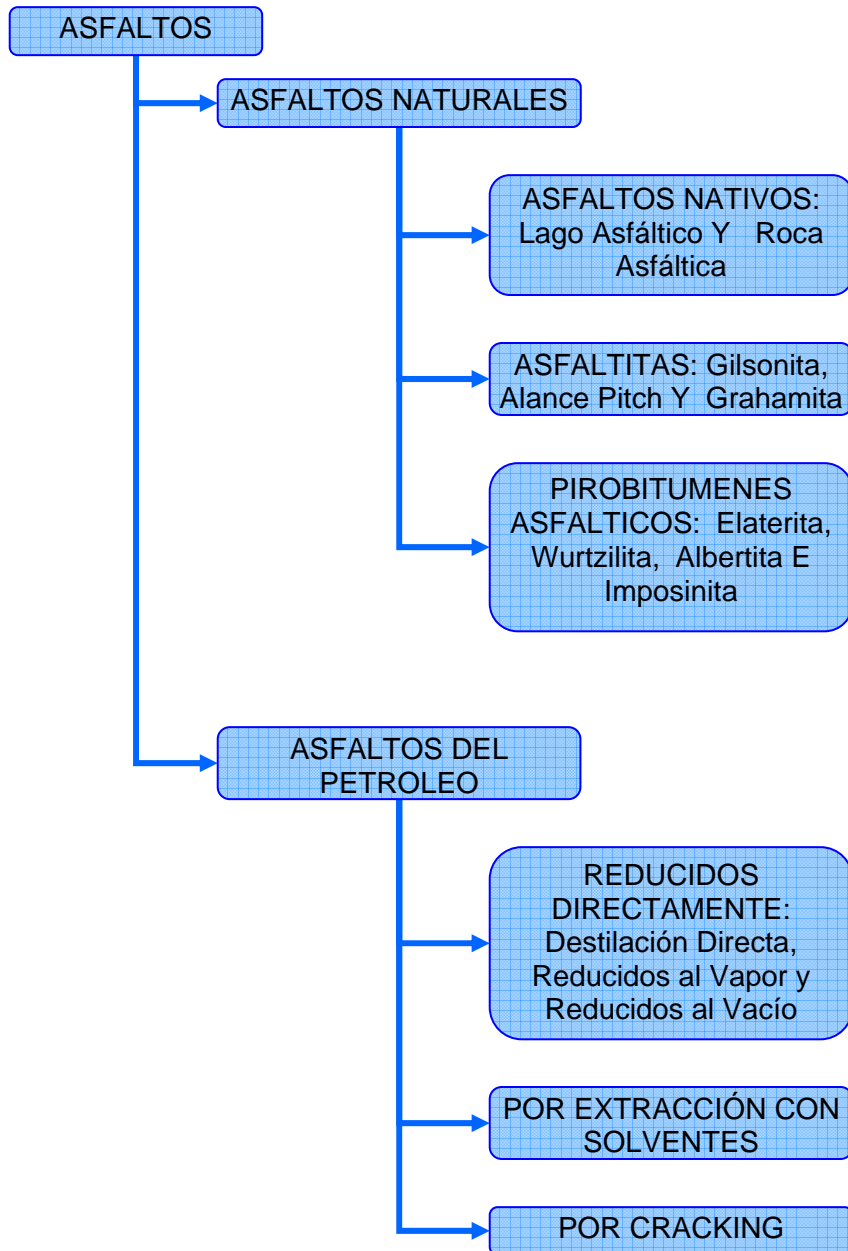
- **Resistencia al Impacto:** Se refiere a la habilidad del recubrimiento para resistir choques mecánicos.
- **Resistencia Química:** Es la habilidad del recubrimiento para resistir el deterioro de sus propiedades al estar expuesto a sustancias químicas.

ANEXO C

METODOLOGÍA DEL PROYECTO



ANEXO D
CLASIFICACION DE LOS ASFALTOS



ANEXO E

PRUEBAS FISICAS PARA CARACTERIZAR UN ASFALTO¹²

- **Ductilidad:** La prueba de ductilidad corresponde al alargamiento (cm) que puede soportar el asfalto hasta su ruptura.
- **Penetración:** La prueba de penetración es una medida de la dureza y de las características de flujo del asfalto, se utiliza para clasificar los cementos asfálticos en distintos grados.
- **Punto de Ablandamiento:** Corresponde al limite máximo de temperatura que alcanza el asfalto al pasar de sólido a líquido.
- **Susceptibilidad Térmica:** Es la tendencia del asfalto a cambiar de consistencia con la temperatura. Una baja susceptibilidad a la temperatura hace que el asfalto sea menos quebradizo y menos fluido a altas temperaturas. A altas temperaturas el asfalto se considera como un fluido viscoso, mientras que a bajas temperaturas se considera como un material sólido con propiedades elásticas.
- **Viscosidad:** Esta prueba tiene por objeto determinar el estado de fluidez de un asfalto en el rango de temperaturas que se usan durante su aplicación. Es muy importante y de interés práctico porque en todas las aplicaciones del asfalto se debe modificar utilizando calentamiento.

ANEXO F

FICHA TECNICA DEL ACEITE DE LINAZA USADO EN LA PREPARACION DE ALGUNAS MEZCLAS



Laboratorios León S. A.

FICHA TECNICA ACEITE DE LINAZA REFINADO

1. DESCRIPCION:

Líquido algo viscoso amarillo pardo, de color característico.

2. ESPECIFICACIONES:

- DENSIDAD 15.5°C: aproximadamente 0.934
- COLOR (GARDNER): 4 máximo
- VALOR ACIDO (mg HOH/g): 0.5 máximo
- CLARIDAD A 65°C: Claro
- ÍNDICE DE YODO: 175 mínimo
- ÍNDICE DE REFRACCIÓN: 1.476-1.485
- AGUA: 0.2 % máximo
- ÍNDICE DE SAPONIFICACIÓN: 185-195
- CROMATOGRAFÍA: C₁₆ 5-7%
C₁₈ 2.5-5%
C_{18:1} 16-24%
C_{18:2} 12-18
C_{18:3} 50-60%

3. USOS:

- ACEITES: Se incluye en la formulación de aceites lubricantes para maquinaria
- CONSTRUCCIÓN: Se usa como desmoldante de baldosas
- JABONES: participa en la producción de estos.
- METALMECÁNICA: Se usa en la refrigeración de motores
- PINTURAS: Aceite secante en la producción de resinas alquídicas, usadas como vehículos en pinturas exteriores, es un ingrediente mezclador de oleos, se usa en la fabricación de barniz.

4. PRESENTACION COMERCIAL:

- FRASCO x 120 mL
- FRASCO x 500 mL
- GALÓN
- GARRAFA de 5 GALONES x 18 KLS

Carrera 25 No. 11-50 • Apartado Aéreo 728 - Cables "LION" • Bucaramanga - Colombia
GERENCIA: 6348314 • VENTAS: 6456773 - 6453804 - 6450666 - 6453472 - 6343447 • Fax: 6345919
E-mail: lableon@aolpremium.com

ANEXO G
FICHA TECNICA DE LA COLOFONIA



CERTIFICADO DE ANALISIS

DATOS DEL PRODUCTO :

PRODUCTO : COLOFONIA WG	PEDIDO :
LOTE : 2083	PAIS : COLOMBIA

APARIENCIA BUENA	No ACIDO NORMALIZADO MINIMO 165	PUNTO DE ABLANDAMIENTO NORMATIZADO 70-80
MUY BUENO	166,33	77

REF: 656

VENCIMIENTO: 3 AÑOS

FECHA DE PRODUCCION: ENERO- FEBRERO-MARZO/2006

**GARANTIZAMOS QUE EL CONTENIDO DE ESTE CERTIFICADO ES FIEL COPIA
DEL ORIGINAL EXPEDIDO POR EL FABRICANTE Y/O PROVEEDOR**

ANEXO H

EQUIPOS UTILIZADOS EN LA REALIZACIÓN DE LAS PRUEBAS



Figura 2. Viscosímetro Brookfield modelo DV-III



Figura 3. microscopio LABOPHOT-2 NIKON M088E

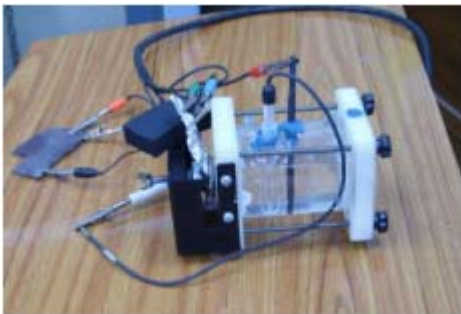


Figura 4. Celda Plana de tres electrodos



Figura 5. Equipo GAMRY (GIC)



Figura 8. Penetrometro



Figura 9. Ductilómetro



Figura 10. Aparato de Anillo y Bola

ANEXO I

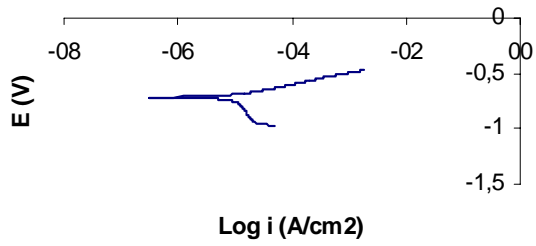
DETERMINACIÓN DEL ESPESOR DE LA PELÍCULA HÚMEDA Y EL RENDIMIENTO APROXIMADO

Tabla 5. Mediciones y Cálculos Realizados en la Determinación del Espesor de la Película Húmeda y el Rendimiento Aproximado

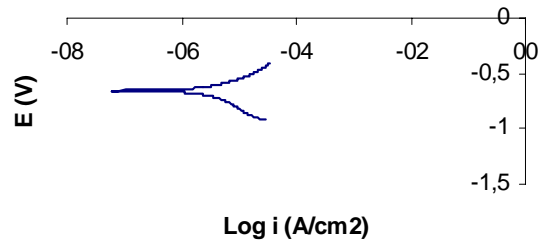
Mezcla	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Densidad (g/cm ³)	0,822	0,755	0,779	0,780	0,775	0,977	0,959	0,881	0,923
Peso Tarro Inicial (g)	25,454	22,087	23,908	23,373	22,993	35,432	34,986	32,818	34,175
Peso Tarro Final (g)	24,447	21,059	22,554	22,297	22,084	34,972	34,657	32,540	33,684
Δ Peso Tarro (g)	1,007	1,028	1,354	1,077	0,910	0,460	0,328	0,278	0,490
Peso pincel Inicial(g)	21,865	21,779	21,912	22,019	22,113	21,836	22,065	22,044	22,207
Peso pincel Final(g)	22,607	22,647	23,012	22,851	22,849	22,039	22,227	22,199	22,474
Δ Peso Pincel (g)	0,741	0,868	1,100	0,832	0,736	0,202	0,162	0,156	0,268
Peso Pintura (g)	0,266	0,160	0,254	0,244	0,173	0,258	0,166	0,122	0,223
Volumen mezcla(cm ³)	0,323	0,212	0,327	0,313	0,224	0,264	0,173	0,138	0,241
Área 1 (cm ²)	3,767	3,597	3,664	3,733	3,698	3,530	3,631	3,597	3,631
Área 2 (cm ²)	3,767	3,597	3,733	3,733	3,698	3,664	3,530	3,597	3,631
Área 3 (cm ²)	3,497	3,497	3,597	3,597	3,597	-	-	-	-
Espesor (cm)	0,029	0,020	0,030	0,028	0,020	0,037	0,024	0,019	0,033
Rendimiento (m ² /litro)	3,414	5,047	3,366	3,531	4,915	2,726	4,138	5,195	3,010
Espesor (μ m)	292,904	198,125	297,094	283,216	203,458	366,791	241,636	192,498	332,253

ANEXO J
GRAFICOS OBTENIDOS EN LA EXTRAPOLACIÓN DE TAFEL

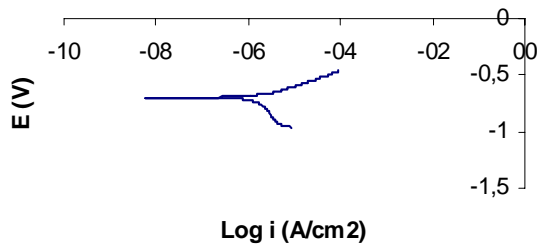
Curva Tafel Blanco



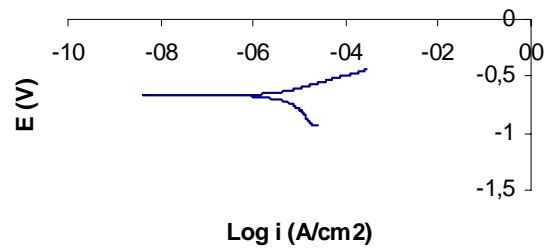
Curva Tafel Mezcla 0



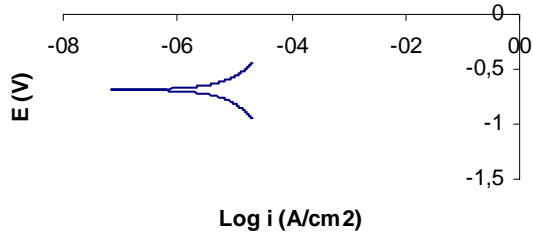
Curva Tafel Mezcla 1



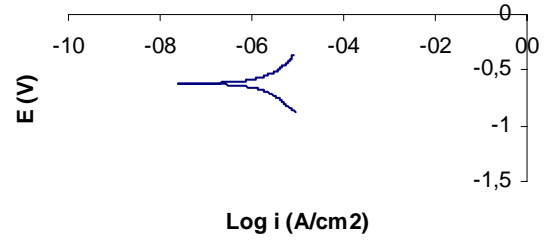
Curva Tafel Mezcla 3



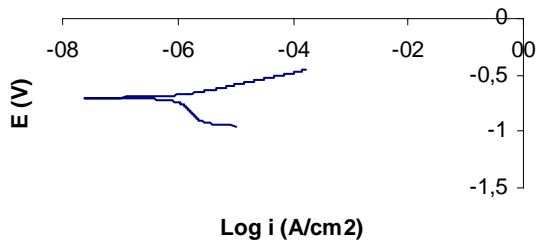
Curva Tafel Mezcla 5



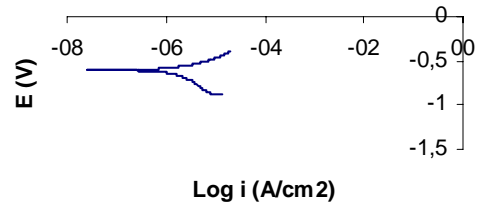
Curva Tafel Mezcla 6



Curva Tafel Mezcla 7



Curva Tafel Mezcla 8



ANEXO K
FICHA TECNICA DEL RECUBRIMIENTO SELECCIONADO

<p>Recubrimiento asfáltico modificado para exaltar sus propiedades anticorrosivas y protectoras. Como así su secado brillante. Se adhiere sobre cualquier superficie libre de polvo, óxidos, humedad, dejando una película continua e impermeable. Anticorrosivo de uso general.</p>	
Características Físicas	
Densidad: 0,959 g/cm ³	Viscosidad 314 cP
Usos y Acabados	
Se usa como pintura de terminación anticorrosiva sobre estructuras de hierro.	
Rendimiento Mano	
Para una buena protección es recomendable aplicar 2 manos. Rinde aprox. de 4 A 4,5 m ² por litro y por mano.	
Secado	
El secado a temperatura ambiente, se logra normalmente en media hora. Se recomienda esperar 4 horas entre la aplicación de las capas.	
Diluyente	
No se debe diluir, pero de ser necesario con thinner, varsol o tolueno.	
Aplicación	
Con brocha o rodillo.	

ANEXO L
DIAGRAMAS DE BLOQUES Y FLUJO DEL PROCESO DE ELABORACION
DEL RECUBRIMIENTO

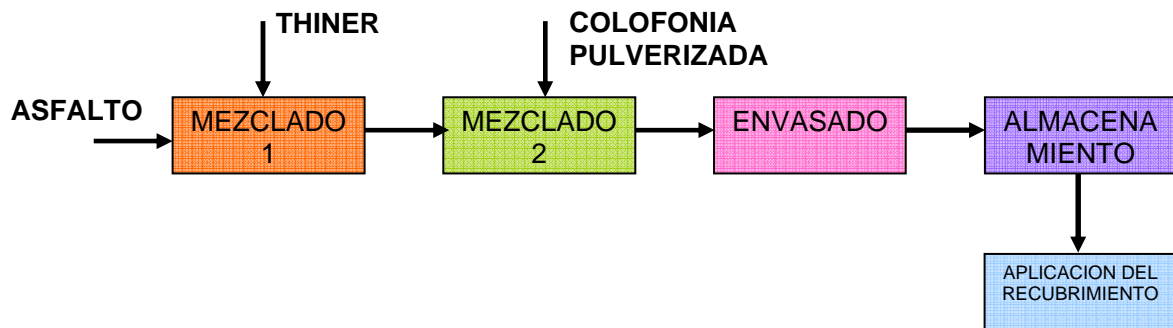


FIGURA 14. Diagrama de Bloques

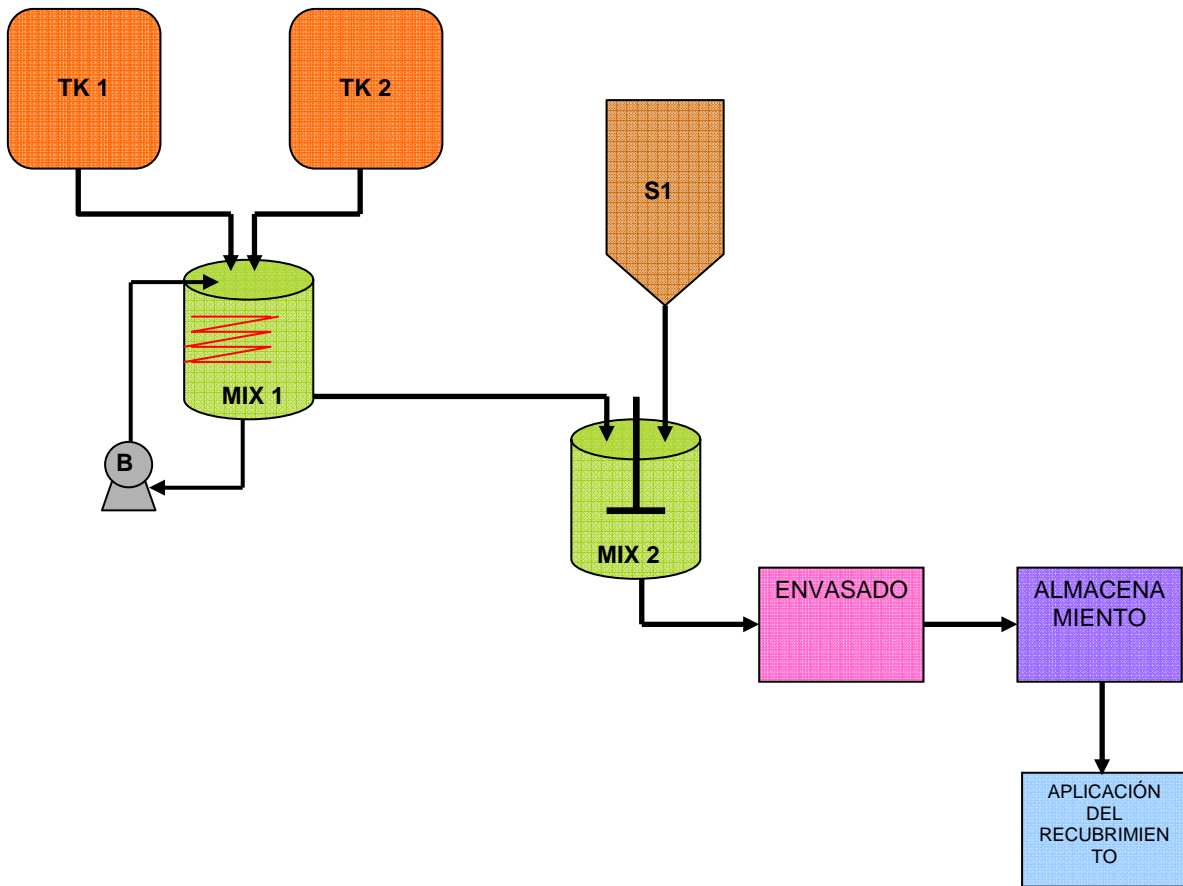


FIGURA 15. Diagrama de Flujo