

Universidad de Matanzas

“Camilo Cienfuegos”

Facultad de Ingenierías

Centro de Estudio de Anticorrosivos y Tensoactivos (CEAT)



Trabajo de Diploma

Título: Evaluación de la línea de obtención de mástique asfáltico líquido con polímero goma anticorrosiva y de conservación en la Planta Piloto de la Universidad de Matanzas.

Autor: Giselle García Jiménez.

Tutor: Dr. Carlos A. Echeverría Lage.

Matanzas, 2013

Pensamiento

“La ciencia puede divertirnos y fascinarnos, pero es la ingeniería la que cambia el mundo.”

Isaac Asimov

Declaración de Autoridad

Declaro que soy la única autora de este Trabajo de Diploma, y que autorizo a la Universidad de Matanzas y el Centro de Estudios Anticorrosivos y Tensoactivos, a hacer uso del mismo con los fines que estimen convenientes.

Giselle García Jiménez

Nota de Aceptación

Presidente del Tribunal.

Miembro del Tribunal.

Miembro del Tribunal.

Dado en Matanzas, el día ____ del mes de _____ del año 2013.

“Año del 55 Aniversario del Triunfo de la Revolución”

Dedicatoria

Dedico esta tesis a mis padres y a mi hermano porque sin su ayuda hubiese sido imposible llegar al final de la meta, por tener siempre su apoyo y amor incondicional, por ser los mejores del mundo.

A mi novio por todo su amor y comprensión en estos años de estudio.

Agradecimientos

Mis más sinceros agradecimientos a todos los que de una manera u otra dieron muestra de apoyo a que este Trabajo de Diploma fuera posible, en particular a:

- ❖ Mis padres, mi hermano Frank Alejandro y a toda mi familia por su apoyo incondicional en todos estos años de estudio y esfuerzo, por hacer que mis sueños se hagan realidad y por hacerme saber que todo es posible en la vida.
- ❖ Mi novio Alejandro Vasallo Díaz por su ayuda y apoyo absoluto en los últimos 4 años de carrera.
- ❖ Mi tutor Dr. Carlos Echeverría Lage por su dedicación y orientación.
- ❖ Dr. Ramón Quiza Sardiñas por su paciencia y preocupación, porque sin su ayuda hubiese sido imposible la culminación exitosa de este trabajo de diploma.
- ❖ Mis profesores que siempre estuvieron dispuestos a brindarme lo mejor de sí, por ofrecerme sus conocimientos y su esfuerzo por mi aprendizaje.
- ❖ Todos mis compañeros de estudio, en especial a Yohana, Ledys, Ivette, Iliet y Sady, por brindarme su amistad y apoyarme en los momentos que más los necesité.
- ❖ Mis mejores amigas Maricé, Lisandra y Yisenia que siempre estuvieron a mi lado apoyándome de una forma u otra brindándome todo su cariño.
- ❖ Mi prima Chabeli por preguntarme todos o casi todos los días por la culminación del presente trabajo de diploma.
- ❖ Todo el colectivo del Centro de Estudio de Anticorrosivos y Tensioactivos (CEAT) por su atención y dedicación para que fuera posible el cumplimiento de este trabajo.

A Todos muchas Gracias.

RESUMEN

El mástique líquido con polímero goma es un producto anticorrosivo y de protección que se aplica a superficies metálicas para crear superficies de recubrimiento protectoras. El siguiente trabajo fue llevado a cabo en el Centro de Estudio de Anticorrosivos y Tensioactivos de la Universidad de Matanzas donde se estudió el proceso productivo de mástique líquido con polímero goma. La técnica de análisis As-Is fue utilizada para evaluar el estado actual del proceso, identificando como principal insuficiencia la inexistencia de una línea de producción para este producto. Consecuentemente, se propuso una línea de producción y se ejecutaron los balances de masa y energía para el caso base correspondiente. Se implementó una hoja de cálculo de Microsoft Excel con este propósito, permitiendo los cálculos para diferentes condiciones de producción. A través de estos balances, se calcularon no sólo la cantidad de materias primas y productos sino también las necesidades energéticas del proceso. Finalmente, fue realizado un análisis económico preliminar mostrando que la línea propuesta es factible desde el punto de vista económico.

ABSTRACT

The liquid mastic with rubber polymer is an anticorrosive and conservation product that can be applied to metallic surfaces for creating a covering protecting surface. The following work was carried out at the Anticorrosive and Tensioactive Study Center of the University of Matanzas where the production process of liquid mastic with rubber polymer was studied. The As-Is analysis technique was used for evaluating the current state of the process, identifying as the main drawback the lack of a production line for this product. A production line was then proposed and the mass and energy balances were executed for the corresponding base case. A Microsoft Excel worksheet was implemented for this purpose, allowing the computations for different production conditions. Through these balances, not only the amount of rough materials and products but also the energy needs for the process were computed. Finally a preliminary economic analysis was performed showing that the proposed line is feasible from the economy point of view.

ÍNDICE

Introducción	1
Capítulo 1 Revisión Bibliográfica	3
1.1 Recubrimientos anticorrosivos.....	3
1.2 Materiales compuestos de matriz asfáltica modificados con polímeros	4
1.3 Generalidades del mástique asfáltico de conservación.....	5
1.4 Parámetros de calidad que debe cumplir el mástique líquido con polímero goma...	6
1.5 Componentes de los mástiques asfálticos	7
1.5.1 Asfaltos	7
1.5.2 Polímeros	8
1.5.2.1 Propiedades mecánicas	9
1.5.2.2 Influencia de la temperatura.....	9
1.5.2.3 Durabilidad	9
1.5.3 Agregados	10
1.5.3.1 Polvo de goma de neumáticos como relleno.....	10
1.6 Desarrollo de los mástiques de conservación en Cuba	11
1.7 Desarrollo de mástiques de conservación por patentes internacionales	13
1.8 Producción, aplicaciones y demanda potencial de polvo y viruta de goma reciclada	16
1.9 Fundamentos de la gestión de procesos	17
1.9.1 Utilidad del diagrama As-Is	17
1.10 Fundamentos de los balances de masa y energía de los procesos tecnológicos ...	19
1.10.1 Conservación de la masa de los procesos tecnológicos	19
1.10.2 Leyes de la termodinámica	21

1.11 Conclusiones parciales del capítulo	23
Capítulo 2 Análisis del Proceso Actual de Producción de Mástique Líquido con Polímero Goma.....	24
2.1 Proceso tecnológico de mástique líquido con polímero goma.....	24
2.1.1 Descripción de la línea de producción de mástique asfáltico	24
2.1.2 Proceso de producción de mástique líquido en la etapa actual.....	25
2.2 Diagnóstico de la línea de producción de mástique asfáltico en el estado actual ...	25
2.3 Evaluación del producto	26
2.4 Ensayos de calidad realizados al producto.....	27
2.4.1 Análisis de los ensayos de calidad realizados al producto.....	29
2.4.1.1 Evaluación de la degradación de los MAP. Designación de la intensidad, cantidad y tamaño de los tipos más comunes de defectos.	29
2.4.1.2 Evaluación del comportamiento de los MAP en ensayos acelerados y otros. Ensayos de Tropicalización en (LABET).	32
2.4.1.3 Ensayo de adherencia por el método de tracción.....	33
2.4.1.4 Ensayo de impacto	33
2.5 Diagrama As-Is del proceso de mástique líquido con polímero goma	34
2.5.1 Análisis del diagrama As-Is para el proceso de mástique líquido con polímero goma.....	35
2.6 Conclusiones parciales del capítulo	37
Capítulo 3 Propuesta de Caso Base para la Línea de Mástique Líquido con Polímero Goma.....	38
3.1 Descripción de la propuesta de línea de producción de mástique líquido con polímero goma	38
3.2 Caracterización de las materias primas utilizadas	39
3.2.1 Residual de policosanol (CNS).....	39

3.2.2 Cemento Portland 350.....	40
3.2.3 Aceite SAE 15W40.....	41
3.2.4 Nafta industrial.....	41
3.2.5 Asfalto.....	41
3.3 Balances de masa del proceso tecnológico de mástique líquido con polímero goma	42
3.3.1 Balance de masa en el homogenizador	42
3.3.2 Balance de masa en el mezclador	43
3.3.3 Balance de masa del tanque dosificador y el reactor	44
3.3.4 Resumen de los balances de masa	45
3.4 Balances de energía del proceso tecnológico.....	45
3.4.1 Balance de energía en el reactor	46
3.4.2 Balance de energía en el mezclador.....	48
3.4.3 Balance de energía en el calentador de asfalto	49
3.4.4 Cálculo de la cantidad de vapor consumida.....	49
3.4.5 Cálculo de la cantidad de agua consumida para enfriamiento.....	49
3.5 Análisis de los resultados de los balances de masa y energía.....	50
3.6 Análisis económico.....	52
3.6.1 Evaluación de la eficiencia de producción en el caso base propuesto.....	52
3.6.2 Análisis de los principales indicadores de la producción	53
3.6.3 Análisis de la estructura de costo.....	54
3.7 Conclusiones parciales del capítulo	56
Conclusiones.....	57
Recomendaciones	58

Referencias Bibliográficas 59

Anexos

INTRODUCCIÓN

La producción de mástique anticorrosivo y de conservación constituye en la actualidad investigaciones priorizadas ya que se ejecutan a ciclo cerrado, investigación, desarrollo e innovación (I+D+i) respondiendo a los lineamientos de la política económica y social del Partido y la Revolución y en correspondencia con ello tiene asegurado un plan y un presupuesto en el año 2013 respaldado por contratos marco-empresariales y proyectos que respondan a las líneas de investigación de la unión eléctrica y del MINFAR (Tarea Triunfo). Además constituye un objetivo priorizado para lograr sustituir las importaciones, de las cuales depende nuestro país en la actualidad y poder lograr con su desarrollo la creación de fondos exportables necesarios.

Estos productos tienen actualmente una demanda creciente, atendiendo al desarrollo de Sistemas de Protección Anticorrosiva y de Conservación (SIPAYC), que incorporan los mástiques como uno de los productos fundamentales, siendo ejemplo de ellos el Procedimiento DUCAR para su aplicación al transporte, los SIPAYC que se aplicarán a las Centrales Eléctricas de Generación Distribuida, Centrales Termoeléctricas, Redes de Distribución, entre otras aplicaciones que se desarrollan, todas ellas de aplicación en Cuba y otros países.

La tecnología instalada, que data del 1994 presenta insuficiencias, derivadas de la situación económica del país y la falta de mantenimiento e inversiones, pero actualmente por el aumento de la demanda creada, se han establecido y se preparan contratos que garantizan el financiamiento con este propósito en los próximos años.

Estas insuficiencias están basadas principalmente en la falta de equipos tales como (reactor y homogenizador de mástique asfáltico) necesarios para llevar a cabo el producto deseado. Por lo que se hace necesario el diseño de una línea de producción de mástique asfáltico líquido con polímero goma para garantizar los nuevos volúmenes de producción y satisfacer la demanda.

Se puede, en vista de lo anterior, identificar el siguiente **problema**: *la inexistencia de una línea de producción específicamente diseñada para mástique asfáltico líquido con polímero goma dificulta el cumplimiento de los compromisos productivos del CEAT con este producto.*

Para resolver este problema, hay que partir de diagnosticar el estado de las capacidades de producción actualmente instaladas, lo cual la técnica As-Is ha mostrado ser eficaz. Adicionalmente, para diseñar una línea de producción de mástique asfáltico líquido con polímero goma, capaz de cumplir las demandas estimadas, con alta eficiencia tecnológica y económica, es necesario partir de un caso base, en el cual se planteen y resuelvan los balances de masa y energía de la misma.

Teniendo en cuenta todo lo anterior, se plantea como **hipótesis** de este trabajo que *si se realiza una evaluación del proceso mediante un diagrama As-Is y se llevan a cabo los correspondientes balances de masa y energía, se podrán proponer los cambios necesarios a fin de mejorar la eficiencia tecnológica del proceso de producción de mástique asfáltico líquido en la Planta Piloto del CEAT.*

Por lo tanto se define como **objetivo general** *realizar una evaluación del proceso actual de producción de mástique asfáltico líquido con polímero goma y proponer un caso base que refleje las mejoras que se proponen al mismo.*

Para dar cumplimiento a este objetivo general, se proponen los siguientes **objetivos específicos**:

- 1) Evaluar el proceso tecnológico de mástique asfáltico líquido con polímero goma en la situación actual en la Planta Piloto, mediante el análisis de procesos.
- 2) Proponer una línea de producción de mástique asfáltico líquido con polímero goma, como caso base.
- 3) Realizar los balances de masa y energía del proceso tecnológico de mástique asfáltico líquido con polímero goma del caso base.
- 4) Realizar el análisis económico preliminar del proceso tecnológico propuesto.

CAPÍTULO 1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1 Recubrimientos anticorrosivos

La corrosión es un fenómeno que afecta las máquinas, estructuras e instalaciones de metal, en especial, las de acero. Se considera que las pérdidas por concepto de corrosión están en el rango del 3 al 5% del producto interno bruto de los países desarrollados (Roberge, 2000). Consecuentemente, desde el punto de vista de la ingeniería, es extremadamente importante garantizar una adecuada protección anticorrosiva a los sistemas, especialmente a aquellos más valiosos o que está expuesto a una situación más vulnerable.

La protección por recubrimientos constituye sin duda el método más empleado de combate anticorrosivo. La razón de ello está en su efectividad, economía, universalidad y facilidad de aplicación. El principio esencial de acción de los recubrimientos es aislar o separar al metal del medio corrosivo por lo que se considera un método pasivo de protección (Domínguez, 1987).

Los recubrimientos anticorrosivos son los principales componentes de los sistemas de protección anticorrosiva empleados actualmente en el mundo, teniendo como principio esencial de acción aislar o separar al metal del medio corrosivo, según (Echeverría *et al.*, 2007).

Señala Espada (2005) que es necesario estar familiarizado con, al menos, los principales tipos de recubrimientos y, a su vez, entender cómo trabajan, ya sea individualmente o como parte de un sistema. Se deben conocer las características de aplicación y durabilidad para cada tipo de recubrimiento, pues solamente este conocimiento permitirá escoger el sistema correcto para determinada situación. Adicionalmente, los recubrimientos pueden ser de distinta naturaleza: orgánicos, inorgánicos, metálicos y de conversión, entre otros.

El Centro de Estudios de Anticorrosivos y Tensioactivos (CEAT) de la Universidad de Matanzas, como resultado de la experiencia de varios años, ha desarrollado materiales compuestos, que se han convertido en nuevos recubrimientos anticorrosivos y otros que

se evalúan para la construcción como impermeabilizantes de cubiertas y sellantes, a partir de virutas y polvo de goma, con otras materias primas nacionales.

1.2 Materiales compuestos de matriz asfáltica modificados con polímeros

Los materiales compuestos están constituidos básicamente por matrices y rellenos. La matriz es, en esencia, el elemento aglomerante y sus propiedades determinan la resistencia a la fatiga, a los efectos del medio, a la temperatura de trabajo y la adherencia (Sagaró *et al.*, 2004).

Los rellenos poseen altos valores de dureza, resistencia y módulo de elasticidad y ayudan a incrementar estas propiedades en los materiales compuestos. La combinación adecuada de la matriz y el relleno origina unos materiales con mejores propiedades que las partes que los componen por separado (Sagaró *et al.*, 2004) y (Roca, 2005).

Uno de los materiales más utilizados como matriz es el asfalto y una de las formas de mejorar sus propiedades es oxidándolo (Rodríguez *et al.*, 2006).

Mediante su modificación con relleno de polímeros se mejoran substancialmente sus propiedades mecánicas, en especial su recuperación elástica. Las propiedades de los polímeros están vinculadas a su composición (Reyes y Lizarazo, 2006; Tonda, 2006).

Los polímeros son sustancias macromoleculares naturales o sintéticas, obtenidas a partir de moléculas más sencillas por reacciones poliméricas. Por lo tanto, un polímero es un compuesto con un elevado peso molecular, con propiedades vinculadas a su composición (Reyes y Lizarazo, 2006; Tonda, 2006).

Las investigaciones y desarrollos de nuevas tecnologías para el reciclaje de la goma, constituyen un tema de actualidad objeto de atención por el CITMA, la Unión de Empresas de la Goma, la Unión de Empresas de Recuperación de Materias Primas, entre otras instituciones que se vinculan a esta problemática, dado los volúmenes crecientes de neumáticos desechados, de residuales de goma que se generan en las recapadoras, que en su gran mayoría no son reciclados y generan una carga contaminante no biodegradable con un impacto ambiental de consideración. (Echeverría *et al.*, 2011).

Con estas características se producen en el CEAT, dos tipos de recubrimientos: mástique asfáltico semisólido con virutas de goma DISTIN 404 y mástique asfáltico con goma tipo

solvente DISTIN 404 L, que se aplica por proyección y resulta muy resistente a la penetración del agua con sales.

1.3 Generalidades del mástique asfáltico de conservación

Los mástiques asfálticos son una mezcla de asfalto y materia mineral en tales proporciones que pueda extenderse en caliente o en frío compactándolo hasta obtener una superficie lisa (Echeverría *et al.*, 2011).

Los mástiques líquidos con polímero goma, son uno de los llamados recubrimientos temporales que tienen como finalidad proteger la superficie de los metales hasta tanto no se les aplique un recubrimiento o protección definitiva.

En su obtención se emplean materias primas nacionales, con el polvo de goma de recapadoras y con procedimientos patentados y puestos a punto en la Planta Piloto del CEAT. También se aplican métodos de evaluación de recubrimientos anticorrosivos y para otras aplicaciones en la construcción, amparados en normas internacionales.

Se obtienen recubrimientos de materiales compuestos de matriz asfáltica modificada por polímero (MAP) goma, que han pasado satisfactoriamente los ensayos acelerados y de envejecimiento en los Laboratorios LABET, ensayos de campo por varios años y ensayos con la técnica del transporte mediante el procedimiento DUCAR, para los recubrimientos anticorrosivos del transporte, todos ellos con excelentes resultados (Echeverría *et al.*, 2011).

El mástique asfáltico de consistencia líquida para la protección anticorrosiva y conservación de superficies metálicas ofrece una capa protectora de la superficie por evaporación del solvente, resistente a altas temperaturas, deformaciones por golpes de agua, piedras, etc., la cual penetra en todas las cavidades e intersticios que puedan existir y protege contra la acción agresiva de la atmósfera, especialmente preparado como recubrimiento antigravilla para la protección de la parte inferior y exterior del piso de los automóviles, contenedores, equipos ferroviarios y en estructuras o pisos en contacto con agua y humedad, impermeabilizando y protegiendo contra la acción microbiana (Ficha Técnica DISTIN 404 L).

Se emplea fundamentalmente en la conservación de la técnica militar, el armamento y en el servicio DUCAR como recubrimiento antigraña en automóviles. Actualmente se trabajan variantes para la construcción en la impermeabilización de cubiertas y como recubrimientos sellantes.

Según Echeverría y colaboradores (2011) los materiales compuestos de matriz asfáltica modificada con polímero (MAP) están constituidos por dos componentes esenciales: la matriz (asfalto oxidado) y el refuerzo (polímero: polvo o virutas de goma de los neumáticos), unidos a través de un agente enlazante (jabón insoluble) sobrebasificado. Los mismos se obtuvieron a nivel de laboratorio y posteriormente a escala de planta piloto en las instalaciones del CEAT.

Según González (1995), un jabón es la sal organometálica que se produce en las reacciones de saponificación. Los jabones empleados en las mástiques son generalmente el resultado de la saponificación de un sebo (ácido graso superior) con una sustancia alcalina. El álcali que se emplea en la saponificación determina las características del jabón y constituye lo que se denomina base del jabón. La producción de los jabones se realiza con bases de: calcio, sodio, aluminio, bario, litio, cinc y plomo. Se fabrican también jabones con bases compuestas, o sea, de jabones mixtos con más de un componente alcalino.

En la Universidad de Matanzas, se han desarrollado tecnologías para la obtención de mástiques asfálticos desde el año 1994, año en el cual se crea la primera patente de mástique, aunque esta patente no incluía el polvo de goma como materia prima.

1.4 Parámetros de calidad que debe cumplir el mástique líquido con polímero goma

Los parámetros de calidad del Asfalto Modificado con Polímero (MAP), en particular el producto DISTIN 404 L, incluyen su evaluación como anticorrosivo. Para ello se aplicaron al producto semisólido resultante de la evaporación del solvente, sobre probetas de acero estructural con dimensiones establecidas, cumpliendo las exigencias en cuanto a preparación previa y cantidad de réplicas.

El período de ensayo a la intemperie fue de dos años, en la Estación de Ensayo de Varadero, ubicada en el Hotel Puntarenas, para evaluar las características de los esquemas bajo consideración.

Para la evaluación de los MAP, en cuanto a su resistencia a la corrosión se aplican las normas para recubrimientos de pintura y productos afines. (Echeverría *et al.*, 2011), ya que se trata de un recubrimiento similar.

Se realizan ensayos acelerados en cámara de niebla salina de 1000 horas (10 ciclos de 100 horas cada uno) y ensayos de humedad temperatura 1600 horas (16 ciclos de 100 horas cada uno) de acuerdo con el programa de ensayos establecido por los laboratorios acreditados nacionalmente LABET. Se realizan además otros ensayos de calidad, como resistencia al impacto y adherencia.

Los ensayos de resistencia al biodeterioro se realizan en el Laboratorio Acreditado del Centro de Investigaciones del Petróleo.

1.5 Componentes de los mástiques asfálticos

1.5.1 Asfaltos

Los asfaltos son materiales aglomerantes sólidos o semisólidos de color, que varía de negro a pardo oscuro y que se licuan gradualmente al calentarse, cuyos constituyentes predominantes son betunes que se dan en la naturaleza en forma sólida o semisólida o se obtienen de la destilación del petróleo; o combinaciones de estos entre sí o con el petróleo o productos derivados de estas combinaciones.

Según la literatura existen diferentes tipos de asfaltos:

- asfalto natural obtenido con una mínima operación;
- asfalto residual de la destilación; y
- asfalto preparado por la oxidación del asfalto residual.

Químicamente el asfalto está compuesto en mayor proporción por:

- asfaltenos (aromáticos condensados polares) (5% ... 25%);
- maltenos, los cuales a su vez incluyen:
- resinas (aromáticos polares) (15% ... 30%);

- aromáticos no polares (40% ... 65%); y
- saturados (hidrocarburos alifáticos) (5% ... 20%).

El asfalto empleado para la elaboración de masillas asfálticas generalmente es asfalto oxidado. Para fabricarlo se comienza por someter una masa de asfalto residual a una temperatura de 275 °C a 300 °C, haciendo pasar a través de éste aire a razón de 1 000 a 1 500 L/min por cada tonelada de asfalto, durante un período de 5 a 12 horas. La oxidación puede realizarse simplemente o bien con la adición de ciertos catalizadores, que pueden contribuir a lograr determinadas propiedades en el producto final. La fabricación y el empleo del asfalto oxidado han ido extendiéndose gradualmente y hoy tiene un sinnúmero de aplicaciones industriales y en la construcción.

El asfalto se define como un material de color marrón oscuro a negro cementoso en el que los constituyentes predominantes son betunes que se producen en la naturaleza o se obtienen en el procesamiento de petróleo. Asfaltos característicamente contienen hidrocarburos muy alto peso molecular llamados asfáltenos. Estos son esencialmente solubles en disulfuro de carbono y los hidrocarburos aromáticos y clorados. El betún es un término genérico definido por como una clase de negros o de color oscuro (sustancias sólidas, semisólidos o viscosos) cementoso, naturales o fabricadas, compuestas principalmente de hidrocarburos de alto peso molecular, de la que los asfaltos, alquitranes, breas, asfaltitos son típicos. Además se clasifican los asfaltos o materiales bituminosos como sólidos, semisólidos o líquidos utilizando un ensayo de penetración de consistencia o viscosidad. En esta clasificación, los materiales sólidos son aquellos que tienen una penetración a 250C bajo una carga de 100 gramos aplicada durante 5 segundos, y de (1 milímetro). Semisólidos son aquellos que tienen una penetración a 250C bajo una carga de 100 gramos aplicada durante 5 segundos y de (1 milímetro) y una penetración a 250C bajo una carga de 50 gramos aplicada durante 1 segundo de no más de 35 milímetros. Asfaltos semisólidos y líquidos predominan hoy en día en la práctica comercial (Patente No 20030203997).

1.5.2 Polímeros

Los polímeros son sustancias macromoleculares naturales o sintéticas, obtenidas a partir de moléculas más sencillas por reacciones poliméricas. Por lo tanto, un polímero es un

compuesto con un elevado peso molecular, cuya estructura se representa por la repetición de pequeñas unidades. Los polímeros una vez dispersos en el asfalto llegan a formar verdaderas redes tridimensionales, creando un reticulado, que le confiere al asfalto propiedades relevantes de elasticidad. Existen muchos tipos de polímeros por lo que su dosificación y sistematización resultan muy complejas. (Echeverría *et al.*, 2011).

1.5.2.1 Propiedades mecánicas

El comportamiento mecánico de los polímeros a temperatura ambiente puede variar desde las características de un vidrio rígido y quebradizo, hasta la flexibilidad y elasticidad de una goma. Las características mecánicas de los polímeros se miden generalmente mediante ensayos de tracción, compresión, flexión, dureza, impacto, desgarró, etc. La mayoría de los polímeros tiene un comportamiento reológico tipo viscoelástico, lo cual hace que sus propiedades mecánicas tengan una gran dependencia con el tiempo de duración de la carga. Si se aplica un esfuerzo constante, se tendrá una deformación inicial instantánea y una deformación de fluencia (más lenta). Si se mantiene la deformación constante, el esfuerzo necesario para producir dicha deformación irá disminuyendo paulatinamente (relajación de esfuerzos).

1.5.2.2 Influencia de la temperatura

La variación de la temperatura, genera en los polímeros cambios en sus propiedades, lo que limita su uso a un cierto rango. La elevación de la temperatura produce en los materiales termoplásticos un rápido descenso de su resistencia mecánica, que comienza antes de su punto de ablandamiento, mientras que las temperaturas bajas los hace más frágiles y quebradizos, con la consiguiente disminución de la resistencia a la tracción y al impacto. En los polímeros termoestables las propiedades mecánicas se mantienen en un mayor rango de temperatura.

1.5.2.3 Durabilidad

Se define como la capacidad que tiene todo material para mantener sus propiedades originales a lo largo del tiempo. Las alteraciones de las propiedades originales a lo largo del tiempo. Las alteraciones de las propiedades de los polímeros se producen por fatiga

(aplicación repetida de esfuerzos) o por envejecimiento (acción del medio ambiente), aunque normalmente ambos factores actúan conjuntamente. Los agentes que pueden dar lugar a cambios apreciables en las propiedades de los polímeros son: agentes atmosféricos (agua, ozono, oxígeno y humedad), la radiación solar y el calor, los microorganismos, los agentes químicos, y la acción del tránsito. Los cambios generados por esos agentes dependerán del tipo de polímero, su composición y estructura química.

1.5.3 Agregados

Los rellenos absorben en su superficie los aceites aumentando la termorresistencia y la dureza del mástique.

Para obtener mástiques se emplean:

- rellenos pulverulentos (caliza, dolomita, creta, cemento, ceniza de combustibles sólidos); y
- rellenos fibrosos (amianto, algodón mineral, etc.).

También puede emplearse como relleno el granulado de neumáticos. (Echeverría *et al.*, 2011).

1.5.3.1 Polvo de goma de neumáticos como relleno

En la formación de los mástiques asfálticos o los materiales compuestos de matriz asfáltica, deben existir componentes que le proporcionen la flexibilidad y dureza, entre otras propiedades necesarias que lo hagan aplicable para el uso que se destine, y uno de estos componentes puede ser el granulado de neumáticos usado, como se había referido con anterioridad.

En el planeta se generan anualmente más de 600 millones de neumáticos usados. Por tratarse de un material que no es biodegradable, constituye una seria amenaza para el medio ambiente.

Solamente en los Estados Unidos, hay alrededor de doscientos cincuenta a trescientos millones de neumáticos de desecho, que aumentan anualmente, además de un suministro existente por encima de 500 millones que están acumulados en pilas, almacenados privadamente o ilegalmente vertidos. Los desechos de desperdicios de neumáticos presentan problemas en los basureros porque ellos no se desintegran y por consiguiente

ellos ocupan un volumen creciente como resultado su acumulación. Estos trozos de desechos de neumáticos también contribuyen, en estos lugares, a la cría de mosquitos y ratas, reivindica las patentes de aplicación de Estados Unidos (Kubicky, 2002; Cahill, *et al.*, 2002).

El neumático usado ha sido hasta ahora un residuo problemático en su tratamiento: en los vertederos ha presentado graves inconvenientes, entre los problemas que pueden causar al ser desechados pueden citarse contaminación de ríos y lagos, ocupación de grandes espacios en los vertederos; en países con clima más cálido, amontonar neumáticos usados en lugares abiertos es peligroso a causa de la acumulación de agua en el interior de las mismas, lo que propicia la proliferación de insectos transmisores del dengue, fiebre amarilla y encefalitis, por lo que se recomienda sean cubiertas para evitar la entrada de agua o, por lo menos, que los neumáticos sean agujereados para facilitar el drenaje.

Según Cahill y coautores (2002) el granulado de neumáticos usados proporciona las bases para la creación de nuevos proyectos innovadores. El campo de aplicaciones del triturado de neumáticos usado es amplísimo, llegando en la actualidad a utilizarse en aplicaciones de tecnología de punta, debido a la gran calidad que se consigue en su fabricación y a las altas prestaciones de este material. Se incluye aquí además el polvo de caucho del recape de neumáticos, que alcanza volúmenes que superan las 30 toneladas mensuales sin ser actualmente reciclados, según reivindica la Patente de Aplicación de Estados Unidos.

1.6 Desarrollo de los mástiques de conservación en Cuba

En nuestro país, en la actualidad no se realiza producción nacional de mástique asfáltico de conservación, exceptuando las limitadas producciones que se acometen en la Planta Piloto de la Universidad de Matanzas con la Marca Estatal DISTIN.

Con las diferentes materias primas con que se trabaja desde la década de 1990, se han elaborado alrededor de 6 variantes de mástiques de conservación DISTIN, amparadas por (Patente 143/94).

Teniendo en cuenta esta patente, se puede producir el jabón para el mástique empleando como materia prima fundamental, la cera cruda de caña, resina de cera, aceite de cera o

los residuales de la producción del Policosanol. En la actualidad se produce con cera cruda de caña y/o residuales de Policosanol.

Para la identificación de los diferentes productos que se producen en la Planta Piloto del CEAT, se emplean hasta estos momentos 6 líneas, identificadas como: 100, 200, 300, 400, 500 y 600. A los mástiques de conservación les corresponde la línea 400, donde el número dentro de la línea identifica el tipo de mástiques.

Se han desarrollado mástiques de consistencia semisólida, los cuales se identifican como DISTIN 402, 403 y 404. De igual forma el mástique líquido se identifica con la letra L, así por ejemplo tenemos el mástique líquido tipo solvente DISTIN 402 L, 403 L y 404 L. (Echeverría, *et al.*, 2011).

Las diferentes variantes de mástiques con diferentes materias primas permiten aprovechar la disponibilidad de materias primas nacionales para disminuir sus costos.

La producción nacional de mástiques líquidos de conservación, para su aplicación en el transporte mediante el Servicio DUCAR, es la que mayor demanda y perspectivas de aplicación, de acuerdo con información proporcionada por el CEAT.

El servicio DUCAR se ha identificado como un Sistema de Protección Anticorrosiva y Conservación (SIPAYC), del componente estructural, aplicado a los automóviles. No existiendo nada similar en Cuba.

En el Servicio DUCAR, se aplican 5 de los productos, que son los siguientes:

- grasa líquida DISTIN 314 L;
- mástique líquido DISTIN 404 L;
- mástique semisólido DISTIN 404;
- disolución de fosfatado decapante DISTIN 504; y
- cera abrillantadora e impermeabilizantes líquida DISTIN 603 L.

Los productos antes relacionados se han fundamentado para la sustitución de importaciones y la exportación.

El producto que más consume el Servicio DUCAR, es la grasa líquida tipo solvente DISTIN 314 L, a razón de 8 litros anuales por auto ligero y le sigue el mástique asfáltico líquido con polvo de goma a razón de 6 litros anuales por auto ligero (Echeverría, 2009).

1.7 Desarrollo de mástiques de conservación por patentes internacionales

Buras y colaboradores (2004) y Partanen (2005) reivindican composiciones asfálticas modificadas con polímeros y su preparación, y más específicamente, a un agente de dispersión que mejore las composiciones asfálticas modificadas con polímeros. Se plantea que un polímero, tal como el caucho, se puede agregar al asfalto para producir un Asfalto Modificado con Polímero (MAP) que mejora las propiedades reológicas de los asfaltos de modo que el producto satisface los límites especificados en las temperaturas requeridas. Con estas propiedades son aplicables como recubrimientos de sello y rellenos de uniones, como material asfáltico impermeabilizante para techos y otras aplicaciones.

Según Echeverría y colaboradores (2007) la producción de virutas y polvo del recape de neumáticos en Cuba supera las 30 toneladas mensuales, las cuales no son totalmente recicladas y constituyen una fuente de materias primas para la producción de materiales compuestos de asfalto oxidado modificado con polímeros. Esos materiales, debido a su elasticidad, adherencia, resistencia a los microorganismos, impermeabilidad al agua y resistencia a los impactos, superan a las pinturas en algunas aplicaciones, por lo que se ha extendido su uso en la protección anticorrosiva adicional y en el tratamiento de los problemas de diseño anticorrosivo.

En la Patente de Aplicación 20030018106: Título de junio del 2003, refiere otras patentes de Estados Unidos donde se describen métodos para combinar, polvo de neumático desvulcanizado, licuados o modificados químicamente antes o durante su mezcla con el asfalto, para formar variaciones de asfalto modificado con caucho o cemento de asfalto y caucho. Por ejemplo, la Patente N.º 5.270.361 de EE.UU describe un procedimiento para fabricar una composición de asfalto que incluye partículas de caucho sintético o natural de hasta media pulgada de espesor. El selenio elemental o un compuesto órgano-selenio se añade a la mezcla para actuar como un sustituto para el azufre que se elimina durante el proceso de vulcanización. El compuesto de selenio o compuestos órgano-selenio actúa como un agente de reticulación. La composición se trata con aire a presión en una reacción de deshidrogenación. La composición de asfalto se recupera y almacena en un recipiente a aproximadamente 150 °C ... 175 °C.

Según la Patente N.º 4.609.696 (Wilkes) de EE.UU describe una composición de goma con asfalto en la que se combina con un aceite de hidrocarburo para proporcionar un homogeneizado de asfalto mezclado con aceite. Tal mezcla de asfalto de petróleo se combina a continuación con disolvente de partículas de caucho dispersas para proporcionar un gel homogéneo. Este gel entonces se puede emulsionar pasando el gel de asfalto-caucho-aceite, con agua, a través de un molino coloidal.

En general las patentes tratan composiciones semisólidas o líquidas sin solvente, por ello en los primeros casos, se tiene que elevar la temperatura, aumentando los gastos de energía.

Según la patente N.º 4.018.730 (McDonald) de EE.UU describe emulsiones preparadas a partir de gel tixotrópico y caucho-asfalto modificado. El asfalto modificado con caucho gel se prepara mediante el procesamiento de un 20% ... 50% de partículas de caucho con el asfalto a temperaturas superiores a 350 °F. La emulsión después se creó mediante la mezcla de un asfalto con jabón para el gel de goma de asfalto modificado, formando de este modo una emulsión tixotrópica.

Existen composiciones líquidas que se obtienen por emulsión, algunas que utilizan agua, como las siguientes:

Para muchas aplicaciones, el asfalto se combina con agua y una pequeña cantidad de un agente activo de superficie conocido como emulsionante. Tal mezcla se hace pasar a través de un dispositivo conocido como un molino coloidal que corta el asfalto en pequeñas gotitas. Debido a la presencia del emulsionante, las gotas diminutas de asfalto permanecen dispersas por toda el agua en una suspensión estable conocido como una emulsión acuosa de asfalto. Las emulsiones asfálticas se clasifican en tres categorías; aniónicas, catiónicas o no iónicas.

Las clases aniónicas y catiónicas se refieren a las cargas eléctricas que rodean las partículas de asfalto. Las emulsiones de asfalto se han utilizado en una variedad de productos incluyendo selladores de calzada, materiales para techos de reparación, masillas, cargas de crack y en materiales de pavimentación tales como sellos y juntas de chips en suspensión. En algunos casos, un polímero de látex, tales como estireno-butadieno-caucho de látex (látex SBR) se añade a la emulsión de asfalto acuoso para

proporcionar un "polímero modificado" emulsión de asfalto. Tales polímeros modificados emulsiones asfálticas son deseables en ciertas aplicaciones tales como aplicaciones de pavimentación en sello de mezcla donde se desea que la emulsión de asfalto haya mejorado las propiedades físicas, tales como una mejor adhesión a las partículas de agregado y/o a una superficie subyacente que tenga mejor resistencia al agua, mejor estabilidad térmica, alta temperatura de ablandamiento, entre otras.

Cargas, tales como fibra de polímero, papel o partículas de caucho (por ejemplo, polvo de neumático obtenido a partir de neumáticos de vehículos reciclados) también pueden estar contenidos en el sello de suspensión. Los sellos de lodos que contienen caucho granulado, se refieren a menudo como sellos de goma "suspensión espesa" y se diferencian de los asfaltos de caucho modificado o cemento de asfalto de goma descrita anteriormente en que las partículas de caucho no se incorporan en el asfalto antes de su emulsificación, sino que se combina con la emulsión acuosa de asfalto y otros componentes para formar una mezcla de emulsión de asfalto que contiene partículas sólidas de goma. Por ejemplo la Patente N.º 5.539.029 y la Patente N.º 5.811.477 de EE.UU describen mezclas de emulsión asfáltica que contienen partículas sólidas de goma, así como ciertas composiciones de lechada asfáltica que se preparan mediante la mezcla de caucho sólido tal que contiene partículas de mezcla de emulsión de asfalto con el agregado.

Existe una necesidad en la técnica para el desarrollo de métodos para la producción de líquidos, sustancialmente no tixotrópicos de emulsiones asfálticas acuosas que incorporan caucho de neumático reciclado (o productos de descomposición de caucho de neumático) pero que contienen poco o no (por ejemplo, menos de 2% en peso) de caucho sólido en partículas. También hay una necesidad en la técnica para el desarrollo de productos, tales como selladores calzada, materiales para techos de reparación, calafateados, masillas, cargas de crack y en materiales de pavimentación tales como abrigos sello, sellos de chips y los sellos de lodos que contienen sustancialmente líquido, no tixotrópicos emulsiones acuosas asfálticas que incorporan caucho de neumáticos reciclados (o desglose de los productos de caucho de neumático), sino que contienen caucho sólido en partículas muy poca o ninguna.

Como se muestra en la referencia anterior, se emplea ampliamente el polímero goma en forma de polvo o partícula emulsionada con el asfalto.

Según la Patente de Aplicación 20030203997: Título de octubre del 2003 una amplia variedad de sistemas de jabón se puede utilizar para emulsionar el medio de polimerización. Por ejemplo, un emulsionante aniónico, catiónico o no iónico puede ser empleado. Una combinación de ácido de colofonia y ácidos grasos emulsionantes se pueden emplear con excelentes resultados. En tales sistemas, la relación en peso de jabones de ácidos grasos a los jabones de ácidos de colofonia estará dentro del intervalo de aproximadamente 50:50 a 90:10. Normalmente se prefiere que la relación en peso de jabones de ácidos grasos jabones de ácidos de colofonia a estar dentro del intervalo de 60:40 a 85:15. Es normalmente más preferido para la relación en peso de jabones de ácidos grasos jabones de ácidos de colofonia a estar dentro del intervalo de 75:25 a 82:18. Todo el jabón se carga en la primera zona de polimerización en la práctica de esta invención. La cantidad total de jabón empleado normalmente estará dentro del intervalo de aproximadamente 1 phm a 5 phm. Normalmente se prefiere utilizar un nivel de jabón que se encuentra dentro del intervalo de aproximadamente 2 phm a aproximadamente 3,5 phm. En la mayoría de los casos, se prefiere más utilizar una cantidad del sistema de jabón que está dentro del intervalo de aproximadamente 2,5 phm a 3 phm. La cantidad precisa del sistema de jabón requerida para alcanzar resultados óptimos, por supuesto, variará con el sistema de jabón específico utilizado. Sin embargo, los expertos en la técnica será capaz de determinar fácilmente la cantidad específica de jabón requerida en el sistema con el fin de obtener resultados óptimos.

1.8 Producción, aplicaciones y demanda potencial de polvo y viruta de goma reciclada

Actualmente se producen en la Planta Piloto del Área de Producción y Servicios del CEAT, la cual posee y crea las condiciones para asegurar todas las producciones que se demanden.

Su aplicación actual en el Servicio DUCAR al transporte, incluye el producto semisólido DISTIN 404 con precios de costo de 4.75 CUP/kg. y 0.43 CUC/kg y el producto líquido

DISTIN 404 L con precios de costo de 3.84 CUP/L y 0.89 CUC/L. No existiendo otros productos similares en el mercado a esos precios.

Lo anterior ha propiciado una amplia demanda y se han aprobado en estos momentos dos Proyectos de Generalización que abarcan:

El primero, titulado Servicio DUCAR en las FAR, el inicio de su generalización en la Región Militar Matanzas y el Ejército Central en dos establecimientos, para extenderse posteriormente como una Red DUCAR en el Ejército Central.

El segundo, titulado Red DUCAR del MITRANS Matanzas, abarca todos los municipios de la provincia, a los cuales se extiende el servicio.

Actualmente en la provincia de Matanzas, hay unos 14 000 equipos del transporte estatales, cifra que no incluye al MININT y el MINFAR y si se suma la cifra de autos particulares y de entidades extranjeras y mixtas, la cifra de equipos es muy superior y por tanto el consumo de producto y de polvo de goma aumenta.

1.9 Fundamentos de la gestión de procesos

Según Trischler, (1998), para elevar la competitividad de las empresas se están llevando a cabo en la actualidad dos planteamientos fundamentales: el enfoque de la gestión basado en los procesos y la eliminación de los despilfarros derivados de dichos procesos cuando estos no aportan valor añadido. El análisis del valor añadido en los procesos se llevan a cabo descomponiéndolos en pasos o etapas que se representan en forma de diagrama, denominados As-Is (tal como es) y, posteriormente, realizando un estudio en cada etapa donde se localicen las actividades que no aportan valor añadido para considerar su posible eliminación o mejoramiento.

1.9.1 Utilidad del diagrama As-Is

En toda empresa los procesos están constantemente sometidos a revisiones, ya que como todo proceso puede ser mejorado, siempre se encuentre algún detalle, alguna secuencia, que aumenta su rendimiento en aspectos como productividad de las operaciones o disminución de defectos.

En el proceso tecnológico de mástique líquido con polvo de goma de la Planta Piloto ocurren deficiencias y para poder identificarlas y mejorarlas se implementa el Diagrama As-Is.

Para la mejora se usan los mapas de procesos que permiten la visualización y apreciación de las interrelaciones entre los procesos, subprocesos y actividades para perfeccionar los resultados que los clientes desean. Un enfoque muy utilizado dentro de la elaboración de mapas de procesos es el Diagrama As-Is que permite una mayor visibilidad y comprensión.

Los Diagramas As-Is se ha ganado la popularidad en el mundo empresarial de hoy por su posibilidad de detallar las actividades que ocurren en un proceso, y son prácticamente, un requisito en la mayoría de los métodos para la mejora de los procesos (Trischler, 1998).

Existen diferentes maneras para representar los procesos como son los diagramas de flujo de actividades, mapas de procesos, en este caso los Diagramas As-Is, se realizan bajo dos premisas fundamentales: el enfoque de la gestión en base a los procesos y la eliminación de los despilfarros derivados de dichos procesos cuando estos no aportan valor añadido.

El diagrama se utiliza para registrar cómo opera realmente el proceso, a través de la representación gráfica del flujo de trabajo o de información, brindando una mejor visibilidad y permite el análisis de cada actividad. El análisis del valor añadido en los procesos se detecta mediante la descomposición en pasos o etapas, en la exposición del diagrama, luego, se realiza un estudio en cada etapa donde se localizan las actividades que no aportan valor añadido para considerar su posible eliminación o mejoramiento.

Para confeccionar el diagrama As-Is, lo primero que se debe tener en cuenta es, quienes son las personas que están involucradas en el proceso, para ello existe una metodología para la mejora de los procesos empresariales, que se titula, Procedimiento Específico Propuesto para la Gestión por Procesos de Nogueira (2002). Esta investigadora logra aportes nuevos al incorporarle herramientas tan útiles como el análisis del valor añadido, de acuerdo con los planteamientos de Trischler (1998) con la confección de los diagramas As-Is.

El diagrama del proceso As-Is (tal como es) se utiliza para representar gráficamente el flujo de trabajo o de información, de manera que los miembros del equipo posean mejor visibilidad del proceso y entiendan la secuencia del mismo. Este diagrama muestra las etapas a seguir para producir el output y para documentar las políticas, procedimientos e instrucciones de trabajo en uso y se puede realizar de dos maneras: (Trischler, 1998).

- 1) El líder del equipo prepara un diagrama preliminar de acuerdo a su experiencia y conocimiento personal del proceso, que puede ser confirmado por otras personas que conozcan el proceso y no formen parte del equipo. Finalmente, el equipo revisa y actualiza el diagrama en una sesión de grupo.
- 2) El líder del equipo realiza un repaso conceptual para asegurarse de que el diagrama es la imagen que mejor representa al proceso, pues este constituye la base para el análisis del valor añadido.

Teniendo en cuenta lo expuesto anteriormente, se hace necesario la selección de un equipo de trabajo en el que participen los técnicos de la Planta Piloto, Ingenieros Industriales que trabajan en el CEAT, así como docentes que investigan en el este proceso, todo ello para aportar elementos en la elaboración y análisis de los resultados del diagrama.

1.10 Fundamentos de los balances de masa y energía de los procesos tecnológicos

1.10.1 Conservación de la masa de los procesos tecnológicos

El diseño de los procesos se basan en dos leyes fundamentales de la naturaleza: la conservación de la masa y la conservación de la energía. Aunque la validez de estas leyes está limitada a situaciones donde no ocurran reacciones nucleares, son completamente aplicables dentro de la mayor parte del campo de la ingeniería de procesos (Chopey, 2004). Este principio permite determinar la masa de las sustancias que se consumen o producen en cualquier proceso industrial.

La ley (o principio) de conservación de la masa postula que, en cualquier fenómeno o proceso la masa total involucrada se mantiene constante. Aplicada a las reacciones químicas, se conoce como la Ley de Lomonosov-Lavoisier y toma la forma:

$$\sum_{\text{reaccionantes}} m_i = \sum_{\text{productos}} m_i ; \quad (1.1)$$

es decir, que la masas de todos los reaccionantes es igual a la suma de las masas de los productos (Murthy, 2002).

Según Viera y Pons, (1990) en el caso más general, para cada uno de los compuestos que intervienen en un proceso, se tiene que:

$$m_{\text{acumula}} = m_{\text{entra}} - m_{\text{sale}} + m_{\text{genera}} - m_{\text{consume}} . \quad (1.2)$$

Si el proceso es estacionario, entonces:

$$m_{\text{acumula}} = 0 ; \quad (1.3)$$

y, consecuentemente:

$$m_{\text{sale}} = m_{\text{entra}} + m_{\text{genera}} - m_{\text{consume}} . \quad (1.4)$$

Cuando el compuesto es un reaccionante de una reacción química, la ecuación (1.4) toma la forma:

$$m_{\text{sale}} = m_{\text{entra}} - m_{\text{consume}} ; \quad (1.4a)$$

mientras que si es un producto, toma la forma:

$$m_{\text{sale}} = m_{\text{genera}} . \quad (1.4b)$$

También, desde el punto de vista del balance de masas en las reacciones químicas, es importante la relación entre las masas de dos compuestos, A y B que intervienen en una reacción dada. Para las mismas se cumple que la relación de conversión o transformación teórica:

$$R_T = \frac{N(A)}{N(B)} ; \quad (1.5)$$

entre los respectivos coeficientes estequiométricos, $N(A)$ y $N(B)$, es igual a la relación de conversión o transformación experimental:

$$R_E = \frac{n(A)}{n(B)} ; \quad (1.6)$$

entre las respectivas cantidades de sustancias, $n(A)$ y $n(B)$, involucradas en la reacción. A su vez, la cantidad de sustancia de cualquiera de los compuestos, $n(X)$, se relaciona con la masa, $m(X)$, y la masa molar, $M(X)$, del mismo, según la expresión:

$$n(X) = \frac{m(X)}{M(X)}; \quad (1.7)$$

donde m_i es la masa, N_i el coeficiente estequiométrico y M_i la masa molar del i -ésimo componente de la reacción.

1.10.2 Leyes de la termodinámica

Para la determinación de la energía involucrada (producida o consumida) en los procesos industriales, se aplican las leyes o principios de la termodinámica.

La llamada primera ley (o primer principio) de la termodinámica es una de las bases del balance energético de cualquier sustancia. En su forma más general puede enunciarse como que la energía de un sistema no se crea ni se destruye, sólo puede transformarse de un tipo a otro (Annamalai y Puri, 2002).

Aplicado a los sistemas industriales, significa que la energía total del sistema se conserva y ésta sólo puede intercambiarse entre sus diversos componentes. Para un sistema termodinámico cerrado, esta ley toma la forma:

$$\Delta U = Q + W; \quad (1.8)$$

donde ΔU es la variación de la energía interna del sistema, Q es la cantidad de calor suministrada y W el trabajo realizado sobre el sistema.

En sistemas abiertos hay que tener en cuenta la variación de la energía en las sustancias que entran y salen del sistema. Entonces, la conservación de la energía toma la forma:

$$\Delta U = Q + W + \sum_{\text{in}} m_i \theta_i - \sum_{\text{out}} m_i \theta_i; \quad (1.9)$$

donde θ es la energía específica (energía por unidad de masa) de cada componente y está dada por:

$$\theta = h + \frac{1}{2} v^2 + gz; \quad (1.10)$$

siendo h la entalpía, v la velocidad y z la altura del componente; $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ es la aceleración estándar de la gravedad.

Durante el calentamiento o enfriamiento de un cuerpo, ocurrido a presión constante, el calor suministrado o cedido se relaciona con la variación de la temperatura según la ecuación:

$$Q = c_p m (T_f - T_i); \quad (1.11)$$

donde c_p es la capacidad calorífica (calor específico) a presión constante de la sustancia, m es la masa calentada o enfriada y T_i y T_f son las temperaturas iniciales y finales, respectivamente.

Durante el cambio de fase (fusión/solidificación o ebullición/condensación), el calor absorbido o cedido está dado por:

$$Q = \lambda m; \quad (1.12)$$

siendo λ el calor latente de la sustancia.

Mientras que la primera ley de la termodinámica regula los aspectos cuantitativos de las transformaciones energéticas, la segunda ley establece cuáles de dichas transformaciones son posibles. A pesar de existir diferentes enunciados para la misma, uno de los más comunes es que es imposible, mediante un proceso cíclico transformar completamente en trabajo, el calor absorbido por un sistema. Otro enunciado de este principio es que el flujo de calor entre dos cuerpos siempre tiene lugar del cuerpo más caliente al más frío y nunca al contrario.

1.11 Conclusiones parciales del capítulo

1. Según el análisis realizado sobre los Mástiques Anticorrosivos y de Conservación, revelan que los procesos tecnológicos empleados en su producción, están basados en la utilización de asfalto oxidado y polvo de goma, lo que coincide con la tendencia mundial en la obtención de mástiques asfálticos con polímeros.
2. El mástique líquido con polvo de goma de conservación presenta una gran demanda y perspectivas de aplicación, empleada en el Servicio DUCAR, por lo cual se debe hacer mayor énfasis en esta producción.
3. La característica distintiva en la composición de los mástiques de la marca **DISTIN** con respecto a otros reportados, es el empleo de jabones insolubles sobrebasificadas, que actúan como elemento de enlaces y favorecen la resistencia al biodeterioro.
4. Con la utilización del Diagrama As-Is se pueden identificar las deficiencias del proceso tecnológico de mástique líquido con polvo de goma para poder mejorarlas.
5. La determinación de los balances de masa y energía permite mejorar la eficiencia tecnológica del proceso de producción de mástique líquido en la Planta Piloto del CEAT.

CAPÍTULO 2 ANÁLISIS DEL PROCESO ACTUAL DE PRODUCCIÓN DE MÁSTIQUE LÍQUIDO CON POLÍMERO GOMA

2.1 Proceso tecnológico de mástique líquido con polímero goma

Se realizó una inspección visual de la planta, la cual permitió verificar la información obtenida sobre el proceso tecnológico existente en la misma. Esta inspección es una primera oportunidad para familiarizarse con la obtención del producto, darse cuenta de las condiciones de operación y del funcionamiento del proceso tecnológico de mástique líquido con polímero goma.

2.1.1 Descripción de la línea de producción de mástique asfáltico

Se introduce el asfalto oxidado sólido en el equipo de fundición y filtrado realizando las operaciones unitarias de transferencia de calor y filtrado, obteniéndose un producto líquido.

Antes de poner en funcionamiento el reactor se debe revisar que el mismo se encuentre libre de cualquier sustancia u objeto extraño, revisar y cerciorarse que estén cerradas las válvulas de salida del producto, de entrada del vapor y de entrada de agua, así como la compuerta superior de entrada de materias primas sólidas. Abierta la válvula del venteo y revisar que el agitador mecánico esté en óptimas condiciones.

Comienza el proceso en el reactor con la obtención del jabón base para la producción del mástique, para la obtención del mismo se realiza un proceso de saponificación en aceite que se lleva a efecto a una presión de 5 atmósferas y 150 °C, durante una hora. Cuando termina la saponificación, se realiza un proceso de venteo hasta alcanzar la presión atmosférica y unos 100 °C de temperatura.

El asfalto oxidado fundido y filtrado se dosifica al reactor. Se espera un tiempo de 20 min para garantizar una homogenización completa del mismo con el jabón líquido, lográndose el mástique asfáltico líquido.

El mástique líquido es bombeado al homogenizador de mástique o al sinfín mezclador dependiendo del producto a obtener (mástique semisólido o líquido).

En la actualidad por no existir homogenizador, esta operación se realiza en el propio reactor de grasa.

2.1.2 Proceso de producción de mástique líquido en la etapa actual

En la etapa actual se produce el mástique líquido en el propio reactor de grasa, por tanto una vez terminada la producción de mástique semisólido, que se encuentra líquido por la temperatura final de la reacción, se procede a enfriar el mismo aproximadamente hasta unos 80 °C, para proceder a mezclar con la nafta.

En el momento que alcance la temperatura deseada se cierran las válvulas de agua de enfriamiento, se para la bomba y se le añade el solvente abriendo la válvula de nafta. Se pone en funcionamiento el sistema de recirculación de mástique líquido, poniendo en marcha la bomba instalada y abriendo las válvulas que lo requieran, después de 15 min, se tiene preparado el mástique líquido.

Realizada esta operación se procede a añadir el polvo de goma por la compuerta lo cual debe realizarse lentamente para garantizar una mezcla rápida y uniforme del mismo, habiéndose obtenido de esta forma el mástique líquido con goma.

Debe tenerse en cuenta que el agitador debe estar trabajando siempre, una vez determinada la homogeneidad de la mezcla se procederá por parte de jefe de la planta o el tecnólogo a coordinar con el especialista para su control de calidad. Al confirmarse por parte del especialista que la producción realizada se encuentra dentro de los parámetros de calidad establecido para su comercialización se iniciará su envase en tanques plásticos de 20 litros.

Luego de ser envasada toda la producción y comprobarse que no se puede extraer más mástique líquido se procede a la limpieza del equipo y todo el sistema, recogiendo el residuo en un tanque para su reutilización. Posteriormente todas las válvulas se dejan en posición cerrada.

2.2 Diagnóstico de la línea de producción de mástique asfáltico en el estado actual

Actualmente en la planta no existe la línea de producción de mástique asfáltico, debido a este problema la elaboración del producto se lleva a cabo en el reactor de Grasa, lo que

trae como consecuencia que disminuyan los volúmenes de producción al no poder utilizar la capacidad instalada todo el tiempo. Estableciéndose un plan en correspondencia con el plan y el presupuesto aprobado para el año, para la producción de los diferentes productos.

Actualmente la producción de mástique asfáltico con polímero goma se realiza una vez por semana, produciéndose por cada 1 kg de mástique semisólido 2 L de mástique líquido.

La capacidad del reactor actual es de 750 kg de mástique semisólido, en el mismo no se introduce el polímero goma. Por tanto por cada carga se utiliza la mitad para el mástique con polímero semisólido y la otra mitad para el mástique con polímero líquido. Por ello se utiliza 375 kg de mástique asfáltico para cada producto.

Seguidamente para la producción de mástique líquido se le agrega el disolvente (nafta) 1,2 litros por cada kg de producto, con una pérdida del producto por evaporación que da como resultado 2 litros de mástique líquido. Posteriormente se le añade el polvo de goma, en el recipiente de envase, por lo cual se aumenta en 25% en volumen, obteniéndose 937,5 L/semana del producto.

Como sólo hay 42 semanas laborables la capacidad de producción anual del mástique líquido es de 39375 L/año.

El producto mástique líquido cuenta para este año con una demanda de 24 480 L de los cuales 18 000 L son para el MINFAR, 6 000 L para la UNE y 480 L para EISA. Pero existe una demanda potencial con estos clientes de 132 000 L de este producto.

La misma vendría dada por 15 000 carros del MINFAR y 7 000 carros de la UNE, para cada carro se consume 6 L del producto.

En la actualidad se realizan proyectos para la ampliación de la planta, siendo el presente trabajo parte de los mismos.

2.3 Evaluación del producto

El material compuesto de matriz asfáltica modificada con polímero (MAP), constituido por dos componentes esenciales, la matriz (asfalto oxidado) y el refuerzo (polímero:

polvo de goma de los neumáticos), unidos a través de un agente enlazante (jabón). Se obtuvo a nivel de laboratorio y posteriormente a escala de Planta Piloto en las instalaciones del Centro de Estudio de Anticorrosivos y Tensoactivos (CEAT).

El mástique asfáltico de consistencia líquida DISTIN 404 L, se utiliza para la protección anticorrosiva y conservación de superficies metálicas. Ofrece una capa protectora de la superficie por evaporación del solvente, resistente a altas temperaturas, deformaciones por golpes de agua, piedras, etc la cual penetra en todas las cavidades e intersticios que puedan existir y protege contra la acción agresiva de la atmósfera. Especialmente preparado como recubrimiento antigavilla para la protección de la parte inferior y exterior del piso de los automóviles, contenedores, equipos ferroviarios y en estructuras o pisos en contacto con agua y humedad, impermeabilizando y protegiendo contra la acción microbiana.

Las composiciones de MAP para su evaluación como anticorrosivos, se aplicaron sobre probetas de acero estructural, con dimensiones establecidas, cumpliendo las exigencias en cuanto a preparación previa y cantidad de réplicas. Para su aplicación sobre las probetas de acero, se ablanda el producto MAP de 80 a 100 °C, se aplica con espátula sobre el sustrato base logrando una capa uniforme del recubrimiento aplicado.

El período de ensayo a la intemperie fue de dos años, en la Estación de Ensayo de Varadero, ubicada en el Hotel Puntarenas, para evaluar las características de los esquemas bajo consideración. El ensayo acelerado fue de 1 000 horas (10 ciclos de 100 horas cada uno), de acuerdo con el programa de ensayos establecido por los Laboratorios Acreditados Nacionalmente LABET.

2.4 Ensayos de calidad realizados al producto

Para la evaluación de los materiales compuestos de matriz asfáltica modificada con polímero (MAP), en cuanto a su resistencia a la corrosión se aplican las normas para recubrimientos de pintura y productos afines.

Para los ensayos de resistencia a la humedad y temperatura con condensación constante, se utilizó el procedimiento descrito en la norma (DIN 50017, 1982). Las condiciones del ensayo fueron $(40 \pm 2) ^\circ\text{C}$ y aproximadamente 100% de humedad relativa con

condensación de las probetas. Las exigencias del ensayo fueron de 1 000 horas en la cámara sin afectaciones de la muestra por ampollamiento, fisuras, corrosión en el metal base y sensible desprendimiento, con ciclos de evaluación cada 100 horas (10 ciclos). El ensayo se realizó en una cámara climática modelo CCM/0/300.

El ensayo de resistencia a la atmósfera salina se realiza con la aplicación de las secciones 1, 2 y 3 de la norma (ISO 9227, 1990). Las condiciones del ensayo fueron el uso de una solución de cloruro de sodio P.A. (50 ± 5) g/L, con una densidad (a $25\text{ }^{\circ}\text{C}$) de ($1,0255 \dots 1,0400$) g/cm³, pH: 6,5 ... 7,2 y temperatura (35 ± 2) °C. Las exigencias del ensayo y los ciclos de evaluación son las mismas que para el ensayo acelerado de humedad y temperatura. El ensayo se realizó en una cámara de niebla salina modelo Q-FOG C.C.T (Cyclic Corrosion Tester, EE.UU.) de capacidad 1,1 m³.

Para el ensayo de envejecimiento acelerado, se emplea el procedimiento descrito en la norma (ASTM D 4799, 2000). Las condiciones para el ensayo incluye el uso de lámparas fluorescentes UV-A de longitud de onda 340 nm. Las exigencias del ensayo fueron de 1 000 horas sin que se produjeran afectaciones físicas importantes, ni mostrar cambios sensibles respecto a la determinación inicial y/o referencia. Se ensayaron las muestras en una cámara de intemperismo acelerado modelo QUV/SE.

Para el ensayo de adherencia por el método de tracción, se aplica el procedimiento descrito en la norma (ASTM D 4541, 1995), que emplea el método de tracción para recubrimientos orgánicos, mediante el uso de un dinamómetro. Las exigencias del laboratorio fueron que la presión capaz de desprender los dados adheridos al recubrimiento bajo ensayo, no deberán producir desprendimiento, fisura y/o levantamiento del recubrimiento. Se debe reportar además la presión a la cual son desprendidos los dados o cilindros. Se empleó un medidor de adherencia modelo ERSAD 8 MPa.

Para el ensayo de impacto se utiliza el procedimiento descrito en la norma (ASTM D 2794, 1993). Se empleó un impactómetro modelo 03040 10. La exigencia del laboratorio fue que no se debe producir ninguna fisura, desprendimiento o cuarteadura de los recubrimientos para un peso de 0,9 kg y 15,9 mm diámetro. Se realizó el ensayo a alturas de 25, 50 y 100 cm. respectivamente.

Para el evaluación de la degradación de los recubrimientos de MAP, así como la designación de la intensidad, cantidad y tamaño de los tipos más comunes de defectos, se emplea la norma (UNE-EN ISO 4628-1 al 5, 2003).

La evaluación de la degradación de los recubrimientos de MAP se basa en la comparación del aspecto de la superficie del recubrimiento con patrones fotográficos que aparecen en cada una las normas específicas para cada defecto. Dichos patrones están catalogados en base al tamaño y densidad de los defectos. El tamaño se evalúa en una escala entre 0 y 5, donde “0” indica que no hay defectos y “5” indica defectos tan severos que una diferencia adicional no tendría prácticamente significado. Las otras evaluaciones, correspondientes a los números 1, 2, 3 y 4, están definidas de manera que permiten una diferenciación óptima dentro del rango completo de la escala.

Respecto a la densidad de los defectos se considera la misma escala anterior, donde “0” indica defectos no visibles (con 10 aumentos) y “5” defectos mayores que 5 mm. Los valores intermedios varían en función del tamaño de estos. En el caso que se evalúe el grado de oxidación y de descamación se utiliza una escala similar, pero en función del % del área afectada. Cuando la evaluación es “0” significa (0 % de área oxidada (Ri 0) o 0 % de área descamada) y “5” (es de 40 a 50 % de área oxidada (Ri 5) o 15 % de área descamada), con valores intermedios entre 0 y 5. Las tablas que resumen el tamaño y densidad de los defectos para la evaluación de estas fallas aparecen en las normas correspondientes (UNE-EN ISO 4628-1, 2003; UNE-EN ISO 4628-3, 2003).

2.4.1 Análisis de los ensayos de calidad realizados al producto

2.4.1.1 Evaluación de la degradación de los MAP. Designación de la intensidad, cantidad y tamaño de los tipos más comunes de defectos.

En las Tablas 2.1 y 2.2 siguientes, se muestran los resultados de la evaluación de la degradación de los materiales compuestos de matriz asfáltica modificado con polímero (MAP), en cuanto a las fallas que pueden surgir (ampollamiento, oxidación, agrietamiento y descamación). Esta evaluación es muy importante pues ofrece una respuesta del comportamiento de los mismos al medio a que se exponen, en la Estación de Ensayo de Varadero con una agresividad corrosiva del acero de bajo contenido de carbono de Muy Alta.

Como se puede observar en la Tabla 2.1, la composición 1 de MAP no presenta ampollamiento, ni oxidación, ni descamación durante todo el período de evaluación, solamente presenta agrietamiento a partir de los 3 meses de exposición, del tipo 2 S (3). Estas son grietas visibles solo con aumentos, de tamaño 2 densidad S (3), según se muestran en los patrones gráficos según la norma (UNE-EN ISO 4628-4, 2003). Las cuales se consideran aceptables, según la escala de comportamiento antes referida, pues son las de menor tamaño. Tres meses más tarde presenta grietas de tamaño 3, densidad S (4), es decir grietas que ya son visibles, según los patrones gráficos antes mencionados y finalmente a los 21 meses, solamente aumenta la densidad de la grieta hasta densidad 5, manteniendo el mismo tamaño.

Tabla 2.1 Propiedades protectoras de la composición asfáltica 1

<i>Período meses</i>	<i>Fallas</i>			
	<i>Ampollamiento</i>	<i>Oxidación</i>	<i>Agrietamiento</i>	<i>Descamación</i>
1 (Jun/04)	0	Ri 0	0	0
2 (Jul/04)	0	Ri 0	0	0
3 (Agos/04)	0	Ri 0	2S(3)	0
6 (Nov/04)	0	Ri 0	3 S(4)	0
9 (Feb/05)	0	Ri 0	3 S(4)	0
12 (May/05)	0	Ri 0	3 S(4)	0
15 (Agos/05)	0	Ri 0	3 S(4)	0
18 (Nov/05)	0	Ri 0	3 S(4)	0
21 (Feb/06)	0	Ri 0	3 S(5)	0
24 (May/06)	0	Ri 0	3 S(5)	0

Después de haber realizado un análisis de todas las fallas que pueden presentarse en los recubrimientos de MAP expuestos a la intemperie, según lo establecen las normas internacionales; se puede plantear, que presentan excelentes propiedades protectoras contra la corrosión, con un comportamiento de Muy Bueno.

Según la norma internacional de selección de sistemas de pinturas, se plantea que la durabilidad mínima es de 2 a 5 años, sin presentar afectaciones por corrosión. Teniendo en cuenta este criterio, podemos decir que estos recubrimientos han resistido un mínimo

de dos años, en una zona de muy alta agresividad corrosiva, categoría C5, sin presentar ninguna afectación por corrosión. Cuando en la generalidad de los casos, los recubrimientos que se utilizan en estos medios no superan este mismo período sin afectaciones, provocando consecuentes gastos por concepto de mantenimiento.

Debe agregarse en el análisis que las composiciones ensayadas abarcan una amplia gama en cuanto a composición, sin embargo, la experiencia práctica posterior a este ensayo, ha demostrado que al aumentar la composición de la matriz asfáltica y del compuesto de enlace (jabón), se logran composiciones, más blandas, más adherentes, que permanecen mucho más tiempo sin agrietamiento y que por consiguiente aumentan la resistencia a la corrosión y al deterioro.

Tabla 2.2 Propiedades protectoras de las composiciones asfálticas 2, 3, 4, 5, 6, 7, y 8

Período meses	Fallas			
	Ampollamiento	Oxidación	Agrietamiento	Descamación
1 (Jun/04)	0	Ri 0	0	0
2 (Jul/04)	0	Ri 0	0	0
3 (Agos/04)	0	Ri 0	0	0
6 (Nov/04)	0	Ri 0	0	0
9 (Feb/05)	0	Ri 0	0	0
12 (May/05)	0	Ri 0	0	0
15 (Agos/05)	0	Ri 0	0	0
18 (Nov/05)	0	Ri 0	0	0
21 (Feb/06)	0	Ri 0	0	0
24 (May/06)	0	Ri 0	0	0

En el Anexo 1 y 2, se puede observar la ubicación de estos experimentos, en la Estación de Ensayos de Varadero, así como su estado superficial al culminar los 2 años de ensayos a la intemperie.

A pesar de que las grietas presentadas, no son de importancia, pues se refiere a grietas superficiales que no penetran totalmente al recubrimiento; por lo que el sustrato metálico continúa protegido del medio exterior, en un ambiente de muy alta agresividad corrosiva como el de la E2, durante dos años.

Analizando la relación de este comportamiento con la composición del material, no es posible asociar esto a un componente determinado, por no tener una composición extrema en ninguno de sus constituyentes, sin embargo se desecha esta composición, ya que la penetración de contaminantes y el agua se favorece precisamente por la aparición de grietas, afectando a más largo plazo el recubrimiento.

El resto de las composiciones de MAP (2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8), no presentaron ningún tipo de afectación durante los dos años de exposición. Este resultado se observa en la Tabla 2.2.

2.4.1.2 Evaluación del comportamiento de los MAP en ensayos acelerados y otros. Ensayos de Tropicalización en (LABET).

Hay que destacar que en lo que respecta a la certificación de la calidad de recubrimientos resistentes a la corrosión, estos ensayos son de obligatorio cumplimiento, para obtener la certificación de calidad que exige cualquier aplicación en Cuba.

2.4.1.2.1 Resistencia a la humedad y temperatura con condensación constante

Se comprobó una adecuada compatibilidad del producto con el substrato base (acero). Se observa que entre las 400 y 500 horas en la cámara climática se detecta ligero cuarteamiento y desprendimiento superficial, tras el reblandecimiento del material. Este fenómeno fue menos marcado que en las condiciones del ensayo salino. A partir de las 700 horas, se observa el material más endurecido, indicativo de cierta pérdida de su flexibilidad. Por lo antes expuesto el laboratorio acepta el resultado de la prueba.

2.4.1.2.2 Resistencia a la niebla salina neutra

Se comprobó una adecuada compatibilidad del producto con el substrato base (acero). Se observa entre las 400 y las 500 horas de exposición, cierto reblandecimiento superficial, que da lugar a un ligero desprendimiento del material que no está directamente adherido a la base. De acuerdo a los resultados de la pérdida de masa obtenida con las diferentes probetas (muestras), no se considera importante el desprendimiento presentado. Por lo antes expuesto el laboratorio acepta el resultado de la prueba.

2.4.1.2.3 Envejecimiento Acelerado QUV para materiales bituminosos

A partir de las 700 horas se observa cierto endurecimiento y pérdida de flexibilidad del material. Este comportamiento se mantiene estable hasta finalizar el período de exposición en las condiciones de dicho ensayo. Por lo antes expuesto el laboratorio acepta el resultado de la prueba.

2.4.1.3 Ensayo de adherencia por el método de tracción

La ruptura de las capas más exteriores del recubrimiento se produce a 1,5 MPa. Por lo antes expuesto el laboratorio acepta el resultado de la prueba.

2.4.1.4 Ensayo de impacto

Los resultados obtenidos se muestran a continuación:

Para una altura de 25 cm: el recubrimiento permanece sin alteración.

Para una altura de 50 cm: Se observa cierto desgarre del recubrimiento, sin dejar expuesta la base.

Para una altura de 100 cm: Total desgarre del recubrimiento.

A pesar de que el recubrimiento no pasó la prueba de impacto a una altura de 100 cm, el resultado obtenido para 25 y 50 cm es positivo, teniendo en cuenta que se somete al impacto de una masa de 0,9 kg de peso y en la práctica no se someterá a condiciones tan extremas. Por lo antes expuesto el laboratorio acepta el resultado de la prueba.

Como se ha analizado el material es capaz de cumplir las funciones de protección en sus diferentes líneas de aplicación. En general el material asfáltico se comporta bastante bien bajo las condiciones del ensayo de impacto a 25 cm y 50 cm de la altura en que es suspendida la carga.

De acuerdo a los resultados obtenidos, el Laboratorio de Ensayos de Corrosión (LECO), le propone al Centro de Certificación de Productos Tropicalizados, otorgar los certificados de conformidad para tres variantes de aplicación del producto relacionado en el presente informe, según los ensayos y determinaciones citadas anteriormente.

Las variantes de aplicación son:

1. Material asfáltico modificado con polímero como sistema impermeabilizante y sellador de pisos y cubiertas.
2. Material asfáltico modificado con polímero como sistema de protección y aislante en las uniones metal-metal, metal-mortero y metal-hormigón.
3. Material asfáltico modificado con polímero como recubrimiento anticorrosivo.

Los resultados emitidos por LABET demuestran que las 8 composiciones de MAP presentan excelentes propiedades protectoras contra la corrosión, dada la efectividad de la protección anticorrosiva de estos productos, la cual fue confirmada en los ensayos correspondientes.

Estos resultados vinculados a la protección anticorrosiva que ofrecen los materiales compuestos, concuerdan con los ensayos de campo realizados con estos materiales, sobre probetas de acero sometidas a condiciones de intemperie.

La evaluación anterior, conjuntamente con las propiedades de adherencia, flexibilidad y resistencia al impacto permiten su empleo en las uniones metal – metal, metal – mortero y metal – hormigón, que originan con mucha frecuencia problemas de diseño anticorrosivo. Una aplicación de estos productos, referenciados en el análisis bibliográfico como uniones húmedas, permite evitar la aparición de resquicios que incrementan los problemas de corrosión y constituye uno de los componentes de mayor importancia dentro de los sistemas de protección anticorrosiva y conservación que se analizarán posteriormente.

Como resultado de estas evaluaciones, se ha desarrollado la producción de 4 nuevos materiales compuestos, modificado con polímero, que se producen en la Planta Piloto del CEAT, con la denominación DISTIN 403 y DISTIN 404, para los productos semisólidos y DISTIN 403 L y DISTIN 404 L, para los productos líquidos.

2.5 Diagrama As-Is del proceso de mástique líquido con polímero goma

Se realizó también una inspección visual de la planta para analizar el proceso y así detectar los problemas que se presentan en las diferentes etapas del mismo, mediante el diagrama As-Is que es una técnica de Análisis de Procesos. Con este método fue posible identificar el proceso tal como es en la actualidad.

La técnica realiza un estudio de cada etapa del proceso de producción mediante la descomposición en pasos o etapas donde se localizan las actividades que no aportan valor añadido para considerar su posible eliminación o mejoramiento.

2.5.1 Análisis del diagrama As-Is para el proceso de mástique líquido con polímero goma

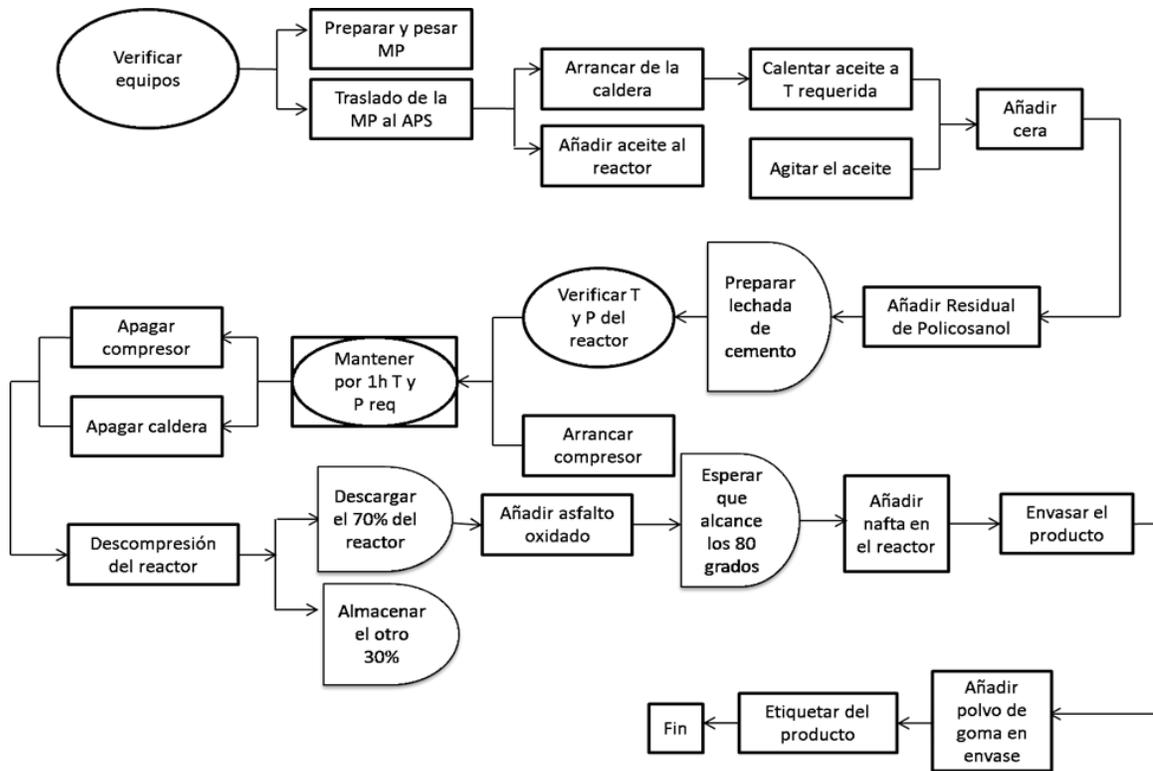
De acuerdo con la metodología propuesta se obtuvo el Diagrama As-Is (tal como es) en la etapa actual del proceso (Figura 2.1).

Como se puede observar en el Diagrama As – Is fueron detectados pasos de demora que no aportan valor al proceso, pero son imprescindibles para el mismo en particular el proceso de preparación de lechada de cemento, la descarga del reactor, el proceso de enfriamiento y al añadir el polvo de goma manualmente.

Como establece la metodología, el trabajo se centra en la eliminación o atenuación del tiempo en los procesos de demora.

Los pasos de demora no aportan valor añadido y la metodología dice que si no tienen valor se pueden eliminar, pero como en este diagrama los pasos de demora son importantes e imprescindibles, hay que reducir sus tiempos al máximo para poder mejorar el proceso.

El primer paso de demora es la preparación de la lechada de cemento, la cual se realiza en un recipiente, en el que se coloca la cantidad de agua del proceso y cemento, agitando manualmente para lograr una suspensión, que es introducida al reactor por el registro de entrada con otro recipiente más pequeño, todo lo cual demora aproximadamente 30 minutos.



Legenda:

○ Inspección

□ Operación

D Paso de demora

◻ Operación-inspección

M.P - Materia Prima

APS - Área de producción y servicio

T - Temperatura

P - Presión

Figura 2.1: Diagrama As-Is del proceso tecnológico de mástique líquido en la etapa actual (Fuente: Elaboración propia)

Para disminuir la demora en la preparación de la lechada de cemento, se propone diseñar un tanque agitado dosificador, que cumple además la función de homogenizar la suspensión en agua, filtrar el producto resultante y dosificarlo lentamente al interior del reactor, que mantiene una agitación constante. Esto permite la reducción del tiempo de operación y una mayor calidad del proceso, ya que se dosifica una suspensión más homogénea, las partículas gruesas de cemento ya no se introducen en el reactor, ni van

directamente a la válvula de salida afectando la descarga y la calidad del primer producto que sale del reactor.

Otro paso del proceso que introduce las mayores pérdidas de tiempo, son el enfriamiento y descarga del 70% del reactor. Adicionalmente, se producen pérdidas de tiempo al añadir manualmente el polvo de goma. Para solucionar estas dificultades, se recomienda el diseño de un homogenizador de mástique para que después que se descomprima completamente el reactor, sea descargado su contenido a éste, donde se enfriará el mástique semisólido y después se le añade la nafta y el polvo de goma y se homogenice el mástique líquido.

Al vaciar todo el mástique semisólido al homogenizador para hacer el mástique líquido se ahorra mucho tiempo y se puede aprovechar la energía que tiene el reactor para volver a hacer mástique semisólido, aumentando así el volumen de producción diario.

2.6 Conclusiones parciales del capítulo

1. Mediante el análisis del proceso de producción de mástique líquido con polímero goma se puede apreciar que para la demanda actual la capacidad de la planta es efectiva, pero no la mejor alternativa para satisfacer la demanda potencial existente.
2. La inexistencia de una línea de producción de mástique asfáltico, específicamente mástique líquido con polímero goma, es la principal deficiencia detectada en el proceso.
3. Mediante el análisis del diagrama As-Is se pudo detectar los pasos de demora que no aportan valor añadido al proceso pero son imprescindibles para el mismo en particular el proceso de preparación de lechada de cemento, la descarga del reactor, el proceso de enfriamiento y al añadir el polvo de goma manualmente.



los cuales se emulsionan con aceite 15W40 usado [5] formando jabón insoluble [6]. Las proporciones de cemento hidrolizado, residual de policosanol y aceite usadas en esta operación son 119:55:1540. Durante el proceso, hay que suministrar calor para elevar la temperatura hasta 150 °C y mantenerla durante 1 h, tiempo en el cual, se emulsiona la mezcla y se evapora el agua contenida en la misma.

El jabón insoluble [6] pasa entonces al mezclador (D) donde se le añade asfalto oxidado [8] que previamente ha sido fundido (E) y filtrado (F), en una proporción 1:1, obteniéndose mástique asfáltico [10]. Este proceso ocurre a una temperatura de 100 °C y una presión de 0,5 MPa.

Seguidamente, en el homogenizador (G) al mástique asfáltico [10] se le añade nafta [12], en una proporción de 1,2 L por kilogramo y polvo de goma [11] correspondiente a un 25% del volumen total. La mezcla se agita con enfriamiento por agua, hasta lograr su homogenización en forma de mástique asfáltico líquido con polímero goma. Durante este proceso se evapora 1/6 del total de la nafta incorporada [13].

Luego del control de calidad, se procede al envase del producto en recipientes plásticos de 20 L de capacidad para su comercialización.

Con esta propuesta de la línea de producción se podrá utilizar la capacidad instalada todo el tiempo, logrando de esta forma que no disminuyan los volúmenes de producción y poder cumplir con los compromisos productivos del CEAT con este producto.

3.2 Caracterización de las materias primas utilizadas

3.2.1 Residual de policosanol (CNS)

La producción de policosanol en la Agrupación de Plantas de Productos Naturales a partir de cera de caña de azúcar, constituye un proceso tecnológico industrial cuyo carácter estratégico para el país, hace de sus resultados una información clasificada de la cual aparece muy poco reportado en la literatura (García, 2005).

Los residuales de la producción del Policosanol, en general, independientemente del método de separación empleado, están compuestos por sales de ácidos grasos, ésteres no

saponificados, ácidos grasos y alcoholes superiores que no constituyen el principio activo del Policosanol, además de hidrocarburos superiores (García, 2005).

En la Tabla 3.1 se ofrece la composición de los ácidos grasos obtenidos por hidrólisis del residual con ácido sulfúrico, ya que todos estos ácidos grasos se encuentran formando jabones de potasio en el residual.

*Tabla 3.1. Ácidos grasos más importantes presentes en el residual CNS**

<i>Ácidos Grasos</i>	<i>Contenido (%)</i>	<i>Rango de variación</i>	<i>Cadenas carbonadas</i>
Ácido Palmítico	8,97	5-15	C16
Ácido Esteárico	1,77	1-3	C18
Ácido Oléico	2,75	1-5	C18 insaturado
Ácido Octacosanóico	5,46	2-8	C28
Ácido Tricontanóico	3,56	2-6	C30
Ácido Dotricontanóico	2,03	1-3	C32

3.2.2 Cemento Portland 350.

El cemento Portland es uno de los materiales de construcción en forma de concreto y hormigón. Como cemento hidráulico tiene la propiedad de fraguar y endurecer en presencia de agua, al reaccionar químicamente con ella para formar un material de buenas propiedades aglutinantes.

Los principales componentes del cemento Portland son los óxidos de calcio, silicio, aluminio, hierro (III) y magnesio. En la Tabla 3.2 se muestran las proporciones de estos óxidos en el cemento Portland 350, fabricado en Cuba.

Tabla 3.2. Principales constituyentes del cemento Portland 350

<i>Sustancias</i>	<i>Composición (%)</i>
CaO	63,49
SiO ₂	21,35
Al ₂ O ₃	4,91
Fe ₂ O ₃	4,78
MgO	0,65

Este cemento tiene una densidad aparente de 3,15 g/cm³.

3.2.3 Aceite SAE 15W40

El aceite SAE 15W40 es un aceite mineral utilizado para lubricación de motores tanto de gasolina como diesel. Las propiedades físicas de este aceite (a una temperatura de 100 °C) se muestran en la Tabla 3.4 (Totten, 2003).

Tabla 3.4 Propiedades físicas del aceite SAE 15W40 (a 100 °C)

Densidad	0,82 g/cm ³
Viscosidad	6,49 cPs
Conductividad térmica	127 W/(m·K)
Capacidad calorífica	2,1736 kJ/(kg·K)

3.2.4 Nafta industrial

Se denomina nafta a las fracciones de petróleo constituida por hidrocarburos de 5 a 10 átomos de carbono obtenidos como producto intermedio en los procesos de destilación directa o de conversión, los cuales no poseen la calidad necesaria para ser utilizada en los motores de vehículos.

Todas estas naftas se emplean como solventes o diluentes en distintas ramas industriales (Benlloch, 1986). Las propiedades de la nafta industrial se muestran en la Tabla 3.5.

Tabla 3.5 Propiedades de la nafta industrial

Densidad a 15 °C.	0,721 kg/dm ³
Capacidad calorífica	2.200 kJ/(kg·K)

3.2.5 Asfalto

El asfalto es un material de color pardo oscuro a negro en los cuales los constituyentes predominantes son bituminosos tanto naturales como derivados de la refinación del petróleo. Los asfaltos residuales, de gran uso en la industria, tienen una densidad media de 1 050 kg/m³ y un calor específico, a 93,3 °C, de 1,926 kJ/ (kg·K) (Speight, 2007).

3.3 Balances de masa del proceso tecnológico de mástique líquido con polímero goma

Los balances de masa se llevaron a cabo tomando como referencia la masa de mástique asfáltico líquido con polímero goma, m_{14} , implementándose en una hoja de cálculo, de forma tal que pueda llevarse a cabo para diferentes valores de la producción.

3.3.1 Balance de masa en el homogenizador

El balance de masa en el homogenizador (Figura 3.2) se comienza determinando la masa de nafta, m_{12} , a agregar en función de la masa de mástique asfáltico, m_{10} :

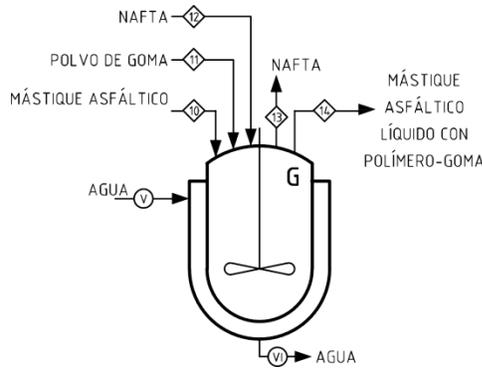


Figura 3.2 Homogenizador

$$V_{12} = \frac{m_{12}}{\rho_{nafta}} = 1,2m_{10};$$

$$m_{12} = 1,2\rho_{nafta}m_{10} = 1,2 \cdot 0,721 \times m_{10};$$

$$m_{12} = 0,8652 m_{10}. \quad (3.5)$$

Por su parte, la masa de polvo de goma, m_{11} , se calcula a partir de las proporciones volumétricas:

$$V_{11} = 0,25V_{total} = 0,25(V_{11} + V_{12} + V_{10});$$

$$\frac{m_{11}}{\rho_{goma}} = 0,25\left(\frac{m_{11}}{\rho_{goma}} + \frac{m_{12}}{\rho_{nafta}} + \frac{m_{10}}{\rho_{m.a.}}\right);$$

$$m_{11} = \left(0,3\rho_{goma} + \frac{\rho_{goma}}{3\rho_{m.a.}}\right)m_{10} = \left(0,3 \cdot 0,96 + \frac{0,96}{3 \cdot 1,029}\right)m_{10};$$

$$m_{11} = 0,5990 m_{10}. \quad (3.6)$$

Seguidamente, la masa perdida de la nafta, m_{13} , es:

$$m_{13} = \frac{m_{12}}{6} = \frac{0,8652 m_{10}}{6};$$

$$m_{13} = 0,1442 m_{10} . \quad (3.7)$$

Finalmente, la relación entre la masa de mástique asfáltico y de mástique asfáltico líquido con polímero goma se obtiene como:

$$m_{14} = m_{10} + m_{11} + m_{12} - m_{13};$$

$$m_{14} = m_{10} + 0,5990 m_{10} + 0,8652 m_{10} - 0,1442 m_{10};$$

$$m_{10} = 0,4310 m_{14} . \quad (3.8)$$

3.3.2 Balance de masa en el mezclador

El balance de masa en el mezclador se limita a calcular la masa de jabón insoluble, m_6 , y de asfalto oxidado, m_9 , en función de la de mástique asfáltico, m_{10} .

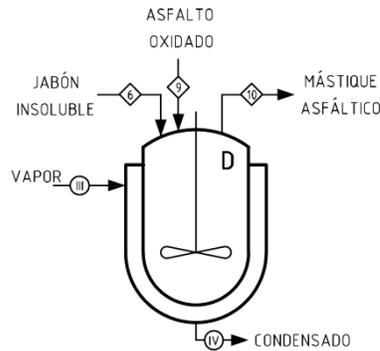


Figura 3.3 Mezclador

Como la proporción entre el jabón insoluble y el asfalto oxidado es 1:1, ambas masas son iguales:

$$m_6 = m_9; \quad (3.9)$$

de donde, se tiene que:

$$m_{10} = m_6 + m_9;$$

$$m_6 = m_9 = 0,5 m_{10} . \quad (3.10)$$

3.3.3 Balance de masa del tanque agitado dosificador y el reactor

En el dosificador (Figura 3.4), dadas las proporciones entre las masas de cemento, m_1 , y agua, m_2 , se obtiene la expresión:

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{10}{109};$$

$$m_2 = 10,9 m_1;$$

resultando una masa de cemento hidrolizado, m_3 :

$$m_3 = m_1 + m_2 = m_1 + 10,9 m_1;$$

$$m_3 = 11,9 m_1. \quad (3.11)$$

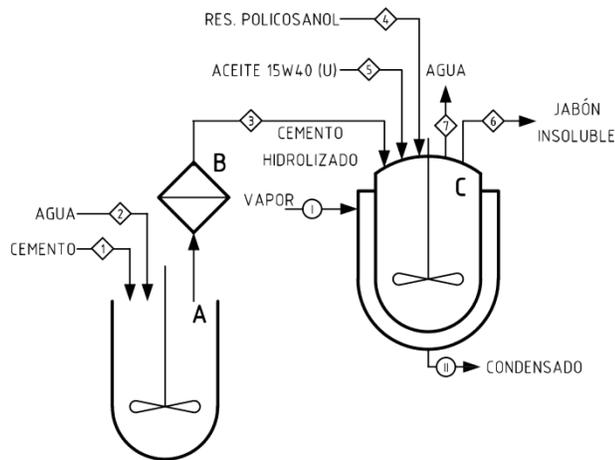


Figura 3.4 Tanque agitado dosificador y reactor

Mientras tanto, en el reactor, teniendo en cuenta las proporciones dadas, se tiene una masa de residual de policosanol, m_4 , dada por:

$$\frac{m_4}{m_1} = \frac{55}{10};$$

$$m_4 = 5,5 m_1; \quad (3.12)$$

y de aceite, dada por:

$$\frac{m_5}{m_1} = \frac{1540}{10};$$

$$m_5 = 154 m_1. \quad (3.13)$$

Una vez obtenidas las ecuaciones anteriores en función de la masa de cemento, m_1 , ésta se determina a partir de la de jabón insoluble, m_6 :

$$m_6 = m_3 + m_4 + m_5 - m_7 = m_1 + \cancel{m_2} + m_4 + m_5 - \cancel{m_2} ;$$

$$m_6 = m_1 + 5,5 m_1 + 154 m_1 = 160,5 m_1 ;$$

$$m_1 = 6,2305 \cdot 10^{-3} m_6 . \quad (3.14)$$

3.3.4 Resumen de los balances de masa

Con las ecuaciones anteriores, se puede llegar a las expresiones para calcular todas las masas en función de la masa de mástique asfáltico líquido con polímero goma, tal como se muestra en la Tabla 3.6.

Tabla 3.6 Resumen de los balances de masa

Componente	Símbolo	Relación de masa
Cemento	m_1/m_{14}	0,001343
Agua	m_2/m_{14}	0,01464
Cemento hidrolizado	m_3/m_{14}	0,01598
Residual de policosanol	m_4/m_{14}	0,007385
Aceite	m_5/m_{14}	0,2068
Jabón insoluble	m_6/m_{14}	0,2155
Agua evaporada	m_7/m_{14}	0,01464
Asfalto oxidado semisólido	m_8/m_{14}	0,2155
Asfalto oxidado fundido	m_9/m_{14}	0,2155
Mástique asfáltico	m_{10}/m_{14}	0,4310
Polvo de goma	m_{11}/m_{14}	0,2582
Nafta	m_{12}/m_{14}	0,3729
Nafta perdida por evaporación	m_{13}/m_{14}	0,06215
Mástique asfáltico líquido	m_{14}/m_{14}	1,0000

3.4 Balances de energía del proceso tecnológico

Los balances de energía incluyen la determinación de la energía térmica, suministrada en forma de vapor de agua saturado a una presión de 0,5 MPa, necesaria para los procesos

que tienen lugar en reactor y el mezclador, así como para fundir el asfalto oxidado. También se calcula el flujo de agua necesario para enfriar el mástique asfáltico líquido en el homogenizador.

3.4.1 Balance de energía en el reactor

La energía que se suministra al reactor tiene el propósito de elevar la temperatura de las sustancias hasta 150 °C y de evaporar el agua contenida en la mezcla. Como el cemento y el residual de policosanol constituyen menos del 4% de la masa total, para el cálculo sólo se tuvo en cuenta el agua y el aceite. El calor para el calentamiento es, entonces:

$$Q_C^{\text{cal}} = (c_{p,\text{agua}} m_2 + c_{p,\text{aceite}} m_5)(T_f - T_i) = (4,18 m_2 + 2,1736 m_5)(150 - 25);$$

$$Q_C^{\text{cal}} = (4,18 \cdot 0,01464 m_{14} + 2,1736 \cdot 0,2068 m_{14})(150 - 25)$$

$$Q_C^{\text{cal}} = 63,84 m_{14} \quad [\text{kJ/kg}]. \quad (3.15)$$

El calor necesario para evaporar el agua, se calcula como:

$$Q_C^{\text{eva}} = \lambda m_2 = 2108,5 \cdot 0,01464 m_{14};$$

$$Q_C^{\text{eva}} = 30,87 m_{14} \quad [\text{kJ/kg}]. \quad (3.16)$$

Según Green y Perry (2008), el calor específico del agua es 4.18 [J] y el calor latente según Keenan, (1988) es 2108.5 [kJ/kg].

Finalmente, para calcular las pérdidas, se considera que el reactor tendrá forma cilíndrica, con una relación altura/diámetro de 1,5. Las pérdidas por convección libre, en el mismo, se determinan a partir de su volumen (calculado con un margen del 20%):

$$V_C = 1,2 \left(\frac{m_2}{\rho_{\text{agua}}} + \frac{m_5}{\rho_{\text{aceite}}} \right) = 1,2 \left(\frac{0,01464 m_{14}}{1000} + \frac{0,2068 m_{14}}{820} \right);$$

$$V_C / m_{14} = 0,3202 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg}. \quad (3.17)$$

A partir del volumen se calculan las dimensiones del reactor:

$$V_C = \frac{\pi}{4} D_C^2 H_C = \frac{\pi}{4} D_C^2 \cdot \frac{3}{2} D_C = \frac{3\pi}{8} D_C^3;$$

$$D_C = \sqrt[3]{\frac{8}{3\pi} V_C}; \quad (3.18a)$$

$$H_C = \sqrt[3]{\frac{9}{\pi} V_C} . \quad (3.18b)$$

Estableciendo una temperatura para la pared del equipo de 50 °C (323 K), se toman las propiedades del aire: $\nu = 18,20 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$, $k = 28,00 \cdot 10^{-3} \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$; $\alpha = 25,90 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ y $Pr = 0,7038$. Con las dimensiones anteriormente calculadas, se procede a determinar los números de Rayleigh para cada una de las superficies del cilindro (Incropera, 2006):

$$Ra_{\text{tapa}} = Ra_{\text{base}} = \frac{g\beta(T_w - T_\infty)(D_C / 4)^3}{\alpha\nu} = 2,5168 \cdot 10^7 D_C^3;$$

$$Ra_{\text{lateral}} = \frac{g\beta(T_w - T_\infty)H_C^3}{\alpha\nu} = 5,4364 \cdot 10^9 D_C^3;$$

y los correspondientes números de Nusselt:

$$Nu_{\text{tapa}} = 0,15Ra_{\text{tapa}}^{1/3} = 43,96D_C;$$

$$Nu_{\text{base}} = 0,27Ra_{\text{base}}^{1/4} = 19,12D_C^{3/4};$$

$$Nu_{\text{lateral}} = \left\{ 0,825 + \frac{0,387Ra_{\text{lateral}}^{1/6}}{[1 + (0,492 / Pr)^{9/16}]^{8/27}} \right\}^2 = (0,825 + 13,59D_C^{1/2})^2 .$$

Con los números de Nusselt, se calculan los coeficientes de transferencia de calor:

$$h_{\text{tapa}} = \frac{Nu_{\text{tapa}}k}{D_C / 4} = 4,923;$$

$$h_{\text{base}} = \frac{Nu_{\text{base}}k}{D_C / 4} = 2,1504 / D_C^{1/4};$$

$$h_{\text{lateral}} = \frac{Nu_{\text{lateral}}k}{H_C} = 0,0187 \frac{(0,825 + 13,59D_C^{1/2})^2}{D_C};$$

y, dadas las respectivas áreas, los flujos de calor:

$$q_{\text{tapa}} = h_{\text{tapa}} A_{\text{tapa}} (T_w - T_\infty) = 96,67 D_C^2;$$

$$q_{\text{base}} = h_{\text{base}} A_{\text{base}} (T_w - T_\infty) = 42,22 D_C^{7/4};$$

$$q_{\text{lateral}} = h_{\text{lateral}} A_{\text{lateral}} (T_w - T_\infty) = 0,3672 (0,825 + 13,59D_C^{1/2})^2 D_C .$$

El calor perdido, entonces, se calcula para el tiempo de permanencia, τ .

$$Q_C^{\text{per}} = (q_{\text{tapa}} + q_{\text{base}} + q_{\text{lateral}})\tau;$$

$$Q_C^{\text{per}} = [348D_C^2 + 152D_C^{7/4} + 0,3672(0,825 + 13,59D_C^{1/2})^2 D_C]\tau; \quad (3.19)$$

donde el calor perdido está en kJ y el diámetro en m.

Entonces, el calor total consumido por el reactor se calcula por:

$$Q_C = Q_C^{\text{cal}} + Q_C^{\text{eva}} + Q_C^{\text{per}}. \quad (3.20)$$

3.4.2 Balance de energía en el mezclador

El calor necesario para el calentamiento de los materiales en el mezclador se calculan como:

$$Q_D^{\text{cal}} = (m_5 c_p^{\text{aceite}} + m_8 c_p^{\text{asfalto}})(T_f - T_i) = (0,2068 \cdot 2,174 m_{14} + 0,2155 \cdot 1,926 m_{14})(150 - 100);$$

$$Q_D^{\text{cal}} = 43,23 m_{14} \quad [\text{kJ/kg}]. \quad (3.21)$$

El otro requerimiento de calor está dado para las pérdidas. El volumen se calcula como:

$$V_D = 1,2 \left(\frac{m_5}{\rho_{\text{aceite}}} + \frac{m_8}{\rho_{\text{asfalto}}} \right) = 1,2 \left(\frac{0,2068 m_{14}}{820} + \frac{0,2155 m_{14}}{1050} \right);$$

$$V_D / m_{14} = 5,4892 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{kg}. \quad (3.22)$$

Asumiendo una relación 3:2 entre la altura y el diámetro del mezclador, se calculan estas dimensiones a partir de su volumen:

$$V_D = \frac{\pi}{4} D_D^2 H_D = \frac{\pi}{4} D_D^2 \cdot \frac{3}{2} D_D = \frac{3\pi}{8} D_D^3;$$

$$D_D = \sqrt[3]{\frac{8}{3\pi} V_D}; \quad (3.23a)$$

$$H_D = \sqrt[3]{\frac{9}{\pi} V_D}. \quad (3.23b)$$

Para una temperatura de pared igual a la asumida para el reactor, el calor perdido está dado por la expresión (3.19), sustituyendo el diámetro del reactor por el del mezclador:

$$Q_D^{\text{per}} = 174D_D^2 + 76D_D^{7/4} + 0,1836(0,825 + 13,59D_D^{1/2})^2 D_D. \quad (3.24)$$

3.4.3 Balance de energía en el calentador de asfalto

La energía consumida en el calentador de asfalto se calcula a partir del calor específico de esta material, su masa y el incremento de temperatura:

$$Q_E = Q_E^{\text{cal}} = c_p^{\text{asfalto}} m_8 (T_f - T_i) = 2,2 \cdot 0,2155 m_{14} \cdot (100 - 25);$$

$$Q_E = 35,56 m_{14} \quad [\text{kJ/kg}]. \quad (3.25)$$

3.4.4 Cálculo de la cantidad de vapor consumida

La cantidad de vapor necesaria para garantizar el calor requerido en los pasos anteriores, se calcula a partir de la entalpía de ebullición a la presión de trabajo (0,5 MPa):

$$Q_C + Q_D + Q_E = \lambda m_V;$$

$$m_V = \frac{Q_C + Q_D + Q_E}{2108,5}. \quad (3.26)$$

3.4.5 Cálculo de la cantidad de agua consumida para enfriamiento

En el homogenizador ocurre una disminución de la temperatura de la mezcla desde 100 °C hasta 80 °C, para lo cual se utiliza una corriente de agua que entra a temperatura ambiente (25 °C) y sale a 45 °C. Esta cantidad de calor cedida es igual a:

$$Q_G^{\text{enf}} = (m_8 c_p^{\text{asfalto}} + m_5 c_p^{\text{aceite}}) (T_i - T_f);$$

$$Q_G^{\text{enf}} = (0,2155 \cdot 2\,200 m_{14} + 0,2068 \cdot 2,1736 m_{14}) (100 - 80);$$

$$Q_G^{\text{enf}} = 18,472 m_{14} \quad [\text{kJ/kg}]. \quad (3.27)$$

Consecuentemente, la cantidad de agua requerida es:

$$Q_G^{\text{enf}} = c_p^{\text{agua}} m_{\text{agua}} (T_f^{\text{agua}} - T_i^{\text{agua}});$$

$$m_{\text{agua}} = \frac{Q_G^{\text{enf}}}{c_p^{\text{agua}} (T_f^{\text{agua}} - T_i^{\text{agua}})} = \frac{18,472 m_{14}}{4,186 \cdot (45 - 25)};$$

$$m_{\text{agua}} = 0,2206 m_{14}. \quad (3.28)$$

3.5 Análisis de los resultados de los balances de masa y energía

La producción de la línea se tomó en base a la demanda potencial estimada de 132 000 L/anuales, lo que para un turno diario de producción semanal con tres templas correspondería a una carga de 936,57 kg.

Con las ecuaciones (3.5-3.14) se obtienen las masas y volúmenes mostrados en la Tabla 3.7.

Tabla 3.7 Resultado de los balances de masa

<i>Componente</i>	<i>Masa [kg]</i>	<i>Densidad [kg/m³]</i>	<i>Volumen [L]</i>
Cemento	1,26	---	---
Agua	13,71	1 000	13,71
Cemento hidrolizado	14,97	1 000	14,97
Residual de policosanol	6,92	---	---
Aceite	193,68	820	236,20
Jabón insoluble	201,83	820	246,14
Agua evaporada	13,71	---	---
Asfalto oxidado semisólido	201,83	1 050	192,22
Asfalto oxidado fundido	201,83	1 050	192,22
Mástique asfáltico	403,66	1 029	392,29
Polvo de goma	241,82	960	251,90
Nafta	349,25	720	485,07
Nafta perdida por evaporación	58,21	720	80,84
Mástique asfáltico líquido	936,57	894	1047,62

Por su parte, los balances de energía se realizan con las expresiones mostradas en la sección 3.4. Los resultados, para el reactor, el mezclador y el calentador de asfalto se muestran en las Tablas 3.8 a la 3.10.

Tabla 3.8 Balance energético en el reactor

<i>Parámetro</i>	<i>Valor</i>
Calor para calentamiento	59 790,72 kJ
Calor para evaporación	28 911,96 kJ
Calor de pérdida	431,64 kJ
Calor total	85 565,96 kJ

Tabla 3.9 Balance energético en el mezclador

<i>Parámetro</i>	<i>Valor</i>
Calor para calentamiento	40 487,98 kJ
Calor de pérdida	609,42 kJ
Calor total	41 097,40 kJ

Tabla 3.10 Balance energético en el calentador de asfalto

<i>Parámetro</i>	<i>Valor</i>
Calor para calentamiento	33 304,48 kJ
Calor total	33 304,48 kJ

Finalmente, en las Tabla 3.11 se muestran los consumos necesarios de vapor y de agua de enfriamiento requeridos para el proceso.

Tabla 3.11 Consumos de vapor y agua de enfriamiento

Calor consumido	163 764,66 kJ
Consumo de vapor	77,67 kg
Calor cedido	17 300,35 kJ
Consumo de agua	206,61 kg

Todos los parámetros anteriormente mostrados se determinaron usando una hoja de cálculo de Microsoft Excel, lo cual permite hallar estos valores para cualesquiera otras condiciones de producción.

3.6 Análisis económico

3.6.1 Evaluación de la eficiencia de producción en el caso base propuesto

Hay diversos criterios para medir la eficiencia de la producción, los indicadores más conocidos son la ganancia (G), la rentabilidad (Rn) y el costo por peso producido (C/p). Estos indicadores han sido planteados por Brizuela, (1987), (Peters, 1991) y Turton, (1998) y dentro de ellos se destacan:

1. *Ganancia* (G): Obtener ganancia es condición indispensable para considerar que la producción es eficiente. Este indicador se determina mediante la siguiente ecuación:

$$G = VP - CP; \quad (3.29)$$

donde VP es el valor de la producción ($\$/año$) y CP el costo de producción ($\$/año$). A su vez, el valor de la producción se determina como:

$$VP = pup \cdot N; \quad (3.30)$$

Siendo pup el precio unitario del producto ($\$/año$) y N el volumen de producción ($kg/año$). El costo de producción, por su parte, se calcula como:

$$CP = cuv \cdot N + CF; \quad (3.31)$$

donde cuv es el costo unitario variable y CF los costos fijos totales.

2. *Rentabilidad* (Rn): La rentabilidad de un proceso productivo se determina a partir de la ganancia y los costos de producción, según la expresión:

$$Rn = \frac{G}{CP} \cdot 100. \quad (3.32)$$

3. *Costo por peso producido* (C/p): En términos económicos, el costo por peso es lo que se gasta en producir un peso del valor de la producción. Se determina por la siguiente expresión:

$$C / p = \frac{CP}{VP}. \quad (3.33)$$

Este valor obtenido debe ser menor que 1 para que la producción sea económicamente factible.

3.6.2 Análisis de los principales indicadores de la producción

A continuación en la Tabla 3.12 se muestran los principales resultados del análisis económico.

Tabla 3.12. Resultados del análisis económico.

<i>Principales indicadores</i>	<i>Valor</i>
Costo de producción (CP) (\$/año)	8 6169,6
Valor de la producción (VP) (\$/año)	94 003,2
Volumen de producción (N) (L/año)	24 480
Ganancia (\$/año)	7 833,6
Rentabilidad (Rn) (%)	9,09
Costo por peso de producido (C/p).	0,92

Fuente: Elaboración propia.

Los datos para el cálculo se tomaron de la ficha de costo correspondiente al producto mástique asfáltico líquido con polímero goma. (Anexo #3).

Al analizarse los principales indicadores de eficiencia económica de la producción, puede observarse que la ganancia es de 7 833,6 \$/año, que es una ganancia positiva aunque no es muy significativa esto se debe a que la ganancia se limita por la ficha de costo que responde a la Resolución Conjunta 1/2005 del Ministerio de Economía y Planificación y el Ministerio de Finanzas y Precios la cual establece que se pueden tener ganancias del 20% para la moneda nacional y del 10% para la divisa, unificándose ambas monedas en un valor unitario.

La rentabilidad es de un 9,09%. Para la industria química se considera aceptable la rentabilidad que se encuentre entre 20 y 35%. En este caso la rentabilidad es baja debido a que se obtiene un valor de ganancia bajo, limitada por la ficha de costo país antes citada.

Por otra parte el costo por peso producido es de 0,92, lo cual se considera un valor aceptable.

Puede considerarse que la propuesta del caso base para la línea de mástique asfáltico líquido con polímero goma es económicamente factible ya que cumple con todos los indicadores de eficiencia económica de la producción.

Los rangos establecidos para los indicadores económicos han sido planteados por Brizuela, (1987), Peters, (1991) y Turton, (1998).

3.6.3 Análisis de la estructura de costo.

A continuación en la Tabla 3.13 aparece la estructura de costo, con su gráfico correspondiente, donde puede determinarse el costo que más influencia tiene en el costo total de producción.

Tabla 3.13. Estructura de costo.

		%
Materias Primas y Materiales.	1,39	39,60
Otros Gastos directos.	0,25	7,12
Gastos de Distribución y Venta.	1.25	35,61
Gastos Bancarios.	0,06	1,71
Gastos de la Fuerza de Trabajo.	0,17	4,84
Gastos Indirectos de Producción.	0,33	9,40
Gastos Generales y de Administración.	0,06	1,71

Fuente: Elaboración propia.

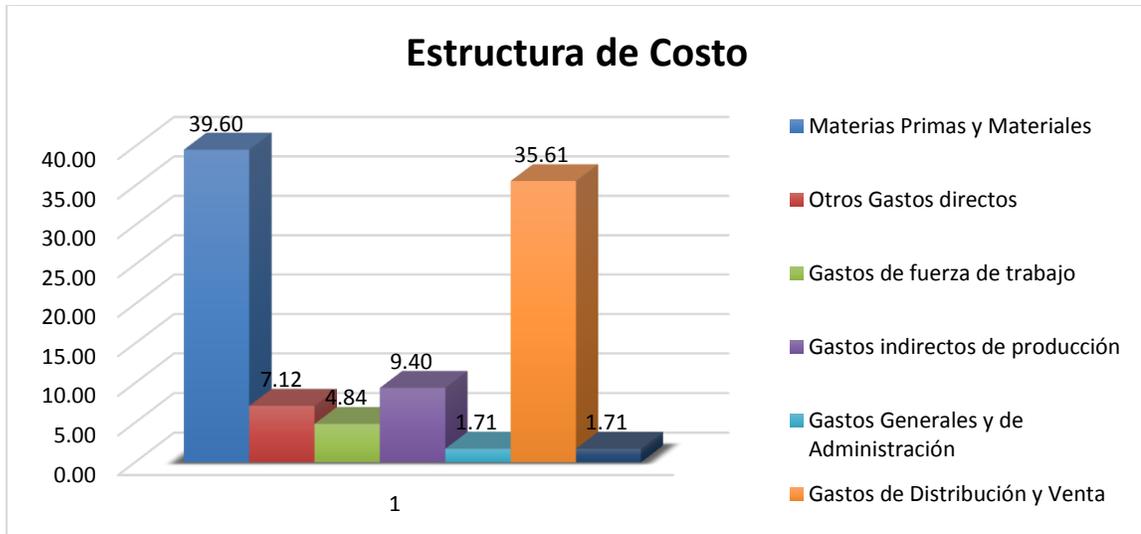


Figura 3.5. Estructura de costo

Como se puede observar, los tres costos que más influencia tienen sobre el costo total de producción son:

1. Costo de materias primas y materiales (39,60%)
2. Costo de Distribución y Venta (35,61%)
3. Costos indirectos de producción (9,40%)

3.7 Conclusiones parciales del capítulo

A finalizar el siguiente capítulo se pueden arribar a las siguientes conclusiones:

1. Se propuso un diagrama de flujo del caso base para la producción de mástique asfáltico líquido con polímero goma.
2. A través de los balances de masa y energía se determinaron los consumos y producciones de todos los componentes involucrados en el proceso, así como los consumos de energía en forma de vapor de agua y de agua de enfriamiento.
3. Se implementó una hoja de cálculo que permite calcular los balances antes mencionados no solo para las condiciones de producción estimadas sino para cualquier otra que tenga lugar en el futuro.
4. Se realizó el análisis económico de los principales indicadores de la producción resultando una ganancia de 7 833,6 \$/año, una rentabilidad de 9,09% y un costo por peso producido de 0,92, considerándose que la propuesta del caso base para la producción de mástique asfáltico líquido con polímero goma es económicamente factible, aunque con un valor de ganancia bajo, establecido por la ficha de costo aprobada para todo el país.

CONCLUSIONES

Como resultado de este trabajo se pudo arribar a las siguientes conclusiones:

1. La aplicación de la técnica de análisis de procesos As-Is permitió identificar como principal deficiencia del proceso actual la inexistencia de la línea de producción de mástique líquido con polímero goma.
2. A través de los balances de masa y energía, realizados mediante una hoja de cálculo implementada al efecto, se determinaron los consumos y producciones de todos los componentes involucrados en el proceso para el caso base propuesto, así como los consumos de energía en forma de vapor de agua y de agua de enfriamiento.
3. El análisis económico preliminar mostró que el proceso productivo propuesto como caso base es económicamente factible, aunque se requerirá un análisis económico detallado según avance el diseño de la planta.

RECOMENDACIONES

Con el objetivo de mejorar y ampliar los resultados de este trabajo, se proponen las siguientes recomendaciones:

1. Desarrollar el diseño detallado de los equipamientos de la línea de producción propuesta, desarrollando los correspondientes análisis económicos.
2. Analizar la posibilidad de automatizar los procesos productivos propuestos con el objetivo de incrementar la eficiencia y la fiabilidad de los mismos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

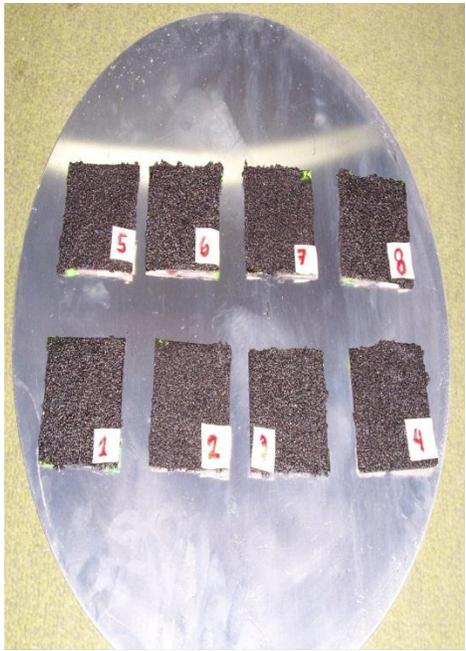
- Annamalai, K.; Puri, I.K., 2002, Advanced Thermodynamics Engineering - CRC series in computational mechanics and applied analysis, CRC Press, Boca Ratón, FL (USA), ISBN 0-8493-2553-6.
- Buras, *et al*, (2004). Patente No 20040152805. Dispersing agent and method for the delivery of cross-linking agent to polymer modified asphalt compositions. United States Patent Application, December 9.
- Cahill, P. J. (2002). Patente No 200201177663: Composites for railroad ties and other products. United States Patent Application. November 28.
- Chopey N.P. (2004), Handbook of chemical engineering calculations (3rd Ed.), McGraw-Hill, Inc., New York (USA), ISBN 0-07-159313-6.
- Coe, William B. (2010). Patente No 20100168274. Asphalt – Rubber compositions and systems and methods for preparing same. United States Patent Application. July 1.
- Colvin, Howard Allen, *et al*, (2003). Patente No 20030203997. Modification of asphalt cement. United States Patent Application. October 30.
- Cruz Viera, Luís; Pons Hernández, Antonio, (1990). *Introducción a la Ingeniería Química*. Tomo II. Editorial Pueblo y Educación. Ciudad de La Habana.
- Domínguez, *et al*, (1987). Introducción a la corrosión y protección de metales. La Habana, Editorial EMPES.
- Echeverría, C, *et al*, (2007). Grasas de conservación temporal DISTIN. Resultados y sus aplicaciones. CD de Monografía. Matanzas, Universidad de Matanzas. ISBN 978 – 959 – 16 – 0632 – 7.
- Echeverría, C. (2009). Informe del CEAT a la dirección de ciencia y técnica- MES. Importancia del financiamiento de los productos para brindar el servicio DUCAR.
- Echeverría, C, *et al*, (2011). Materiales Compuestos de Matriz Asfáltica Modificada con Polímero Goma para la Industria de Materiales.

- Echeverría, C, *et al*, (2012). *Demanda y oferta tecnológica de productos y servicios anticorrosivos para la Unión Eléctrica*. Experiencia del CEAT de la Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”. Revista Nueva Empresa. Revista Cubana de Gestión Empresarial. Volumen 7, No 3, ISSN: 1682 – 2455. Pág.74-80.
- Espada, L. R. (2005). La corrosividad atmosférica: zonas costeras, de interior y agresivas. Ficha Técnica DISTIN 404 L.
- García, P, Luis. (2005). Residuales de la producción de policosanol. Matanzas. 120h. Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Químicas. Universidad de Girona, España. Universidad de Matanzas, Cuba.
- González, Y. (1995). Obtención y evaluación de grasas de conservación sólidas en planta piloto. Aplicación en la técnica. Trabajo de diploma, Matanzas.
- Green, D. W.; Perry R.H. (2008). *Perry's Chemical Engineers Handbook* (8th Ed.), McGraw-Hill, New York (USA), ISBN 0-07-159313-6.
- Frank P. Incropera, David P. DeWitt, Theodore L. Bergman, Adrienne S. Lavine (2006). *Fundamentals of heat and mass transfer*, 6th Ed. John Wiley & Sons, New York (USA), ISBN 0-471-30458-1.
- Keenan, J. H.; Keyes, F. G.; Hill, P. G.; Moore, J. G. (1988). *Steam Tables. Thermodynamic Properties of Water Including Vapor, Liquid and Solid Phases*. Edición Revolucionaria.
- Kubicky, *et al*, (2002). Patente No 20020147255. Rubber mixture. United States Patent Application, October 10.
- Murthy, J.Y. (2002). *Numerical Methods in Heat, Mass, and Momentum Transfer - Draft Notes*, School of Mechanical Engineering, Purdue University, West Lafayette, IN (USA).
- Partanen, J. E. (2005). Patente 20050027046: Recycled tire rubber emulsions and processes for making them. United States Patent Application. February 3.
- Patente Cubana 143/94: Composición de recubrimientos y procedimiento de obtención.

- Reyes, F. y Lizarazo, C. (2006). Caracterización dinámica de asfaltos con y sin polímeros, Grupo CECATA. Universidad Javeriana.
- Roberge, P.R. (2000). Handbook of Corrosion Engineering, McGraw-Hill, New York (USA), ISBN 0-07-076516-2.
- Roca, X. (2005). Estudio de la aplicabilidad de materiales compuestos avanzados en la construcción de edificios industriales. Departamento de Ingeniería de la Construcción. Barcelona, Universidad Politécnica de Cataluña: 255.
- Rodríguez *et al.* (2006). "Desarrollo de aditivos para asfaltos modificados con bajos contenidos de hule." Publicación Técnica 160.
- Sagaró, R., L. Olivares, et al. (2004). "Evaluación y desarrollo de materiales compuestos de matriz polimérica con rellenos cubanos (Primera parte)." Tecnología Química 44(2): 24-36.
- Speight J. G. (2007) "Asphalts". In: Petroleum Technology. Hoboken, NJ (USA): John Wiley & Sons. ISBN 278-0-470-13402-3.
- Sylvester, Laurence M. (2003). Patente No 20030018106. Aqueous asphalt emulsions containing liquefied or devulcanized recycled rubber. United States Patent Application. January 23.
- Tonda, M. (2006). Asfaltos modificados con polímeros. Monografía.
- Totten G E, Vestbrook SR, Shah R J (eds) (2003). Fuels and Lubricants Handbook: Technology, Properties, Performance, and Testing. ISBN 978-0-803120969.
- Trischler, W. 1998. Mejora del valor añadido en los procesos. Ediciones Gestión 2000 S.A., Barcelona.

ANEXOS

Anexo #1: Ubicación de Ensayos a la Intemperie y Muestras de ensayo del MAP antes de la evaluación.

Ubicación de Ensayos a la Intemperie y Muestras de ensayo del MAP antes de la evaluación.	
	
<p>Fig. 1. Estación de Ensayo Varadero. Hotel Puntarenas. Se observa a la izquierda la salida Canal de Paso Malo.</p>	<p>Fig. 2. Muestras antes de ser sometidas a los ensayos a la intemperie en la Estación de Ensayos de Varadero.</p>

Anexo #2: Muestras de ensayo del MAP después de la evaluación y aplicación

Muestras de ensayo del MAP después de la evaluación y aplicación	
 A photograph showing eight small, dark, rectangular samples of MAP material arranged in a 2x4 grid on a white wall. Each sample is labeled with a number from 1 to 8 on a small white card placed in front of it. The samples appear to be made of a dark, textured material.	 A close-up photograph of a dark, textured surface, likely the interior of a door. The surface is covered with a dark, granular material, which is the application of the MAP material. The texture is rough and uneven, with some lighter spots visible.
<p>Fig. 3. Muestras después de ser sometidas a los ensayos a la intemperie en la Estación de Ensayos de Varadero.</p>	<p>Fig.4. Aplicación en la Conservación del Transporte. DISTIN 403 L en el interior de una puerta.</p>

Anexo #3: Ficha de costo del producto

FICHA PARA DETERMINAR EL PRECIO Y SU COMPONENTE EN PESOS CONVERTIBLES.			
EMPRESA: UMCC	Código: DISTIN 404 L.		
Organismo: MES Plan de Produc: 6 000 L	Capac. Instalada: 12000 L		
Producto o Servicio: Producto.	% utiliz. Capacidad: 50		
Código Prod o Serv.: Mástique Asfáltico Liq., 20 L UM: \$/L.	Producc.Period. Anterior		
Concepto de gastos	Fila	Total Unitario	De ello: CUC
1	2	3	4
Materias Primas y Materiales	1	1.39	0.42
Materia Prima y materiales fundamentales	1.1	1.08	0.36
Combustible y Lubricantes	1.2	0.12	0.06
Energía Eléctrica	1.3	0.16	0.00
Agua	1.4	0.03	0.00
Sub total (Gastos de elaboración)	2	2.13	0.39
Otros Gastos directos	3	0.25	0.02
Depreciación	3.1	0.21	0.00
Arrendamiento de equipos	3.2	0.00	0.00
Ropa y calzado (trabajadores directos)	3.3	0.04	0.02
Gastos de fuerza de trabajo	4	0.17	0.00
Salarios	4.1	0.14	0.00
Vacaciones	4.2	0.01	0.00
Impuesto utilización de la Fuerza de trabajo.	4.3	0.01	0.00
Contribución a la seguridad social.	4.4	0.02	0.00
Estimulación en pesos convertibles	4.5	0.00	0.00
Gastos indirectos de producción	5	0.33	0.06
Depreciación	5.1	0.00	0.00
Mantenimiento y Reparación	5.2	0.10	0.06
Gastos Generales y de Administración	6	0.06	0.03
Combustible y Lubricantes	6.1	0.04	0.02
Energía Eléctrica	6.2	0.01	0.00
Depreciación	6.3	0.00	0.00
Ropa y Calzado (trabaj. Indirectos)	6.4	0.00	0.00
Alimentos	6.5	0.00	0.00
Otros	6.6	0.02	0.01
Gastos de Distribución y Venta	7	1.25	0.27
Combustible y Lubricantes	7.1	0.03	0.02
Energía Eléctrica	7.2	0.01	0.00
Depreciación	7.3	0.00	0.00
Ropa y Calzado (trabaj. Indirectos)	7.4	0.00	0.00
Otros	7.5	1.21	0.26
Gastos Bancarios	8	0.06	0.01
Gastos Totales o Costo de producción	9	3.52	0.81
Margen utilidad S/ base autorizada	10	0.32	
Precio según lo establecido por el MFP	11	3.84	
% Sobre el gasto en divisa (hasta el 10 %)	12		0.08
Componente total en pesos convertibles	13		0.89