

Universidad de Matanzas Sede " Camilo Cienfuegos "

Facultad de Ciencias Técnicas

Departamento: Ingeniería Química



Trabajo de Diploma

*Diseño de un tanque de almacenamiento de
asfalto para la producción de Mástique Asfáltico*

Autor: Dayro Travieso Rojas.

Tutor: Ing. Adel Ortega Echeverría.

Dr. C Carlos Echeverría Lage.

Matanzas, Cuba

Julio 2015

Declaración de Autoridad:

Yo Dayro Travieso Rojas declaro que soy el único autor de este Trabajo de Diploma presentado en opción al título de Ingeniero Químico y autorizo al Departamento de Química e Ingeniería Química, perteneciente a la Universidad de Matanzas Sede “Camilo Cienfuegos”, a hacer uso del mismo con los fines que estimen convenientes.

Firma del estudiante:

Fecha:

Nota de aceptación

Presidente del Tribunal:

Firma:

Miembro del Tribunal:

Firma:

Miembro del Tribunal:

Firma:

Ciudad:

Fecha:

Pensamiento:

“Compartir el conocimiento es una acción de seres inteligentes, que han comprobado que el conocimiento es un bien que crece a medida que se le comparte”

Mario Héctor Vogel.

Dedicatoria:

A mis padres que siempre soñaron este momento tanto como yo, por su gran ayuda, por estar siempre ahí cuando los necesité, por su inmenso amor.

A mi hermano que todavía le queda un largo camino por recorrer, para que le sirva de ejemplo en su vida y sea una guía e impulso para llegar al final.

A mi familia por tantos años de cariño, cuidado y consejos.

A todos los que como yo están felices en este momento y que de alguna forma me han apoyado para que logre mis sueños.

Agradecimientos:

Le agradezco a mis padres que son lo más grande que tengo, por su ayuda, por nunca haberme dado un no como respuesta, siempre que fuese para conseguir este triunfo.

A mi hermano, abuelos, tíos y primos por formar parte de mi vida, por haber estado ahí en los peores momentos y siempre haberme brindado su apoyo.

A mi novia por su cariño y comprensión.

A mi tutor Ing. Adel Ortega Echeverría por su ayuda, dedicación, y sobre todo paciencia durante todo el tiempo de preparación del Trabajo de Diploma.

A todos los profesores de la facultad por contribuir con mi formación profesional.

Al Ing. Michel Estévez Espinosa y al Ing. Ángel Tápanes por su ayuda y dedicación en todo el período de preparación del Trabajo de Diploma.

A todos los que de alguna forma me han brindado su mano amiga y han formado parte de mi vida y de mis sueños,

“A todos Muchas Gracias”

Resumen

La Planta Piloto de la Universidad de Matanzas constituye objeto de estudio de la presente investigación. El objetivo general es: diseñar un tanque de almacenamiento de asfalto para mejorar las condiciones del proceso de producción del Mástique Asfáltico en la Planta Piloto, para cumplir con los indicadores de eficiencia económica de la inversión. Para dar cumplimiento al objetivo general planteado es necesario la utilización de varios métodos y herramientas como son: revisión de documentos, observación directa, entrevista, diagrama As-Is, método de Runge-Kutta de cuarto orden, cálculo del VAN, TIR y PRI. Para el procesamiento de la información se utilizaron los software Microsoft Office Visio 2010, AutoCAD y Microsoft Excel. Entre los principales resultados obtenidos se puede señalar que el tanque de asfalto una vez diseñado se demorará 4 horas en calentar toda la masa de asfalto. Se decide agregarle el aislante lana de roca para lograr un ahorro de las pérdidas a través de la pared del tanque de 2888,5 W. Se diseña un serpentín que permita una mayor área de transferencia de calor y que a su vez brinde un calentamiento uniforme del asfalto.

Summary

The Plant Pilot of the University of Matanzas constitutes object of study of the present investigation. The general objective is: to design a tank of asphalt storage to improve the conditions of the process of production of Asphaltic Mastic in the Plant Pilot, to fulfill the indicators of economic efficiency of the investment. To give execution to the general outlined objective it is necessary the use of several methods and tools like they are: revision of documents, direct observation, interviews, diagram As-Is, method of Runge-Kutta of fourth order, calculation of VAN, TIR and PRI. For the prosecution of the information they were used the software Microsoft Office Visio 2010, AutoCAD and Microsoft Excel. Among the obtained main results you can point out that the asphalt tank once designed he will take a long time 4 hours in heating all the asphalt mass. Decides to add her the insulating rock wool to achieve a saving of the losses through the wall of the tank of 2888,5 W. a serpentine is designed that allows a bigger area of transfer of heat and that in turn it offers an uniform heating of the asphalt.

Índice:

Introducción.....	1
Capítulo 1: Marco teórico conceptual referente a los mástiques asfálticos y el diseño de un tanque para el almacenamiento del asfalto	6
1.1 Antecedentes.....	6
1.2 Generalidades de los mástiques asfálticos.....	7
1.3 Materiales compuestos de matriz asfáltica modificados con polímeros	8
1.4 Componentes de los mástiques asfálticos.....	9
1.4.1 Asfaltos.....	9
1.4.2 Polímeros	11
1.4.3 Polvo de goma de neumáticos como relleno.....	13
1.5 Desarrollo de los mástiques asfálticos en Cuba	13
1.5.1 Los mástiques asfálticos en el contexto actual del desarrollo	14
1.6 Desarrollo de los mástiques asfálticos con patentes internacionales	15
1.7 Leyes de la termodinámica.....	15
1.7.1 Principio cero de la termodinámica.....	16
1.7.2 Primera ley de la termodinámica	17
1.7.3 Segunda ley de la termodinámica	17
1.7.4 Tercera ley de la termodinámica	18
1.8 Fundamentos de los procesos de transferencia de calor	19
1.8.1 Mecanismos de transferencia de calor	19
1.9 Tanques para almacenamientos de asfalto.....	23
1.10 Métodos empleados para el desarrollo del trabajo	24
1.10.1 Diagrama As- Is.....	24
1.10.2 Selección de la metodología utilizada para el diseño del tanque de almacenamiento.....	24
1.10.3 Valoración económica de la inversión	24
1.11 Conclusiones parciales del capítulo	25
Capítulo 2: Diagnóstico de la línea de producción de mástique asfáltico. Metodología para el diseño de un tanque de almacenamiento de asfalto	27
2.1 Descripción de la instalación	27
2.2 Proceso tecnológico de mástique asfáltico.....	27
2.2.1 Descripción de la línea de producción de mástique asfáltico	29
2.3 Materiales y Métodos.....	32

2.3.1 Características de las materias primas.....	32
2.3.2 Metodología para el diseño de un tanque de almacenamiento de asfalto con serpentín.....	34
2.4 Diseño mecánico del tanque	42
2.4.1 Tensión de flexión	42
2.4.2 Distribución mecánica del área de transferencia de calor	44
2.4.3 Diseño de las tapas para el tanque de almacenamiento de asfalto	44
2.5 Área real de transferencia de calor.....	45
2.6 Valoración económica de la inversión	45
2.6.1 Valor Actual Neto (VAN).....	45
2.6.2 Tasa Interna de Retorno (TIR)	46
2.6.3 Plazo de Recuperación de la Inversión (PRI).....	46
2.7 Conclusiones parciales.....	46
Capítulo 3: Diseño del tanque para el almacenamiento del asfalto	48
3.1 Diseño del tanque de almacenamiento de asfalto	48
3.1.1 Cálculo de las dimensiones del tanque	48
3.1.2 Cálculo de las pérdidas de calor del tanque al medio ambiente.....	49
3.1.3 Cálculo del área teórica de transferencia de calor.....	54
3.1.4 Cálculo del número de tubos teóricos necesarios para el diseño.....	55
3.1.5 Cálculo del tiempo del asfalto en alcanzar la temperatura requerida en el tanque para el proceso.....	56
3.2 Diseño mecánico	58
3.2.1 Cálculo de la tensión de flexión.....	58
3.2.2 Distribución mecánica del área de transferencia de calor	59
3.2.3 Diseño mecánico de las tapas para el tanque.....	61
3.3 Cálculo del área real de transferencia de calor	62
3.4 Análisis de los resultados	63
3.5 Valoración económica de la inversión	64
3.5.1 Cálculo del valor actual neto	64
3.5.2 Cálculo de la tasa interna de retorno.....	66
3.5.3 Cálculo del plazo de recuperación de la inversión	66
3.5.4 Análisis de los resultados	66
3.6 Conclusiones parciales.....	67
Conclusiones	68

Recomendaciones.....	69
Bibliografía.....	70
Anexos	

Introducción

Los mástiques asfálticos son materiales compuestos que están constituidos básicamente por más de un material o 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, 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; 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 polímero 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, 2007)

La producción de dicho producto ha alcanzado una demanda elevada, debido a que resulta imprescindible en el proceso de construcción de edificaciones, ya que son materiales necesarios para la protección de techos y azoteas contra los agentes atmosféricos a los cuales están expuestos, tales como: la acción de los rayos solares, las precipitaciones y los cambios climáticos entre otros, los cuales generan cambios bruscos de temperatura y humedad que amenazan la vida útil de la edificación. Tal es el punto de su demanda que en Estados Unidos el uso anual estimado de asfalto está por encima de 13 millones de kilogramos. (Cristina, 2004)

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. (García, 2013)

En el presente trabajo el material polimérico que se emplea es el polvo y viruta de goma reciclada de los neumáticos de los automóviles. (Echeverría M. et al., 2005, 2006)

En el Lineamiento 87 (Lineamientos de Política Económica y Social del Partido y la Revolución 2011- 2015). Plantea: Propiciar un acelerado proceso efectivo de sustitución de importaciones, con mecanismos que estimulen y garanticen la máxima utilización posible de todas las capacidades de que dispone el país en el sector industrial, en servicios y en recursos humanos.

Con el empleo del mismo se disminuirían los costos por importaciones en el país, obteniéndose una mayor utilidad de los recursos naturales y del reciclaje.

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. (Patente No 200201177663; Patente No 20020147255)

El granulado de neumáticos usados proporciona las bases para la creación de nuevos proyectos innovadores, los cuales se utilizan actualmente 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. (Patente No 200201177663)

En el Lineamiento 235 (Lineamientos de Política Económica y Social del Partido y la Revolución 2011- 2015). Plantea: Promover la intensificación del reciclaje y el aumento del valor agregado de los productos recuperados, priorizando actividades de mayor impacto económico con menos recursos y su recapitalización, según las posibilidades de la economía.

Precisamente el desarrollo de los impermeabilizantes, los Mástiques Asfálticos con Polímeros (MAP) posibilita el reciclaje no solamente de los derivados de la goma, sino que utiliza además el aceite usado de los motores de combustión interna (residuo peligroso) y los residuos de la producción de Policosanól.

Las patentes de aplicación (No 20040249024; No 20050027046), 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 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.

La patente (Patente No 5, 674,313), reivindica una composición de asfalto modificado con goma, que puede ser utilizada a temperatura normal, por proyección y que encuentra aplicación en la protección de la humedad y del óxido y como relleno en edificaciones y estructuras para trabajos de ingeniería, formando un recubrimiento protector.

El mástique asfáltico con polímero producido en el Centro de Estudios de Anticorrosivos y Tensoactivos (CEAT) de la Universidad de Matanzas ha 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, con excelentes resultados, por lo que constituyen una alternativa para la Industria de Materiales. (Echeverría M., et al. 2007)

Esta producción aporta beneficios al medio ambiente, debido a que al usar goma reciclada como materia prima en nuestro producto, se evita que haya una acumulación de goma desechable lo que provocaría una carga contaminante al medio ambiente.

Al analizar los lineamientos de la política económica y social del partido y la Revolución, en los marcos del VI Congreso del Partido Comunista de Cuba, en relación a la problemática de los materiales para la vivienda y la impermeabilización de cubiertas, se realizan las siguientes valoraciones.

En el Lineamiento 288 (Lineamientos de Política Económica y Social del Partido y la Revolución 2011- 2015), plantea: Elevar la eficiencia en las construcciones empleando sistemas de pago por resultados y calidad, aplicando el doble turno en las obras donde sea factible, aumentando el rendimiento del equipamiento tecnológico y no tecnológico e introduciendo nuevas tecnologías en la construcción.

Al respecto la presente investigación aborda precisamente el diseño de un dispositivo para mejorar las condiciones y rendimiento del proceso de obtención de Mástiques Asfálticos con Polímero goma, que constituyen nuevos materiales para la construcción como son los impermeabilizantes de cubiertas.

En el Programa Nacional de Materiales para la Vivienda se plantea: "Las filtraciones son la causa principal del deterioro acelerado de las edificaciones y desde siempre fueron causa de gran malestar en los moradores de las

viviendas, pero fue a partir del siglo XX con el desarrollo del hormigón armado donde la humedad acelera la corrosión del acero y más aún con la utilización del prefabricado donde se producen juntas, que se hizo imprescindible alcanzar una impermeabilización absoluta de las cubiertas, ya que este factor puede provocar la total destrucción de la construcción.”

Como se aprecia del programa nacional para el desarrollo de materiales para la vivienda, el tema de la impermeabilización de cubiertas constituye una prioridad, debido a esto 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. (García, 2013)

El mismo cuenta con una Planta Piloto con capacidad productiva instalada, que presenta como principales problemas el almacenamiento del asfalto y su introducción al proceso de producción, donde estas operaciones se realizan manualmente por no existir un adecuado sistema, es decir un tanque para el almacenamiento del asfalto que permita calentar la materia prima hasta una temperatura a la que se pueda bombear para incorporarla al proceso y así evitar la manipulación de esta materia prima caliente por los obreros, al reducir los riesgos de accidentes y la humanización del trabajo.

Problema:

La no existencia de un tanque de almacenamiento de asfalto que mejore las condiciones del proceso de producción del Mástique Asfáltico en la Planta Piloto.

Hipótesis:

Si se diseña un tanque para el almacenamiento del asfalto será posible mejorar las condiciones del proceso de producción del Mástique Asfáltico en la Planta Piloto, para de este modo cumplir con los indicadores de eficiencia económica de la inversión.

Objetivo General:

Diseñar un tanque de almacenamiento de asfalto para mejorar las condiciones del proceso de producción del Mástique Asfáltico en la Planta Piloto.

Objetivos Específicos:

- Confeccionar el marco teórico conceptual referente a los mástiques asfálticos y el diseño de un tanque para el almacenamiento del asfalto a partir de la literatura científica actual.
- Desarrollar una metodología de cálculo para el diseño del tanque de almacenamiento de asfalto.
- Desarrollar el diseño del tanque de almacenamiento de asfalto.
- Analizar la factibilidad económica de la inversión.

Capítulo 1: Marco teórico conceptual referente a los mástiques asfálticos y el diseño de un tanque para el almacenamiento del asfalto

En este capítulo se trata lo referente a los mástique asfálticos y se analizan su contenido en la búsqueda de poder realizar un diseño de un tanque para el almacenamiento del asfalto, por lo que igualmente se hace necesario conceptualizar las terminologías y definiciones de estos elementos a partir de la consulta y revisión de bibliografías científica disponibles para su análisis.

1.1 Antecedentes

El mastique impermeabilizante está compuesto por una matriz asfáltica. El asfalto es un componente natural de la mayor parte de los petróleos. La palabra Asfalto, derivada del acadio, lengua hablada en Asiría, en las orillas del Tigris superior, entre los años 1400 y 600 A.C. En esta zona se encuentra en efecto la palabra “Sphalto” que significa “lo que hace caer”. Luego la palabra fue adoptada por el griego, pasó al latín y, más adelante, al francés (asphalte), al español (asfalto) y al inglés (asphalt). Estos estudios arqueológicos, indican que es uno de los materiales constructivos más antiguos que el hombre ha utilizado. (Ramírez, 2006)

En el sector de la construcción, la utilización más antigua se remonta aproximadamente al año 3200 A.C. excavaciones efectuadas en Tell Asmer, a 80 km. al noroeste de Bagdad, permitieron constatar que los Sumerios habían utilizado un mástique de asfalto para la construcción, dicho mástique, compuesto por betún, finos minerales y paja, se utilizaba en la pega de ladrillos, en la realización de pavimentos interiores y como revestimiento impermeable. Los egipcios le habían encontrado otra aplicación al betún, como relleno del cuerpo en trabajos de momificación, práctica que se extiende aproximadamente hasta el año 300 A.C. Los árabes desarrollaron un uso medicinal al asfalto, el cual se extendió hasta nuestra época. (Wulf, 2008)

La modificación de asfaltos surge en la década de los 60 en Francia, Italia, Alemania y Estados Unidos, donde se iniciaron investigaciones para mejorar las propiedades mecánicas del asfalto y su duración, debido a esto en Francia se construyeron más de 1000 km de carreteras modificadas con polímeros en base seca o látex. (Ramírez, 2011)

Varias patentes de Estados Unidos han descrito métodos para la elaboración del asfalto con polímeros, una de ellas es: La patente No 20030018106, citada en la patente de No 5.270.361: 1993, describe un procedimiento para fabricar una composición de asfalto que incluye partículas de caucho sintético o natural de hasta media pulgada de espesor.

El primer polímero sintético fue producido por Leo Baekeland en 1912 a partir de la reacción entre fenol y formaldehído, dando origen a un producto sólido (resina fenólica) conocido como baquelita. Todos estos compuestos fueron tratados como macromoléculas y en 1953 el creador de esta teoría el científico alemán Hermann Staudinger obtuvo el Premio Nobel de Química. (Ruiz, 2010) El uso de polímeros reciclados ha ido incursionando en el mundo moderno debido a la necesidad de reutilizar materiales, implementando una conciencia de “pensamiento verde”, gracias a esto varios países han incorporado el uso de polímeros reciclados a pavimentos asfálticos, un ejemplo particular de esto es el desarrollo obtenido en Brasil por el uso de caucho molido de neumáticos en muchas de sus carreteras. El uso de miga de caucho, como modificador del asfalto se inició en 1995, en Estados Unidos, esto representa un gran avance en la utilización a gran escala de residuos de caucho provenientes de neumáticos. (Ramírez, 2011)

1.2 Generalidades de los mástiques asfálticos

El Mástique Asfáltico es un producto protector, altamente durable, para usarse sobre aislamientos térmicos donde se requiera un mástique económico, emulsionado a base de asfaltos de alta calidad y resinas sintéticas. Puede aplicarse sobre superficies húmedas, tiene una gran penetración en el concreto, sella las superficies en forma nítida y concisa, ya que forma una magnífica capa protectora, resistente y elástica a los rayos solares, al agua y al cambio de temperatura. (Ficha Técnica HI MASTIC 9007: 2007)

En las composiciones de baja concentración de polímeros existe una matriz continua de asfalto en la que se encuentra disperso el polímero; pero si se aumenta la proporción de polímero en el asfalto se produce una inversión de fases, estando la fase continua constituida por el polímero hinchado y la fase discontinua corresponde al asfalto que se encuentra disperso en ella. (Tonda, 2007)

Al realizar la mezcla se debe tener cuidado con el manejo de estos materiales porque los polímeros aportan propiedades elásticas en una mezcla asfáltica, el cual puede producir exceso de deformaciones. (Rodríguez, 2009)

De lo anterior se puede definir como mástique asfáltico al producto protector altamente durable compuesto por una baja concentración de polímeros. El mismo puede usarse sobre superficies húmedas debido a que sella de forma nítida y concisa.

1.3 Materiales compuestos de matriz asfáltica modificados con polímeros

Los materiales impermeabilizantes son materiales compuestos que están constituidos básicamente por más de un material o 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 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 originan unos materiales con mejores propiedades que las partes que los componen por separado. (Sagaró et al., 2004; 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 polímero se mejoran substancialmente sus propiedades mecánicas, en especial su recuperación elástica. (**Anexo 1**)(Reyes y Lizarazo, 2006)

Los asfaltos modificados con polímeros elevan la vida útil de un pavimento de dos a tres veces (según el caso), con un costo adicional de hasta un 25% sobre la mezcla asfáltica. (Vásquez, 2010)

Para garantizar una adecuada realización de la modificación se debe presentar una buena compatibilidad del asfalto con el modificador, es decir, este debe ser miscible para obtener una mezcla monofásica. Un polímero es compatible con el asfalto cuando la heterogeneidad de la mezcla no se puede apreciar visualmente. (Avellán, 2007)

Los asfaltos ricos en fracciones aromáticas y resinas son los más compatibles con los polímeros ya que son estas fracciones las que permiten la disolución

del polímero. Los asfaltos ricos en asfaltenos y saturados son los menos compatibles, estas propiedades dependen de la fuente y la refinación del asfalto a utilizar. De esta manera se puede observar en la **figura 1.1** la compatibilidad entre el asfalto y polímero.

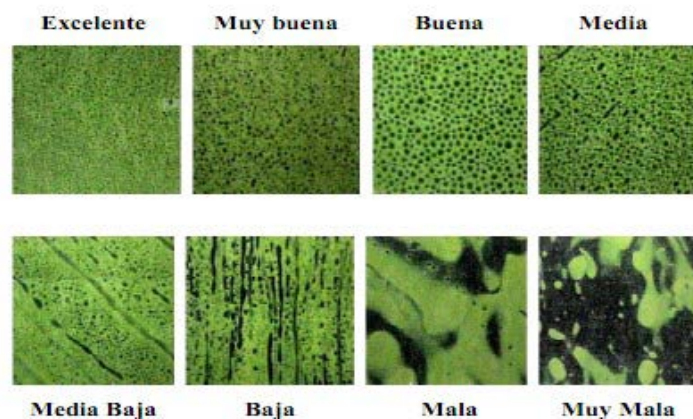


Figura 1.1: Compatibilidad asfalto – polímero.

Fuente: Tomado de Ramírez (2011).

Los polímeros más utilizados en la modificación de asfaltos son los elastómeros (Caucho, SBS, SBR, isopreno) y los plastómeros (PVC, EVA), los primeros dándole elasticidad al asfalto y los segundos proporcionándole mayor resistencia (rigidez).

Actualmente en el mercado existen gran cantidad de modificadores a base de polímeros para el asfalto, siendo la mezcla de varios polímeros dependiendo de las propiedades que se desean mejorar y de las características principales de la vía. Algunos ejemplos de estos modificadores pueden ser SBR (caucho-estireno-butadieno). (Ramírez, 2011)

Se define como matriz asfáltica a la combinación adecuada de la matriz y el relleno. En la mayoría de los casos la matriz es el asfalto y el relleno más utilizado es el polímero, el cual mejora sustancialmente las propiedades mecánicas y la vida útil de la matriz.

1.4 Componentes de los mástiques asfálticos

1.4.1 Asfaltos

Según Mercado, et al., (2008), los asfaltos desde el punto de vista de composición química, son mezclas complejas de hidrocarburos de alto peso molecular, con una notable proporción de heteroátomos (Oxígeno, Azufre, Nitrógeno) y cierta cantidad de metales, tales como Vanadio y Níquel.

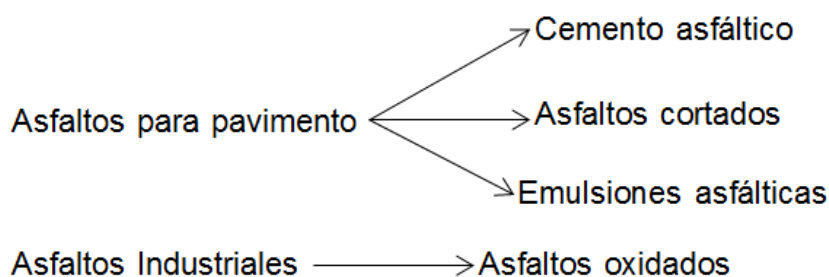
Adicionalmente, la mayoría de los asfaltos muestran en su composición ciertas sales orgánicas solubles en la forma de microcristales.

Son una sustancia negra, pegajosa, sólida o semisólida según la temperatura ambiente; a la temperatura de ebullición del agua tiene consistencia pastosa, por lo que se extiende con facilidad. El uso más frecuente de los asfaltos está en el revestimiento de carreteras, impermeabilización de estructuras, como depósitos, techos o tejados, y en la fabricación de baldosas, pisos y tejas. (Gamboa, 2012)

Según Wulf (2008), algunas de las características que posee el asfalto son:

- **Consistencia:** Se refiere a la dureza del material, la cual depende de la temperatura. A altas temperaturas se considera el concepto de viscosidad para definirla.
- **Durabilidad:** Capacidad para mantener sus propiedades con el paso del tiempo y la acción de agentes envejecedores.
- **Susceptibilidad Térmica:** Variación de sus propiedades con la temperatura.
- **Pureza:** Definición de su composición química y el contenido de impurezas que posee.
- **Seguridad:** Capacidad de manejar el asfalto a altas temperaturas sin peligros de inflamación.

Por consiguiente este mismo autor define que de acuerdo a su aplicación, los asfaltos podemos clasificarlos en dos grupos:



Por otra parte las emulsiones asfálticas se clasifican según el tipo de carga de la partícula y tiempo de quiebre. (Wulf, 2008)

En cuanto a la carga de partícula, pueden ser:

- Catiónicas.
- Aniónicas.

Y en cuanto al tipo de quiebre:

- Quiebre rápido.

- Quiebre medio.
- Quiebre lento.

Las clases aniónicas y catiónicos 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 calzada, materiales para techos de reparación, calafateados, masillas, cargas de crack y en materiales de pavimentación tales como abrigos sello, sellos y juntas de chips en suspensión.

1.4.2 Polímeros

Los Polímeros son sustancias de alto peso molecular formada por la unión de cientos de miles de moléculas pequeñas llamadas monómeros (compuestos químicos con moléculas simples). Se forman así moléculas gigantes que toman formas diversas: cadenas en forma de escalera, cadenas unidas o termo fijas que no pueden ablandarse al ser calentadas, cadenas largas y sueltas. (Tonda, 2007)

Algunos modificadores poliméricos que han dado buenos resultados, se enlistan a continuación:

- Homopolímeros: Que tienen una sola unidad estructural (monómero).
- Copolímeros: Tienen varias unidades estructurales distintas.
- Elastómeros: Al estirarlo se sobrepasa la tensión de fluencia, no volviendo a su longitud original al cesar la sollicitación. Tiene deformacionesseudoplásticas con poca elasticidad. (Coyopotl, 2006)

Los polímeros una vez dispersos en el asfalto llegan a formar verdaderas redes tridimensionales, creando un reticulado, que le confiere al asfalto modificadopropiedades relevantes de elasticidad. Existen muchos tipos de polímeros por lo que su dosificación y sistematización resultan muy complejas. (Echeverría, et al, 2011)

Los polímeros pueden ser de tres tipos: (Barboza, 2011)

- Polímeros naturales: provenientes directamente del reino vegetal o animal. Por ejemplo: celulosa, almidón, proteínas, caucho natural, ácidos nucleicos, etc.
- Polímeros artificiales: son el resultado de modificaciones mediante procesos químicos, de ciertos polímeros naturales. Ejemplo: nitrocelulosa, etonita, etc.

- Polímeros sintéticos: son los que se obtienen por procesos de polimerización controlados por el hombre a partir de materias primas de bajo peso molecular. Ejemplo: nylon, polietileno, cloruro de polivinilo, polimetano, etc.

Según Sánchez (2005), los principales modificadores utilizados en los materiales asfálticos son:

- Polímero Tipo I: Es un modificador de asfaltos que mejora el comportamiento de mezclas asfálticas tanto a altas como a bajas temperaturas. Es fabricado con base en bloques de estireno, en polímeros elastómeros radiales de tipo bibloque o tribloque, mediante configuraciones como Estireno – Butadieno - Estireno (SBS) o Estireno - Butadieno (SB), entre otras. Se utiliza en mezclas asfálticas para carpetas delgadas y carpetas estructurales de pavimentos con elevados índices de tránsito y de vehículos pesados, en climas fríos y cálidos, así como para elaborar emulsiones que se utilicen en tratamientos superficiales.
- Polímero Tipo II: Es un modificador de asfaltos que mejora el comportamiento de mezclas asfálticas a bajas temperaturas. Es fabricado con base en polímeros elastómeros lineales, mediante una configuración de caucho de Estireno, Butadieno-Látex o Neopreno-Látex. Se utiliza en todo tipo de mezclas asfálticas para pavimentos en los que se requiera mejorar su comportamiento de servicio, en climas fríos y templados, así como para elaborar emulsiones que se utilicen en tratamientos superficiales.
- Polímero Tipo III: Es un modificador de asfaltos que mejora la resistencia a las roderas de las mezclas asfálticas, disminuye la susceptibilidad del cemento asfáltico a la temperatura y mejora su comportamiento a altas temperaturas. Es fabricado con base en un polímero de tipo elastómero, mediante configuraciones como Etileno – Vinil - Acetato (EVA) o polietileno de alta o baja densidad, entre otras. Se utiliza en climas calientes, en mezclas asfálticas para carpetas estructurales de pavimentos con elevados índices de tránsito, así como para elaborar emulsiones que se utilicen en tratamientos superficiales.
- Hule Molido de Neumáticos: es un modificador de asfalto que mejora la flexibilidad y resistencia a la tensión de las mezclas asfálticas, reduciendo la aparición de grietas por fatiga o por cambios de temperatura. Es fabricado

con base en el producto de la molienda de neumáticos. Se utiliza en carpetas delgadas de granulometría abierta, tratamientos superficiales.

1.4.3 Polvo de goma de neumáticos como relleno

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 (Patente No 200201177663; Patente No 20020147255). El granulado de neumáticos usados proporciona las bases para la creación de nuevos proyectos innovadores, los cuales se utilizan actualmente 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. (Patente No 200201177663)

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. (Echeverría M. et al., 2005, 2006, 2007)

1.5 Desarrollo de los mástiques asfálticos en Cuba

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 la patente No 143/94.

Teniéndose 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. (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.

1.5.1 Los mástiques asfálticos en el contexto actual del desarrollo

Al analizar los lineamientos de la política económica y social del partido y la Revolución obtuvimos lineamientos que se relacionan con la impermeabilización de cubiertas lo cual está incluido dentro de los objetivos de este trabajo:

Lineamiento 218 (Lineamientos de la política económica y social del Partido y la Revolución 2011-2015): Prestar atención prioritaria al impacto ambiental asociado al desarrollo industrial existente y proyectado, en particular, en las ramas de la química; la industria del petróleo y la petroquímica; la minería, en especial el níquel; el cemento y otros materiales de construcción; así como en los territorios más afectados; incluyendo el fortalecimiento de los sistemas de control y monitoreo.

Lineamiento 233 (Lineamientos de la política económica y social del Partido y la Revolución 2011-2015): Recuperar e incrementar la producción de materiales para la construcción que aseguren los programas inversionistas priorizados del país (turismo, viviendas, industriales, entre otros), la expansión de las exportaciones y la venta a la población. Desarrollar producciones con mayor valor agregado y calidad. Lograr incrementos significativos en los niveles y diversidad de las producciones locales de materiales de construcción y divulgar sus normas de empleo.

Lineamiento 293 (Lineamientos de la política económica y social del Partido y la Revolución 2011-2015): Deberá prestarse especial atención al aseguramiento de los programas de viviendas a nivel municipal, a partir de las materias primas existentes en cada lugar y las tecnologías disponibles para fabricar los materiales necesarios.

Debido a la situación económica y social que está atravesando el país es de vital importancia analizar nuevas formas de obtención de materiales para la construcción con la mejor utilización de los recursos y nuevas tecnologías. Además esto permitiría la incrementación de la producción de mástique impermeabilizante lo que propiciaría el desarrollo y aseguramiento de los programas inversionistas priorizados en el país.

1.6 Desarrollo de los mástiques asfálticos con patentes internacionales

La patente No 5, 674,313; reivindica una composición de asfalto modificado con goma, que puede ser utilizada a temperatura normal, por proyección y que encuentra aplicación en la protección de la humedad y del óxido y como relleno en edificaciones y estructuras para trabajos de ingeniería, formando un recubrimiento protector.

Según la patente No 20050027046. El caucho reciclado del neumático se puede utilizar como relleno de polímero en las emulsiones del asfalto, así reduciendo el costo de estos materiales. Las emulsiones de las mezclas del asfalto pueden incorporar sustancias y residuo de goma reciclados del neumático en los productos que se pueden utilizar para construir, algunos de estos se pueden formular para ser utilizado como los materiales y capas del material para techos, edificios industriales y comerciales.

La patente No 20040249024, plantea que un polímero, tal como el caucho, se puede agregar al asfalto modificándolo y obteniendo un (PMA, mástique asfáltico con polímero) para mejorar las características teológicas del asfalto de modo que el producto satisfaga especificaciones límites en las temperaturas requeridas. PMA se puede también utilizar en otros usos más allá de pavimentar los materiales, tales como asfalto del material para techos y de impermeabilizar los materiales.

Según las bibliografías consultadas el asfalto modificado con polímero de goma mejora las características teológicas del asfalto lo cual brinda una gran protección a las edificaciones en cuanto a humedad y óxido.

1.7 Leyes de la termodinámica

La termodinámica (del griego θερμο-, termo, que significa «calor» y δύναμις, dínamis, que significa «fuerza») es la rama de la física que describe los

estados de equilibrio a nivel macroscópico. Constituye una teoría fenomenológica, a partir de razonamientos deductivos, que estudia sistemas reales, sin modelizar y sigue un método experimental. Los estados de equilibrio son estudiados y definidos por medio de magnitudes extensivas tales como la energía interna, la entropía, el volumen o la composición molar del sistema, o por medio de magnitudes no-extensivas derivadas de las anteriores como la temperatura, presión y el potencial químico; otras magnitudes tales como la imanación, la fuerza electromotriz y las asociadas con la mecánica de los medios continuos en general también pueden ser tratadas por medio de la termodinámica.

Es importante recalcar que la termodinámica ofrece un aparato formal aplicable únicamente a estados de equilibrio. Tales estados terminales de equilibrio son, por definición, independientes del tiempo, y todo el aparato formal de la termodinámica (todas las leyes y variables termodinámicas), se definen de tal modo que podría decirse que un sistema está en equilibrio si sus propiedades pueden ser descritas consistentemente empleando la teoría termodinámica. (Scodelaro, 2008)

1.7.1 Principio cero de la termodinámica

Este principio o ley cero, establece que existe una determinada propiedad denominada temperatura empírica θ , que es común para todos los estados de equilibrio termodinámico que se encuentren en equilibrio mutuo con uno dado.

El equilibrio termodinámico de un sistema se define como la condición del mismo en el cual las variables empíricas usadas para definir o dar a conocer un estado del sistema (presión, volumen, campo eléctrico, polarización, magnetización, tensión lineal, tensión superficial, coordenadas en el plano x, y) no son dependientes del tiempo. El tiempo es un parámetro cinético, asociado a nivel microscópico; el cual a su vez está dentro de la físico química y no es parámetro debido a que a la termodinámica solo le interesa trabajar con un tiempo inicial y otro final. A dichas variables empíricas (experimentales) de un sistema se las conoce como coordenadas térmicas y dinámicas del sistema.

Este principio fundamental, aun siendo ampliamente aceptado, no fue formulado formalmente hasta después de haberse enunciado las otras tres leyes. De ahí que recibiese el nombre de principio cero. (Rodrigo, 2011)

1.7.2 Primera ley de la termodinámica

También conocida como principio de conservación de la energía para la termodinámica «en realidad el primer principio dice más que una ley de conservación», establece que si se realiza trabajo sobre un sistema o bien éste intercambia calor con otro, la energía interna del sistema cambiará. Visto de otra forma, esta ley permite definir el calor como la energía necesaria que debe intercambiar el sistema para compensar las diferencias entre trabajo y energía interna. Fue propuesta por Nicolás Léonard Sadi Carnot en 1824, en su obra Reflexiones sobre la potencia motriz del fuego y sobre las máquinas adecuadas para desarrollar esta potencia, en la que expuso los dos primeros principios de la termodinámica. Esta obra fue incomprendida por los científicos de su época, y más tarde fue utilizada por Rudolf Loreto Clausius y Lord Kelvin para formular, de una manera matemática, las bases de la termodinámica.

La ecuación general de la conservación de la energía es la siguiente:

$$E_{\text{entera}} - E_{\text{sale}} = \Delta E_{\text{sistema}}$$

Que aplicada a la termodinámica teniendo en cuenta el criterio de signos termodinámico, queda de la forma:

$$\Delta U = Q - W$$

Donde U es la energía interna del sistema (aislado), Q es la cantidad de calor aportado al sistema y W es el trabajo realizado por el sistema.

Esta última expresión es igual de frecuente encontrarla en la forma $\Delta U = Q + W$. Ambas expresiones, aparentemente contradictorias, son correctas y su diferencia está en que se aplique el convenio de signos IUPAC o el Tradicional. (Rodrigo, 2011)

1.7.3 Segunda ley de la termodinámica

Esta ley arrebató la dirección en la que deben llevarse a cabo los procesos termodinámicos y, por lo tanto, la imposibilidad de que ocurran en el sentido contrario (por ejemplo, que una mancha de tinta dispersada en el agua pueda volver a concentrarse en un pequeño volumen). También establece, en algunos casos, la imposibilidad de convertir completamente toda la energía de un tipo en otro sin pérdidas. De esta forma, la segunda ley impone restricciones para las transferencias de energía que hipotéticamente pudieran llevarse a cabo teniendo en cuenta sólo el primer principio. Esta ley apoya todo su contenido

aceptando la existencia de una magnitud física llamada entropía, de tal manera que, para un sistema aislado (que no intercambia materia ni energía con su entorno), la variación de la entropía siempre debe ser mayor que cero. (Rodrigo, 2011)

Debido a esta ley también se tiene que el flujo espontáneo de calor siempre es unidireccional, desde los cuerpos de mayor temperatura hacia los de menor temperatura, hasta lograr un equilibrio térmico.

Existen numerosos enunciados equivalentes para definir este principio, destacándose el de Clausius y el de Kelvin.

Enunciado de Clausius

En palabras de Sears es: «No es posible ningún proceso cuyo único resultado sea la extracción de calor de un recipiente a una cierta temperatura y la absorción de una cantidad igual de calor por un recipiente a temperatura más elevada».

Enunciado de Kelvin

No existe ningún dispositivo que, operando por ciclos, absorba calor de una única fuente ($E_{\text{absorbida}}$), y lo convierta íntegramente en trabajo ($E_{\text{útil}}$).

Enunciado de Kelvin—Planck

Es imposible construir una máquina térmica que, operando en un ciclo, no produzca otro efecto que la absorción de energía desde un depósito, y la realización de una cantidad igual de trabajo.

1.7.4 Tercera ley de la termodinámica

La tercera de las leyes de la termodinámica, propuesta por Walther Nernst, afirma que es imposible alcanzar una temperatura igual al cero absoluto mediante un número finito de procesos físicos. Puede formularse también como que a medida que un sistema dado se aproxima al cero absoluto, su entropía tiende a un valor constante específico. La entropía de los sólidos cristalinos puros puede considerarse cero bajo temperaturas iguales al cero absoluto. No es una noción exigida por la termodinámica clásica, así que es probablemente inapropiado tratarlo de «ley».

Es importante recordar que los principios o leyes de la termodinámica son sólo generalizaciones estadísticas, válidas siempre para los sistemas macroscópicos, pero inaplicables a nivel cuántico. Asimismo, cabe destacar

que el primer principio, el de conservación de la energía, es la más sólida y universal de las leyes de la naturaleza descubiertas hasta ahora por las ciencias. (Rodrigo, 2011)

1.8 Fundamentos de los procesos de transferencia de calor

Siempre que existe una diferencia de temperatura en el universo, la energía se transfiere de la región de mayor temperatura a la de menor temperatura. De acuerdo con los conceptos de la termodinámica, esta energía transmitida se denomina calor. Las leyes de la termodinámica tratan de la transferencia de energía, pero siempre se refieren a sistemas que están en equilibrio, y solo pueden utilizarse para predecir la cantidad de energía requerida para cambiar un sistema de un estado de equilibrio a otro, por lo que no sirven para predecir la rapidez con que puedan producirse estos cambios. La ciencia llamada transmisión o transferencia de calor complementa los principios primero y segundo de la termodinámica clásica, proporcionando los métodos de análisis que pueden utilizarse para predecir la velocidad de la transmisión del calor, además de los parámetros variables durante el proceso en función del tiempo. Para un análisis completo de la transferencia de calor es necesario considerar mecanismos fundamentales de transmisión: conducción, convección y radiación (**Anexo 2**). El análisis de los sistemas y modelos de intercambio de calor requieren familiaridad con cada uno de estos mecanismos y sus fundamentos, así como de sus interacciones. (Martin, 2004)

1.8.1 Mecanismos de transferencia de calor.

Conducción

La conducción es el mecanismo de transferencia de calor en escala atómica a través de la materia por actividad molecular, por el choque de unas moléculas con otras, donde las partículas más energéticas le entregan energía a las menos energéticas, produciéndose un flujo de calor desde las temperaturas más altas a las más bajas. Los mejores conductores de calor son los metales. El aire es un mal conductor del calor. Los objetos malos conductores como el aire o plásticos se llaman aislantes. (Inzunza, 2002.)

La conducción de calor sólo ocurre si hay diferencias de temperatura entre dos partes del medio conductor. Para un volumen de espesor Δx , con área de

sección transversal A y cuyas caras opuestas se encuentran a diferentes T_1 y T_2 , con $T_2 > T_1$, como se muestra en la **figura 1.2**, se encuentra que el calor ΔQ transferido en un tiempo Δt fluye del extremo caliente al frío. Si se llama H (en Watts) al calor transferido por unidad de tiempo, la rapidez de transferencia de calor $H = \Delta Q/\Delta t$, está dada por la ley de la conducción de calor de Fourier.

$$H = \frac{dQ}{dt} = -kA \frac{dT}{dx}$$

Donde k (en W/mK) se llama conductividad térmica del material, magnitud que representa la capacidad con la cual la sustancia conduce calor y produce la consiguiente variación de temperatura; y dT/dx es el gradiente de temperatura. El signo menos indica que la conducción de calor es en la dirección decreciente de la temperatura.

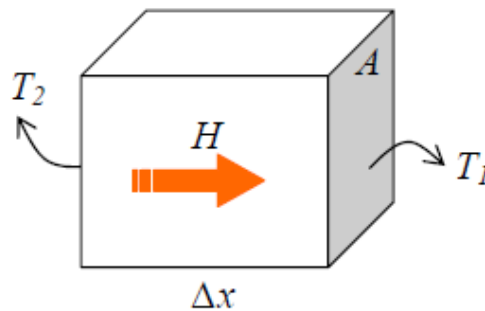


Figura 1.2: Proceso de conducción.

Fuente: Tomado de Inzunza (2002).

Si un material en forma de barra uniforme de largo L , protegida en todo su largo por un material aislante, como se muestra en la **figura 1.3**, cuyos extremos de área A están en contacto térmico con fuentes de calor a temperaturas T_1 y $T_2 > T_1$, cuando se alcanza el estado de equilibrio térmico, la temperatura a lo largo de la barra es constante. En ese caso el gradiente de temperatura es el mismo en cualquier lugar a lo largo de la barra, y la ley de conducción de calor de Fourier se puede escribir en la forma:

$$H = kA \times \frac{(T_2 - T_1)}{L}$$

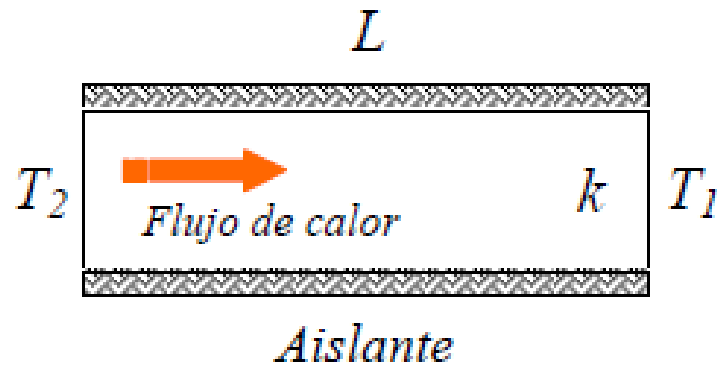


Figura 1.3.
Fuente: Tomado de Inzunza (2002).

Convección

La convección es el mecanismo de transferencia de calor por movimiento de masa o circulación dentro de la sustancia. Puede ser natural producida solo por las diferencias de densidades de la materia; o forzada, cuando la materia es obligada a moverse de un lugar a otro, por ejemplo el aire con un ventilador o el agua con una bomba. Sólo se produce en líquidos y gases donde los átomos y moléculas son libres de moverse en el medio.

En la naturaleza, la mayor parte del calor ganado por la atmósfera por conducción y radiación cerca de la superficie, es transportado a otras capas o niveles de la atmósfera por convección.

Un modelo de transferencia de calor H por convección, llamado ley de enfriamiento de Newton, es el siguiente:

$$H = h A (T_A - T)$$

Donde h se llama coeficiente de convección, en $W / (m^2K)$, A es la superficie que entrega calor con una temperatura T_A al fluido adyacente, que se encuentra a una temperatura T , como se muestra en el esquema de la **figura 1.4.**

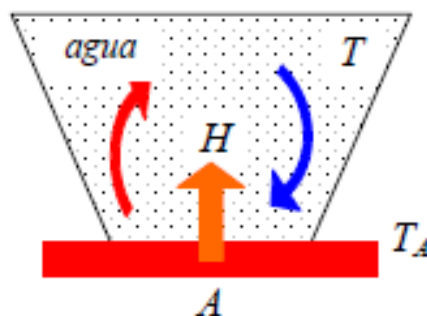


Figura 1.4: Procesos de convección.
Fuente: Tomado de Inzunza (2002).

El flujo de calor por convección es positivo ($H > 0$) si el calor se transfiere desde la superficie de área A al fluido ($T_A > T$) y negativo si el calor se transfiere desde el fluido hacia la superficie ($T_A < T$).

Radiación

La radiación térmica es energía emitida por la materia que se encuentra a una temperatura dada, se produce directamente desde la fuente hacia afuera en todas las direcciones. Esta energía es producida por los cambios en las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas constitutivas y transportadas por ondas electromagnéticas o fotones, por lo que recibe el nombre de radiación electromagnética. La masa en reposo de un fotón (que significa luz) es idénticamente nula. Por lo tanto, atendiendo a relatividad especial, un fotón viaja a la velocidad de la luz y no se puede mantener en reposo. (La trayectoria descrita por un fotón se llama rayo). La radiación electromagnética es una combinación de campos eléctricos y magnéticos oscilantes y perpendiculares entre sí, que se propagan a través del espacio transportando energía de un lugar a otro.

A diferencia de la conducción y la convección, o de otros tipos de onda, como el sonido, que necesitan un medio material para propagarse, la radiación electromagnética es independiente de la materia para su propagación, de hecho, la transferencia de energía por radiación es más efectiva en el vacío. Sin embargo, la velocidad, intensidad y dirección de su flujo de energía se ven influidos por la presencia de materia. Así, estas ondas pueden atravesar el espacio interplanetario e interestelar y llegar a la Tierra desde el Sol y las estrellas. La longitud de onda (λ) y la frecuencia (ν) de las ondas electromagnéticas, relacionadas mediante la expresión $\lambda\nu = c$, son importantes para determinar su energía, su visibilidad, su poder de penetración y otras características. Independientemente de su frecuencia y longitud de onda, todas las ondas electromagnéticas se desplazan en el vacío con una rapidez constante $c = 299792 \text{ km/s}$, llamada velocidad de la luz.

Los fotones son emitidos o absorbidos por la materia. La longitud de onda de la radiación está relacionada con la energía de los fotones, por una ecuación desarrollada por Planck:

$$E = \frac{hc}{\lambda}$$

Donde h se llama constante de Planck, su valor es $h = 6,63 \times 10^{-34}$ Js. (Inzunza, 2002.)

1.9 Tanques para almacenamientos de asfalto

El almacenamiento continúa siendo una actividad indispensable en el transporte y manejo de hidrocarburos. La selección del tipo y tamaño de tanque está regida por la relación producción-consumo, las condiciones ambientales, la localización del tanque y el tipo de fluido a almacenar.

Existe una gran variedad de Tanques y su clasificación es igualmente amplia, los hay para el almacenamiento de productos líquidos y gaseosos. Los materiales que se han empleado para su construcción, han sido: Madera, concreto, aluminio, plástico y acero inoxidable; siendo este último el de mayor demanda por su resistencia y durabilidad. Las formas también han sido variadas, aunque predomina la forma cilíndrica para el almacenamiento de grandes volúmenes. (Gómez, 2003.)

Tipos de tanques por su forma. (Jiménez, 2012)

Por su forma los podemos dividir en recipientes cilíndricos y en recipientes esféricos.

a) Los recipientes cilíndricos generalmente son divididos en dos tipos: tanques Cilíndricos Horizontales y en tanques Cilíndricos Verticales de Fondo Plano.

- Los Tanques Cilíndricos Horizontales, generalmente son de volúmenes relativamente bajos, debido a que presentan problemas por fallas de corte y flexión. Por lo general, se usan para almacenar volúmenes pequeños.
- Los Tanques Cilíndricos Verticales de Fondo Plano nos permiten almacenar grandes cantidades volumétricas con un costo bajo. Con la limitante que solo se pueden usar a presión atmosférica o presiones internas relativamente pequeñas.

b) Los recipientes esféricos se utilizan generalmente como tanques de almacenamientos y se recomiendan para almacenar grandes volúmenes de fluidos a altas presiones. Puesto que la forma esférica es la forma natural que toman los cuerpos al ser sometidos a presión, esta sería la forma más idónea para almacenar fluidos a presión, sin embargo la fabricación de este tipo de recipientes es mucho más cara en comparación con los recipientes cilíndricos. Este tipo de tanques generalmente en la industria del petróleo es utilizado para

productos gaseosos, como amoniaco, gas butano, isopropanos, etc., entre otros. Debido a su forma la presión se distribuye excelentemente en todo su interior.

De manera general se decide que el mejor tanque a utilizar en cuanto a su forma seria un cilindro horizontal debido a que el volumen de producción no es tan alto y trabajara a bajas presiones y debido a que presentará un bajo costo con respecto a los otro tipos de tanques.

1.10 Métodos empleados para el desarrollo del trabajo

1.10.1 Diagrama As- Is

Según Ajón (2013), 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.

1.10.2 Selección de la metodología utilizada para el diseño del tanque de almacenamiento

En un primer momento se pretendía utilizar para el desarrollo de la investigación la metodología propuesta por el texto Kern de 1999, pero la misma era muy abreviada y asumía muchos valores por lo que se consideró inconclusa, debido a esto se decide utilizar la metodología de Exxon Mobil la cual es más actual y precisa. No obstante se llega a recurrir a varias ecuaciones del texto Kern para determinar el área de transferencia de calor y el número de tubos.

1.10.3 Valoración económica de la inversión

1.10.3.1 Valor Actual Neto (VAN)

El valor actual neto, es el valor presente de los rendimientos futuros descontados al costo de capital aportado por el costo de la inversión, no es

más que la diferencia del valor actualizado de todos los flujos de efectivos que genera la inversión y el desembolso inicial. El VAN refleja la rentabilidad de la inversión en términos absolutos, expresa cuánto dinero se gana o se pierde con la consecuencia de la ejecución del proyecto. Un proyecto de inversión será viable si el VAN es mayor que cero, es decir, tiene que ser positivo y entre varias alternativas se escoge el mayor posible. (González, 2013)

1.10.3.2 Tasa Interna de Retorno (TIR)

La tasa interna de retorno se define como la tasa de descuento o tipo de interés que iguala el VAN a cero, es decir, se efectúan tanteos con diferentes tasas de descuentos consecutivas hasta que el VAN sea cercano o igual a cero y obtengamos un VAN positivo y uno negativo. (González, 2013)

1.10.3.3 Plazo de Recuperación de la Inversión (PRI)

El Plazo de Recuperación de la Inversión (PRI) es el tiempo que la empresa tarda en recuperar la inversión. Este método selecciona aquellos proyectos cuyos beneficios permiten recuperar más rápidamente la inversión, es decir, cuanto más corto sea el período de recuperación de la inversión mejor será el proyecto. (González, 2013)

1.11 Conclusiones parciales del capítulo

1. En este capítulo se analiza el mástique impermeabilizante y sus materias primas el cual tiene una gran utilidad en la familia cubana para techos y algunas paredes que sufren de filtraciones ya sea pequeñas o grandes.
2. De la valoración de los Lineamiento de las Política Económica y Social del Partido, la producción de mástique asfáltico con polímero es una respuesta a la intensificación del reciclaje y el aumento del valor agregado de los productos recuperados y la obtención de nuevos materiales para la construcción, lo que demuestra la relación del producto y la investigación con la situación actual del país.
3. Se analizan también diferentes patentes de aplicación que reivindican por una parte el empleo de polímeros en el asfalto, además se investigan en varios artículos, monografías y libros los fundamentos de las leyes de la

termodinámica, los procesos de transferencia de calor y tipos de tanques a utilizar.

4. Se decide utilizar el diagrama As-Is por ser el que mejor representa los procesos que no aportan valor añadido a la producción y que pueden ser mejorados.

5. Se determina la metodología a utilizar siendo esta la de Exxon Mobil, por ser la más completa y abarcadora, por otra parte con los indicadores económicos seleccionados se puede realizar una correcta valoración económica de la inversión.

Capítulo 2: Diagnóstico de la línea de producción de mástique asfáltico. Metodología para el diseño de un tanque de almacenamiento de asfalto

En el presente capítulo se muestra una panorámica general de la instalación y la línea de producción de mástique asfáltico. Posteriormente se procede a realizar un análisis de los disímiles pasos que contiene la metodología según diferentes autores para la realización del diseño del tanque de almacenamiento de asfalto. Se presenta además el análisis de factibilidad del proyecto lo cual valida la propuesta.

2.1 Descripción de la instalación

Los Mástiques Asfálticos conforman una línea de producción en la Planta Piloto del Centro de Estudio de Anticorrosivos y Tensoactivos, ya que no son los únicos productos que ahí se elaboran. La instalación cuenta para la producción de estos, con un sistema de generación de vapor que es común para todas las líneas de producción que requieran vapor, por dicha razón la administración de la planta asignó por cientos de producciones anuales para los diferentes productos en dependencia de la demanda que se tenga de estos, la línea posee un sistema de bombeo para las materias primas líquidas, cuenta además con un reactor de acero estructural de 750 Kg de capacidad, como problema principal se encuentra que el asfalto se almacena sólido en cubetas sin techo lo que permite que caigan hojas y ramas sobre la materia prima. Para su incorporación al proceso es necesario sacarlo con picos y barretas, fundirlo, filtrarlo para eliminarle las impurezas y dosificarlo en el proceso.

Estas operaciones se realizan a mano por no existir un adecuado sistema, es decir un tanque para el almacenamiento del asfalto que permita calentar la materia prima hasta una temperatura a la que se pueda bombear para incorporarla al proceso y así evitar la manipulación de esta materia prima caliente por los obreros, todo esto permite la reducción de los riesgos por accidentes y humanización del trabajo.



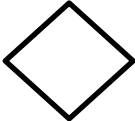
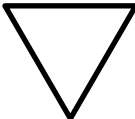
2.2 Proceso tecnológico de mástique asfáltico




Para analizar en profundidad el proceso de producción de mástique asfáltico se realiza una inspección visual de la planta, que permite 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 y darse cuenta de las condiciones de operación. Es por eso que se decide utilizar como técnica de análisis de proceso, el diagrama As-Is.

El mismo 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. El Diagrama del Proceso “tal como es” es la imagen que mejor representa el proceso a través de sus etapas por lo que debe constituir la base para la documentación y análisis del mismo. La simbología que este utiliza queda registrada en la **Tabla 2.1**.

Tabla 2.1: Simbología utilizada en el diagrama As-Is.

Símbolo	Significado	Explicación
	Paso de tipo operación	Representa cualquier tarea del proceso que lleve implícita una acción física o intelectual (excepto las de inspección o almacenaje).
	Paso de inspección	Se corresponde con tareas de verificación del trabajo realizado en determinada actividad del proceso. Sus acciones más comunes son; clasificar, observar, supervisar, auditar, probar, revisar, verificar, entre otras.
	Paso de decisión	Representa cualquier punto de decisión. Siempre tendrá al menos dos salidas
	Paso de almacenaje	Se corresponde con una etapa del proceso que sitúa un producto, información o servicio en una zona de conservación (archivo, almacén o refrigerador) o posición (cola) para utilizarlo o proporcionar el servicio más adelante.

	Paso de demora	Corresponde a actividades que implican un retraso o pausa en el flujo del proceso
	Línea de flujo	Muestra la dirección y sentido del flujo del proceso y representa el progreso de los pasos en la secuencia.
	Conector de tareas	Se utiliza para el caso de que el diagrama no se pueda hacer en una sola hoja.

Fuente: Tomado de Ajón (2013).

2.2.1 Descripción de la línea de producción de mástique asfáltico

Antes de poner el reactor en funcionamiento es necesario revisar y crear las condiciones para el proceso:

- Revisar que el reactor se encuentre libre de cualquier sustancia u objeto extraño.
- 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.
- Revisar que el agitador mecánico se encuentre en buenas condiciones técnicas lo que incluye el giro libre.

Una vez creadas todas las condiciones se pone en funcionamiento la caldera y se bombea al reactor el aceite usado necesario para el proceso, este es suministrado desde el tanque de almacenamiento a los dosificadores donde es bombeado hacia el reactor.

Alcanzada la presión de trabajo de la caldera, se pone en funcionamiento el agitador mecánico y se abre la válvula de vapor para comenzar el calentamiento del aceite hasta una temperatura de (80 a 90) °C con agitación. (Esta agitación se mantiene durante todo el proceso).

Una vez alcanzada la temperatura establecida del aceite, se abre la compuerta y se agregan las cantidades establecidas de residual de Policosanol, se espera un tiempo de 15 min para que estos productos se fundan y dispersen en el

aceite. Después, se adiciona la lechada de cemento. Una vez que están todas las materias primas dosificadas por el registro en el interior del reactor se cierra herméticamente el mismo y la válvula de venteo que estaba abierta.

Hermético el reactor y con los reactantes en su interior, se procede al calentamiento de este, al accionar la válvula de vapor del equipo hasta alcanzada una temperatura de 150 °C y una presión de 5 ata (manométrica) (condiciones de trabajo).

Estas condiciones de trabajo se mantienen durante una hora, tiempo necesario para que ocurra la saponificación, reacción que tiene lugar en el interior del reactor. Concluido este tiempo se procede a una descompresión; esto se logra al abrir poco a poco la válvula de venteo hasta lograr 0 ata de presión (manométrica), es decir la presión absoluta será igual a la atmosférica. Obteniéndose de este proceso el jabón insoluble.

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

El mástique líquido es bombeado al homogeneizador de mástique o al sinfín mezclador para adicionarle la viruta o polvo de goma, todo esto depende del producto a obtener (mástique semisólido o líquido).

Para ver la representación de dicho proceso se realiza un diagrama As-Is el cual brinda la información sobre el flujo de trabajo realizado en el mismo, tal y como se muestra en la **figura 2.1**

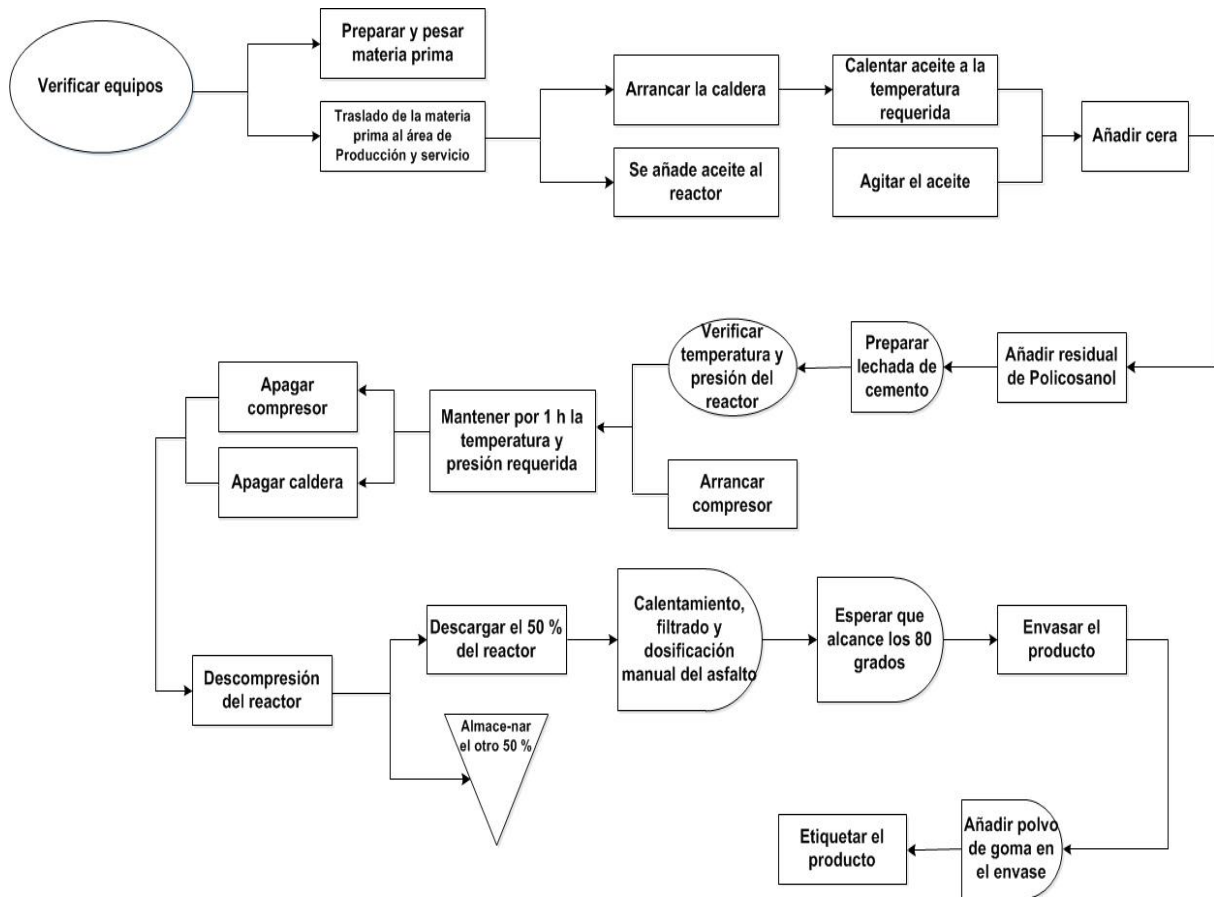


Figura 2.1: Diagrama As-Is del proceso tecnológico de mástique asfáltico.

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en el diagrama As-Is se detectaron tres pasos de demora que no aportan valor al proceso, pero son imprescindibles para el mismo por lo que no se pueden eliminar. Estas demoras son el proceso de preparación de lechada de cemento, el proceso de calentamiento, filtrado y dosificación manual del asfalto y el proceso de añadir el polvo de goma manualmente. Por lo que se hace necesario reducir sus tiempos al máximo para mejorar el proceso productivo de mástique asfáltico.

Por lo planteado con anterioridad y para darle solución al paso de demora en cuanto a la preparación de la lechada de cemento ya se realizó un trabajo de diploma en el cual se diseña un mezclador mecánico según Sánchez (2011). Por otra parte para erradicar la demora al añadir el polvo de goma manualmente se diseñó un sinfín mezclador según Lugo (2013).

Basándose en lo antes expuesto se propone el diseño de un tanque de almacenamiento para la realización mecánica del proceso de calentamiento y dosificación del asfalto, con ello se logra la eliminación del proceso de filtrado del asfalto, disminución de los riesgos laborales y del tiempo productivo.

2.3 Materiales y Métodos

2.3.1 Características de las materias primas

• Asfalto

El asfalto es un material viscoso, pegajoso y de color negro, presente en el petróleo crudo, cuyos 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 $989,5 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$.

• Aceite (Usado) 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 a continuación: (Totten, 2003)

Densidad: $0,82 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$

Viscosidad: 6,49 cPs

Conductividad térmica: $127 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$

Capacidad calorífica: $2,1736 \frac{\text{KJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$

Estas propiedades del aceite son en su estado natural, cabe recalcar que este no es el que se emplea para la producción sino el ya usado en los motores de gasolina, pero esto no influye debido a que las variaciones de las propiedades no son significativas.

• 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 2.2** se ofrece la composición de los ácidos grasos obtenidos por hidrólisis del residual con ácido sulfúrico, ya que todos estos ácidos grasos se encuentran en los jabones de potasio en el residual.

Tabla 2.2: Ácidos grasos más importantes presentes en el residual CNS*.

Ácidos Grasos	Contenido (%)	Rango de variación	Cadenas carbonadas
Ácido Palmítico	8,97	5-15	C16
Ácido Esteárico	1,77	1-3	C18
Ácido Oleico	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

Fuente: Tomado de García (2005).

• **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 2.3** se muestran las proporciones de estos óxidos en el cemento Portland 350, fabricado en Cuba.

Tabla 2.3: Principales constituyentes del cemento Portland 350.

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

2.3.2 Metodología para el diseño de un tanque de almacenamiento de asfalto con serpentín

2.3.2.1 Pérdidas de calor del tanque al medio ambiente

Para el cálculo de dichas pérdidas se utilizaron las prácticas de diseño de la Exxon Mobil la misma es una industria petrolera estadounidense fundada 1870. En el último informe sobre las 500 empresas con mayor capitalización bursátil del mundo, se encuentra la Exxon Mobil en uno de los primeros puestos, con una capitalización de mercado de US\$ 416 000 millones. Por lo expuesto anteriormente se decide utilizar la metodología mostrada por esta empresa que consta de una serie de pasos que se desarrollan a continuación:

Paso 1

Se calcula la temperatura de la película (f) mediante la expresión 2.1.

$$f = \frac{T_f + T_i}{2} \quad (2.1)$$

Donde:

Se necesita estimar la temperatura de la pared en contacto con el líquido (T_i).

T_f : Temperatura del fluido en el proceso.

Paso 2

Asumir la temperatura de la superficie del aislante (T_s).

Paso 3

Calcular el coeficiente de transferencia de calor entre el fluido y el equipo.

Mediante la expresión 2.2. (Exxon Mobil, 2001)

$$\bullet \quad h_f = \frac{6,97 \times (T_f - T_i)^{0,25}}{\mu_f^{0,4}} \quad (2.2)$$

Donde:

h_f : Coeficiente de transferencia de calor entre el fluido y el equipo $[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}]$.

T_f : Temperatura del fluido en el proceso [$^\circ C$].

T_i : Temperatura de la pared en contacto con el líquido [$^\circ C$].

μ_f : Viscosidad del fluido en el proceso evaluado a la temperatura de la película [$P_a \cdot s$].

Paso 4

Calcular el coeficiente de transferencia de calor por convección natural.

Mediante la expresión 2.3.

$$\bullet \quad h_{nc} = C \times \frac{k_f}{D} \times (G_r P_r)^n \quad (2.3)$$

Donde:

h_{nc} : Coeficiente de transferencia de calor por convección natural $[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}]$.

C: Constante [adimensional].

n: Constante [adimensional].

k_f : Conductividad térmica del fluido evaluado a la temperatura de la película $[\frac{W}{m \cdot ^\circ C}]$.

D: Diámetro interior del Tanque [m].

$G_r P_r$: Producto de Grashof y Prandtl [adimensional].

$$\bullet \quad G_r P_r = \frac{10^3 \times g \times \beta \times \rho^2 \times C_p \times D^3 \times \Delta T}{\mu_f \times k_f} \quad (2.4)$$

Donde:

g: Constante gravitacional ($9,81 \frac{m}{s^2}$).

β : Coeficiente de expansión volumétrico $[\frac{1}{^\circ C}]$.

ρ_f : Densidad del fluido evaluado a la temperatura de la película $[\frac{kg}{m^3}]$.

C_{pf} : Calor específico del fluido evaluado a la temperatura de la película $[\frac{KJ}{kg \cdot ^\circ C}]$.

ΔT : Diferencia de temperatura entre la temperatura del fluido y la de la pared en contacto con el líquido $[^\circ C]$.

$$\Delta T = T_f - T_i \quad (2.5)$$

μ_f : Viscosidad del fluido en el proceso evaluado a la temperatura de la película $[Pa \cdot s]$.

k_f : Conductividad térmica del fluido evaluado a la temperatura de la película $[\frac{W}{m \cdot ^\circ C}]$.

Paso 5

Calcular el coeficiente de transferencia de calor por convección forzada.

Mediante la expresión 2.6. (Exxon Mobil, 2001)

$$\bullet \quad h_{fc} = (1,46 \times 10^4) \times \frac{k_{aire}}{\sqrt{U_{aire}}} \times \sqrt{\frac{V_v}{D_0}} + (1,26 \times 10^3) \times \frac{k_{aire}}{U_{aire}} \times V_v \quad (2.6)$$

Donde:

h_{fc} : Coeficiente de transferencia de calor por convección forzada $[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}]$.

V_v : Velocidad del viento $[\frac{m}{s}]$.

D_0 : Diámetro exterior del tanque [mm].

k_{aire} : Conductividad térmica del aire $[\frac{W}{m \cdot ^\circ C}]$ evaluado a la temperatura media. La temperatura media se halla con la expresión 2.7.

$$\left(\frac{T_a + T_s}{2}\right) \quad (2.7)$$

T_a : Temperatura del aire [$^\circ C$].

T_s : Temperatura de la superficie del aislante [$^\circ C$].

U_{aire} : Viscosidad cinemática del aire $[\frac{mm^2}{s}]$.

$$U_{\text{aire}} = \frac{\mu_{\text{aire}}}{\rho_{\text{aire}}} \quad (2.8)$$

μ_{aire} : Viscosidad dinámica del aire a la temperatura media $[\frac{kg}{m \cdot s}]$.

ρ_{aire} : Densidad del aire a la temperatura media $[\frac{kg}{m^3}]$.

Paso 6

Calcular el coeficiente de transferencia de calor de convección natural y convección forzada combinado por la expresión 2.9. (Exxon Mobil, 2001)

$$\bullet \quad h_c = \sqrt{h_{nc}^2 + h_{fc}^2} \quad (2.9)$$

Donde:

h_c : Coeficiente de transferencia de calor de convección natural y convección forzada combinado $[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}]$.

Paso 7

Calcular el coeficiente de transferencia de calor por radiación mediante la expresión 2.10.

$$\bullet \quad h_r = \varepsilon \times \sigma \times [(T_s + 273)^2 + (T_e + 273)^2] \times [(T_s + 273) + (T_e + 273)] \quad (2.10)$$

Donde:

h_r : Coeficiente de transferencia de calor por radiación $[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}]$.

ε : Emisividad de la superficie [adimensional].

σ : Constante de Stefan-Boltzmann ($5,669 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 \cdot K^4}$).

T_s : Temperatura de la superficie del aislante [$^\circ C$].

T_e : Temperatura de los alrededores [$^\circ C$].

Paso 8

Calcular el coeficiente de transferencia de calor de convección y radiación combinado con la expresión 2.11.

- $h_e = h_c + h_r$ (2.11)

Donde:

h_e : Coeficiente de transferencia de calor de convección y radiación combinado

$$\left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}\right].$$

Paso 9

Determinar la conductividad térmica del aislante (k) a la temperatura media con respecto a la pared del tanque y a la superficie del aislante, la misma se define con la expresión 2.12.

$$\left(\frac{T_i + T_s}{2}\right) \quad (2.12)$$

Donde:

T_i : Temperatura de la pared en contacto con el líquido [$^\circ C$].

T_s : Temperatura de la superficie del aislante [$^\circ C$].

Paso 10

Para la realización de este paso es necesario calcular las pérdidas por m^2 de la pared húmeda con aislante y sin aislante, para ello se emplearon las expresiones 2.13 y 2.14 respectivamente. (Exxon Mobil, 2001)

- $q''_{\text{aislante}} = \frac{T_f - T_e}{\frac{1}{h_f} + (10^{-3} \times \frac{t}{k}) + \frac{1}{h_e}}$ (2.13)

Donde:

q''_{aislante} : Pérdidas por m^2 de pared húmeda con aislante [$\frac{W}{m^2}$].

T_f : Temperatura del fluido en el proceso [$^\circ C$].

T_e : Temperatura de los alrededores [$^\circ C$].

h_f : Coeficiente de Transferencia de Calor entre el fluido y el equipo [$\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$].

h_e : Coeficiente de Transferencia de Calor de convección y radiación combinado

$$\left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}\right].$$

t: Espesor del aislante [mm].

k: Conductividad térmica del aislante [$\frac{W}{m \cdot ^\circ C}$].

- $q'' = \frac{T_f - T_e}{\frac{1}{h_f} + \frac{1}{h_e}}$ (2.14)

Donde:

q'' : Pérdidas por m^2 de pared húmeda sin aislante [$\frac{W}{m^2}$].

T_f : Temperatura del fluido en el proceso [°C].

T_e : Temperatura de los alrededores [°C].

h_f : Coeficiente de Transferencia de Calor entre el fluido y el equipo [$\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$].

h_e : Coeficiente de Transferencia de Calor de convección y radiación combinado [$\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$].

Paso 11

Calcular la temperatura de la pared mediante la expresión 2.15. (Exxon Mobil, 2001)

- $$T_{i\text{ cal}} = T_f - \frac{q''_{\text{aislante}}}{h_f} \quad (2.15)$$

Paso 12

Calcular la temperatura de la superficie del aislante mediante la expresión 2.16.

- $$T_{s\text{ cal}} = T_e - \frac{q''_{\text{aislante}}}{h_e} \quad (2.16)$$

Tras el cálculo realizado en los pasos 11 y 12, se deben comparar que la T_i y la T_s asumidas den en un rango de ± 6 °C de diferencia con respecto a las calculadas. De cumplirse esto se pasa al paso 13, sino hay que tomar las temperaturas obtenidas y hacer la iteración con ellas hasta que se cumpla el intervalo.

Paso 13

Para continuar con la metodología se debe cumplir también la siguiente relación. En caso contrario se vuelve a realizar el procedimiento a partir de su primer paso.

$$h_f \times (T_f - T_i) \cong 10^3 \times \frac{k}{t} \times (T_i - T_s) \cong h_e \times (T_s - T_e)$$

Paso 14

Calcular las pérdidas totales de calor a través de la pared húmeda con aislante y sin aislante, mediante las expresiones 2.17 y 2.19 respectivamente.

- $$Q_{\text{aislante}} = q''_{\text{aislante}} \times A_s \quad (2.17)$$

Donde:

Q_{aislante} : Pérdida total de calor a través de la pared húmeda con aislante [W].

q''_{aislante} : Pérdidas por m^2 de pared húmeda con aislante [$\frac{W}{m^2}$].

A_s : Área de la superficie mojada del tanque [m^2].

- $$A_s = \pi \times D_b \times H_L \quad (2.18)$$

Donde:

H_L : Altura del nivel del líquido [m].

$$\bullet \quad Q = q'' \times A_s \quad (2.19)$$

Donde:

Q: Pérdida total de calor a través de la pared húmeda sin aislante [W].

q'' : Pérdidas por m^2 de pared húmeda sin aislante $[\frac{W}{m^2}]$.

A_s : Área de la superficie mojada del tanque $[m^2]$.

2.3.2.2 Área teórica de transferencia de calor

Debe señalarse que para calcular el área de transferencia de calor se utilizan las expresiones 2.20 y 2.21 (Kern, 1999). Además de la expresión 2.22. (Exxon Mobil, 2001)

$$\bullet \quad A = \frac{Q_{\text{aislante}}}{U_D \times \Delta T} \quad (2.20)$$

$$\bullet \quad U_D = \frac{U_c \times \frac{1}{R_d}}{U_c + \frac{1}{R_d}} \quad (2.21)$$

$$\bullet \quad U_c = \frac{h_e \times h_f}{h_e + h_f} \quad (2.22)$$

Donde:

A: Área de transferencia de calor $[m^2]$.

Q_{aislante} : Pérdida total de calor a través de la pared húmeda con aislante [W].

U_D : Coeficiente total de transferencia de calor de diseño $[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}]$.

U_c : Coeficiente total de transferencia de calor limpio $[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}]$.

R_d : Factor de obstrucción [adimensional].

ΔT : Diferencia de temperatura entre la temperatura del vapor y la temperatura del fluido $[^\circ C]$.

$$\Delta T = T_v - T_f \quad (2.23)$$

2.3.2.3 Número de tubos teóricos necesarios

Para calcular el número de tubos se recurre a la expresión 2.24.

$$\bullet \quad \text{Número de Tubos} = \frac{A}{\text{Área}_{\text{Tubo}}} \quad (2.24)$$

Donde:

A: Área de transferencia de Calor $[m^2]$.

Área/Tubo: Área de un tubo [m²].

Se hace necesario conocer el área de un tubo mediante la expresión 2.25.

$$\bullet \text{ Área/Tubo} = S \times L_{\text{tub}} \quad (2.25)$$

Donde:

S: Superficie por pie lineal [$\frac{\text{m}^2}{\text{m}}$].

L_{tub}: Longitud del tubo [m].

2.3.2.4. Tiempo del asfalto en alcanzar la temperatura requerida en el tanque para el proceso

Con la metodología utilizada para el diseño del tanque no es posible conocer el tiempo necesario para alcanzar la temperatura requerida por el proceso por lo que se decide auxiliarse del texto Viera (1996) a partir de las expresiones 2.26, 2.26a y 2.26b.

$$\bullet \frac{\partial E_{\text{tot}}}{\partial t} = -\Delta \left[\left(H + \frac{1}{2} \times \frac{v^3}{v} + \Phi \right) (\rho \langle v \rangle S) \right] + Q - W + Q^m + S_R \quad (2.26)$$

$$\bullet E_{\text{tot}} = U_{\text{tot}} + K_{\text{tot}} + \Phi_{\text{tot}} \quad (2.26a)$$

$$\bullet U_{\text{tot}} = m \times H \quad (2.26b)$$

En estas expresiones se desprecian los términos de energía cinética porque el fluido no está en movimiento, la energía potencial porque voy hacer el balance de energía interna y no un balance de flujo, el término de flujo másico se desprecia porque el proceso de calentamiento ocurre con el fluido estancado, el trabajo por no existir el mismo en el tanque, el calor por transferencia de masa debido a que no hay contacto directo entre los fluidos y el calor por reacción al no existir reacción química.

Para este caso a partir del análisis realizado con anterioridad la expresión 2.26a y 2.26 quedan modificadas de la siguiente forma:

$$\bullet E_{\text{tot}} = U_{\text{tot}} \quad (2.26c)$$

$$\bullet \frac{\partial E_{\text{tot}}}{\partial t} = Q \quad (2.26d)$$

Donde:

Q: Calor absorbido por el asfalto [$\frac{\text{KJ}}{\text{h}}$].

$$\bullet Q = Q_{\text{ced}} - Q_{\text{aislante}} \quad (2.26e)$$

Q_{ced} : Calor cedido por el vapor [$\frac{KJ}{h}$].

$Q_{aislante}$: Calor perdido por el asfalto [$\frac{KJ}{h}$].

Posteriormente se sustituye la expresión 2.26e en la 2.26d obteniéndose como resultado:

$$\bullet \quad \frac{\partial E_{tot}}{\partial t} = Q_{ced} - Q_{aislante} \quad (2.26f)$$

Seguido se sustituye la 2.26b en la 2.26f obteniéndose:

$$\frac{\partial m \times H}{\partial t} = Q_{ced} - Q_{aislante}$$

Después se procede a despejar la masa por ser una constante debido a esto la expresión se queda de la siguiente forma:

$$\bullet \quad \frac{\partial H}{\partial t} = \frac{Q_{ced} - Q_{aislante}}{m_{asfalto}} \quad (2.27)$$

Donde:

$\frac{\partial H}{\partial t}$: Variación de entalpía con respecto al tiempo.

$m_{asfalto}$: Masa de asfalto [kg].

$$\bullet \quad Q_{ced} = m_{vapor} \times \lambda \quad (2.28)$$

Donde:

m_{vapor} : Flujo másico de vapor [$\frac{kg}{h}$].

λ : Calor latente de vaporización [$\frac{KJ}{kg}$].

Se precisa conocer la masa de asfalto, para ello se utiliza la expresión 2.29.

$$\bullet \quad m_{asfalto} = \rho_f \times V \quad (2.29)$$

Ecuación para calcular la entalpía del asfalto a 25 °C:

$$\bullet \quad H_0 = C_p \times T_0 \quad (2.30)$$

Donde:

C_p : Calor específico del asfalto a 25 °C.

T_0 : Temperatura del asfalto.

Para el desarrollo de la ecuación 2.27 es necesario la utilización de un método matemático capaz de resolver ecuaciones diferenciales ordinarias (EDO), por lo que se determinó que el método de Runge-Kutta de cuarto orden sería el idóneo para la solución de dicha ecuación.

Método de Runge-Kutta de cuarto orden.

Entre los numerosos métodos numéricos existentes para la integración de ecuaciones diferenciales ordinarias, los métodos de Runge-Kutta son los más difundidos. Estos métodos son de un solo paso en el sentido de que solo utilizan la información de un punto anterior para calcular un nuevo punto, pero requieren evaluar la derivada en varios puntos intermedios.

La variante más conocida es el método de 4to orden, usualmente designado como método de Runge-Kutta sin referencia al orden, el cual se basa en las ecuaciones 2.31 y 2.31a. (Viera, 1996)

$$\bullet \quad h_{i+1} = h_i + \frac{P}{6} \times (k_1 + 2 \times k_2 + 2 \times k_3 + k_4) \quad (2.31)$$

$$\bullet \quad t_{i+1} = t_i + P \quad (2.31a)$$

Donde:

P: Paso a usar.

h_i : Valor de entalpía inicial.

t_i : Tiempo inicial.

2.4 Diseño mecánico del tanque

2.4.1 Tensión de flexión

Para la comprobación de las características del tanque se basa en la metodología propuesta por el texto García, (1994). En la que se calcula la tensión de flexión para ver si es menor que la tensión admisible de flexión.

Paso 1

Determinar la carga distribuida mediante la expresión 2.32. Para ello es necesario conocer el peso del tanque y la masa del acero con las expresiones que se muestran a continuación.

$$\bullet \quad \omega = \frac{G}{L} \quad (2.32)$$

Donde:

ω : Carga distribuida [$\frac{N}{m}$].

L: Longitud del tanque [m].

G: Peso del tanque [kg].

$$\bullet \quad G = (m_{\text{acero}} + m_{\text{asfalto}}) \times g \quad (2.33)$$

Donde:

g: Constante gravitacional ($9,81 \frac{m}{s^2}$).

m_{asfalto} : Masa de asfalto [kg].

m_{acero} : Masa de acero [kg].

$$\bullet \quad m_{\text{acero}} = \rho_{\text{acero}} \times \left(s \times \pi \times D \times L + \frac{\pi \times D^2}{4} \times s \times 2 \right) \quad (2.34)$$

Donde:

ρ_{acero} : Densidad del acero [$\frac{kg}{m^3}$].

s: Espesor del tanque [m].

D: Diámetro interior del tanque [m].

Paso 2

Calcular el momento flector máximo.

$$\bullet \quad \mu_{\text{max}} = \frac{\omega \times l^2}{8} \quad (2.35)$$

Donde:

μ_{max} : Momento flector máximo [N . m].

l: Longitud entre los soportes [m].

Paso 3

Calcular el módulo a la flexión mediante la expresión 2.36.

$$\bullet \quad \omega_x = \pi \times \frac{(D_0^4 - D^4)}{32 \times D_0} \quad (2.36)$$

Donde:

ω_x : Módulo a la flexión [m^3].

π : Constante pi (3,14).

D_0 : Diámetro exterior del tanque [m].

Paso 4

Calcular la tensión de flexión mediante la expresión 2.37. La misma tiene que ser menor o igual a la tensión de flexión admisible.

$$\bullet \quad \sigma = \frac{\mu_{\text{max}}}{\omega_x} \leq [\sigma] \quad (2.37)$$

Donde:

σ : Tensión de flexión [MP_a].

$[\sigma]$: Tensión de flexión admisible [MP_a].

2.4.2 Distribución mecánica del área de transferencia de calor

Analizar la distribución de los tubos para verificar que exista una repartición homogénea del área de transferencia de calor donde se asegure un calentamiento uniforme del asfalto. Ya que los mismos son los componentes fundamentales que proporcionan la superficie de transferencia de calor entre el fluido que circula por el interior y exterior de los tubos. Por otra parte cabe resaltar que estos pueden ser completos o soldados y generalmente están hechos de cobre o aleaciones de acero. Otras aleaciones de níquel, titanio o aluminio pueden ser requeridas para aplicaciones específicas. (Gómez, 2003.)

2.4.3 Diseño de las tapas para el tanque de almacenamiento de asfalto

Se debe considerar que características debe contener las tapas que conformaran el tanque para el almacenamiento del asfalto, sin despreciar las presiones que van a actuar en él.

Para el diseño de las tapas del tanque es necesario conocer su espesor, para ello se utiliza la metodología expuesta a continuación:

$$\bullet \quad s = k_p \times k_{deb} \times k_a \times D \times \sqrt{\frac{P_{cal}}{[\sigma] \times \varphi}} \quad (2.38)$$

Donde:

s: espesor de la tapa del tanque [m].

k_p : coeficiente que depende del espesor [adimensional].

k_a : coeficiente que depende de la forma que se pongan las tapas [adimensional].

D: Diámetro interior del tanque [m].

$[\sigma]$: Tensión de flexión admisible [MP_a].

φ : Coeficiente de resistencia de la costura soldada [adimensional].

k_{deb} : coeficiente de debilitamiento [adimensional].

P_{cal} : Presión calculada [MP_a].

$$\bullet \quad k_{deb} = \sqrt{\frac{1 - \sum \left(\frac{d_i}{D}\right)^3}{1 - \sum \left(\frac{d_i}{D}\right)}} \quad (2.39)$$

d_i : Diámetro exterior de cada orificio situado en la tapa [m].

$$\bullet \quad P_{cal} = P_h + P_{trabajo} \quad (2.40)$$

2.5 Área real de transferencia de calor

Como el área de transferencia de calor que se establece en el epígrafe 2.3.2.2 es el área mínima necesaria para el calentamiento del tanque, se hace imprescindible determinar el área real de transferencia de calor mediante la expresión 2.24, para este cálculo se toma una longitud de tubo mayor a la escogida con anterioridad.

2.6 Valoración económica de la inversión

Para determinar la valoración económica de la inversión se hace necesario realizar los cálculos correspondientes en cuanto al valor actual neto, tasa interna de retorno y plazo de recuperación de la inversión, tal y como se muestra a continuación.

2.6.1 Valor Actual Neto (VAN)

El movimiento de fondos (S) es la ganancia anual que se fija por la expresión:

$$\bullet \quad S = VP - CP \quad (2.41)$$

Donde:

VP: Total de cobros.

CP: Total de pagos.

$$\bullet \quad VP = \text{precio de venta} \times \text{volumen de producción} \quad (2.42)$$

$$\bullet \quad CP = (\text{costo fijos} \times \text{volumen de producción}) + (\text{costos variables} \times \text{volumen de producción}) \quad (2.43)$$

El movimiento de fondo acumulado (S_0) es la suma de los movimientos de fondo para cada año hasta el año analizado, donde el cambio de signo indica que se recuperó la inversión.

El movimiento de fondo actualizado (S_{act}) se determina como:

$$S_{act} = \frac{S}{(1+k)^t} \quad (2.44)$$

El VAN se estipula como:

$$VAN = -I + \sum_{i=0}^n \frac{S}{(1+k)^t} \quad (2.45)$$

Donde:

I: Inversión inicial.

S: Movimiento de fondo.

k: Costo de capital de la inversión.

t: Vida útil del producto.

Criterios de aceptación

Si el VAN es mucho mayor que 0 se acepta el proyecto de inversión.

Si el VAN es menor que 0 se rechaza el proyecto de inversión.

2.6.2 Tasa Interna de Retorno (TIR)

Si TIR > tasa de descuento (interés vigente): El proyecto es aceptable.

Si TIR = tasa de descuento (interés vigente): El proyecto es postergado.

Si TIR < tasa de descuento (interés vigente): El proyecto no es aceptable.

$$TIR = k_p - \frac{VAN_p \times (k_p - k_n)}{VAN_p - VAN_n} \quad (2.46)$$

Donde:

Kp: Tasa de costo de capital en que el VAN es positivo.

VANp: VAN positivo.

Kn: Tasa de costo de capital en que el VAN es negativo.

VANn: VAN negativo.

2.6.3 Plazo de Recuperación de la Inversión (PRI)

$$PRI = A - \frac{S_0}{S} \quad (2.47)$$

Donde:

A: Año donde se empieza a ganar (aparece el signo +) en el movimiento de fondo (acumulado).

S₀: Movimiento de fondo (acumulado) del año donde se obtienen utilidades.

S: Movimiento de fondo del año donde se obtienen utilidades.

2.7 Conclusiones parciales

1. Del análisis realizado mediante el diagrama As-Is a la línea de producción se identificaron desde el punto de vista tecnológico la necesidad del diseño de un tanque para el almacenamiento y calentamiento del asfalto.

2. El diseño del tanque eliminaría uno de los principales riesgos laborales que existen en la planta, además mejorar las condiciones de trabajo para el capital humano.

3. Se propone el diseño de un tanque para almacenamiento basado en las metodologías de cálculo desarrolladas por los autores Exxon Mobil (2001), Viera (1996).

4. Quedan determinados los principales indicadores económicos de la inversión que se aplicaran en la valoración económica.

Capítulo 3: Diseño del tanque para el almacenamiento del asfalto

Este capítulo tiene como objetivo exponer la secuencia de pasos seguidos para obtener como resultados el diseño del tanque de almacenamiento de asfalto, con la utilización de la metodología propuesta anteriormente.

3.1 Diseño del tanque de almacenamiento de asfalto

3.1.1 Cálculo de las dimensiones del tanque

Se parte de una variante que propone la planta Piloto, la cual no es más que hacer uso de un tanque inutilizable que se encuentra en la misma, dicho tanque será manipulado para el almacenamiento de asfalto. El mismo presenta un diámetro de interior de 1,2 m, un diámetro exterior de 1,22 m y un espesor de 0,01 m. Se pretende que el tanque tenga una capacidad de 7 m³.

Expresión para hallar el volumen a un cilindro.

$$V = \pi \times r^2 \times L$$

Al despejar la longitud del tanque obtenemos la siguiente expresión.

$$\bullet \quad L = \frac{V}{\pi \times r^2} \quad (3.1)$$

Donde:

L: Longitud del tanque.

π : Constante pi (3,14).

r: Radio del tanque.

V: Volumen del tanque.

Para determinar el radio del tanque se utiliza la expresión siguiente:

$$\bullet \quad r = \frac{D}{2} \quad (3.2)$$

Donde:

D: Diámetro del tanque (1,2 m)

Entonces $r = 0.6$ m.

Con la expresión 3.1 se determinó la longitud del tanque (L).

$$L = 6.19 \text{ m} = 20.31 \text{ ft}$$

3.1.2 Cálculo de las pérdidas de calor del tanque al medio ambiente

Paso 1

En un primer paso se determina la temperatura de la película mediante la expresión 2.1.

- $f = \frac{T_f + T_i}{2} = 117,5 \text{ } ^\circ\text{C}$

Donde:

$$T_f = 120 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Posteriormente se estima la temperatura de la pared en contacto con el líquido (T_i) obteniéndose:

$$T_i = 115 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Paso 2

Se estima la temperatura de la superficie del aislante (T_s).

$$T_s = 28 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Paso 3

Se calcula el coeficiente de transferencia de calor entre el fluido y el equipo con la expresión 2.2.

- $h_f = \frac{6,97 \times (T_f - T_i)^{0,25}}{\mu_f^{0,4}}$

Por otra parte se determina mediante el gráfico A-2b la viscosidad del asfalto a la temperatura de la película.

$\mu_f = 0,3 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ Gráfico A-2b Viscosidad del agua y de líquidos derivados del petróleo. (González, 2009)

Obteniéndose:

$$h_f = 16,87 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$$

Paso 4

Cálculo del coeficiente de transferencia de calor por convección natural mediante la expresión 2.3.

- $h_{nc} = C \times \frac{k_f}{D} \times (G_r P_r)^n$

Donde:

$C = 0,59$ y $n = 0,25$ Tabla 1. (Exxon Mobil, 2001)

Según Reinking (2002) se considera que el asfalto por ser un crudo extra pesado está por debajo de los 10 grados API. La conductividad térmica del asfalto a la temperatura de la película es:

$$k_f = 0,109 \frac{W}{m \cdot ^\circ C} \quad \text{Figura 1 del apéndice. (Kern, 1999)}$$

Por otro lado se determina el producto de Grashof y Prandtl mediante la expresión 2.4.

$$\bullet \quad G_r P_r = \frac{10^3 \times g \times \beta \times \rho^2 \times C_p \times D^3 \times \Delta T}{\mu_f \times k_f}$$

$$G_r P_r = 66178574,18$$

Donde:

$$\beta = 1,25 \times 10^{-5} \frac{1}{^\circ C} \quad \text{Tabla XI. (Mijalev, 1984)}$$

La densidad del asfalto a la temperatura de la película es:

$$\rho_f = 989,5 \frac{kg}{m^3} \quad (\text{Mata, 2005})$$

El Calor específico del asfalto a la temperatura de la película es:

$$C_{pf} = 2,09 \frac{KJ}{kg \cdot ^\circ C} \quad \text{Figura 1 del apéndice. (Kern, 1999)}$$

$$D = 1,2 \text{ m}$$

$$\Delta T = 5 \text{ } ^\circ C. \quad \text{Mediante la expresión 2.5.}$$

Al sustituir todos estos valores en la expresión 2.3 obtenemos como resultado:

$$h_{nc} = 4,85 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

Paso 5

Se utiliza la expresión 2.6 para calcular el coeficiente de transferencia de calor por convección forzada.

$$\bullet \quad h_{fc} = (1,46 \times 10^4) \times \frac{k_{aire}}{\sqrt{U_{aire}}} \times \sqrt{\frac{V_v}{D_0}} + (1,26 \times 10^3) \times \frac{k_{aire}}{U_{aire}} \times V_v$$

$$D_0 = 1,22 \text{ m} = 1220 \text{ mm}$$

$$V_v = 6,44 \frac{m}{s} \quad (\text{Roque, 2009})$$

Para seleccionar la conductividad térmica del aire (k_{aire}) se hace necesario conocer la temperatura media, para ello se utiliza la expresión 2.7.

$$\frac{T_a + T_s}{2} = 26,5 \text{ } ^\circ C$$

Donde:

$$T_a = 25 \text{ } ^\circ C$$

La conductividad térmica del aire a 26,5 °C es:

$$k_{aire} = 0,02627 \frac{W}{m \cdot ^\circ C} \quad \text{Tabla 5 del apéndice. (Kern, 1999)}$$

Posteriormente se procede a calcular con la expresión 2.8 la viscosidad cinemática del aire.

- $U_{\text{aire}} = \frac{\mu_{\text{aire}}}{\rho_{\text{aire}}}$

$$U_{\text{aire}} = 1,53 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} = 15.33 \frac{\text{mm}^2}{\text{s}}$$

Donde:

La viscosidad dinámica y la densidad del aire a 26,5 °C son:

$$\mu_{\text{aire}} = 0,000018 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}} \quad \text{Figura 15 del apéndice. (Kern, 1999)}$$

$$\rho_{\text{aire}} = 1,17 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad \text{Tabla A-9: Densidad del aire. (González, 2009)}$$

Al sustituir estos valores en la expresión 2.6 obtenemos:

$$h_{\text{fc}} = 21,03 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$$

Paso 6

Cálculo del coeficiente de transferencia de calor de convección natural y convección forzada combinado con la expresión 2.9.

- $h_c = \sqrt{h_{\text{nc}}^2 + h_{\text{fc}}^2}$

$$h_c = 21,58 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$$

Paso 7

Cálculo del coeficiente de transferencia de calor por radiación mediante la expresión 2.10.

- $h_r = \varepsilon \times \sigma \times [(T_s + 273)^2 + (T_e + 273)^2] \times [(T_s + 273) + (T_e + 273)]$

Donde:

$$\varepsilon = 0,9 \quad \text{Figura 5B. (Exxon Mobil, 2001)}$$

$$T_e = 25 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Al sustituir obtenemos el valor del coeficiente:

$$h_r = 5,48 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$$

Paso 8

Se determina con la expresión 2.11 el coeficiente de transferencia de calor de convección y radiación combinado.

- $h_e = h_c + h_r$

$$h_e = 27,06 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$$

Paso 9

Cálculo de la temperatura mediante la expresión 2.12. Necesaria para la determinación de la conductividad térmica del aislante.

$$\frac{T_i + T_s}{2} = 71,5 \text{ °C}$$

Determinación de la conductividad térmica del aislante a 71,5 °C.

Con el análisis realizado a las características: precio, conductividad térmica y disponibilidad de los diferentes tipos de aislantes (anexo 3), se decide determinar que el más factible es la lana de roca por su bajo precio y conductividad, además de ser el de mayor facilidad de adquisición ya que es obtenido a través de la UNE (Unión Nacional Eléctrica).

$$k = 0,034 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{°C}} \quad (\text{ROCKWOOL, 2012})$$

Paso 10

Cálculo de las pérdidas por m² a través de la pared húmeda con aislante y sin aislante.

1. Con aislante mediante la expresión 2.13.

$$q''_{\text{aislante}} = \frac{T_f - T_e}{\frac{1}{h_f} + (10^{-3} \times \frac{t}{k}) + \frac{1}{h_e}}$$

Donde:

$$t = 40 \text{ mm}$$

El espesor de aislante se tomó para este cálculo basado en las dimensiones en que los fabricantes los suministran y por su facilidad para el manejo.

Al sustituir el espesor del aislante en dicha expresión obtenemos el siguiente resultado:

$$q''_{\text{aislante}} = 76,64 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

2. Sin aislante mediante la expresión 2.14.

$$q'' = \frac{T_f - T_e}{\frac{1}{h_f} + \frac{1}{h_e}}$$

$$q'' = 987,2 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

Paso 11

Determinar la temperatura de la pared con la expresión 2.15.

$$T_{i \text{ cal}} = T_f - \frac{q''_{\text{aislante}}}{h_f}$$

$$T_{i \text{ cal}} = 115,4 \text{ °C}$$

Paso 12

Cálculo de la temperatura de la superficie del aislante mediante la expresión 2.16.

- $$T_{s\text{ cal}} = T_e - \frac{q''_{\text{aislante}}}{h_e}$$

$$T_{s\text{ cal}} = 22,17 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Paso 13

Se comprueba si se cumple la relación siguiente:

$$h_f \times (T_f - T_i) \cong 10^3 \times \frac{k}{t} \times (T_i - T_s) \cong h_e \times (T_s - T_e)$$

$$84,35 \cong 73,95 \cong 81,19$$

Se propone 40 mm de espesor de lana de roca como aislante térmico debido al resultado de la relación comprobada con anterioridad.

Además se realiza un análisis donde se observa en la **tabla 3.1** que a medida que aumenta el espesor del aislante disminuyen las pérdidas de calor, se puede apreciar que por encima de 40 mm de espesor de aislante las pérdidas disminuyen insignificadamente, lo que no se recomienda desde el punto de vista técnico-económico seguir con el aumento del mismo.

Tabla 3.1: Variación de las pérdidas con respecto al espesor del aislante.

Espesor mm	10	20	30	40	50	60
Pérdidas por m ² de pared humedad con aislante $\frac{W}{m^2}$	243,37	138,79	97,07	74,64	60,63	51,04

Fuente: Elaboración propia.

Paso 14

En este paso se procede a calcular las pérdidas totales de calor a través de la pared húmeda.

1. Con aislante mediante la expresión 2.17.

- $$Q_{\text{aislante}} = q''_{\text{aislante}} \times A_s$$

Para este análisis se hace necesario conocer el área de la superficie mojada del tanque (A_s), lo cual se realiza con la expresión 2.18.

$$A_s = \pi \times D \times H_L$$

$$A_s = 3,165 \text{ m}^2$$

Donde:

$$H_L = 0,84 \text{ m} \quad \text{La cual es el 70\% de la altura del tanque igual a 1,2 m.}$$

Sustituido este valor se obtiene como resultado:

$$Q_{\text{aislante}} = 236,26 \text{ W}$$

2. Sin aislante mediante la expresión 2.19.

- $Q = q'' \times A_s$

$$Q = 3124,76 \text{ W}$$

Cabe considerar, por otra parte, que las pérdidas de calor a través de la pared húmeda del tanque no son las únicas. También se encuentran las pérdidas de calor a través de la pared seca que en este caso serán despreciadas porque solamente se calculan para techos cónicos, de este mismo modo sucede con las pérdidas de calor a través del techo y por último se encuentran las pérdidas hacia la tierra, las cuales se calculan para tanques sobre el suelo y únicamente para climas muy fríos. Visto de esta forma las pérdidas totales del tanque van a ser igual a las pérdidas a través de la pared húmeda, basado en la metodología para el diseño de tanque de almacenamiento con serpentines ilustrado en las Prácticas de Diseño Exxon Mobil.

3.1.3 Cálculo del área teórica de transferencia de calor

Para la determinación del área de transferencia de calor se empleó la expresión 2.20.

- $A = \frac{Q_{\text{aislante}}}{U_D \times \Delta T}$

$$A = 0,85 \text{ m}^2$$

$\Delta T = 32,3 \text{ }^\circ\text{C}$. Se emplea la expresión 2.23.

Donde:

$T_v = 152,3 \text{ }^\circ\text{C}$ Para la obtención de la temperatura del vapor se entra a la tabla 7 del apéndice (Kern, 1999) con $5 \text{ atm} = 73,4797 \frac{\text{lb}}{\text{plg}^2}$, por ser esta la presión de trabajo de la caldera.

$$T_f = 120 \text{ }^\circ\text{C}$$

En este sentido se comprende necesario conocer con la expresión 2.21 el coeficiente total de transferencia de calor de diseño.

- $U_D = \frac{U_c \times \frac{1}{R_d}}{U_c + \frac{1}{R_d}}$

$$U_D = 8,6 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$$

Donde:

$R_d = 0,02$ Debido a que para el diseño de un tanque de almacenamiento similar a este, Kern (1999) utiliza este factor de obstrucción.

Por otra parte se calcula con la expresión 2.22 el coeficiente total de transferencia de calor limpio.

- $U_c = \frac{h_e \times h_f}{h_e + h_f}$

$$U_c = 10,39 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

3.1.4 Cálculo del número de tubos teóricos necesarios para el diseño

En un primer momento para realizar los cálculos correspondientes en este paso es necesario conocer las dimensiones que va a tener el tubo o los tubos que conforman el serpentín. Según el código ASME (Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos), la tubería del serpentín de vapor para presiones menores de 10 atm y con un límite de temperatura entre 29 °C - 204 °C se recomienda 1 plg, sch 80, smls (sin costura), sw (soldado) y el material es ASTM A-106 Gr. B.

Basado en que los tubos van a ser de 1 plg, sch 80 se entra con ese valor a la Tabla 1 Propiedades de diseño de tubo (Exxon Mobil, 2003) donde se obtiene un diámetro interior de 0,0243 m, un diámetro exterior de 0,0333 m y una superficie por pie lineal $0,105 \left[\frac{m^2}{m} \right]$.

En esta perspectiva es imprescindible determinar con la expresión 2.25 el área que va a tener uno de estos tubos.

- $\text{Área}/\text{Tubo} = S \times L_{\text{tub}}$

$$\text{Área}/\text{Tubo} = 0,325 \text{ m}^2$$

Donde:

$L_{\text{tub}} = 3,094 \text{ m}$ Este valor fue tomado a partir de un análisis realizado en Kern (1999), donde en un ejercicio similar a este se toma una longitud para el serpentín de aproximadamente la mitad de la longitud del tanque.

Tras los cálculos realizados con anterioridad se puede determinar el número de tubos con la expresión 2.24.

- Número de Tubos = $\frac{A}{\text{Área}/\text{Tubo}} = \frac{0,85}{0,324} = 2,62 \approx 3$ Tubos

3.1.5 Cálculo del tiempo del asfalto en alcanzar la temperatura requerida en el tanque para el proceso

Para la realización de esta etapa se utiliza como expresión principal la 2.27, tal y como se muestra a continuación.

- $\frac{\partial H}{\partial t} = \frac{Q_{\text{ced}} - Q_{\text{aislante}}}{m_{\text{asfalto}}}$

$$Q_{\text{aislante}} = 236,26 \text{ W} = 850,5 \frac{\text{KJ}}{\text{h}}$$

Posteriormente se procede a calcular el calor cedido por el vapor con la expresión 2.28.

Donde:

El flujo másico de vapor fue tomado a partir de que la caldera produce $260 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$, de los cuales $30 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$ según Rodríguez (2013) se utilizan para la obtención del jabón insoluble, por lo tanto quedarían disponibles $230 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$, de los cuales usaremos para el proceso de calentamiento de asfalto:

$$m_{\text{vapor}} = 206 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \text{ lo que representa un } 79,23\% \text{ del flujo total de la caldera.}$$

Para determinar el calor latente de vaporización se entra con el valor de la temperatura del vapor ($152,3 \text{ }^\circ\text{C} = 306,14 \text{ }^\circ\text{F}$) a la Tabla 7 del apéndice (Kern, 1999). Al realizar esta operación se obtiene el siguiente valor del calor latente de vaporización:

$$\lambda = 2106 \frac{\text{KJ}}{\text{kg}}$$

Obteniéndose como resultado un calor cedido igual a $433836,00 \frac{\text{KJ}}{\text{h}}$

Por otra parte se determina mediante la expresión 2.29 la masa del asfalto.

- $m_{\text{asfalto}} = \rho_f \times V$
 $m_{\text{asfalto}} = 6926,5 \text{ kg}$

La entalpía inicial del asfalto sólido a $25 \text{ }^\circ\text{C}$ (H_0) es:

- $H_0 = 274,3 \frac{\text{KJ}}{\text{kg}}$ Mediante la expresión 2.30.

Donde:

$$C_p = 920 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{K}} = 0,92 \frac{\text{KJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{K}} \quad (\text{Martínez, 2007}).$$

$$T_0 = 25 \text{ }^\circ\text{C} = 298,15 \text{ }^\circ\text{K}$$

La entalpía final del asfalto a 120 °C (H_f) es:

$$H_f = 225 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}} = 523,4 \frac{\text{KJ}}{\text{kg}} \quad \text{Figura 11 del apéndice (Kern, 1999).}$$

A continuación se procede a utilizar el método de Runge-Kutta de cuarto orden con el objetivo de variar la entalpía hasta la obtención de la entalpía final, para determinar el tiempo final. Cada una de las iteraciones se realizarán con las expresiones 2.31 y 2.31a.

$$\frac{\partial H}{\partial t} = 62,51$$

$$k_1 = k_2 = k_3 = k_4 = 62,51$$

1era Iteración

$$h_i = 274,3 \frac{\text{KJ}}{\text{kg}} \quad t_i = 0 \text{ h} \quad P = 1 \text{ h}$$

$$h_{i+1} = 336,81 \frac{\text{KJ}}{\text{kg}} \quad t_{i+1} = 1 \text{ h}$$

2da Iteración

$$h_i = 336,81 \frac{\text{KJ}}{\text{kg}} \quad t_i = 1 \text{ h}$$

$$h_{i+1} = 399,32 \frac{\text{KJ}}{\text{kg}} \quad t_{i+1} = 2 \text{ h}$$

3ra Iteración

$$h_i = 399,32 \frac{\text{KJ}}{\text{kg}} \quad t_i = 2 \text{ h}$$

$$h_{i+1} = 461,83 \frac{\text{KJ}}{\text{kg}} \quad t_{i+1} = 3 \text{ h}$$

4ta Iteración

$$h_i = 461,83 \frac{\text{KJ}}{\text{kg}} \quad t_i = 3 \text{ h}$$

$$h_{i+1} = 524,35 \frac{\text{KJ}}{\text{kg}} \quad t_{i+1} = 4 \text{ h}$$

A modo de resumen se puede observar en la **tabla 3.2** como varía la entalpía en el tiempo.

Tabla 3.2: Variación de la entalpía en el tiempo.

Entalpía $\frac{\text{KJ}}{\text{kg}}$	Tiempo h
274,3	0
336,81	1
399,32	2
461,83	3

524,35	4
--------	---

Fuente: Elaboración propia.

Tras los cálculos realizados se obtuvo que es necesario un tiempo de 4 h para calentar el asfalto en el tanque.

3.2 Diseño mecánico

3.2.1 Cálculo de la tensión de flexión

Paso 1

Cálculo de la carga distribuida mediante la expresión 2.32.

- $\omega = \frac{G}{L}$

Para ello fue necesario el cálculo del peso del tanque con la expresión 2.33.

- $G = (m_{\text{acero}} + m_{\text{asfalto}}) \times g$
 $G = 87430,7 \frac{\text{kg} \times \text{m}}{\text{s}^2} = 87430,7 \text{ N}$

Donde:

Se obtiene con la expresión 2.34 que $m_{\text{acero}} = 1995 \text{ kg}$, en la cual era imprescindible conocer su densidad, la misma es igual a $7800 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ (Dobrovolski, 1980).

Al sustituir el resultado de la expresión 2.33 en la 2.32 obtenemos que:

$$\omega = 14124,5 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

Paso 2

Cálculo del momento flector máximo mediante la expresión 2.35.

- $\mu_{\text{max}} = \frac{\omega \times l^2}{8}$
 $\mu_{\text{max}} = 16912 \text{ N.m}$

Donde:

$l = 3,095 \text{ m}$. Este valor se escoge para garantizar que exista una semejanza en la distribución de los momentos flectores.

Paso 3

Cálculo del módulo a la flexión con la expresión 2.36.

- $\omega_x = \pi \times \frac{(D_0^4 - D^4)}{32 \times D_0}$
 $\omega_x = 0,0114 \text{ m}^3$

Paso 4

Se determina la tensión de flexión con los datos anteriormente calculados en los pasos 2 y 3 mediante la ecuación 2.37.

$$\bullet \quad \sigma = \frac{\mu_{\max}}{\omega_x} \leq [\sigma]$$

$$\sigma = 1483508,77 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 1483508,77 \text{ Pa} = 1,4835 \text{ MPa}$$

Donde:

$[\sigma] = 140 \text{ MPa}$. Tabla 1 del apéndice. (Grefkowicz, 1970)

$$1,4835 \text{ MPa} \leq 140 \text{ MPa}$$

Como resultado obtenemos que la tensión sobre el tanque va a ser menor que la admisible por él, por lo tanto estas dimensiones del tanque (diámetro interior de 1,2 m, diámetro exterior de 1,22 m y una longitud de 6,19 m) le darán la capacidad de resistir el peso del fluido sin romperse o adquirir deformaciones permanentes.

3.2.2 Distribución mecánica del área de transferencia de calor

Para comenzar con el análisis a la distribución mecánica del área de transferencia de calor se parte de que el tanque diseñado con anterioridad contiene 3 tubos de 3,094 m de longitud que van a conformar el serpentín del mismo, la distribución no era la correcta debido a que el asfalto no iba a tener un calentamiento homogéneo, por ser los tubos muy cortos con relación a la longitud del tanque, para ello es necesario realizar su rediseño, donde se mantienen sus características (diámetro interior y diámetro exterior) pero varía el número de tubos que lo conforman y su longitud.

Tras un análisis realizado se determinó colocar un tubo que conformaría el serpentín situado en el tanque a una altura de 0,3 m = 30 cm y colocar en el centro de cada tramo del tubo un soporte, esto permite a su vez que sea más fácil la instalación del serpentín y brinde una mejor distribución del área de transferencia de calor, tal y como se muestra en la **figura 3.1**



Figura 3.1: Altura del serpentín en el tanque.

Fuente: Elaboración Propia.

A continuación se muestran en la **figura 3.2** las medidas que van a conformar la longitud del tubo.

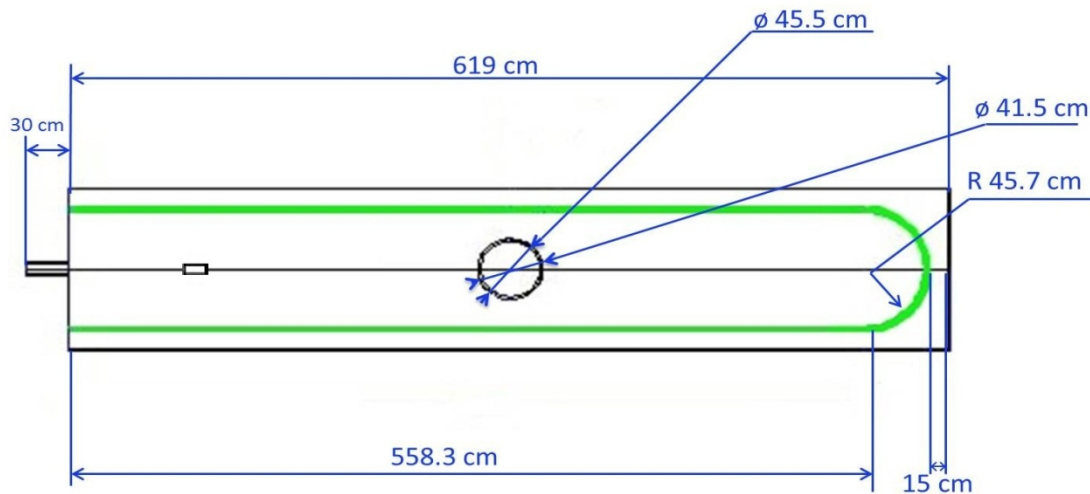


Figura 3.2: Mediciones que conforman la longitud del serpentín.

Fuente: Elaboración propia.

Con ellas se determina mediante la expresión 3.3 la longitud del tubo:

- $$L_{\text{tub}} = 2 \times 558,3 + \pi \times 45,7 \quad (3.3)$$

$$L_{\text{tub}} = 1260,0 \text{ cm} = 12,6 \text{ m}$$

A partir del análisis realizado con anterioridad el tanque para el almacenamiento de asfalto quedaría diseñado como se muestra en la **figura 3.3**.

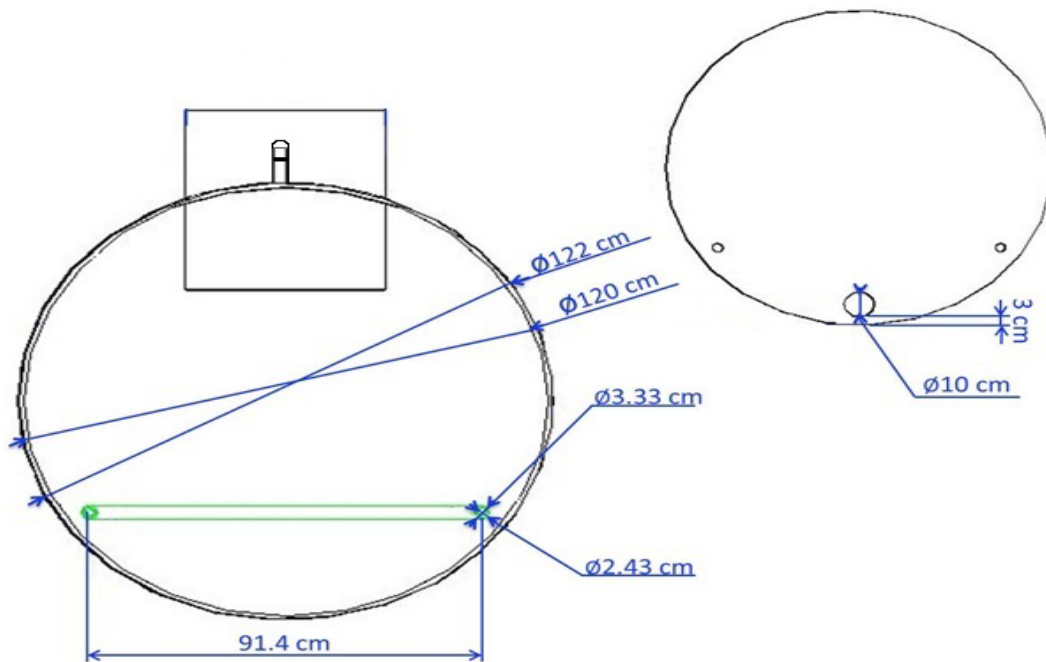


Figura 3.3: Vista frontal del tanque para almacenamiento de asfalto.

Fuente: Elaboración propia.

3.2.3 Diseño mecánico de las tapas para el tanque

Por estar el tanque a presión atmosférica la única presión que va actuar sobre él es la hidrostática calculándose mediante la expresión 3.4

$$\bullet P_h = \rho_f \times g \times h \quad (3.4)$$

Donde:

P_h : Presión hidrostática [MP_a].

ρ_f : Densidad del fluido ($989,5 \frac{kg}{m^3}$) (Mata, 2005)

g : Constante gravitacional ($9,81 \frac{m}{s^2}$).

h : Altura del tanque (1,2 m).

Calculada dicha presión se obtiene como resultado:

$$P_h = 16636,5 \frac{kgf}{m^2} = 0,116 MP_a$$

Al ser este valor menor que $0,2 MP_a$ se decide emplear tapas planas, 1 soldada al tanque y otra con bridas soldadas a la que va a estar sujeto el serpentín mediante soldaduras. Esto permitiría facilitar el acceso a los tubos en caso de que exista algún problema con ellos.

Una vez seleccionado el tipo de tapas a utilizar se procede a calcular el espesor de las mismas a partir de la expresión 2.38

- $s = k_p \times k_{deb} \times k_a \times D \times \sqrt{\frac{P_{cal}}{[\sigma] \times \varphi}}$

$k_p = 1$ debido a que inicialmente se desconoce el espesor de la tapa.

$k_a = 0,4$ (Mijalev, 1984)

$\varphi = 1$

Una vez ajustada las expresiones 2.39 y 2.40 respectivamente al diseño real de las tapas para el tanque de almacenamiento se obtienen las expresiones siguientes:

- $k_{deb} = \sqrt{\frac{1 - \left[2 \times \left(\frac{d_1}{D} \right)^3 + \left(\frac{d_2}{D} \right)^3 \right]}{1 - \left[2 \times \left(\frac{d_1}{D} \right) + \left(\frac{d_2}{D} \right) \right]}}$

$k_{deb} = 1,07$

Donde:

d_1 : Diámetro exterior del tubo del serpentín (0,0333 m).

d_2 : Diámetro exterior del tubo de entrada del asfalto (0,1 m).

- $P_{cal} = P_h + P_{trabajo}$

$P_{cal} = 0,116 \text{ MP}_a$

Al sustituir todos estos valores en la expresión 2.38 se logra un espesor de 0,015 m, normalizándolo a 0,016 m.

A modo de conclusión se muestra en la **figura 3.4** una vista en 3D del tanque, donde se puede observar que el mismo contiene un registro de inspección sellado con una brida, dos tapas, un serpentín, un tubo de 3/8 empleado como respiradero y una entrada para el asfalto.

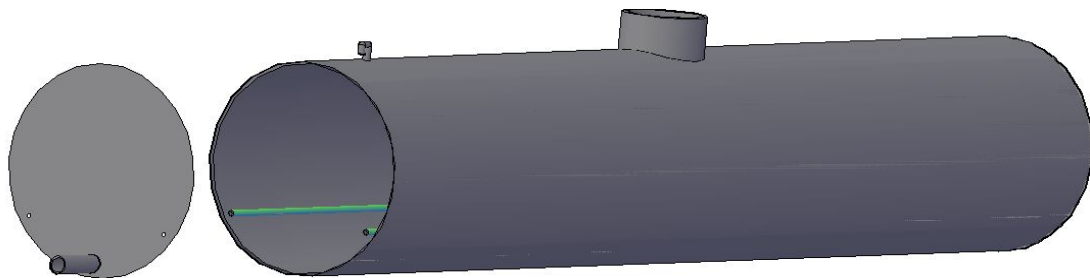


Figura 3.4: Vista en 3D del tanque para el almacenamiento de asfalto.

Fuente: Elaboración propia.

3.3 Cálculo del área real de transferencia de calor

Ante todo es necesario conocer el área que va a tener el nuevo tubo, para ello se utiliza la expresión 2.25

- $\text{Área}/\text{Tubo} = S \times L_{\text{tub}}$

Donde:

$L_{\text{tub}} = 12,6 \text{ m}$ Basado en el cálculo de la longitud del tubo en el epígrafe 3.22.

$$\text{Área}/\text{Tubo} = 1,32 \text{ m}^2$$

Decidiéndose usar un número de tubos igual 1 y con un área del tubo igual a $1,32 \text{ m}^2$ se determina el área real de transferencia de calor, con la expresión 2.24.

- $\text{Número de Tubos} = \frac{A}{\text{Área}/\text{Tubo}}$

Al despejarse esta expresión el área de transferencia de calor nos quedaría:

$$A = \text{Número de Tubos} \times \text{Área}/\text{Tubo}$$

$$A = 1,32 \text{ m}^2$$

Como el área real de transferencia de calor da mayor que el área teórica de transferencia de calor se deja esta distribución de tubo.

Por cálculos ajenos al trabajo de diploma se comprueba la caída de presión en el tubo obteniéndose que la variación de la misma es insignificante, por lo que no afectara al proceso de calentamiento del asfalto.

3.4 Análisis de los resultados

Con estos cálculos pudimos determinar ciertos parámetros necesarios para el diseño del tanque como son las pérdidas del mismo hacia el medio ambiente, el área teórica de transferencia de calor, la cual permitió hallar el número de tubos necesarios para poder calentar el asfalto, de acuerdo a las dimensiones seleccionadas para el tanque y su aislante propuesto pudimos establecer el tiempo que se demorará el asfalto en calentarse.

Dentro de esta perspectiva se puede plantear con el diseño del tanque para el almacenamiento del asfalto y el aislante lana de roca, el tanque necesitaría para lograr calentar una masa de asfalto igual a $6926,5 \text{ kg}$ en 4 horas aproximadamente un flujo de calor de 433836 KJ/h y esto representa el $79,23\%$ del flujo total de la caldera.

Con el diseño mecánico del tanque se comprobó que las dimensiones propuestas soportan el peso del fluido sin deformarse. Además se le da una nueva distribución a los tubos del serpentín donde se garantiza que exista un calentamiento uniforme del asfalto lo que permite la obtención de una mayor área de transferencia de calor, denominada como área real de transferencia de calor. Por otra parte se determinó el tipo de tapa a utilizar con su espesor, obteniéndose que las mismas serían planas y con un espesor de 0,016 m.

3.5 Valoración económica de la inversión

3.5.1 Cálculo del valor actual neto

Los datos requeridos en esta valoración económica fueron extraídos de la ficha de costo del producto DISTIN 404.

Otros datos:

El interés utilizado se fijó en un 10% y 5 años de producción, debido a que cuenta con una variabilidad entre el 1 y el 10% a partir de las características que considera el Banco Central de Cuba, tales como: el objeto del crédito solicitado, la capacidad de pago del cliente y el análisis de riesgo (Hernández, 2012).

Además se cuenta con un volumen de producción (36 000 Kg/año) dada la capacidad del reactor (750 Kg/día) y el tiempo que designa la planta a esta producción (48 días/año), que es el 20% de la producción. Por otra parte el costo del equipo sería de 9800,00 pesos en el año 1989. (Gómez, 1989).

Por consiguiente se procede a calcular el monto de la inversión necesaria para la puesta en práctica del diseño del tanque realizado con anterioridad. Obteniéndose como resultado el valor que se muestra en la **tabla 3.3**.

Tabla 3.3: Actualización de costo.

Actualización del costo del equipo		
Año	Índice de Costo	Costo Equipo (\$)
1989	355,4	9800,00
2013	567,3	15643,05

Fuente: Elaboración propia.

A continuación se procede a determinar el movimiento de fondo para el cual se utilizan los valores de la **tabla 3.4**.

Tabla 3.4: Datos extraídos de la ficha de costo. (**Anexo 4**).

Costos fijos (\$/L)	2,93
Costos variables (\$/L)	1,09
Precio de venta (\$/L)	4,46
Volumen de producción N (Kg/año)	36000
tiempo (año)	5
Interés	0,1

Fuente: Elaboración propia.

De allí, que se proceda a calcularse el total de cobros y el total de pagos mediante las expresiones 2.42 y 2.43 respectivamente. Dándose como resultado la **tabla 3.5**.

Tabla 3.5: Cálculo del total de cobros y pagos para los 5 años de inversión.

Concepto/Año	0	1	2	3	4	5
Total de cobros (VP)	0,00	160560	160560	160560	160560	160560
Total de pagos (CP)	15643,05	144720	144720	144720	144720	144720

Fuente: Elaboración propia.

Tras el análisis realizado con anterioridad y con la utilización de la expresión 2.41, se obtuvieron los movimientos de fondos mostrados en la **tabla 3.6**.

Tabla 3.6: Movimientos de fondos para los 5 años de inversión.

Concepto/Año	0	1	2	3	4	5
Mov. de Fondo (Cobros - Pagos)	-15643,05	15840	15840	15840	15840	15840

Fuente: Elaboración propia.

Por consiguiente se procede a determinar mediante la expresión 2.44 el movimiento de fondo actualizado tal y como se muestra en la **tabla 3.7**.

Tabla 3.7: Movimiento de fondo actualizado para los 5 años de inversión.

Concepto/Año	0	1	2	3	4	5
Mov. de Fondo (Actualizado)	-15643,05	14400,00	13090,91	11900,83	10818,93	9835,39

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente se procede a calcular con la expresión 2.45 el valor actual neto, donde una vez recuperada la inversión y pagados los intereses se cuenta con una utilidad de 28759,96 pesos.

3.5.2 Cálculo de la tasa interna de retorno

Dentro de este marco se procede a calcular la tasa interna de retorno, la cual nos permite determinar si la inversión es aceptable o no mediante la expresión 2.46.

Donde se establece por tanteo los intereses que hacen que el VAN se vuelva negativo y positivo, tal y como se muestra a continuación.

K_p : 41 %

VAN_p : 415.77 \$.

K_n : 43 %.

VAN_n : -609.26 \$

De esta manera el costo de capital que anula al VAN es de 41.81 %.

3.5.3 Cálculo del plazo de recuperación de la inversión

Finalmente se procede a calcular con la expresión 2.47 el tiempo de recuperación de la inversión.

Donde:

$A = 1$ año

$S_o = 196.95$ \$

$S = 15\ 840.00$ \$

$PRI = 0,98756629$ año.

Por tanto la inversión se recuperaría en 11 meses y 25 días.

3.5.4 Análisis de los resultados

Tras la realización de los cálculos correspondientes al análisis económico se determina que una vez recuperada la inversión en un período de 11 meses y 5 días y pagados los intereses se cuenta con una utilidad de 28759,96 pesos, lo cual nos demuestra que el proyecto de inversión propuesto es aceptable. Por otra parte se estipula que el máximo valor de costo de capital que se puede aceptar en el proyecto de inversión para que este no genere pérdidas es de un 41,81 %, o sea, que el proyecto soporta un descuento de hasta un 41,81 % sin dejar de ser rentable.

3.6 Conclusiones parciales

1. A partir del diseño del tanque se determinó los parámetros necesarios como son las pérdidas del mismo hacia el medio ambiente, el área teórica de transferencia de calor, la cual permitió hallar el número de tubos necesarios para poder calentar el asfalto, de acuerdo a las dimensiones seleccionadas para el tanque y su aislante propuesto pudimos establecer el tiempo que se demorará el asfalto en calentarse.
2. Con el diseño del tanque para el almacenamiento del asfalto se determinó que el aislante a utilizar es la lana de roca, lo cual permite utilizar un 79,23% del flujo total de la caldera para lograr el calentamiento del asfalto.
3. Se comprobó que con las dimensiones propuestas para el tanque, este soporta las tensiones sobre él.
4. El serpentín queda diseñado de forma tal que garantiza que exista una mayor área de transferencia de calor, lo que posibilita un calentamiento uniforme del asfalto.
5. El tipo de tapa a utilizar para este tanque son planas y de 0,016 m de espesor.
6. Con el análisis económico realizado se determinó que la propuesta de inversión es factible debido a que se recuperaría en un período de 11 meses y 5 días una vez pagados los intereses, con una utilidad de 28759,96 pesos.

Conclusiones

1. En respuesta a la hipótesis planteada se diseñó un tanque para el almacenamiento de asfalto que permite calentar esta materia prima para su incorporación al proceso, mejorándose las condiciones y la eficiencia de la planta.
2. La elaboración del marco teórico referencial de la investigación permitió a partir del aporte y enfoques referenciados en la literatura científica demostrar la importancia que tiene la modificación del asfalto con polímeros, los fundamentos de las leyes de la termodinámicas, los procesos de transferencia de calor y los tipos de tanques que existen.
3. El desarrollo y posterior aplicación del procedimiento propuesto para el diseño de un tanque de almacenamiento permitió demostrar su factibilidad y conveniente utilización como un equipo efectivo para perfeccionar la línea de producción de mástique asfáltico en la Planta Piloto de la Universidad de Matanzas.
4. Con los cálculos realizados se comprobó que las dimensiones del tanque soportan el peso del fluido sin adquirir deformaciones, pero que es necesario complementarlo con una entrada para el asfalto de 0,1 m de diámetro, un serpentín con una longitud de 12,6 m y un diámetro interior y exterior de 0,0243 m y 0,0333 m y con un registro de inspección de 0,454 m y 0,415 m de diámetro exterior e interior.
5. Para la realización del diseño del tanque es necesario una inversión de 15643,05 pesos, la misma se recuperaría en un período de 11 meses y 5 días obteniéndose una utilidad de 28759,96 pesos, lo cual nos demuestra que el proyecto de inversión propuesto es aceptable.

Recomendaciones

1. Ajustándose a los resultados obtenidos en el trabajo se recomienda la realización de futuras investigaciones con el objetivo de confeccionar los planos y determinar el consumo de materiales para la construcción y montaje del tanque.
2. Instalar la bomba de engrane que posee la planta, que permitirá incorporar esta materia prima al proceso una vez construido y montado el tanque.
3. Proponer métodos de mantenimiento a realizar en el equipo con el objetivo de alargar la vida útil de este.
4. Se recomienda una vez instalado y funcionando el tanque de almacenamiento de asfalto, planificar las producciones de mastique asfáltico de tal forma que se pueda aprovechar el calor almacenado en el tanque por el aislante térmico y así ahorrar tiempo y combustible en el calentamiento del mismo.

Bibliografía

- 1- Ajón M., 2013. Estudio de organización del trabajo en el área de cocina-buffet del Hotel “Gran Caribe Club Barlovento”. Trabajo de Diploma en opción a título de Ingeniera Industrial. Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos.
- 2- ASME B31.3 Tuberías de procesos del 2011.
- 3- Avellán M., 2007. Asfalto modificado con polímeros. Trabajo de diploma en opción al título de Ingeniero Civil. Universidad de San Carlos. Guatemala.
- 4- Barboza E., 2011. Polímeros y biomoléculas. [fecha de consulta: 4 de febrero de 2015]. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos11/polim/polim.shtml>
- 5- Coyopotl R., 2006. Ventajas y desventajas en el uso de polímeros en el asfalto. Trabajo de diploma en opción al título de Ingeniero Civil. Universidad de las Américas, Puebla. [fecha de consulta: 4 de febrero de 2015]. Disponible en: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/maxil_c_r/capitulo2.pdf
- 6- Cristina E., 2004. Análisis Técnico – Económico entre el uso de la Pintura termoplástica y el Manto asfáltico como impermeabilizantes utilizados en la construcción. Trabajo de diploma en opción al título de Ingeniero Civil. Universidad Maracaibo.
- 7- Dobrovolski V., 1980. Elementos de Maquinas.
- 8- Echeverría M., et al., 2005. Utilización de goma reciclada en la producción de mástiques asfálticos. Aplicaciones. VIII Congreso Internacional de Reciclaje. La Habana. Palacio de Convenciones, METANICA 2005.
- 9- Echeverría M., et al., 2006. Goma reciclada en recubrimientos anticorrosivos y de la construcción. IX Congreso internacional de reciclaje. Palacio de Convenciones. La Habana, CUBA.
- 10- Echeverría, M., Echeverría, C., et al., 2007. Estudio y evaluación de materiales compuestos de matriz asfáltica modificado con polímeros (MAP) para su aplicación como recubrimientos anticorrosivos. Matanzas, Universidad de Matanzas.
- 11- Echeverría C., et al., 2011. Materiales Compuestos De Matriz Asfáltica Modificada con Polímero de goma para la Industria De Materiales.
- 12- Exxon Mobil, (2001). Thermal Insulation, STEADY-STATE HEAT LOSS. Section XVI-B. Design Practices.

- 13- Exxon Mobil, 2003. Fluid Flow, General Considerations. Section XIV-A. Design Practices.
- 14- Ficha Técnica HI MASTIC 9007: 2007. Recubrimientos y Aislantes Térmicos, S.A. de C.V. Fabricante de aislantes termoacústicos y distribuidor de materiales para la construcción.
- 15- Gamboa J., 2012. Comportamiento mecánico de mezclas asfálticas modificados vs mezcla tradicional. Universidad Pontificia Bolivariana, Bucaramanga, Colombia. [fecha de consulta: 4 de febrero de 2015]. Disponible en: <http://apuntesdeinvestigacion.upbbga.edu.co/>
- 16- García D., 1994. Diseño de equipos de industria química.
- 17- García G., 2013. 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. Trabajo de diploma en opción al título de Ingeniero Químico.
- 18- García P., 2005. Residuales de la producción de policosanol. Matanzas. Trabajo de diploma en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Químicas. Universidad de Girona, España.
- 19- Gómez J. y Pérez R.E., 1989. Estimación de costos de intercambiadores de calor, tanques de calentamiento y bombas centrífugas. Departamento de tecnología, Escuela Nacional de Estudios Profesionales – Zaragoza.
- 20- Gómez J., 2003. Almacenamiento de hidrocarburos producidos. Universidad Nacional autónoma de México. Facultad de Ingeniería. [fecha de consulta: 6 de febrero de 2015]. Disponible en: http://www.ingenieria.unam.mx/~jagomez/materias/ARCHIVOS_CONDUCCION/CAPITULO%20IV.pdf
- 21- González F., 2013. Actualización del Estudio de Factibilidad Económica del Servicio DUCAR en el Centro de Estudio de Anticorrosivos y Tensoactivos (CEAT). Trabajo de diploma en opción al título de Licenciado en Economía.
- 22- González M., 2009. Tablas y Gráficos, Propiedades de los Fluidos. Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda. Programa de Ingeniería Industrial. Fenómenos de Transporte.
- 23- Grefkowicz A., 1970. Problemas escogidos del cálculo de resistencia en el diseño de máquinas. Universidad de la Habana.

- 24- Hernández E., 2012. Nuevo concepto de tasas de interés en banca cubana, cable Prensa Latina. [fecha de consulta: 25 de marzo de 2015]. Disponible en: <http://www.cadenagramonte.cu/index.php/articulos/ver/19683:nuevo-concepto-de-tasas-de-interes-en-banca-cubana>.
- 25- Inzunza J., 2002. Física: Introducción a la mecánica. Universidad de Concepción. Facultad de ciencias físicas y matemáticas. ISBN: 956-8029-35-4. [fecha de consulta: 6 de febrero de 2015]. Disponible en: <http://old.dgeo.udec.cl/~juaninzunza/docencia/fisica/cap14.pdf>
- 26- Jiménez C., 2012. Diseño de un tanque de almacenamiento atmosférico de 20000 Bls de capacidad. Tesis de diploma en opción al título de Ingeniero Civil. Universidad. Veracruzana. Facultad de Ingeniería.
- 27- Kern D., 1999. Proceso de Transferencia de Calor.
- 28- Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución. 2011. VI Congreso del Partido Comunista de Cuba.
- 29- Lugo J., 2013. Propuesta de diseño de un mezclador de mástique. Trabajo de diploma en opción al título de Ingeniero Mecánico, Universidad de Matanzas.
- 30- Martín D., 2004. Comportamiento térmico de cerramientos soleados. Tesis doctoral en Arquitectura. Departamento de Construcción Arquitectónica. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. [fecha de consulta: 12 de marzo de 2015]. Disponible en: <http://editorial.dca.ulpgc.es/ftp/ambiente/antesol/TESIS/Cap2.pdf>
- 31- Martínez I., 2007. Tabla A3.5 Propiedades de sólidos, situada en el Apéndice 3: Propiedades térmicas de la materia, [fecha de consulta: 24 de febrero de 2015]. Disponible en: <http://webserver.dmt.upm.es/~isidoro/bk3/Appendices/Propiedades%20termicas%20de%20la%20materia.pdf>
- 32- Mata C., 2005. Propiedades de los asfaltos [fecha de consulta: 7 de marzo de 2015]. Disponible en: <http://www.e-asfalto.com/propiedades/propiedades.htm>
- 33- Mena J., 2014. ¿Qué materiales aislantes ahorran más energía a lo largo de su vida? [fecha de consulta: 18 de febrero de 2015]. Disponible en: <http://www.mimbrea.com/que-materiales-aislantes-ahorran-mas-energia-a-lo-largo-de-su-vida/>

- 34- Mercado R., Bracho C., Avendaño J., 2008. Emulsiones asfálticas. Versión: 1. Universidad de los Andes. Facultad de Ingeniería. [fecha de consulta: 4 de febrero de 2015]. Disponible en: <http://www.firp.ula.ve/archivos/cuadernos/S365A.pdf>
- 35- Mijalev N., 1984. Cálculo y Diseño de máquinas y aparatos para la Industria Química.
- 36- Nasif B., 2006. Transferencia de Calor. Biology Cabinet. [fecha de consulta: 4 de febrero de 2015]. Disponible en: http://www.biocab.org/Transferencia_Calor.html
- 37- Patente No 200201177663. Cahill P., 2002. Materiales compuestos para polines de ferrocarriles y otros productos. (Patente de aplicación). EE.UU.
- 38- Patente No 20020147255. Kubicky P., et al., 2002. Mezclas de goma. (Patente de aplicación). EE.UU.
- 39- Patente No 20030018106. January 23, 2003. Emulsiones acuosas que contienen asfalto licuado o desvulcanizado caucho reciclado. EE.UU.
- 40- Patente No 20040249024. Buras P., et al., December 9, 2004. Dispersing agent and method for the delivery of cross-linking agent to polymer modified asphalt compositions. (Patente de aplicación). EE.UU.
- 41- Patente No 20050027046. Partanen J., 2005. Recycled tire rubber emulsions and processes for making them. EE.UU.
- 42- Patente No 5.270.361. Dic, 1993. Asfaltos. EE.UU.
- 43- Patente No 5, 674,313. Aoyama T., et al., 1997. Composición resistente al agua, del tipo de asfalto modificado con goma. EE.UU.
- 44- Patente No 143/94. Composición de recubrimientos y procedimiento de obtención. Cuba.
- 45- Ramírez V., 2006. Aplicaciones de las emulsiones asfálticas y los asfaltos diluidos en mezclas asfálticas en frío utilizando agregados del río Aguaytía - Ucayali. UNI.
- 46- Ramírez L., 2011. Pavimentos con polímeros reciclados. Escuela de Ingeniería de Antioquia. Trabajo de diploma en opción al título de Ingeniera Civil.
- 47- Reinking A., 2002. Petróleo y Derivados, [fecha de consulta: 10 de marzo de 2015]. Disponible en: <http://profesores.fi-b.unam.mx/l3prof/Carpeta%20energ%EDa%20y%20ambiente/>

Petroleo%20y%20Derivados.pdf

48- Reyes F. y Lizarazo C., 2006. Caracterización dinámica de asfaltos con y sin polímeros. Grupo CECATA. Universidad Javeriana.

49- 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.

50- ROCKWOOL International S.A, 2012. [fecha de consulta: 1 de febrero de 2015]. Disponible en:

<http://www.rockwool.es/productos+y+soluciones/u/2011.product/1769/edificacion-tecnica/alpharock-e-225>

51- Rodrigo J., 2011. Repaso de termodinámica. [fecha de consulta: 6 de febrero de 2015] Disponible en:

<http://www.uam.es/personalpdi/ciencias/jgr/fisest0506/RepasoTermo.pdf>

52- Rodríguez et al., 2006. Desarrollo de aditivos para asfaltos modificados con bajos contenidos de hule. Publicación Técnica 160.

53- Rodríguez E.A., 2009. Asfaltos modificados con polímeros. [fecha de consulta: 6 de marzo de 2015] Disponible en:

<http://es.slideshare.net/guestaaa78bd/asfaltos-modificados-con-polimeros>

54- Rodríguez Y., 2013. Evaluación de la línea de obtención de mastique semisólido con polímero de goma anticorrosivo y de conservación en la Planta Piloto de la Universidad de Matanzas. Trabajo de diploma.

55- Roque A.; et al., 2009. Red de torres meteorológicas de referencia para el programa eólico cubano. En VI Conferencia Internacional de Energía Renovable, Ahorro de Energía y Educación Energética. La Habana, Cuba.

56- Ruiz I., 2010. Ventajas y desventajas del uso de polímeros en los asfaltos. Universidad Veracruzana. Trabajo de diploma en opción al título de Ingeniero Civil.

57- Sagaró R., et al., 2004. Evaluación y desarrollo de materiales compuestos de matriz polimérica con rellenos cubanos (Primera parte). Tecnología Química 44(2): 24-36.

58- Sánchez A., 2005. Asfaltos modificados (Conceptualización, aplicación, control y pruebas). Secretaría de la contraloría Quintana Roo. México.

59- Sánchez A., 2011. Propuesta de mejora del proceso tecnológico de la grasa líquida anticorrosiva y de conservación en la planta piloto de la

Universidad de Matanzas. Trabajo de diploma en opción al título de Ingeniero Químico.

60- Scodelaro F., 2008. La termodinámica en la Ingeniería Química. [fecha de consulta: 12 de marzo de 2015]. Disponible en: <http://www.ingenieriaquimica.org/foros/leyes-la-termodinamica>

61- Tonda M., 2007. Asfaltos modificados con polímeros. [fecha de consulta: 6 de marzo de 2015]. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos15/asfaltos-modificados/asfaltos-modificados.shtml>

62- Totten G. E., Vestbrook S., Shah R. J. (eds), 2003. Fuels and Lubricants Handbook: Technology, Properties, Performance, and Testing. ISBN 978-0-803120969.

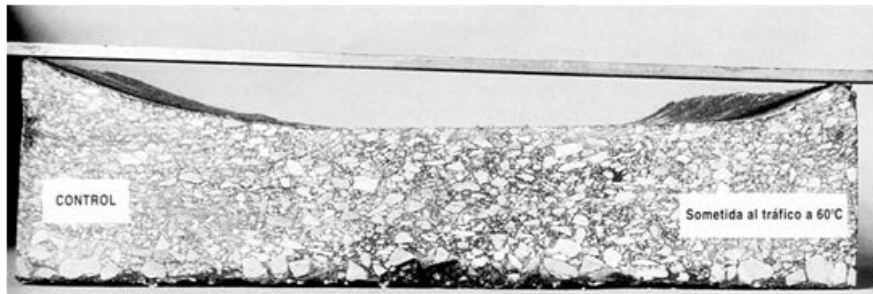
63- Vásquez I., 2010. Ventajas y desventajas del uso de polímeros en los asfaltos. Trabajo de diploma en opción al título de Ingeniero Civil. Universidad Veracruzana. México.

64- Viera R.; López S.; Noemí M., 1996. Modelación Matemática para ingenieros químicos.

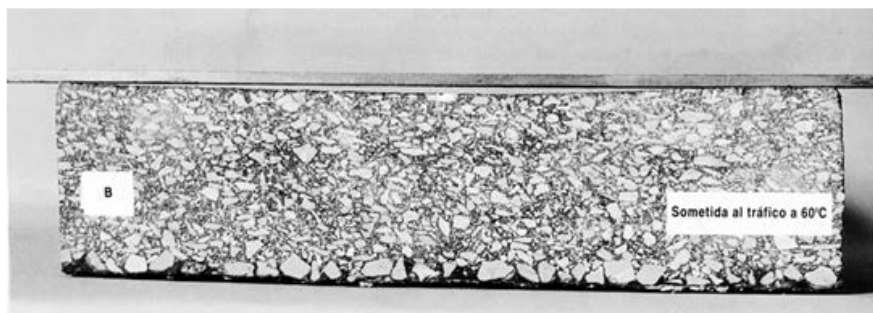
65- Wulf F., 2008. Análisis de pavimento asfáltico modificado con polímero. Universidad Austral de Chile. Trabajo de diploma en opción al título de Ingeniero Constructor.

Anexos

Anexo 1:



Muestra de mezcla asfáltica convencional.



Muestra de mezcla asfáltica modificada con polímeros.









Fuente: Tomado de Tonda. (2007)

Anexo 2:



Fuente: Tomado de Nasif (2006).

Anexo 3

Imagen								
Denominación	Lana de roca	Lana de vidrio	Poliestireno expandido	Poliestireno extruido	Poliuretano	Perlita expandida	Vidrio celular	Lana de oveja
Origen	Mineral	Mineral	Sintético	Sintético	Sintético	Mineral	Mineral	Animal
Conductividad $\frac{W}{m \times ^\circ C}$	0,03 - 0,05	0,03 - 0,05	0,029 - 0,053	0,025 - 0,04	0,019 - 0,040	0,040 - 0,060	0,035 - 0,055	0,035 - 0,050
Inflamable	No	No	Si	Si	Si	No	No	Si
Precio Aproximado $\frac{€}{m^2}$	<5	<5	<5	<15	<10	<5	<60	<25
Formato	Panel, rollo y a granel	Panel, rollo y a granel	Panel y a granel	Panel	Panel y espuma	Panel, rollo, espuma y a granel	Panel y espuma	Rollo y a granel
Medidas de protección en su instalación	Ojos, sistema respiratorio y piel	Ojos, sistema respiratorio y piel	No	Guantes	Ojos, sistema respiratorio y piel	Protección frente al polvo	No	No
Biodegradable	No	No	No	No	No	No	Si	Si

Fuente: Tomado de Mena. (2014)

Anexo 4

FICHA PARA DETERMINAR EL PRECIO Y SU COMPONENTE EN PESOS CONVERTIBLES.			
EMPRESA: UMCC	Código: DISTIN 404.		
Organismo: MES Plan de Produc: 40000 Kg	Capac. Instalada: 36000 Kg		
Producto o Servicio: Producto.	% utiliz. Capacidad: 100		
Código Prod o Serv.: Mástique Asfáltico, 1 Kg.(Env 17 Kg) UM: \$/Kg.	Producc.Period. Anterior		
Concepto de gastos	Fila	Total Unitario	De ello: CUC
1	2	3	4
Materias Primas y Materiales	1	1,09	0,11
Materia Prima y materiales fundamentales	1,1	0,81	0,00
Combustible y Lubricantes	1,2	0,21	0,10
Energía Eléctrica	1,3	0,05	0,00
Agua	1,4	0,03	0,00
Sub total (Gastos de elaboración)	2	2,93	0,26
Otros Gastos directos	3	0,02	0,00
Depreciación	3,1	0,02	0,00
Arrendamiento de equipos	3,2	0,00	0,00
Ropa y calzado (trabajadores directos)	3,3	0,00	0,00
Gastos de fuerza de trabajo	4	0,35	0,00
Salarios	4,1	0,27	0,00
Vacaciones	4,2	0,02	0,00
Impuesto utilización de la Fuerza de trabajo.	4,3	0,01	0,00
Contribución a la seguridad social.	4,4	0,03	0,00
Estimulación en pesos convertibles	4,5	0,00	0,00
Gastos indirectos de producción	5	0,46	0,01
Depreciación	5,1	0,00	0,00
Mantenimiento y Reparación	5,2	0,01	0,01
Gastos Generales y de Administración	6	0,00	0,00
Combustible y Lubricantes	6,1	0,00	0,00
Energía Eléctrica	6,2	0,00	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	0,00	0,00
Gastos de Distribución y Venta	7	2,01	0,24
Combustible y Lubricantes	7,1	0,00	0,00

Energía Eléctrica	7,2	0,00	0,00
Depreciación	7,3	0,00	0,00
Ropa y Calzado (trabaj. Indirectos)	7,4	0,00	0,00
Otros	7,5	2,01	0,24
Gastos Bancarios	8	0,08	0,01
Gastos Totales o Costo de producción	9	4,02	0,37
Margen utilidad S/ base autorizada	10	0,44	
Precio según lo establecido por el MFP	11	4,46	
% Sobre el gasto en divisa (hasta el 20%)	12		0,04
Componente total en pesos convertibles	13		0,40
Aprobado por	Firma:	Cargo:	Fecha:
Miguel Sarraff González		Rector.	

Fuente: Tomado del Centro de Estudios Anticorrosivos y Tensioactivos (CEAT)