

**UNIVERSIDAD DE HOLGUÍN.
“OSCAR LUCERO MOYA”
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**CONTRIBUCIÓN A LA DISMINUCIÓN DEL CONSUMO
DE DIESEL EN LA PLANTA DE HORMIGÓN
ASFÁLTICO CALIENTE DE RAFAEL FREYRE**

**TESIS PRESENTADA EN OPCIÓN AL TÍTULO ACADÉMICO
DE MÁSTER EN EFICIENCIA ENERGÉTICA**



Autor: Ing. Yanier Leyva Pérez

Holguín, julio de 2014

**UNIVERSIDAD DE HOLGUÍN.
“OSCAR LUCERO MOYA”
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**CONTRIBUCIÓN A LA DISMINUCIÓN DEL CONSUMO
DE DIESEL EN LA PLANTA DE HORMIGÓN
ASFÁLTICO CALIENTE DE RAFAEL FREYRE**

**TESIS PRESENTADA EN OPCIÓN AL TÍTULO ACADÉMICO
DE MÁSTER EN EFICIENCIA ENERGÉTICA**

Autor: Ing. Yanier Leyva Pérez

Tutor: MSc. Borges A. Díaz Suárez.

Holguín, julio de 2014

PENSAMIENTO

“Hemos encontrado, afortunadamente, algo más importante, el ahorro de energía que es como encontrar un gran yacimiento”

Fidel, 5 de Mayo del 2006

AGRADECIMIENTOS

Es imposible recoger en pocas palabras los nombres de las personas y entidades que han colaborado para hacer posible la realización de este trabajo pero no puedo dejar de mencionar a:

- Mi tutor el MSc Borges A Días Suárez, con quien he tenido el honor y la suerte de que fuese mi tutor en la tesis de la ingeniería, y en la maestría, por jugar un papel fundamental en mi formación profesional.
- Al claustro de profesores que me impartieron todas las asignaturas por su nivel de profesionalidad.
- Al señor Carlos Ávila por su incondicional ayuda con su experiencia en el tema y por aportarme datos de importancia para la realización de este trabajo.
- Al colectivo de trabajadores de la planta de asfalto de Rafael Freyre, en especial a sus especialistas y técnicos.
- A la dirección de la ECOING 17 por permitirme realizar el mismo.
- A todos mis compañeros de trabajo de la ECOI 9 que me han ayudado y se han preocupado por mis resultados.

A todos muchas gracias.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo:

- A mi familia que es y será mi razón de ser.
- A mí esposa por ayudarme con su optimismo e impulso para que llegara al final de este trabajo.
- En especial a mi hija Claudia Elena para que siga el ejemplo de su padre y llegue a ser como o mejor que él.

RESUMEN

El informe trata sobre una propuesta de medidas para disminuir el consumo de combustible Diesel en la producción de Hormigón Asfáltico Caliente (HAC) en la planta ubicada en el municipio Rafael Freyre. Primeramente se muestran los resultados de una profunda revisión bibliográfica del tema donde queda demostrado la necesidad de disminuir el consumo de combustible y las posibles medidas a tomar para elevar la eficiencia energética. Seguidamente se utilizan herramientas del Sistema de Gestión Total Eficiente de la Energía (SGTEE) para demostrar las desviaciones en los índices de consumo y encontrar las posibilidades de ahorro en los puestos claves. Luego se hace el estudio de las pérdidas energéticas en el proceso de transportación y almacenamiento del asfalto caliente. Y por último se hacen propuestas técnicas y organizativas que favorecen la disminución del consumo de combustible en la planta objeto de estudio.

ABSTRACT

This informs is about a proposal of measures to reduce the consumption of diesel fuel in the production of Hot Asphalt Concrete (HAC) in the plant located in Rafael Freyre. On the one hand, results of a deep revision of the literature related to this topic are shown, where it was proved the necessity of decreasing fuel consumption and the possible measures to increase the energy efficiency. On the second hand, tools of the Total Management System Efficient of Energy (SGTEE) are used in order to demonstrate the deviations in the consumptions rates and to find saving possibilities in key positions. On the other hand, a study of energy leaks in the processes of transportation and storage of the hot asphalt was developed. Finally, technical and organizational proposals are made, which favors the reduction of fuel consumption in the plant object of study.

ÍNDICE

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	1
 CAPÍTULO I. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN.	
1.1 Situación energética actual.....	8
1.2 El petróleo y su impacto ambiental.....	12
1.3 Uso eficiente de la energía.....	14
1.4 Sistemas de Gestión Total y Eficiente de la Energía (SGTEE).....	17
1.5 Principales problemas que afectan la eficiencia energética en las plantas de hormigón asfáltico caliente.....	21
1.6 Incidencia de estos factores en la eficiencia energética de las plantas de hormigón asfáltico caliente en nuestro país.....	22
1.6.1 Grado de humedad de los áridos.....	23
1.6.2 Frecuencia de parada y arranque de la planta.....	23
1.6.3 La reducción de la temperatura de fabricación de la mezcla.....	23

1.6.4 Contaminación ambiental.....	24
1.7 Conclusiones parciales del capítulo I.....	25

**CAPÍTULO II: PROPUESTA DE SOLUCIONES AL CONSUMO DE DIESEL
EN LA PLANTA**

2.1 Descripción de la planta de hormigón asfáltico de Rafael Freyre.....	26
2.2 Diagnóstico energético a la planta de asfalto.....	28
2.3 Propuesta de solución a los problemas energéticos en los puestos claves	38
2.3.1 Propuestas de soluciones para incrementar la eficiencia energética en el proceso de secado.....	38
2.3.2 Valoración de las pérdidas en el calentamiento del betún asfáltico.....	40
2.3.2.1 Cálculo del aislamiento térmico del depósito No 2.....	42
2.3.2.2 Valoración de los gastos por temperatura de los gases en la caldera calentadora de aceite calefactor.....	45
2.3.2.3 Cálculo del balance térmico de la caldera.....	49

2.3.3 Valoración de los sobreconsumos en el calentamiento de las pailas.....	50
2.4 Valoración económica y medioambiental de las soluciones propuestas...	54
CONCLUSIONES.....	57
RECOMENDACIONES.....	58
BIBLIOGRAFÍA	
ANEXOS	

INTRODUCCIÓN

Desde que el hombre tuvo la necesidad de procurar sus alimentos y transportarse a diferentes lugares fue creando vías de comunicación que le permitieran moverse con mayor facilidad. Luego con la utilización del transporte, ya sea tirado por animales o por motores, el contar con buenos caminos o carreteras se ha convertido en una prioridad para la humanidad.

Las carreteras, vías de comunicación, garantizan el desarrollo de los grupos sociales. Países africanos, por ejemplo, han priorizado la construcción de sus redes viales por encima de otros renglones porque consideran que esto es primario para poder entonces proponerse nuevas metas.

Estas se construyen de múltiples formas y utilizando disímiles materiales acorde a su categoría y los recursos con que se cuenta. La alternativa más generalizada es la de utilizar el hormigón asfáltico en su construcción. Esto está dado por diferentes factores entre los que se encuentran el bajo costo relativo del asfalto y que el mismo constituye un residuo de la refinación del petróleo que hay que depositar de forma adecuada para evitar daños ambientales mayores.

El asfalto es un material de vital importancia en la construcción civil. Su utilización tiene formas muy variadas, pero es usado principalmente como material para revestir carreteras, impermeabilizar o aislar estructuras (depósitos, techos, tejados, etc.), así como en la fabricación de baldosas, pisos y tejas.

Su mayor y más espectacular protagonismo reside en su uso para la construcción de carreteras en todo el mundo. La capacidad que tiene el asfalto para permitir una

excelente unión y cohesión entre los agregados, su condición impermeabilizante que hace a la estructura del pavimento escasamente sensible a la humedad, su eficacia para impedir la penetración del agua que proviene de las lluvias, al tiempo que es capaz de resistir la acción de presión y disgregación ocasionadas por las cargas vehiculares, ha logrado que éste producto se haya constituido en el aliado indiscutible en los proyectos de construcción de vías pavimentadas.

El término "asfalto" proviene de la palabra Griega "asphaltos", que significa "seguro". Es un producto negro, viscoso, pegajoso, que por sus propiedades y características tiene actualmente toda una variedad de usos. Por su versatilidad y fácil manejo es ampliamente utilizado en diferentes ramas de la construcción.

En la actualidad, el asfalto se obtiene como un sub-producto del petróleo. El que se emplea para pavimentar es el de destilación, que se consigue de los hidrocarburos que permanecen luego del refinamiento del petróleo procesado para producir gasolina y otros productos. De los residuos del petróleo, procesados a temperaturas de entre 204°C y 316°C, se obtiene también un tipo empleado específicamente en la fabricación de materiales para tejados y productos afines. Utilizándolo a temperaturas cerca de los 500 °C, es empleado también en la fabricación de materiales aislantes.

Para la fabricación del hormigón asfáltico es necesario mezclar el asfalto con áridos. El mismo se convierte en el elemento aglutinador que al solidificar garantiza la resistencia del hormigón que se vierte para construir las vías. Éste debe transportarse caliente (hasta los 150 °C) desde la refinerías hasta las plantas de hormigón que se construyen

lo más cercanas posible a las vías en construcción, y debe mezclarse a esa temperatura con los áridos para garantizar la homogeneidad de la mezcla.

El asfalto es una sustancia considerada como viscoplástica, su viscosidad varía en gran medida con la temperatura, en la medida que está disminuye este se va solidificando. Por tanto para poder manipularlo, transportarlo y mezclarlo es necesario elevar su temperatura usando para ello un combustible alternativo.

El uso de combustibles para el tratamiento del asfalto en la producción de hormigón encarece el valor del producto final, es por ello que debe disminuirse al máximo las pérdidas energéticas en el proceso de fabricación de la mezcla, para lograr una alta eficiencia en la energía de las producciones.

La eficiencia energética se puede definir como la reducción del consumo de energía manteniendo los mismos servicios, sin disminuir el confort y calidad de vida, protegiendo el medio ambiente, asegurando el abastecimiento y fomentando un comportamiento sostenible en su uso [Borroto A, 2006].

En el caso específico de Cuba se hace necesario desarrollar una red vial que enlace a todos los puntos de su geografía y por otra parte garantizar el mantenimiento de las vías ya existentes. En este año, el país tiene aprobado un plan de producción de 880.000 toneladas de hormigón asfáltico caliente (HAC), y para la provincia Holguín se planifican 63.300 toneladas con un incremento de estas producciones para los próximos años.

En el VI Congreso del Partido Comunista de Cuba se establecieron, como estrategia de trabajo, los lineamientos de la política económica y social del partido y la revolución y en su capítulo X referente a la política para el transporte establece el lineamiento:

285- Garantizar el cumplimiento, con la calidad requerida, del programa de reparación y mantenimiento de la infraestructura vial automotor, según lo aprobado en el plan de la economía y acorde con las posibilidades reales del país.

Dentro de los planes de desarrollo del país se encuentra el conocido polo turístico Atlántico Norte que propone desarrollar una red hotelera en toda la costa norte oriental de Cuba, lo que conllevará a crear una red vial de transporte terrestre de grandes dimensiones. Es por ello que se ha construido en el municipio Rafael Freyre de la Provincia de Holguín una planta que abastece todo el hormigón asfáltico caliente que es tendido en las carreteras de la provincia, con una capacidad productiva de 100 T/h, única de su tipo en el país.

En la misma se consume como portadores energéticos fundamentales Diesel, electricidad, aceite de circulación y el líquido asfáltico, influyendo en el consumo de los mismos factores determinantes como:

- El grado de humedad de los áridos.
- La frecuencia de parada y arranque de la planta.
- La reducción de la temperatura de fabricación de la mezcla o la optimización de la combustión mediante la reducción del tiempo de respuesta frente a incidencias.
- La contaminación ambiental.

Cada uno de estos encarece las producciones, dificultan la calidad del producto terminado y su manejo inadecuado tiene un impacto negativo al medio ambiente.

Haciendo una revisión de las estadísticas e informaciones de los consumos de los portadores en la planta se observó que hay dos de ellos que son los más significativos, el Diesel y la electricidad, representando el primero el 92.64% del consumo total.

Esta situación problemática permite plantear el siguiente **problema científico**: ¿Cómo contribuir a disminuir el consumo de Diesel en la producción de hormigón asfáltico caliente en la planta del municipio Rafael Freyre?

Este problema se enmarca en el **objeto de estudio** el consumo del portador Diesel en la Planta de Asfalto de Rafael Freyre. Y el **campo de investigación** las pérdidas energéticas en los procesos térmicos de dicha instalación.

Para dar solución al problema científico se propone como **objetivo** de este trabajo identificar las áreas de mayor consumo de Diesel y proponer soluciones que contribuyan a disminuir el consumo de este portador en la planta de asfalto de Rafael Freyre.

Partiendo de la **hipótesis**: si se analizan las áreas donde se consume el Diesel permitirá conocer las causas del deterioro del índice de consumo y proponer soluciones para la disminución del mismo, además de dotar a la administración de acciones tecnológicas y organizativas relacionadas con el uso de este portador y así elevar la eficiencia energética en la planta productora de hormigón asfáltico caliente del municipio Rafael Freyre.

Para dar cumplimiento al objetivo se realizarán las siguientes **tareas de investigación**:

- Realizar una profunda revisión bibliográfica del tema.
- Realizar el balance energético de la planta de asfalto.
- Identificación de las áreas de mayor consumo de Diesel en la planta.
- Proponer soluciones a los problemas que se detecten en las áreas donde se consume el Diesel.
- Valorar técnica, económica y socialmente las soluciones propuestas.

Métodos de investigación:

Teóricos.

- Análisis y síntesis: para realizar un análisis al proceso donde intervienen los equipos y sistemas mediante un balance energético, se consulta bibliografía relacionada con los índices de consumos en planta productoras de hormigón asfáltico con iguales características.
- Histórico-lógico: Para comprender las condiciones que determinan el estado actual del problema que se investiga.

Empíricos.

- Modelación: Para realizar el estudio del enfriamiento de las pailas de asfalto caliente.
- Consulta de expertos: entrevistas a profesionales y técnicos que laboran en la planta.

- Mediciones: posibilita obtener datos reales y exactos de las variables termodinámicas que intervienen en el análisis de cada uno de los equipos y sistemas.
- Observación: permite conocer el funcionamiento de cada uno de los equipos y sistemas así como las posibles variables a analizar en cada uno de ellos.

Resultados esperados:

Con este trabajo se espera que a partir del diagnóstico que se realice al proceso de producción del hormigón asfáltico caliente resultado de la explotación de los equipos y sistemas de la planta del municipio Rafael Freyre se puedan proponer medidas técnicas-organizativas que contribuyan a la disminución del consumo de Diesel para el mejoramiento de la eficiencia energética y su impacto ambiental.

CAPÍTULO I. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN.

1.1 Situación Energética Actual

La utilización de la energía puede servir como hilo conductor para describir el desarrollo de la humanidad. Pudiera decirse que el uso del fuego por el hombre en la antigua comunidad primitiva constituyó el primer paso hacia la construcción de la sociedad actual.

El hombre en su decursar por el tiempo siempre ha utilizado alguna fuente de energía para satisfacer sus necesidades cada vez más crecientes. El uso de la tracción animal, las corrientes de agua de los ríos y la fuerza de los vientos fueron los primeros avances que permitieron el paso de la comunidad primitiva al feudalismo. A finales de esta etapa comienza también a explotarse el carbón de piedra.

En el siglo XIX Watt construye la primera máquina de vapor que revolucionó la industria textil y el transporte marítimo, comienza así la Revolución Industrial y un camino desenfrenado del uso de la energía. En esta época se utiliza como portador energético fundamental la madera y el carbón mineral.

En 1859 se perfora el primer pozo de petróleo en los Estados Unidos y comienza así una nueva era en el desarrollo humano. Este vino aparejado con el descubrimiento de la electricidad en el uso industrial y doméstico, el motor de combustión interna y con él el automóvil. En el siglo XX se descubre la energía nuclear y todo parecía llevar a la sociedad hacia una prosperidad infinita.

A finales de los años 70 del siglo pasado el mundo se da cuenta que las reservas de petróleo son finitas y comienza lo que se ha dado en llamar la primera crisis energética o crisis del petróleo. Nuevos elementos caracterizan esta crisis: [Turrini E, 2006]

- Se invierte la relación entre el ritmo de descubrimiento de reservas y de crecimiento del consumo, con lo que antes la humanidad se presentaba la perspectiva realista, basada en evaluaciones científicas, de que el agotamiento de los combustibles fósiles se produciría durante la próxima generación.
- Por primera vez en la historia, un proceso de transición energética irá acompañado de un incremento de los costos económicos. En adelante la energía costará cada vez más cara, lo que representa un reto de insospechadas proporciones para el mundo moderno.
- Por último, a partir de los años 80 comienza a surgir una nueva preocupación relacionada con el uso indiscriminado de la energía, la que está relacionada con el descubrimiento de problemas ecológicos y medioambientales globales como son el agujero de la capa de ozono, el aumento de la temperatura media de la Tierra por el efecto invernadero y la ocurrencia de lluvias ácidas, donde la combustión de los combustibles fósiles es su principal causante.

La humanidad está viviendo el corto período de los combustibles fósiles; sólo en el siglo XX se consumió más energía que en todos los siglos precedentes. Pocos dudan que en algún momento de este siglo el petróleo llegue a su cenit; el gas natural y el carbón, aunque a más largo plazo, también son finitos. Por la razones anteriores, todos los países trabajan para lograr a corto y mediano plazo un uso más eficiente de la energía

(y alargar así las disponibilidades, sobre todo de los combustibles convencionales), mientras paralelamente, además de buscar nuevas fuentes que incrementen las reservas actuales o principalmente de petróleo, se trabaja en el desarrollo de fuentes renovables y nuevas de energía.

Tal es la magnitud del problema y lo que de ello se deriva (altos precios del petróleo que seguirán incrementándose) para el desarrollo económico del mundo, que casi todos los países han creado organizaciones para trabajar en la eficiencia energética y el desarrollo de las fuentes renovables y nuevas energías, aplicándose en los países desarrollados mecanismos para incentivar la ejecución de acciones en este sentido. [González, 2005]

La teoría del pico de Hubbert, también conocida como cenit del petróleo, petróleo pico o agotamiento del mismo, es una influyente teoría acerca de la tasa de agotamiento a largo plazo, así como de otros combustibles fósiles. Predice que la producción mundial llegará a su máximo y después declinará tan rápido como creció, resaltando el hecho de que el factor limitador de la extracción de petróleo es la energía requerida y no su coste económico. [ASPO, 2005] (ver figura 1.1)

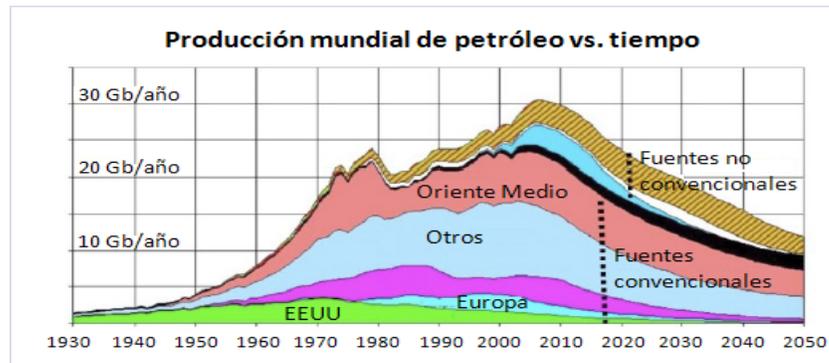


Figura 1.1 Producción mundial vs. Tiempo. Fuente: ASPO, 2005

La llegada del pico de la producción del petróleo provocaría una escasez de dicho recurso. Pero esta sería diferente a todas las sucedidas en el pasado ya que sus causas serían muy distintas. Los anteriores períodos tuvieron que ver más con razones políticas que con problemas reales en la extracción de este recurso. Esta vez, en cambio, el motivo fundamental será la falta de crudo suficiente para abastecer a toda la demanda.

Los efectos y la gravedad de dicho problema dependerán de lo rápido que decrezca la producción y de sí se adoptaron medidas preventivas para adaptar la sociedad al uso de energías alternativas. Pero puede que esas alternativas ni siquiera lleguen a tiempo. En ese caso todos los productos y servicios que requieran el uso de petróleo escasearán disminuyendo el nivel de vida de todos los países. Los escenarios futuros van desde el colapso de la sociedad industrializada hasta los que afirman que la economía de mercado o las nuevas tecnologías resolverán el problema.

En años recientes el consumo ha alcanzado la cifra de 25.000 millones de barriles anuales mientras que la cifra de nuevos descubrimientos petrolíferos ha disminuido hasta, tan solo, 8.000 millones de barriles anuales. La tendencia es totalmente insostenible ya que va hacia un aumento del consumo y una disminución cada vez más acusada en los nuevos hallazgos. Incluso si hubiese temporalmente suficientes reservas de crudo para satisfacer la creciente demanda existe un límite indeterminado a partir del cual el incremento de la capacidad de producción se hace inviable. Las mayores reservas mundiales (Ver Tabla # 1.1) de crudo se encuentran en Venezuela, Arabia Saudí, Irak, los Emiratos Árabes Unidos, Irán y Rusia. Cuando el pico de Hubbert suceda y el petróleo se convierta progresivamente en un lujo más escaso es

razonable pensar que surjan y se agudicen las tensiones económicas y políticas entre los principales productores y los consumidores.

Tabla 1.1 Reserva de petróleo en años por regiones del mundo (cubapetróleos, 2013).

Región del Mundo	Reserva en años
Europa	7 a 8
Asia-Pacífico	15,5
Norte América	13,5
Ex -Unión Soviética	21
África	27,5
Centro/Sub América	39
Oriente Medio	87
Media Total	40,3

Por su parte Cuba tiene 112 mil kilómetros cuadrados en las aguas de su zona económica exclusiva del golfo de México y ejerce la total soberanía sobre las riquezas del subsuelo. Cuba extrajo en 2010 petróleo equivalente a 21 millones de barriles, lo que representó ingresos por encima de 1.300 millones de Dólares. Datos oficiales ubican aproximadamente en 4.000 millones de toneladas de crudo la producción anual en la isla, cifra alcanzada con estabilidad en el último lustro.

Según el U.S. Geological Survey (USGS), Cuba cuenta con una reserva petrolera de 5 mil millones de barriles en las inmediaciones de la costa norte occidental y aproximadamente otros 10 mil millones más en la zona del Golfo de México.

1.2 El petróleo y su impacto ambiental.

El uso de la energía de los combustibles fósiles ha producido un impacto ambiental desfavorable sobre el medio ambiente dado, entre otras cosas por lo siguiente:

- Determina el grado de desarrollo de un país: existe una relación directa entre consumo de energía y desarrollo, se considera que un país es más desarrollado cuanto mayor sea su consumo per cápita. El consumo de energía a finales de los años 80 llegó a ser de alrededor de 11 TW/año de los cuales dos tercios corresponden a los países desarrollados y el resto a los en vía de desarrollo, sin embargo la población de los países del Sur es cuatro o cinco veces mayor que la población del norte, lo que demuestra la diferencia entre los niveles de consumo [Turrini, E., 1993].
- Estimula la oferta de energía, favoreciendo así un aumento de la demanda, caracterizada por la cantidad y no por la calidad de su aprovechamiento.
- Está fuertemente centralizada y dominada por los grupos gobernantes (energía es poder), esto provoca que sea motivo de conflictos bélicos y focos de peligro e inseguridad para la humanidad.
- La emisión de sustancias nocivas que afectan la capa de ozono, aumentan el calentamiento de la tierra y provocan las lluvias ácidas con el consiguiente signo de destrucción y muerte.

Los tres fenómenos descritos anteriormente, aparentemente independientes, están fuertemente ligados unos con otros. Las emisiones contaminantes de la industria, de las centrales termoeléctricas, de las instalaciones de calefacción, de automóviles y aviones están en el centro de la destrucción del medio ambiente: producen lluvia ácidas, efecto invernadero y destrucción de la capa de ozono.

Las lluvias ácidas, con la muerte de los bosques, aumentan el efecto invernadero, reducen la capa de ozono, y la destrucción del phytoplantum de los océanos, que es un gran consumidor de CO₂, ayudando por tanto a un fuerte incremento del efecto invernadero; la reducción del ozono en la estratosfera, conlleva a una elevación del ozono troposférico y a la presencia de rayos ultravioleta que funcionan como catalizadores, y así sucesivamente. (Ver figura 1.2)

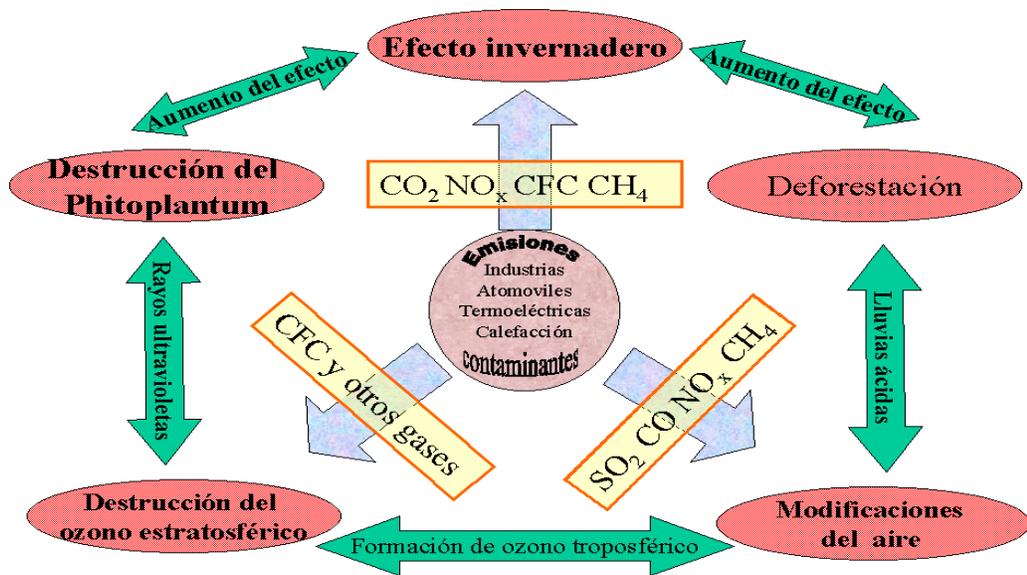


Figura 1.2 – Interrelación entre los daños globales

1.3 Uso Eficiente de la Energía.

Desde hace varias décadas se está haciendo referencia en el mundo al tema de la eficiencia energética y la necesidad de su elevación como fuente alternativa para lograr un uso racional de la energía y la preservación del medio ambiente.

La misma tiene que ver con la optimización de las energías convencionales, que requiere algunas veces una reingeniería simple en los procesos donde intervienen. Es la fuente de energía más importante del futuro. Por error se confunde con ahorro

energético y claramente quienes trabajan en esto, no desean que la gente no use la energía, y que las empresas deban hacer razonamiento, sino que hagan un uso inteligente.

La eficiencia energética como concepto, agrupa las acciones que se toman tanto en el lado de la oferta como de la demanda, sin sacrificar el bienestar ni la producción, permitiendo mejorar la seguridad del suministro. Logrando además, ahorros tanto en el consumo de energía como en la economía de la población en general. Simultáneamente se logran reducciones en las emisiones de los gases de efecto invernadero y mejoras en las finanzas de las empresas energéticas. [Armis, 2002].

El incremento de la eficiencia energética tiene un beneficio ambiental inmediato y directo, ya que implica una reducción en el uso de recursos naturales y en la emisión de contaminantes, incluido el CO₂. Sin lugar a dudas, la energía más limpia es la ahorrada. [Puerta Fernández, 2003]

Autores como [Lápido Rodríguez 2012], plantean que para lograr la eficiencia energética debe contarse con indicadores e índices que permitan el análisis y muestren las desviaciones en los consumos para que permitan a la dirección de las empresas e instituciones detectar problemas y tomar decisiones a tiempo, teniendo en cuenta que los principales problemas que afectan el ahorro y la eficiencia energética están relacionados con los siguientes aspectos:

- Insuficiente análisis de los índices de eficiencia energética.
- Desconocimiento de la incidencia de cada portador energético en el consumo total.

- Falta de identificación de los índices físicos y su ordenamiento por prioridad.
- Insuficiente divulgación de las mejores experiencias.
- Falta de información en los sistemas estadísticos.
- No apreciación de la elevación de eficiencia energética como una fuente de energía importante.

Algunos mecanismos para la introducción del concepto de la eficiencia energética en la empresa podrían ser los siguientes:

- Llevar a cabo un diagnóstico de eficiencia energética, por medio del cual se identifiquen los potenciales de ahorro energético.
- Identificar los principales y más frecuentes problemas que se enfrentan en el uso final de la energía.
- Considerar que la energía es un insumo de costo variable, que puede ser utilizado de una manera eficiente introduciendo prácticas que permitan el ahorro de este insumo en la empresa.
- Implementar las acciones identificadas en el diagnóstico.

Es importante señalar que los directivos deben ver la eficiencia energética y el ahorro de portadores energéticos como fuentes de energía para contribuir a la elevación de la eficiencia en el uso de los portadores energéticos y la dirección organizacional debe contemplar entre las acciones a realizar:

- La aplicación de la ciencia y la técnica.
- Tecnologías de avanzada ya probadas.
- La organización debe mejorar la disciplina tecnológica.

- Aprovechar mejor lo que se tiene y perfeccionar la organización para favorecer una gestión adecuada, así como la administración de la energía.

1.4 Sistemas de Gestión Total y Eficiente de la Energía (SGTEE).

Se reconoce la existencia de diferentes definiciones de gestión energética en una organización. La gestión energética o administración de energía, como un subsistema de la gestión empresarial que abarca las actividades de administración y aseguramiento de la función gerencial, que le confieren a la entidad la aptitud para satisfacer eficientemente sus necesidades energéticas. [Lápido Rodríguez, 2012]

Por otra parte, se considera que la gestión energética es una metodología o sistema organizado de previsión y control del consumo de energía, con el fin de obtener el mayor rendimiento energético posible sin disminuir el nivel de producción o prestaciones de servicios. Es un proyecto permanente, continuo y cíclico, que comienza por la dirección y es tarea de todos, debe ser medible, donde el resultado óptimo se logra mediante la formación y el éxito reside en el aporte de todo el personal. [Rodríguez, 2008]

Por otra parte [Borroto, 2002] en su trabajo “Gestión Energética Empresarial” señala que el manejo de la energía y la eficiencia en su utilización recobra importancia desde hace muchos años. Sin embargo, es muy importante señalar que la alta dirección de una organización debe asegurar una adecuada gestión energética a partir de efectuar la aplicación de varios principios, tales como:

- La gestión de la energía no es un sistema documental, sino un procedimiento o metodología, que debe contar con un plan de ahorro que desarrolle a su vez un

sistema de gestión que garantice la mejora continua a partir de las oportunidades identificadas.

- Para el éxito y la consecución de un ahorro energético es imprescindible la capacitación; el compromiso y la motivación de los directivos y trabajadores de la empresa con el objetivo buscado.
- El costo energético debe controlarse en todas las áreas o departamentos de la organización. Es necesario concentrar los esfuerzos en el control de las principales funciones o consumos energéticos (procesos productivos, iluminación), entre otros aspectos.

En Cuba al igual que varias partes del mundo para la implementación de un Sistema de Gestión Total y Eficiente de la Energía existe la norma ISO 50001:2011 que se encarga de proporcionar a las organizaciones un reconocido marco de trabajo para la integración de la eficiencia energética en sus prácticas de gestión. La norma tiene por objeto cumplir lo siguiente:

- Ayudar a las organizaciones a aprovechar mejor sus actuales activos de consumo de energía.
- Crear transparencia y facilitar la comunicación sobre la gestión de los recursos energéticos.
- Promover las mejores prácticas de gestión de la energía y reforzar las buenas conductas de gestión de la energía.
- Ayudar a las instalaciones en la evaluación y dar prioridad a la aplicación de nuevas tecnologías de eficiencia energética.

- Facilitar la mejora de gestión de la energía para los proyectos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.
- Permitir la integración con otros sistemas de gestión organizacional, como son el ambiental, y el de salud y seguridad.
- Proporcionar un marco para promover la eficiencia energética a lo largo de la cadena de suministro.

ISO 50001 proporciona un marco de requisitos que permite a las organizaciones:

- Fijar metas y objetivos para cumplir con la política.
- Utilizar los datos para entender mejor y tomar decisiones sobre el uso y consumo de energía.
- Medir los resultados.
- Revisar la eficacia de la política.
- Mejorar continuamente la gestión de la energía.

ISO 50001 se basa en los principios siguientes para una gestión eficiente y efectiva de la energía. Para obtener un máximo rendimiento de nuestra inversión así como la optimización de la energía, la gestión de la energía debe ser:

- Iniciada desde la gerencia general de la empresa u organización.
- Dirigida por una persona identificada como responsable.
- Comunicada a todos niveles de gestión.
- Descrita en políticas energéticas detalladas.
- Soportada por un sistema de medición.
- Establecida en un proceso de mejora continua.

Esta Norma Internacional se basa en el ciclo de mejora continua Planificar – Hacer – Verificar – Actuar (PHVA) e incorpora la gestión de la energía a las prácticas habituales de la organización. (Ver anexo # 1)

Planificar: realizar la revisión y establecer la línea base de la energía, indicadores de rendimiento energético, objetivos, metas y planes de acción necesarios para conseguir resultados de acuerdo con las oportunidades para mejorar la eficiencia energética y la política de energía de la organización.

Hacer: poner en práctica los planes de acción de la gestión de la energía.

Verificar: monitorear y medir los procesos y las características claves de sus operaciones que determinan el rendimiento de la energía con respecto a la política energética y los objetivos e informar los resultados.

Actuar: tomar acciones para mejorar continuamente la eficiencia energética y el SGTEE.

La aplicación en todo el mundo de esta Norma Internacional contribuye a un uso más eficiente de las fuentes de energía disponibles, mejora de la competitividad, y reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y otros impactos ambientales relacionados. Esta Norma Internacional es aplicable independientemente del tipo de energía utilizada.

Para la implementación de un sistema de gestión energética según la ISO 50001 se debe tener en cuenta las siguientes herramientas:

- Diagrama energético- productivo.

- Diagrama de Pareto.
- Estratificación.
- Gráficos de control.
- Gráficos de consumo producción en el tiempo.
- Diagramas de Dispersión y correlación.
- Diagramas de consumo-producción.
- Diagrama índice de consumo- producción.
- Gráficos de tendencia o de sumas acumulativas.

Todas estas herramientas permiten hacer un análisis de los principales indicadores que miden la eficiencia energética de un sistema determinado, además que a partir de datos de consumo y producción suministrados por la empresa, se puedan generar, por una parte las condiciones de operación típicas para la empresa, y por otra, indicadores de comparación.

1.5 Principales problemas que afectan la eficiencia energética en las plantas de hormigón asfáltico caliente.

A nivel mundial hoy se realizan estudios de cómo hacer más eficiente del punto de vista energético la producción de HAC, y las medidas desarrolladas más recientes han sido:

- La mejora de la eficiencia en los sistemas de precalentamiento del betún, gracias a la programación de la limpieza periódica de los fondos de los depósitos de almacenamiento.

- La innovación en el proceso productivo, reduciendo la temperatura de trabajo de la caldera de aceite térmico. Esto ha disminuido el consumo energético y mantenido la calidad de la mezcla.

Existen otros factores determinantes en el consumo energético en los cuales no se ha profundizado, estos son:

- El grado de humedad de los áridos.
- La frecuencia de parada y arranque de la planta.
- La reducción de la temperatura de fabricación de la mezcla o la optimización de la combustión mediante la reducción del tiempo de respuesta frente a incidencias.
- Medidas para mitigar la contaminación ambiental.

En los sistemas de secado de los áridos se trabaja en el uso de quemadores que operan con varios tipos de combustibles, sin comprometer el éxito del proceso. Con un aprovechamiento total, que resulta de la máxima generación de calor para el secado de los áridos, además del menor consumo específico (litros por tonelada producidas).

1.6 Incidencia de estos factores en la eficiencia energética de las plantas de hormigón asfáltico caliente de nuestro país.

Una de las principales producciones del ministerio de la construcción es el hormigón asfáltico caliente (HAC), conocer cuáles son los principales problemas que afectan la eficiencia energética de las plantas que lo producen es un tema de gran importancia para hacer más eficiente el proceso desde el punto de vista energético.

1.6.1 Grado de humedad de los áridos.

Los áridos de su proceso de producción llegan a las plantas con un grado de humedad de un 3 % aproximadamente, pero en la transportación y almacenamiento estos pueden absorber humedad ya sea por lluvias o por la humedad relativa del lugar de almacenaje, para ello antes de comenzar el proceso de mezclado se le realizan pruebas de laboratorio para conocer si están dentro del porcentaje establecido por Normas Cubanas que debe ser de un ≥ 5 %. En el proceso de secado al tambor secador se le debe suministrar más calor haciendo uso del quemador, para eliminar la humedad se necesita un mayor consumo de Diesel.

1.6.2 Frecuencia de parada y arranque de la planta.

Las paradas reiteradas y los consiguientes arranques de las plantas tienen un alto consumo de electricidad, que afectan en gran medida la eficiencia energética. En la parada y arranque también influye el trabajo de las calderas, la cual cuenta con quemadores de Diesel, que se encargan de mantener la temperatura del betún asfáltico en los rangos permisibles (120-150 °C), en el interior de los depósitos, con su consiguiente consumo de combustible.

1.6.3 La reducción de la temperatura de fabricación de la mezcla.

Tiene gran incidencia en el consumo energético la temperatura de fabricación de la mezcla y está muy relacionada con el tipo que se produzca. (Ver figura 1.3)

Para disminuir la temperatura de fabricación se hace necesario usar otro tipo de betún, para la producción de mezclas frías que ayudan a que sea más eficiente el proceso del

punto de vista energético, es decir no se necesita calentar para la producción. Hoy se tiene el inconveniente que en el país solo se produce el betún BV-55 (50/70).

Teniendo en cuenta que solo se produce este líquido asfáltico, para reducir la temperatura de fabricación de la mezcla se deben buscar otras vías para mejorar técnicamente la eficiencia en las calderas, ya sea con el uso de otro carburante o la sustitución por una de menor índice de consumo que produzca la misma Kcal.



Figura 1.3: Comportamiento Temperatura del asfalto VS Energía de calentamiento.

1.6.4 Contaminación ambiental.

La mayoría de estas plantas a pesar de que cumplen ciertos requerimientos del punto de vista medioambientales existen problemas como los siguientes:

- Los filtros de mangas no funcionan por no contar con los repuestos, al terminar su vida útil, aumentando el nivel de polvo y su emisión a la atmósfera.
- Los gases producto de la combustión (CO_2 , SO_2 y NO_2), en la caldera y quemador son emitidos a la atmósfera, sin el debido tratamiento.
- Emisión de compuestos orgánicos volátiles (COV), con la utilización de las mezclas bituminosas en caliente.

1.7 Conclusiones parciales del capítulo I

Una vez terminada la revisión bibliográfica necesaria para el cumplimiento de objetivo de este trabajo se concluye que:

- El ahorro de energía constituye una necesidad para continuar el desarrollo de cualquier país, dado por los daños económicos, políticos y sociales que produce el uso de los combustibles fósiles.
- Haciendo uso de las herramientas del Sistema de Gestión Total Eficiente de la Energía (SGTEE), se pueden realizar análisis de los procesos y llegar a resultados que contribuyan a disminuir consumos de portadores energéticos y así mejorar la eficiencia energética de cualquier sistema.
- Los aspectos que más influyen en el consumo de combustible en la fabricación del HAC son: el calentamiento del betún, las paradas y arranque de las plantas, la humedad de los áridos y la temperatura de la mezcla por no contar con un líquido asfáltico que permita la producción de mezclas frías.

CAPÍTULO II: PROPUESTA DE SOLUCIONES AL CONSUMO DE DIESEL EN LA PLANTA DE HAC

2.1- Descripción de la planta de hormigón asfáltico de Rafael Freyre.

La planta objeto de análisis se encuentra enclavada en el municipio Rafael Freyre de la provincia Holguín, es de fabricación Italiana del año 2000, marca MARINI de una capacidad productiva de 100 T/h, completamente automatizada y usa como fuente de energía el combustible Diesel y electricidad. Abastece toda la provincia Holguín con sus producciones y es la única de su tipo. Su esquema productivo se muestra en la figura 2.1.

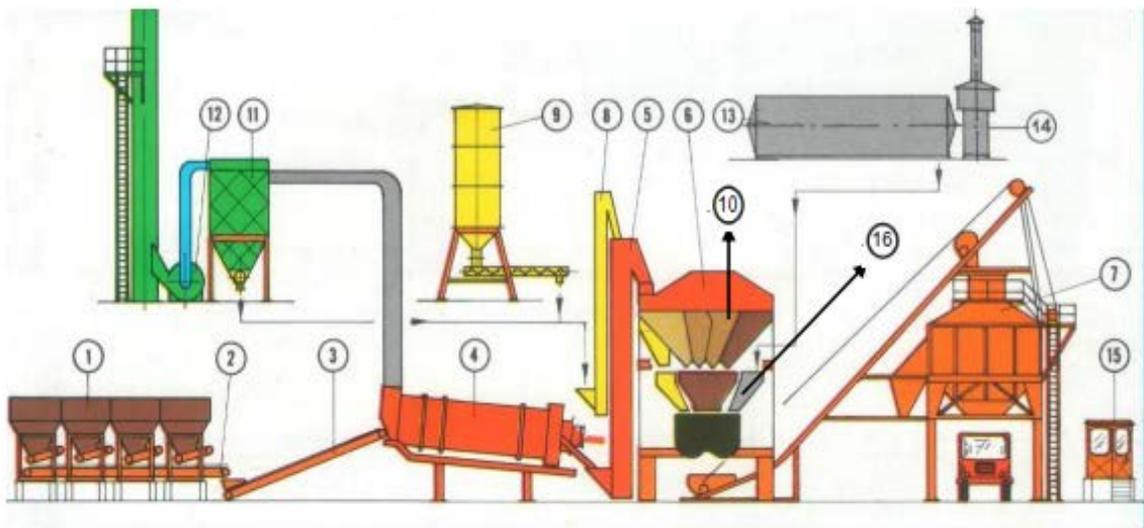


Figura 2.1: Esquema productivo de la planta de hormigón asfáltico:

En las tolvas receptoras (1) se vierten y son dosificados los áridos fríos, en dependencia de la mezcla que se quiera obtener, estos son trasladados a través de los transportadores de banda (2 y 3), hacia el tambor secador (4), donde reciben calor y se elimina la humedad, hasta un valor inferior al 6 % para mezclar, además del secado se

produce una separación de los áridos más finos que en conjunto con los gases van a al extractor y recolector de gases filler (11) y que a través del ciclón (12), las partículas más finas se separan y van a la atmósfera y las más gruesas al silo de filler (9), que posteriormente es utilizado en la mezcla en dependencia de la dosificación que se desee obtener por el elevador de filler (8). Los áridos secos se vierten en las cribas (6), a través del elevador en caliente (5), una vez cribados pasan a la tolva (10) y se van suministrando al mezclador (16), donde además de los áridos, se le suministra el asfalto caliente que se encuentra almacenado en los depósitos (13), recibiendo calor producido por la caldera de circulación de aceite (14), terminado este proceso se vierten en el depósito de almacenamiento del hormigón asfáltico (7) y culmina el proceso de elaboración, el mismo es operado y controlado desde la cabina de mando (15).

Para la producción del hormigón asfáltico caliente se utilizan fundamentalmente dos materias primas: el betún asfáltico y el árido. En el proceso intervienen dos portadores energéticos, el Diesel para el calentamiento del betún asfáltico y el proceso de secado de los áridos y la electricidad para mover los motores eléctricos con que trabaja la planta. Las entradas y salidas de energía y materia prima están representadas en el esquema de flujo mostrado en la figura 2.2.

En el mismo se representan los valores para la producción de 100T/h de HAC, que es la capacidad productiva de la planta y para la cual fue diseñada. La materia prima es dosificada en dependencia de la mezcla que se quiera obtener.

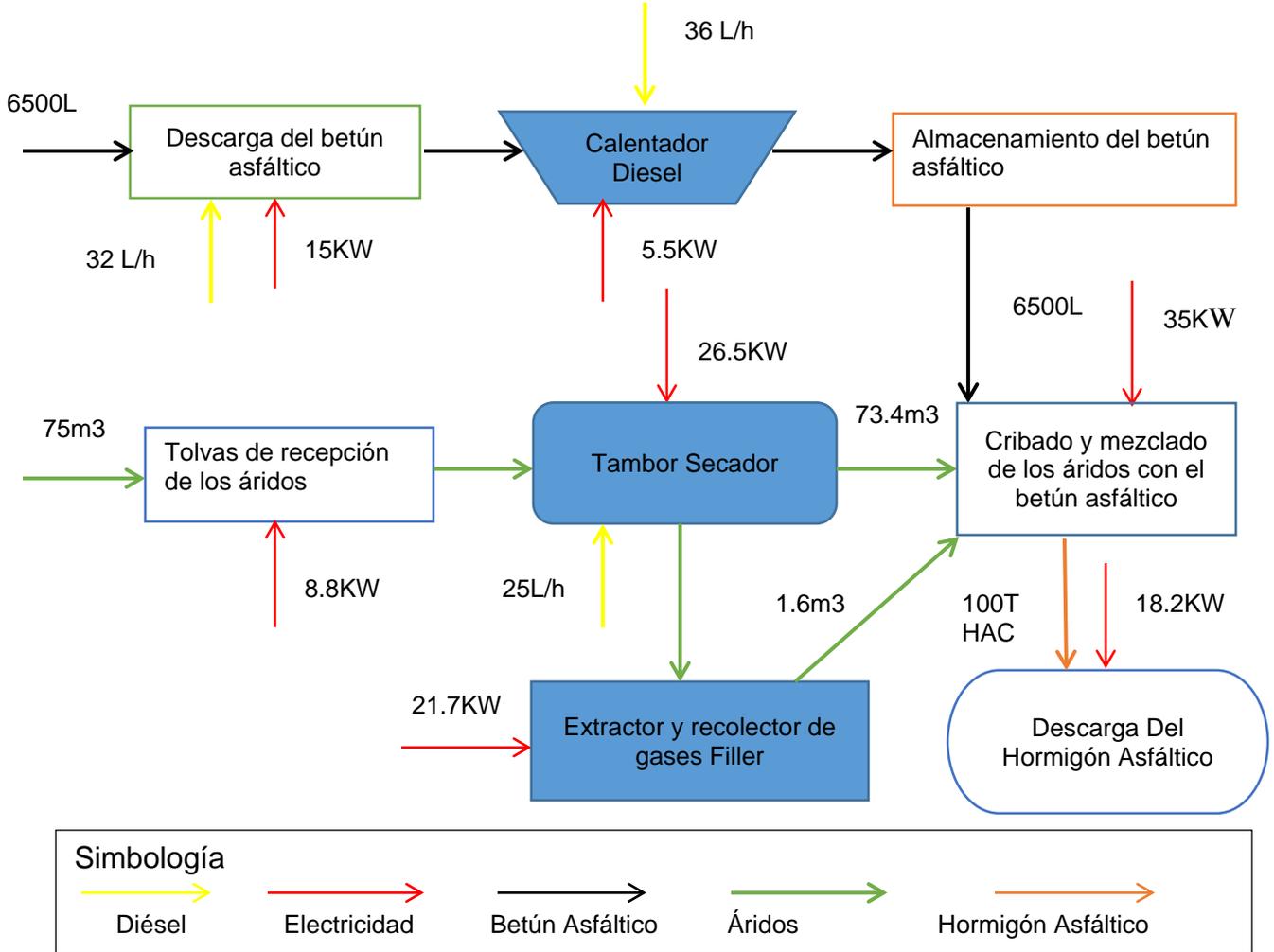


Figura 2.2: Flujo tecnológico de la planta de asfalto.

2.2- Diagnóstico energético a la planta de asfalto.

Estructura de consumo en el año 2013

Para comenzar el estudio primeramente determinamos las Toneladas Equivalentes de Petróleo (TEP) de todos los portadores energéticos utilizados en la planta de asfalto, y se estableció la estructura de consumo de los portadores energéticos utilizando los factores de conversión del año 2013, como se muestra en la Tabla 2.1 y el gráfico de la figura 2.3.

Tabla 2.1 Estructura de consumo de portadores de los portadores energéticos 2013.

No	Portador	U.M	Consumo	Factor de Conversión	TEP
1	Electricidad	MWh	116,4	0,3328	38,74
2	Diesel	T	460	1,06	487,6
TOTAL					526,34

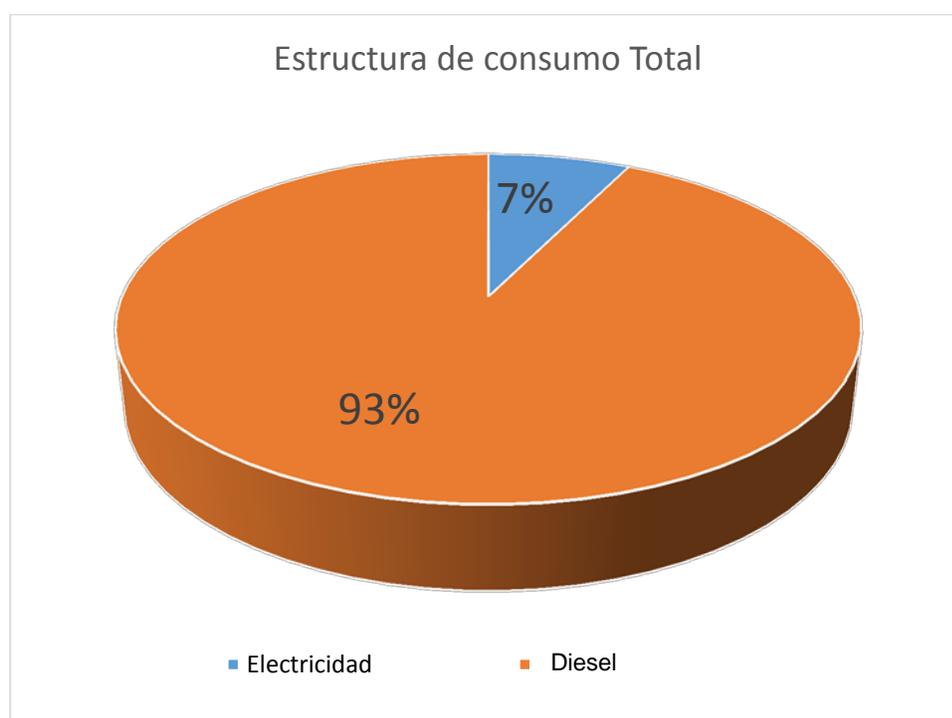


Figura 2.3 Estructura del consumo de portadores energético

En el análisis de la estructura del consumo de los portadores energéticos se utilizó el diagrama de Pareto, con el objetivo de poder establecer un orden de prioridades en la toma de decisiones, respecto a los portadores energéticos y poder evaluar cuál de los portadores es el de mayor incidencia y encaminar las acciones de ahorro de energía.

Como se observa el consumo más significativo es el combustible Diesel que representa el 92,64%. (Ver figura 2.4)

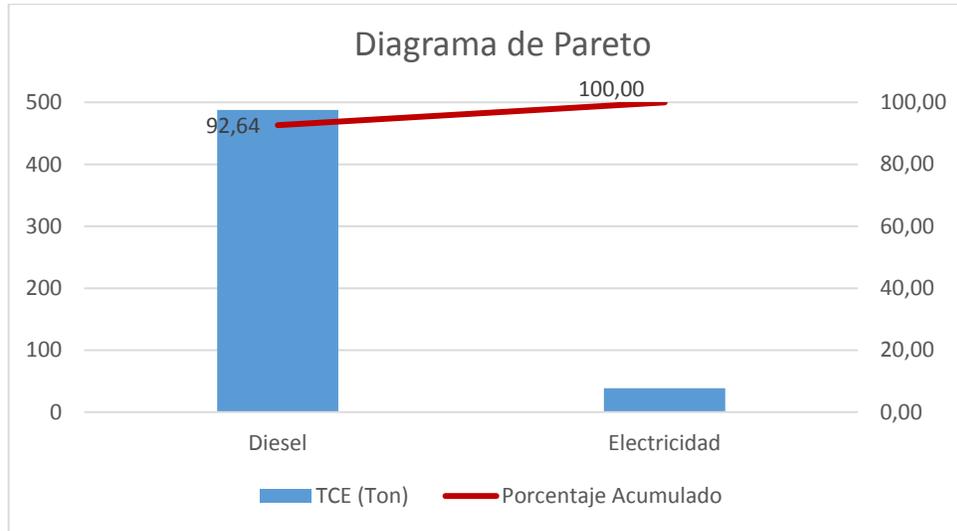


Figura 2.4 Estructura del consumo de los portadores energéticos.

En la figura 2.5 se muestra el comportamiento por meses del consumo de Diesel en los últimos dos años.

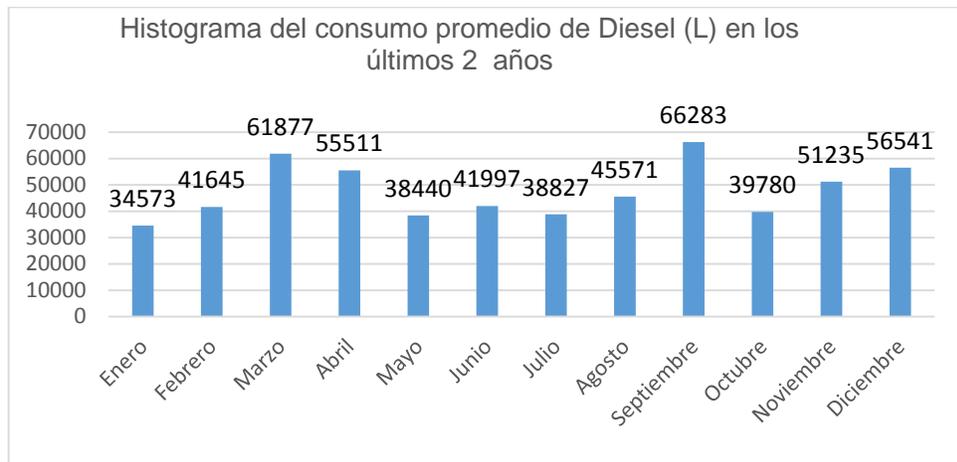


Figura 2.5 Histograma de consumo de Diesel.

Con estos resultados se demuestra que sí se concentran los esfuerzos en la influencia que ejerce el consumo de combustible Diesel en todo el proceso de la planta se puede lograr una mejora significativa de la eficiencia energética.

Se realizó una estratificación por áreas para definir los mayores consumidores de energía que intervienen en la producción del HAC, se tomó como muestra el reporte de operaciones de un mes donde se relacionan los consumos diarios por áreas y la producción realizada.

En el gráfico de la figura 2.6 se muestra la estratificación del consumo por cada una de las áreas determinando que la planta tiene tres puestos importantes donde se consume combustible Diesel que son:

- La zona de recepción de las pailas de asfalto (Precalentador de asfalto en la paila).
- La zona de calentamiento del asfalto (Quemador del calentador de aceite).
- La zona de secado de los áridos (Quemador del secador).

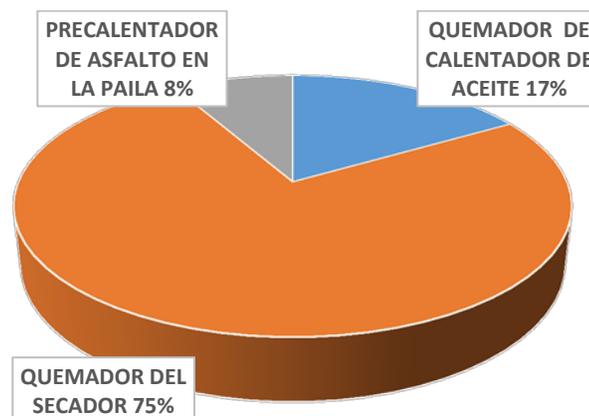


Figura 2.6 Consumidores de combustible Diesel

El uso del método de la estratificación permitió determinar que el mayor consumo de Diesel se presenta en el quemador del secador de áridos, que consume el 75% de todo el combustible utilizado para la producción del Hormigón Asfáltico Caliente (HAC). Además permitió conocer que el estudio de consumo del Diesel debe estar encaminado hacia esos tres puestos claves porque es donde están las posibilidades de ahorro de este portador.

Se procedió a tomar todos los datos estadísticos (Ver anexo # 2), para encontrar los indicadores que nos permitieran evaluar los cambios en la eficiencia energética. Estos indicadores se muestran en la tabla 2.2

Tabla 2.2 Índices de consumo históricos en la planta

Años	Índices de consumo (L/T HAC)	
	Establecido por proyecto	Índices reales
2012	6,89	7,93
2013		7,08

Como se puede apreciar el índice de consumo previsto por diseño de la planta es de 6,89 L/T HAC y en los dos años de estudio ha sido como promedio de 7,51 L/T HAC, demostrando que existe un sobre giro en el consumo del portador Diesel cuando se compara con el índice establecido por proyecto.

En la Tabla 2.3 se muestran los valores de la producción, el Diesel consumido y el índice de consumo para cada mes del año 2013 y en el gráfico de la figura 2.7 se representa el comportamiento de este último, mostrándose una relación negativa respecto a la producción porque no se corresponden los aumentos de los índices de

consumo con la producción ejecutada, con mayor incidencia en los meses de Enero y Marzo.

Tabla 2.3 Producción, consumo de Diesel y índice de consumo del año 2013.

Producción / Portadores	U/M	MESES												
		E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
Producción	MT	3.9	7.5	6.8	6.2	6.0	7.5	6.0	6.3	5.3	8.3	6.4	7.3	77.6
Diesel	ML	49.1	33.3	83.7	51.0	41.9	43.4	37.7	42.6	44.1	48.3	37.4	37.4	55.0
Índice de Consumo	ML/MT	12,63	4,43	12,36	8,28	6,95	5,79	6,24	6,74	8,26	5,82	5,86	5,10	7,09

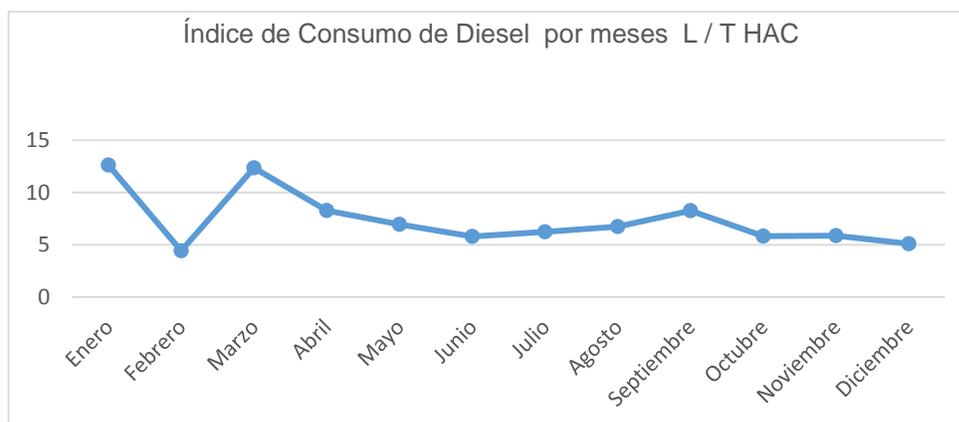


Figura 2.7 Comportamiento del índice de consumo de Diesel en el año 2013.

Se llevaron las variables producción y consumo de diesel a los gráficos de control con el objetivo de determinar si han tenido o no un comportamiento estable o anómalo y comprobar las posibles desviaciones. De observar el comportamiento del proceso a través de los gráficos de control mostrados en las figuras 2.8 y 2.9 se concluye que ambas variables, se encuentran dentro de los límites permisibles pero no dejan de existir irregularidades fundamentalmente en el consumo de Diesel y para el cual se

deben realizar acciones correctivas que permitan estabilizar los consumos en relación con la producción que se ejecuta.

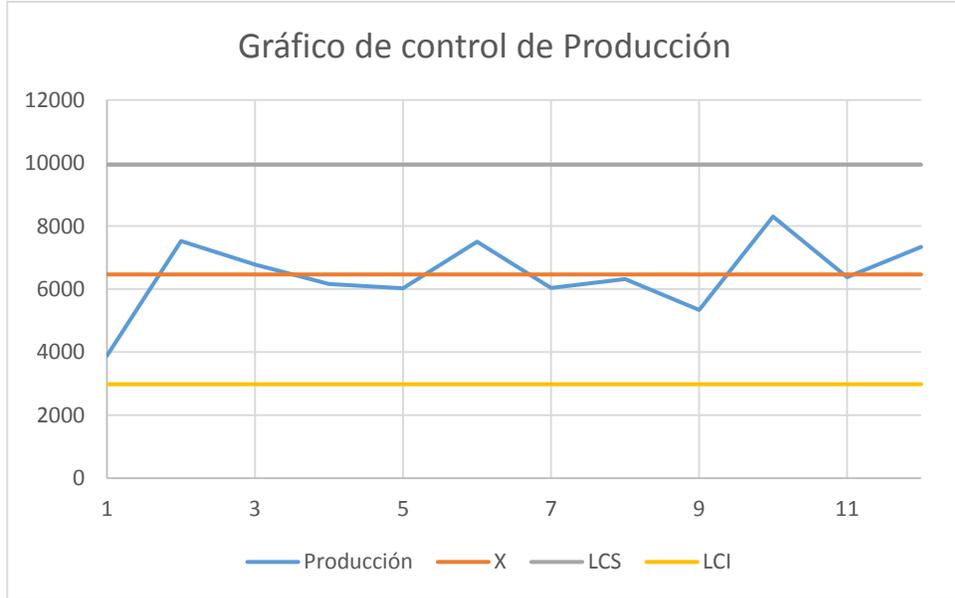


Figura 2.8 Gráfico de control de producción

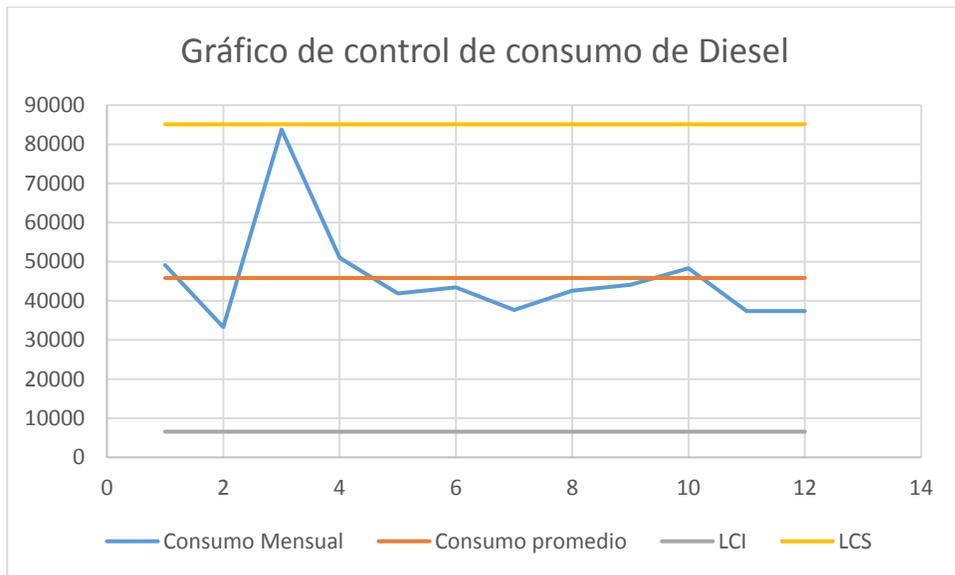


Figura 2.9 Gráfico de control del consumo de Diesel.

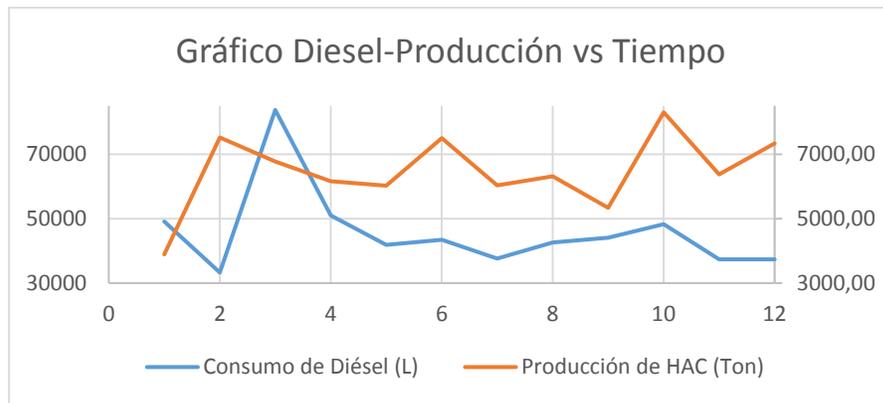


Figura 2.10 Gráfico de consumo y producción en el tiempo.

Cuando se compararon los resultados de la producción, el diesel consumido con el tiempo, como muestra el gráfico de la figura 2.10 se pudo comprobar que cuando la producción crece el consumo de Diesel decrece y viceversa lo que son significativos los saltos y la no correspondencia entre una y otra variable, no existe una relación proporcional entre la producción de HAC y el consumo de combustible Diesel.

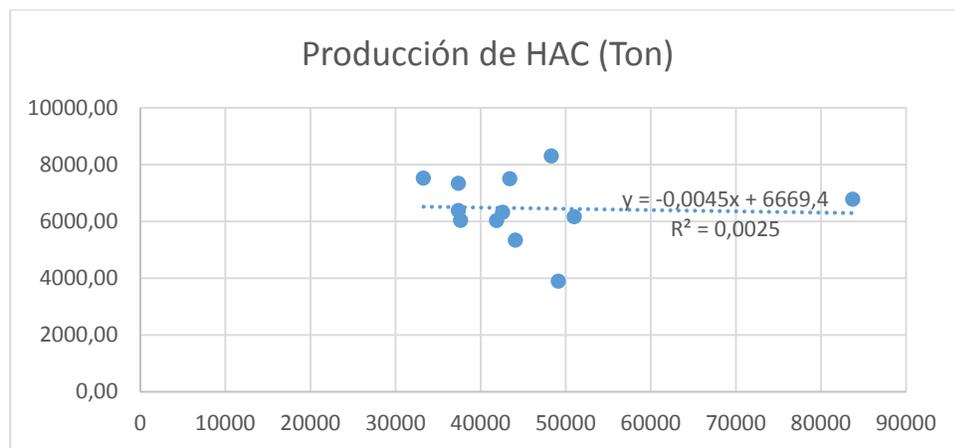


Figura 2.11 Diagrama de consumo de Diesel vs producción de HAC.

Del gráfico de la figura 2.11 se pudo observar que existe una débil correlación entre los parámetros representados en el diagrama de dispersión, cuando se observa el coeficiente de correlación vemos que el mismo se encuentra muy inferior a los valores

adecuados ($R^2 \geq 0,75$), y por tanto el índice de consumo formado por el cociente entre ellos no refleja adecuadamente la eficiencia energética de la producción de HAC. Esta baja correlación puede estar dada por una pobre disciplina tecnológica, o porque el consumo de energía en la planta no es controlado adecuadamente y las prácticas de operación y mantenimiento están pobremente definidas, así como poca estabilidad en los procesos productivos o de servicios. Por lo que se hace necesario estudiar cuales son los aspectos que están influyendo en este resultado.

Para ello se tomó un mes típico de producción y se estableció la relación entre el combustible gastado en el calentamiento del asfalto y el gastado en el proceso de secado, contra la producción diaria y arrojó el resultado mostrado en el gráfico de la figura 2.12. Donde se puede observar que es más que evidente que el consumo del portador Diesel tiene un comportamiento errático con respecto a la producción, tanto el que se consume en el proceso de secado del árido como el que utiliza para el calentamiento del aceite calefactor para mantener caliente el asfalto.

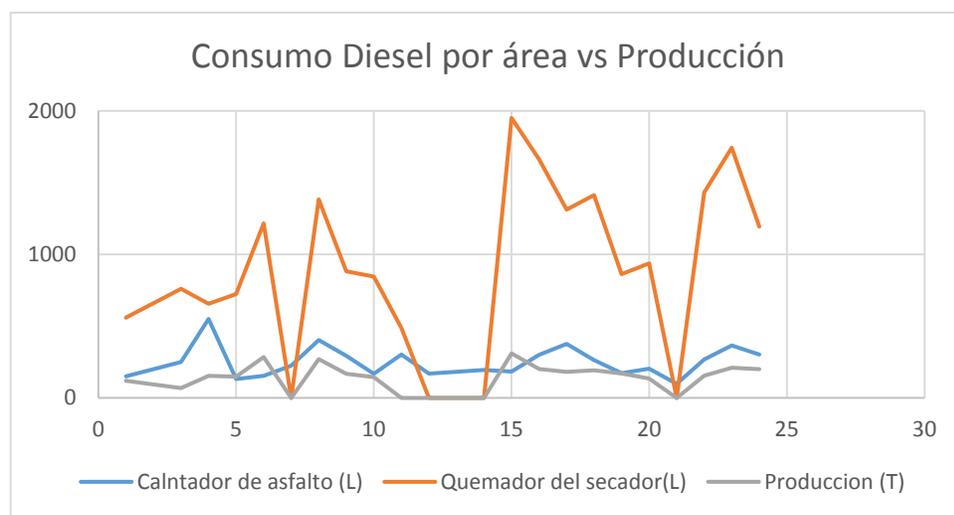


Figura 2.12 Comportamiento de la producción y el Diesel en los quemadores.

Una vez desarrollado este diagnóstico se consideró que los aspectos que más están influyendo en el deterioro de la eficiencia energética en la Planta de HAC de Rafael Freyre son las siguientes:

Los de carácter objetivo.

- Alto consumo de Diesel en el proceso de secado de los áridos producto a la humedad que contienen por un inadecuado almacenamiento y estar expuestos a la humedad relativa y las lluvias.
- Problemas de consumo de Diesel por deficiencias tecnológicas en el proceso de calentamiento del betún asfáltico y el trabajo continuo de la caldera, problemas de operación y mantenimiento (Aislamiento de las tuberías y tanques), así como en el precalentamiento del asfalto para poder trasegarlo desde las pailas hasta los tanques de almacenamiento.

De carácter subjetivo:

- No existe un adecuado sistema de control de los portadores energéticos, ni hay una estrategia de gestión para elevar la eficiencia energética de la planta.
- No se realiza un mantenimiento eficiente a los sistemas de precalentamiento, ni una limpieza periódica de los fondos de los depósitos de almacenamiento.
- Se reportan consumos de Diesel que no tienen un respaldo productivo, o el efecto inverso.
- Inestabilidad en el proceso de producción por no existir una correcta planificación y organización del trabajo.

- Existen errores en la medición o captación de los datos primarios o en su procesamiento.

2.3. Propuesta de solución a los problemas energéticos en los puestos claves.

Después de realizado el diagnóstico energético y haber demostrado que el combustible Diesel es el portador más significativo en el consumo energético de la Planta HAC, además de haber identificado los puestos claves pasamos a proponer soluciones que contribuyan a disminuir el consumo de este portador, haciendo un estudio de las principales pérdidas que en estas áreas se producen, así como se enuncian las potencialidades de ahorro en las mismas.

2.3.1- Propuestas de soluciones para incrementar la eficiencia energética del proceso de secado.

Los áridos se transportan desde la cantera hacia la planta. Ellos se almacenan a cielo abierto y por tanto cuando hay lluvia aumenta su humedad.

La calidad del HAC depende en gran medida de la humedad de los áridos, esto fue explicado con mayor detalle en el capítulo I. En el proceso de obtención del HAC los áridos se mueven por el secador rotatorio y en contracorriente se hacen pasar gases caliente producto de la combustión del portador energético Diesel.

La humedad de los áridos antes de entrar al proceso es determinada en el laboratorio. Este valor se informa a los operadores de la planta y en función de ello el tambor girará a mayor o menor velocidad para garantizar que el contenido de agua esté entre 1.0 y 1.5 %. El quemador de combustible garantiza un flujo constante de gases de la combustión a altas temperaturas para lograr el proceso de secado.

De lo anteriormente expuesto se deduce que debe existir una relación proporcional entre la humedad de los áridos y el consumo de combustible Diesel en el proceso de secado de los áridos. Tomando un mes típico de producción, se hizo un estudio del comportamiento del consumo de diesel en función de la humedad de los áridos y el resultado es el mostrado en el gráfico de la figura 2.13

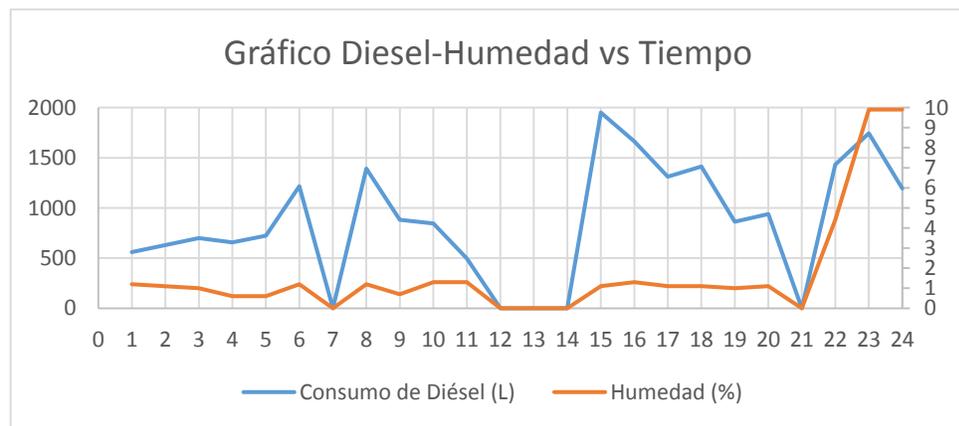


Figura 2.13 Comportamiento de la humedad contra consumo de Diesel.

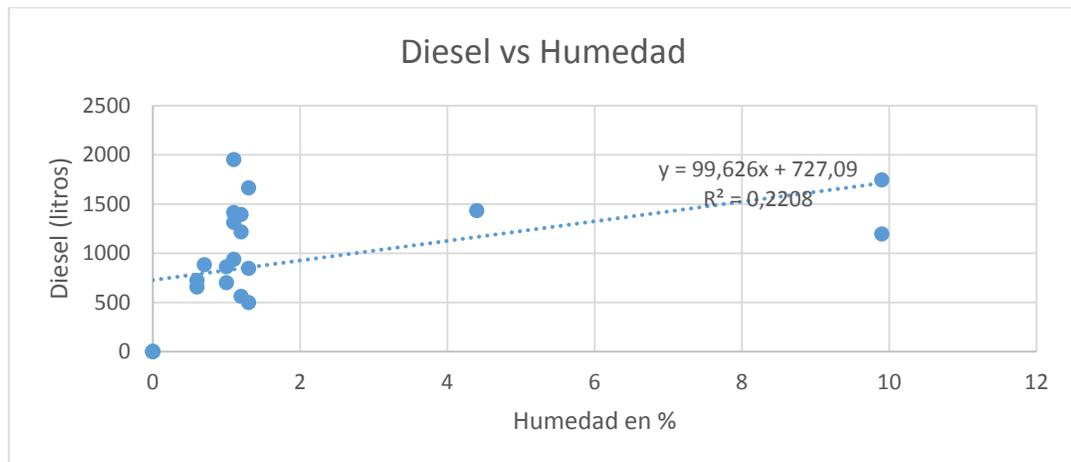


Figura 2.14 Correlación del consumo de Diesel vs Humedad del árido.

Los valores de humedad contra consumo de Diesel no correlacionan (Ver gráfico figura 2.14) por tanto se demuestra que existen insuficiencias organizativas y productivas que

están afectando el consumo de energía en el proceso de secado del árido. Aspecto este que afecta en todos los sentidos la productividad y la eficiencia energética de la planta.

El área de secado es el puesto clave en la producción de HAC para disminuir el consumo del portador Diesel se deben tomar las medidas siguientes:

- Techar el área de almacenamiento de áridos para evitar el incremento de la humedad producida por las lluvias.
- Llevar un control estricto del Diesel y de la humedad para que se puedan establecer índices de consumo que permitan estudiar las desviaciones y tomar las medidas pertinentes.
- Poner en funcionamiento las modificaciones tecnológicas realizadas para combustionar crudo combustible cubano, esto aminorará los costos de producción y dará un uso adecuado a un combustible de baja calidad.

2.3.2- Valoración de las pérdidas en el calentamiento del betún asfáltico.

El betún asfáltico caliente, con una temperatura aproximada de 150°C, es bombeado desde las pailas que lo transportan desde la refinaría hasta la planta y almacenado en dos tanques de 52 m³ de capacidad.



Figura 2.15 Área de calentamiento y almacenamiento del betún asfáltico.

En estos depósitos se almacena el betún asfáltico a temperaturas entre los 150 y 160 °C. En el interior de los mismos existe un intercambiador de calor tipo serpentín que utiliza como agente de calentamiento aceite de calefacción (Aceite Circulación 220), a una temperatura media de 210 °C y así mantiene el betún asfáltico con la viscosidad necesaria para ser bombeado hacia la producción mediante bombas de desplazamiento positivo.

Estos depósitos deben ser aislados térmicamente para evitar las pérdidas de calor al medio ambiente y de esta forma optimizar el gasto de combustible Diesel. Del análisis realizado por los puestos claves se comprobó que afectan el consumo del Diesel en esta área los problemas siguientes:

- El depósito de almacenamiento No 2 no tiene aislante térmico (ver figura 2.15) lo que provoca un gasto innecesario de combustible Diesel en el proceso de calentamiento del asfalto.

- La temperatura de los gases de escape en la caldera que calienta el aceite calefactor (Aceite Circulación 220) tiene un valor fuera de rango, actualmente salen a 230 °C y el valor por proyecto es de 210 °C.

2.3.2.1- Cálculo del aislamiento térmico del depósito No 2.

El depósito de almacenamiento No 2 tiene una longitud (L) de 12 m y un diámetro (D) de 1,96. Está colocado en posición horizontal y debe almacenar el asfalto a temperatura entre 150 y 160 °C.

Se determina el valor de los coeficientes individuales de transferencia de calor para la convección libre en un tubo horizontal ($h_{\text{horizontal}}$) para el cuerpo del depósito y para paredes verticales (h_{vertical}) en el caso de las tapas.

Los valores de $h_{\text{horizontal}}$ y h_{vertical} se determinan aplicando los criterios de semejanza siguientes.

- Para tubos horizontales.
$$\overline{Nu}_{fd} = 0.5(Gr_{fd} Pr_f)^{0.25} \left(\frac{Pr_f}{Pr_w}\right)^{0.25}$$
- Para las paredes verticales (tapas)
$$\overline{Nu}h = 0.15(Gr_{fh} Pr_f)^{0.33} \left(Pr_f / Pr_w\right)^{0.25}$$

Para el cálculo se toma a 30 °C la temperatura del aire que bordea el tanque y 150 °C como temperatura de la pared. Sustituyendo las propiedades físicas del aire en cada una de ecuaciones se tiene que:

$$h_{\text{horizontal}} = 12 \text{ W/m}^2\text{°C}$$

$$h_{\text{vertical}} = 5, 2 \text{ W/m}^2\text{°C}$$

Conocido el valor de los coeficientes individuales de transferencia de calor se determina el calor que pierde el depósito a través de la expresión siguiente:

$$Q = \frac{\pi(tw-ta)}{h_{horizontal}D} * L + \frac{(tw-ta)}{h_{vertical}} * \frac{\pi D^2}{2} \quad (1)$$

Donde:

tw: temperatura de la pared del tanque (°C).

ta: temperatura del aire (°C).

D: diámetro del tanque (m)

L: Longitud del tanque (m).

Sustituyendo en (1) queda que la cantidad de calor (Q) que cede el tanque sin aislamiento es de 98483,9 W y tomando como dato del anexo # 3 que el calor cedido con aislante es de 3204.7 W. Procedemos a calcular la variación de calor cedido por la siguiente ecuación:

$$\Delta Q = Q_{sin\ aislamiento} - Q_{con\ aislamiento} \quad (2)$$

Sustituyendo en (2) ΔQ es igual a 95279.2 W.

Para el calentamiento del asfalto se utiliza el aceite de calefacción que se calienta en la caldera mediante el combustible Diesel con un Poder Calórico Inferior (PCI) de 45353000 J/kg y un costo de 767,5 \$/ton. El combustible equivalente a las pérdidas de calor en el tiempo (τ) se calcula como:

$$B = \frac{\Delta Q}{PCI} * \tau * \eta_{\text{Cald}} * \eta_{\text{Tub}} \quad (3)$$

Los valores de la eficiencia de la caldera se calcularon en el epígrafe 2.3.2.3 y es de $\eta_{\text{Cald}} = 0.85$ y el de la tubería se asume de $\eta_{\text{Tub}} = (0.98 \div 0.95)$, para este caso se escogió el menor (0.95).

Sustituyendo en (3) el combustible equivalente a las pérdidas de calor de la planta son de 1.7 Kg/s. Representando en un año de trabajo 6.46 T de combustible que se desechan a la atmósfera.

La colocación de un aislante térmico en el depósito No 2 que ayude a disminuir las pérdidas de calor al medio ambiente, pasan por un análisis técnico económico. A medida que se incrementa el espesor del aislamiento disminuyen las pérdidas de calor y por tanto los costos por concepto de gasto de combustible van disminuyendo, pero al mismo tiempo se encarecen los gastos correspondientes a la compra y el montaje del aislamiento.

Se propone utilizar para aislar el depósito el aislante térmico lana de vidrio, por su capacidad para disminuir la transferencia de calor, su relativo bajo costo y facilidades de montaje. En el anexo # 3 y el gráfico de la figura 2.16 se muestran los resultados del análisis económico para determinar el diámetro óptimo que debe utilizarse para recubrir el depósito. Llegándose a la conclusión que este corresponde al valor de 2,22 m de diámetro exterior, para un espesor de 25 cm.

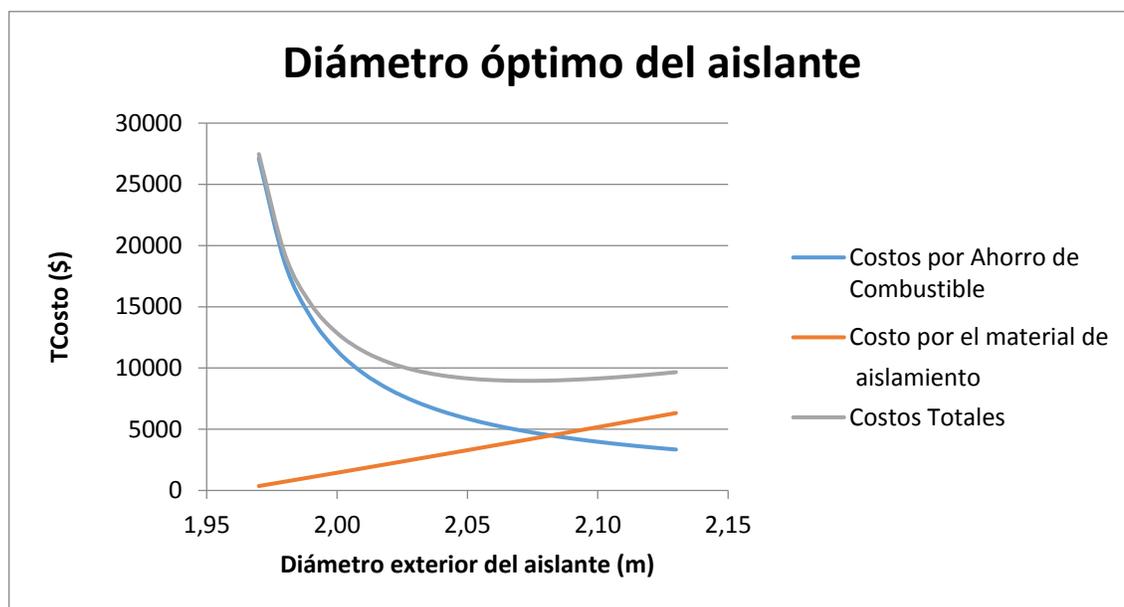


Figura 2.16 Gráfico de diámetro óptimo del aislante

2.3.2.2- Valoración de los gastos por temperatura de los gases en la caldera calentadora de aceite calefactor.

Para el calentamiento del aceite calefactor (Aceite Circulación 220) se usan los gases producido durante la combustión del combustible Diesel. De este calentador salen los gases a la temperatura de 230 °C cuando debían salir a los 210 °C. Esto se debe fundamentalmente a que este equipo no recibe mantenimiento y ya existe un gran ensuciamiento de su superficie de transferencia de calor.

Del combustible se conoce:

Tipo de combustible	PCI (kJ/kg)	Consumo de combustible del quemador
Combustible Diesel	45 353	36 L/h

- Composición química del combustible

Componentes	Valores en %
Carbono	86
Hidrógeno	13
Azufre	0,9
Oxígeno	-
Nitrógeno	-
Humedad	0,1

- El volumen teórico de aire necesario para quemar un kg de combustible se determina por la siguiente ecuación

$$V^0 = 0,089 C^a + 0,266 H^a + 0,033(S_{sol}^a - O^a)$$

$$V^0 = 11,1417 m^3/Kg$$

- Volumen de gases triatómicos

$$V_{R_{O_2}} = 0,0187(C^a + 0,375 S_{vol}^a)$$

$$V_{R_{O_2}} = 1,6145 m^3/Kg$$

- Volumen de los gases biatómicos

$$V_{N_2}^0 = 0,79V^0 + 0,8 \frac{N^a}{100}$$

$$V_{N_2}^0 = 8,8049 m^3/Kg$$

- Volumen de los gases secos cuando $\alpha > 1$

$$V_{gs} = V_{RO_2} + V_{N_2}^0 + (\alpha - 1)V^0 + 0,0016(\alpha - 1)V^0$$

$$V_{gs} = 19,3440 \text{ m}^3/\text{Kg}$$

- Volumen de los vapores de agua

$$V_{H_2O} = 0,0124(9H^a + W^a) + 0,0161V^0$$

$$V_{H_2O} = 1,6314 \text{ m}^3/\text{Kg}$$

- Volumen total de los productos de la combustión

$$V_g = V_{gs} + V_{H_2O}$$

$$V_g = 20,9755 \text{ m}^3/\text{Kg}$$

- Entalpía total de los productos de la combustión por kg de combustible

$$I_g = I_g^0 + (\alpha - 1)I_a^0 + I_c$$

- Entalpía de los gases por kg de combustible

$$I_g^0 = V_{RO_2}(C\theta)_{RO_2} + V_{N_2}^0(C\theta)_{N_2} + V_{H_2O}^0(C\theta)_{H_2O}$$

- Capacidad térmica específica del aire por la temperatura de los gases de 230 °C

$(C\theta)_{RO_2}$	459 kJ/m ³
$(C\theta)_{N_2}$	326 kJ/m ³
$(C\theta)_{H_2O}$	384 kJ/m ³
$(C\theta)_{aire}$	335 kJ/m ³

$$I_g^0 = 4236,9599 \text{ KJ/kg}$$

- Entalpía de la cantidad de aire teórico

$$I_a^0 = V^0(C\theta)_{aire}$$

$$I_a^0 = 3732,4695 \text{ KJ/kg}$$

$$I_g = 7222,9354 \text{ KJ/kg}$$

Para el cálculo de Q_2 nos faltaría la entalpía del aire frío (I_{af}^0), que la misma tiene un valor para 28°C de 300,03 kJ/kg.

El valor de la pérdida por los gases de escape se determina por la expresión (3)

$$Q_2 = \frac{(i_{ge} - \alpha_{ge} i_{af})(100 - q_4)}{100} \dots\dots\dots (3)$$

Sustituyendo en (3)

$$Q_2 = 6682,8814 \text{ kJ/kg.}$$

La misma expresada en % se determina por la expresión

$$q_2 = \frac{Q_2}{Q_d} 100$$

Teniendo como resultado que $q_2 = 14,8 \%$

Consumo de combustible equivalente = 5,31 L/h

Este valor pudiera ser reducido si se aplican adecuadas normas de mantenimiento encaminadas a la limpieza de las superficies de transferencia de calor.

2.3.2.3 Cálculo del balance térmico de la caldera.

La eficiencia térmica (o rendimiento térmico) de un generador de vapor, es desde el punto de vista económico, el parámetro más importante del mismo, pues caracteriza con que efectividad el equipo capta el calor liberado por el combustible. Téngase presente que el gasto fundamental durante la operación de este es por concepto de combustible consumido. Existen dos tipos de eficiencias o rendimientos: la eficiencia bruta y la neta.

Se determina la eficiencia bruta (η_b) como la relación entre el calor útil y el calor disponible.

$$\eta_b = q_1 = (Q_1 / Q_d) \cdot 100$$

La eficiencia bruta puede hallarse a partir de un balance directo o a partir de un balance indirecto.

Para calcular la eficiencia se escogió balance indirecto que consiste en la determinación de todas las pérdidas y aplicando la ecuación (4).

$$\eta_b = q_1 = 100 - (q_2 + q_3 + q_4 + q_5) \dots\dots\dots (4)$$

Donde:

η_b : Eficiencia bruta.

q_1 : Calor útil.

q_2 : Pérdida de calor con los gases de escape.

q_3 : Pérdida de calor por incombustión química.

q_4 : Pérdida por incombustión mecánica.

q_5 : Pérdida por enfriamiento exterior.

Para el cálculo se asume lo siguiente:

- Se desprecia la pérdida por enfriamiento exterior (q_5), por las pequeñas dimensiones y capacidad de la caldera.
- Se desprecia la pérdida por incombustión mecánica (q_4), por ser un combustible líquido.
- Se asume el valor de 0.5 % de las pérdidas por incombustión química.

Sustituyendo los valores en la ecuación (4).

$$\eta_b = q_1 = 100 - (q_2 + q_3) = 100 - (14.8 \% + 0.5 \%)$$

$$\eta_b = q_1 = 84.7 \%$$

Esta es la eficiencia de la caldera encargada de calentar el aceite de calefacción.

2.3.3 Valoración del sobreconsumo en el calentamiento de las pailas.

El betún asfáltico es transportado desde la refinería hasta la planta de HAC de Rafael Freyre en semiremolques pailas de seis metros de largo y dos metros de diámetro. Estos dispositivos para el transporte del asfalto están dotados de un quemador que consume 6 litros de Diesel por hora con el objetivo de mantener la temperatura del asfalto (ver figura 2.17).



Figura 2.17. Paila para el traslado del betún asfáltico

Estos quemadores han sido eliminados de los semiremolques pailas y existen regulaciones de tránsito que prohíben su uso durante el transporte del asfalto desde la refinería hasta la planta. Por esta razón el asfalto llega frío y se necesita calentarlo para poder bombearlo hasta los tanques de calentamiento. Este proceso dura alrededor de 4 horas y utiliza un quemador con un consumo de 32 L/h. Por tanto se están utilizando 128 litros de Diesel para calentar un asfalto que venía caliente, y se enfrío en la transportación.

El asfalto es un fluido no newtoniano. Cuando él se enfría se comporta como un sólido de baja conductividad térmica y su viscosidad aumenta exponencialmente con la disminución de la temperatura como se muestra en el gráfico 2.18.

Este aumento de la viscosidad con la disminución de la temperatura trae consigo una disminución del coeficiente individual de transferencia de calor y por tanto mientras más frío esté el asfalto habrá que suministrar mayor cantidad de calor para lograr la fluidez necesaria en el proceso.

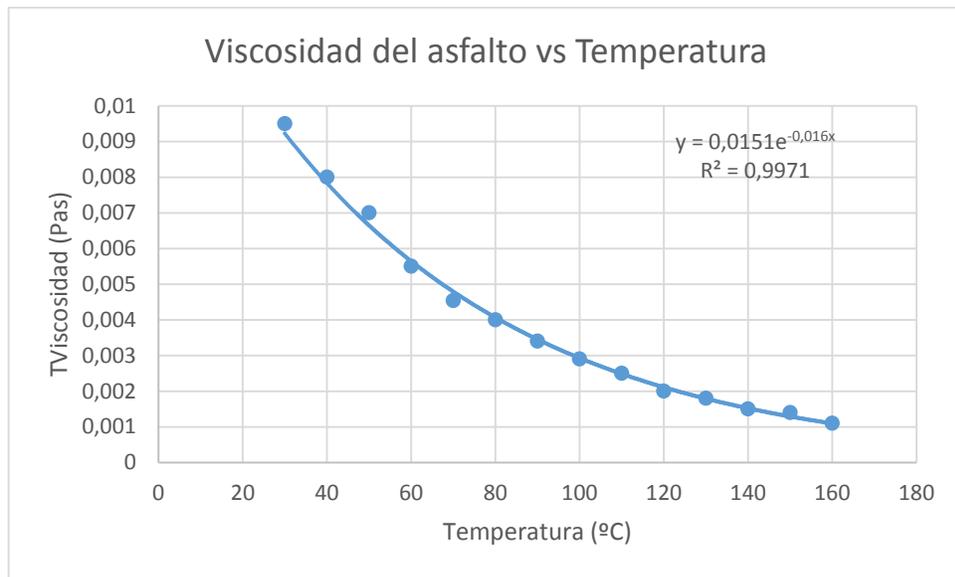


Figura 2.18 Dependencia de la viscosidad del asfalto en función de la temperatura.

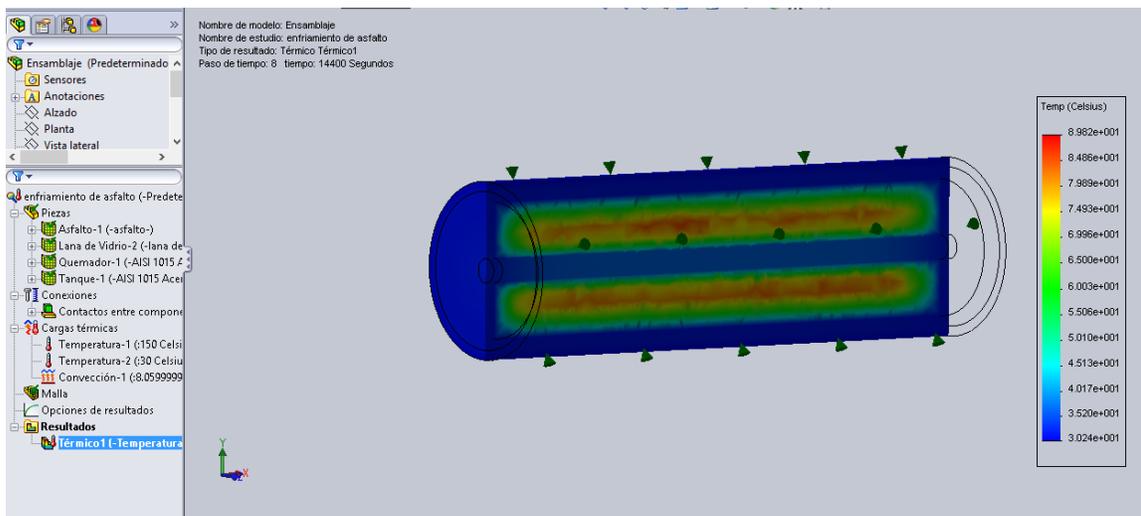


Figura 2.19 Estudio de enfriamiento de la paila en el SolidWork 2013.

Para estudiar las potencialidades de ahorro por el calentamiento del betún asfáltico se realizó la modelación del proceso de enfriamiento y calentamiento de la paila. Para ello se utilizaron las herramientas del SolidWork 2013. Como muestra del estudio se presenta la figura 2.19 con los resultados del proceso de enfriamiento y el informe completo (Ver anexo # 5).

Cuando la paila se mueve desde la refinería (Tomado como referencia Santiago de Cuba) por carretera existe un incremento del coeficiente individual de transferencia de calor en función de la velocidad como se muestra en la figura 2.20.

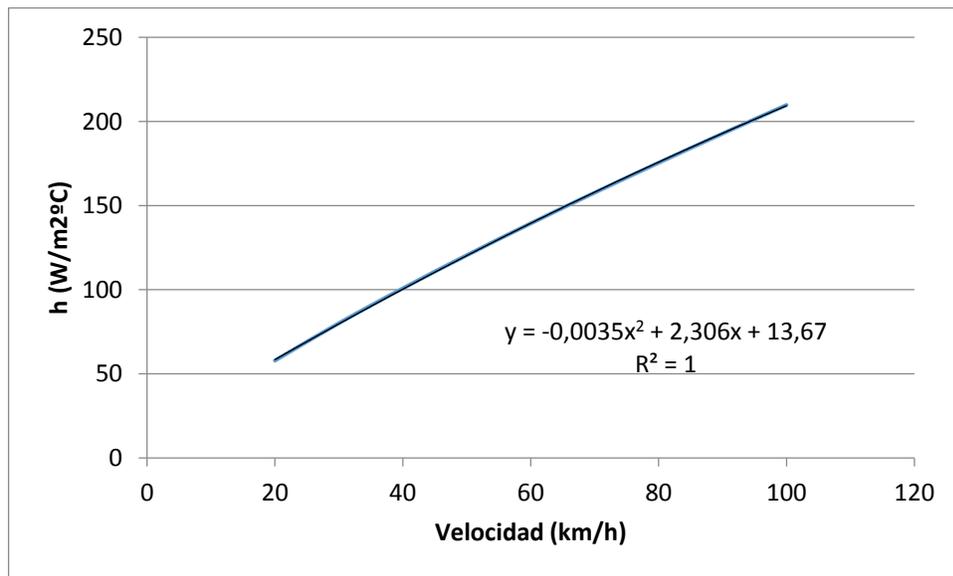


Figura 2.20 Comportamiento del coeficiente de transferencia de calor (h) respecto a la velocidad de la paila.

Del estudio realizado en el SolidWork se determina que la cantidad de calor para compensar las pérdidas durante la transportación, tomando como velocidad los 60 km/h, equivale a los 50 kW. Por tanto se gastaría en ese proceso que dura alrededor de 4 horas un total de 15,6 litros de Diesel. Y con ese gasto se garantiza que el asfalto llegue caliente a la planta y pueda ser bombeado a los tanques de almacenamiento sin necesidad de calentarlo nuevamente.

Sin embargo cuando la paila llega a la planta sin compensar las pérdidas la temperatura del asfalto alcanza los 80-100 °C y se necesita entonces colocarle un quemador con un

consumo de 32 l/h durante 4 horas para poder trasegarlo hacia los tanques de almacenamiento.

En conclusión, por no utilizar el calentamiento durante el transporte del asfalto se pierden 112 litros de Diesel en cada viaje. Tomando como referencia el año 2013 se gastaron por ese concepto 18816 litros de Diesel.

2.4- Valoración económica y medioambiental de las soluciones propuestas.

Para realizar una valoración económica de la solución propuesta a la colocación del aislamiento térmico del tanque de almacenamiento No 2 y comprobar si es factible la inversión se ha utilizado el método del Valor Actualizado Neto (VAN).

El procedimiento consiste en determinar, para cada inversión en aislamiento, el VAN de los ahorros energéticos aportados y compararlo con los incrementos que supone la inversión.

Para determinar el VAN, se determina el coeficiente VAN o coeficiente multiplicador que actualiza los ahorros en el período total que se considere. Se demuestra que el valor de dicho coeficiente es:

$$\text{Coef. VAN} = \frac{t(t^n - 1)}{t - 1} \quad (4)$$

Siendo

$$t = \frac{1 + 0,01 \cdot b}{1 + 0,01 \cdot r} \quad (5)$$

Donde:

b = Aumento previsible del coste de la energía en %.

r = Tasa de actualización neta en % (equivalente al interés bancario deducidos los impuestos y la Inflación).

n =Número de años para los que se efectúa el estudio (horizonte económico)

Para un proyecto determinado, a cada espesor de aislamiento térmico le corresponderán unas pérdidas energéticas específicas y un coste de inversión asociado. A medida que aumenta el espesor, como ya se ha indicado, disminuyen las pérdidas energéticas y aumenta la inversión.

Considerando dos espesores consecutivos de aislamiento, la diferencia de pérdidas energéticas tendrá un valor económico que se actualiza con el coeficiente VAN para el período considerado. A su vez, existirá una diferencia de inversión de aislamiento.

Esto permite plantear la comparación:

$$\text{Incremento de ahorro} * \text{Corf.VAN} \geq \text{Incremento de la inversión} \quad (6)$$

Si el resultado de la inecuación es que el primer término es superior al segundo, indica que el incremento de ahorro es mayor que la inversión necesaria para obtenerlo. Por el contrario, si la inecuación indica que el incremento del ahorro obtenido requiere una inversión superior (primer término menor que el segundo) esta inversión no es rentable y debe disminuirse, es decir, reducir el espesor de aislamiento.

En este caso se toman como datos los siguientes:

- Aumento previsible del coste de la energía en %. $b = 0,7\%$. Se determinó a través del análisis del aumento del costo del petróleo en los últimos 5 años.
- Tasa de actualización neta en % (equivalente al interés bancario deducidos los impuestos y la Inflación). $r = 1,05\%$. Tomado de los datos bancarios de la empresa.
- Número de años para los que se efectúa el estudio (horizonte económico) $n = 5$ años. Debe ser el tiempo de vida útil del aislante porque los tanques están a la intemperie.

Sustituyendo en las ecuaciones (4) y (5) que da que el valor $t = 0,99$ y el del Coeficiente. $VAN = 4,99$

El ahorro total en los 5 años por concepto de combustible es de \$1.924,46 y el gasto en materiales para la colocación del aislante es de \$1.790,40 (valores tomados de la tabla del anexo III). Sustituyendo estos valores en (6) queda que:

$$1.924,46 * 4,99 = 18.480.700 > 1.790,40$$

Lo que demuestra que la inversión es factible y muy beneficiosa.

Por otra parte, con la colocación del aislante térmico se dejan de quemar 2,509 litros de combustible Diesel (2,280 kg) de petróleo en 5 años. Esta cifra genera una cantidad de CO_2 que se determina por la expresión:

$$V_{R_{O_2}} = 0,0187(C^a + 0,375 S_{vol}^a)$$

$$V_{R_{O_2}} = 1,6145 m^3 / Kg$$

Sustituyendo queda que se dejan de emitir a la atmósfera. 3,6 T de Dióxido de Carbono.

CONCLUSIONES.

1. El combustible Diesel es el portador energético que reporta el mayor consumo representando el 92.64 %.
2. El diagnóstico energético de la planta permitió definir que los puestos de mayor consumo son el secador de áridos con el 75 %, el precalentamiento del asfalto con el 17 % y el calentamiento de la paila con el 8%.
3. No existe correlación entre la humedad de los áridos y el consumo de Diesel del secador por lo que deben tomarse medidas organizativas para elevar la eficiencia energética del proceso.
4. Dentro de las diferentes oportunidades de ahorro, que permiten contribuir a la disminución del consumo de Diesel en la planta HAC, es la colocación de un aislante térmico al tanque de almacenamiento No 2, produciría un ahorro de 2,05 T de Diesel.
5. El uso de quemadores en las pailas que transportan el asfalto generaran un consumo de combustible de 112 L por cada viaje, lo cual representaría un ahorro de 15300 L de Diesel para las toneladas planificadas en este año.
6. El adecuado mantenimiento de la caldera producirá una disminución del consumo de Diesel en 1.3 L/h de trabajo.

RECOMENDACIONES.

1. Implementar el Sistema de Gestión Total Eficiente de la Energía o la norma ISO 50001 para elevar la eficiencia energética de la planta.
2. Sensibilizar a los directivos de la planta para que apliquen los resultados de este estudio en función de disminuir el consumo de Diesel.
3. Analizar la posibilidad de utilizar como portador energético el combustible crudo cubano, considerar la propuesta como una contribución y no solución exclusiva.

BIBLIOGRAFÍA

1. Acosta Cuenca, Hugo Ariel. Mejoramiento de la eficiencia energética en los frigoríficos de enfriado, en: tesis (Máster en Eficiencia Energética)-UHO, Facultad de Ingeniería, 2011
2. Ahorro de energía. [en línea] Disponible en: <http://www.monografias.com/index.shtml>". [Consulta: 9 de mayo 2013]
3. Arrastra Ávila, Mari Alberto. Diez preguntas sobre el ahorro de energía eléctrica,
4. Arriagada Herrera, Genaro. Petróleo y gas en América Latina : un análisis político y de relaciones internacionales a partir de la política venezolana : documento de trabajo, Real Instituto Elcano de Estudios Internacionales y Estratégicos, 2006
5. Berroa Borrell, Francisco Ernesto. Sistema de Gestión Total Eficiente de la Energía en la CTE Carlos M. de Céspedes. [en línea]. Disponible en: <http://www.monografias.com>
6. Borroto Nordelo, Aníbal E. Gestión Energética Empresarial. Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente. Editorial Universidad de Cienfuegos, Cuba, 2002
7. Borroto, N. A. La gestión energética y la competitividad empresarial. Centro de Estudios de energía y Medio Ambiente. Universidad de Cienfuegos, Cuba, 2006

8. Borroto Nordelo, Aníbal E. Monteagudo Yanes, José P. Gestión y economía energética. Ed. Universo Sur, Universidad de Cienfuegos, Cuba, 2007
9. Borroto Nordelo, Aníbal E..../y otros/. Gestión energética empresarial, Centro de Estudio Energía y Medio Ambiente, Universidad de Cienfuegos "Carlos Rafael Rodríguez, 2002
10. Castro Ruz, Fidel. Discurso pronunciado en la Conferencia de las Naciones Unidas para Medio Ambiente y Desarrollo. Río de Janeiro, Junio, 1992
11. Centro de Recursos Ambientales Lapurriketa. (Dima. Bizkaia). La Energía. [en línea]. Disponible en: <http://www.unescoeh.org/ext/manual/html/energia2.html>
12. Comisión Nacional de Energía (CNE). Inversiones con fuentes renovables de energía y eficiencia energética : plan 2013 : datos básicos para los estudios de factibilidad, 2013
13. Congreso del Partido Comunista de Cuba. Lineamientos de la política económica y social del Partido y la Revolución, PCC, La Habana, 2011
14. Cubapetroleo. Revista Energía en cifras. No 3, diciembre 2013
15. De Armas, M.A. Calidad de la energía eléctrica al plan de ahorro de energía en Cuba. Universidad de Cienfuegos, 2003.
16. Eficiencia Energética: una Receta para el Éxito, Resumen Ejecutivo, Consejo Mundial de la Energía. [en línea]. Disponible en: www.worldenergy.org' Publicado en 2010 por: [Consulta: 12 de abril 2012]

17. El desarrollo sostenible y la educación ambiental: desafíos y retos para la humanidad en el tercer milenio. [en línea]. Disponible en: <http://www.monografias.com/index.shtml>. [Consulta: 11 de mayo 2013]
18. Eficiencia energética. [en línea]. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos67/eficiencia-energetica/eficiencia-energetica.shtml#ixzz2iObzmeuQ> [Consulta: 5 de enero 2014]
19. Eficiencia energética. [en línea]. Disponible en: <http://es.wikipedia.org/wiki/Energia>.
20. [Consulta: 16 de abril 2013]
21. Eficiencia energética: manual de soluciones, Obtenido en: Schneider Electric, Argentina Disponible en: <http://www.Schneider-Electric.com.ar>
22. Enciclopedia Microsoft® Encarta® 2007
23. Energía no renovable. [en línea]. Disponible en: [http://es.wikipedia.org/wiki/Energía no renovable](http://es.wikipedia.org/wiki/Energía_no_renovable). [Consulta: 8 de mayo 2013]
24. Energía renovable. [en línea]. Disponible en: [http://es.wikipedia.org/wiki/Energia renovable](http://es.wikipedia.org/wiki/Energia_renovable). [Consulta: 7 de mayo 2013]
25. Energía y desarrollo sustentable en América Latina y el Caribe. Guía para la formulación de políticas energéticas, 2000
26. Energías renovables. [en línea]. Disponible en: www.greenpeace.org/mexico/. [Consulta: 9 de mayo 2013]

-
27. Estudio de las Relaciones entre la Eficiencia Energética y el Desarrollo Económico, Preparado por Programa de Estudios e Investigaciones en Energía Para la Sociedad Alemana para la Cooperación Técnica, Santiago de Cuba, 2003
 28. Fernández Durán, Ramón. El inicio del fin de la era de los combustibles fósiles. [en línea]. Disponible en: <http://www.eutsi.org/kea/ecologia>. Ecologistas en Acción, Madrid. [Consulta: 11 de mayo 2013]
 29. Fernández Fernández, Ambrosio David. Eficiencia energética. Modelo cubano de empleo sostenible de la energía eléctrica. [en línea] Disponible. en: <http://www.monografias.com>. [Consulta: 8 de junio 2013]
 30. Fuentes renovables de energía. [en línea]. Disponible en: <http://www.cubaenergia.cu/index.php>. [Consulta: 6 de mayo 2013]
 31. Gana el desafío de la energía con ISO 50001 [en línea]. Organización Internacional de Normalización, 2011, Disponible en: <http://www.iso.org/> [Consulta: 16 de abril 2012]
 32. Generación de energía eléctrica. [en línea]. Disponible en: [http://es.wikipedia.org/wiki/Preocupaciones medioambientales con la generación de energía eléctrica](http://es.wikipedia.org/wiki/Preocupaciones_medioambientales_con_la_generaci3n_de_energ3a_el3ctrica). [Consulta: 11 de mayo 2013]
 33. Gestión Energética Empresarial / Aníbal Borroto Nordelo... [et al.]. Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente, Editorial Universidad de Cienfuegos. ISBN 959-257-040-X. 2001.

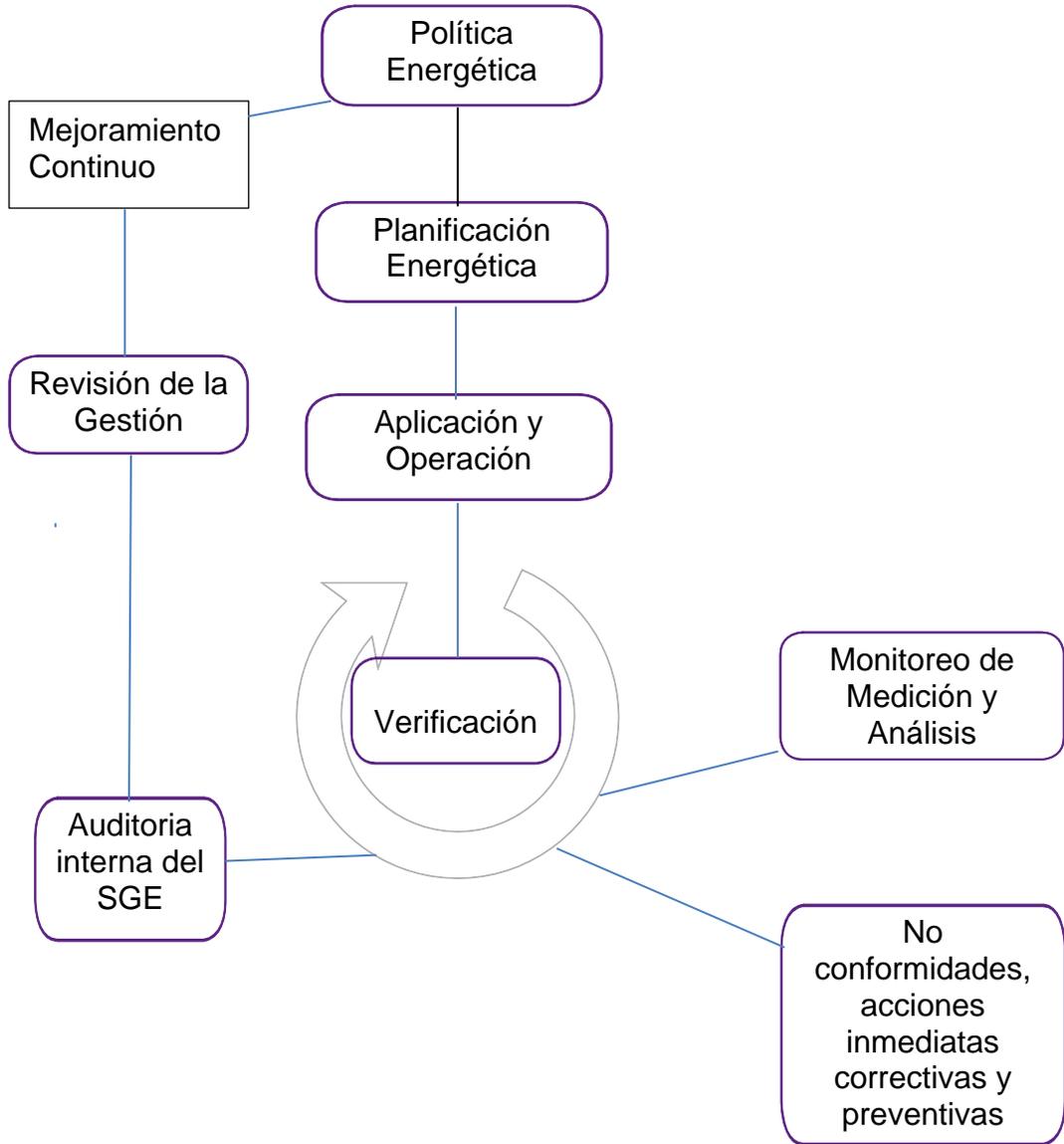
-
34. Gestión Energética en el Sector Productivo y los Servicios / Aníbal E. Borroto Nordelo... [et al.]. Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente, Editorial Universidad de Cienfuegos. ISBN, 2006.
35. Gestión y Economía Energética / [et al.]. Centro de estudio de Energía y Medio Ambiente, Editorial Universidad de Cienfuegos, 2006
36. González Francés, José P. La energía en el mundo ¿Cuál es el futuro?, 2005.
37. González Pérez, Félix. Sistema de Gestión Total Eficiente de Energía en el CAI "Pepito Tey". [en línea]. Disponible en: <http://www.monografias.com>
38. Impacto ambiental. [en línea]. Disponible en: http://es.wikipedia.org/wiki/Impacto_ambiental. [Consulta: 11 de mayo 2013]
39. Impactos ambientales del petróleo [en línea]. Greenpeace, 2012 Disponible en: <http://www.greenpeace.org.mx>. [Consulta: 11 mayo de 2013]
40. Lápido Rodríguez, Margarita, Monteagudo Yanes, José P., Borroto Nordelo, Aníbal E. La gestión energética y la competitividad empresarial, 2012
41. Leyva Rodríguez, Reinier. Metodología para el mejoramiento de la calidad

En la producción de Hormigón Asfáltico Caliente, en (Trabajo de Diploma)-UHO Oscar Lucero Moya, 2012
42. Ministerio Industria Básica, Unión Cuba Petróleo. Catálogo de especificaciones de calidad de los productos combustibles, Cupet, La Habana, /200?/
43. NC-ISO 50001:2011, IDT. Sistemas de gestión de la energía - requisitos con orientación para su uso, 2011

44. Parellada Gamio, Rosa María. Sistema de Gestión total eficiente de la empresa conformadora de aluminios Vladimir I. Lenin, en: tesis (Máster en Eficiencia Energética)- CUJAE, Instituto Superior Politécnico “José Antonio Echeverría”, La Habana, Cuba, 2009
45. Pérez Sesin, Gloria M. “Precios del petróleo”. Boletín Petro Holguín No 8. Gestión del Conocimiento ECC Holguín, 2014
46. Planta de Asfalto Terex E 100P /en línea/. Disponible en: www.terex.com.br[Consulta: 16 de mayo 2010]
47. Puerta Fernández, Juan Francisco. Economía y Dirección Energética, CEEMA, 2003
48. Restrepo V., Álvaro Hernán. Gestión total eficiente de la energía : herramienta fundamental en el mejoramiento de la productividad de las empresas, en Scientia et Technica (21) 1-6, 2013
49. Rodríguez, B. A. V seminario de energía en apoyo a la adopción de decisiones, 24 – 26 junio, La Habana, Cuba, 2008
50. Rodríguez Castellón, Santiago. Consideraciones sobre el Sector Energético Cubano., Centro de Estudios de la Economía Cubana, 2002
51. Rodríguez Castellón, Santiago. Evolución y cambios en el sector energético de Cuba en los años 90, en Momento Económico (121) : 60-72, 2002
52. Teoría del Pico de Hubbert, GECH Grupo Empresarial Construcción de Holguín, 2013

53. Tomé Gil, Begoña María. Ahorro y gestión eficiente de la energía: guía para la intervención de los trabajadores [en línea]. Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud (ISTAS), Madrid, España, 2010, Disponible en: <http://www.istas.ccoo.es>[Consulta: 14 de junio 2012]
54. Torres, Julio. El tránsito hacia la energía sustentable. [en línea]. Clips de energía No. 12. Disponible en: <http://www.cubaenergia.cu>. [Consulta: 16 de abril 2010]
55. Turner, Wayne C; Doty Steve. Energy management handbook (sixth edition). Ed Board, 2006
56. Turrini, Enrique. El camino del Sol. Ed. CubaSolar, 2006
57. Uso de la energía en el sector industria Manual para estudiantes [en línea] IUSES Disponible en: www.iuses.eu[Consulta: 10 octubre 2012]
58. Viego Felipe, Percy. Ahorro de energía en sistemas de suministro eléctrico industrial Teyra de Armas, Marcos de, Padrón, Arturo. Centro de estudio Energía y Medio Ambiente, Universidad de Cienfuegos, 2002

ANEXO # 1 Modelo de sistema de gestión de la energía ISO 50001:2011



ANEXO # 2 Portadores energéticos de la planta HAC de Rafael Freyre.

Producción / Portadores	U/M	TOTAL Año 2013
Producción	T	77583
Diesel	L	550004
Electricidad	KW	127061

Producción / Portadores	U/M	TOTAL Año 2012
Producción	T	74890
Diesel	L	594000
Electricidad	KW	178069

Anexo # 3 Análisis económico para determinar diámetro óptimo del aislante térmico

Diámetro exterior (m)	Espesor del aislante (m)	Cantidad de Calor perdido (W)	Equivalente de la pérdida en combustible (kg)	Peso del aislante (kg)	Costo del combustible (\$)	Costo del aislante (\$)	Suma de los costos (\$)
2,00	0,04	16193,3	13573,60	29,33	10410,95	262,76	10673,71
2,04	0,08	8796,6	7373,51	59,17	5655,49	530,13	6185,61
2,08	0,12	6073,9	5091,33	89,52	3905,05	802,10	4707,16
2,12	0,16	4658,5	3904,87	120,39	2995,04	1078,69	4073,73
2,16	0,20	3791,0	3177,68	151,77	2437,28	1359,89	3797,16
2,20	0,24	3204,7	2686,25	183,67	2060,36	1645,69	3706,05
2,24	0,28	2781,9	2331,89	216,08	1788,56	1936,11	3724,66
2,28	0,32	2462,6	2064,22	249,01	1583,26	2231,13	3814,39
2,32	0,36	2212,9	1854,87	282,45	1422,69	2530,77	3953,46
2,36	0,40	2012,2	1686,64	316,41	1293,65	2835,01	4128,66
2,40	0,44	1847,3	1548,47	350,88	1187,68	3143,86	4331,54
2,44	0,48	1709,5	1432,96	385,86	1099,08	3457,33	4556,40
2,48	0,52	1592,6	1334,93	421,36	1023,89	3775,40	4799,29
2,52	0,56	1492,1	1250,70	457,38	959,28	4098,08	5057,37
2,56	0,60	1404,8	1177,52	493,90	903,16	4425,37	5328,54

Anexo # 4 Datos básicos para el estudio de factibilidad

INVERSIONES CON FUENTES RENOVABLES DE ENERGÍA Y EFICIENCIA

ENERGÉTICA

Plan 2013

Datos básicos para los estudios de factibilidad

1. Combustibles:

El precio de los combustibles que se debe utilizar en los estudios de factibilidad de inversiones que sustituyen el uso directo de combustibles fósiles o disminuyen su consumo se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Precio de los combustibles:		
Combustible	Precio	
	CUP/t	USD/t
Petróleo crudo nacional	366	450,38 *
Fuel Oil	504	680 **
Diesel Oil	621	767,50 *
Gasolina	?	937,42 *
Gas licuado de petróleo	?	800,098 **
Leña	20	0
Marabú	120	0

* Según promedio real exportación 2011 efectuada por Cuba

** Precio importación promedio 2011

NOTA: 95,01 USD/b WTI = 723,026 USD/t

110,80 USD/b Brent = 836,54 USD/t

Con el propósito de uniformar los valores de densidad y poder calórico de los principales combustibles que se usan en el país, se sugiere utilizar, de ser necesario, los reflejados en la tabla 2.

Combustible	Densidad (t/m ³)	Poder calórico (MJ/t)
Petróleo crudo nacional	0,97	44726
Fuel Oil	0,88	42636
Diesel Oil	0,912	45353
Gasolina	0,718	47234
Gas licuado de petróleo	0,553	50076
Leña (seco)	0,650	19000
Marabú (seco)	1,1	19400

Nota: 1 m³ estéreo de leña= 0,42 m³ sólidos

t	PRODUCTOS	Combustible Equivalente (t)	Valor Calórico kcal/kg
1	Gasolina Regular	1,18	11200,0
1	Gasolina Especial	1,18	11200,0
1	Gasolina Super	1,18	11200,0
1	Diesel	1,06	10102,0
1	Kerosina	1,08	10222,0
1	Alcohol (hl)	0,66	6311,0
1	Nafta	1,18	11200,0
1	Gas Licuado	1,23	11670,0
1	Petróleo Combustible	1,00	9500,0
1	Diesel Fuel	1,03	9758,0
1	Aguarrás	1,08	10222,0

1	Diesel Marino	1,06	10102,0
1	Turbocombustible	1,08	10222,0
1	Gasolina de Aviación	1,18	11200,0
1	Crudo Nacional	0,97	9200,0
1	Crudo Importado	1,11	10500,0
1	Asfaltos	0,97	9200,0
1	Plato Colector	1,00	9473,0
1	Cutter	1,03	9758,0
1	Aceite Usado	1,00	9500,0
1	Gas Natural	0,95	9000,0
1	Gas Manufacturado	0,52	4900,0
1	Productos Ligeros	1,18	11200,0
1	Productos Medios	1,06	10102,0
1	Productos Pesados	0,98	9300,0
1	Leña	0,43	4065,9
1	Bagazo	0,25	2400,0
1	Paja de caña	0,16	1500,0
1	Biogás	0,49	4611,3
1	Carbón vegetal	0,80	7600,0
1	Basura doméstica clasificada	0,13	

1 t de leña = 4065,93 kcal

1 m³ de leña = 910 kg

1 m³ de leña = 3700 kcal

1 t de biogás = 4611,3 kcal

1 m³ de biogás = 4500 kcal

Valor Calórico del combustible equivalente 9500 kcal/kg

2. Electricidad:

a. Disminución de consumo de electricidad del SEN

El promedio del año 2011 es de 0,27 USD/kW·h, teniendo en cuenta la estructura de generación y el consumo de los portadores asociados al costo país de los mismos.

El consumo de combustible equivalente en el 2011 es de 0,3328 t/MW·h.

El costo de la electricidad que se sustituye por generación con fuentes renovables de energía, o se sustituye con acciones de eficiencia energética está determinado en cada horario del día por la tecnología que genera la electricidad más cara en cada periodo. En la tabla 3 se muestran los valores del índice de consumo de generación de cada tecnología reportados por la ONE en el Anuario Estadístico de Cuba 2010 (tabla 10.17) y las pérdidas eléctricas desde la generación hasta el consumidor final en cada caso tomados del documento de la ONE "Panorama Económico y Social. Cuba 2010". Los precios de los combustibles utilizados son los reportados en la Tabla 1.

Tabla 3. Bases para el cálculo del costo evitado de la electricidad consumida por el cliente final.				
Periodo del día	Horario	Se sustituye generación con	Índice de consumo en la generación	Pérdidas eléctricas
			g/kW·h	%
Horario del día	5:00 – 17:00	Fuel oil	217,9 211	11,6
Horario del pico	17:00 – 21:00	Diesel	233,9	11,6

			220	
Horario de la noche	21:00 - 24:00	Fuel Oil	217,9	11,6
			211	
Horario de madrugada	24:00 – 5:00	Crudo nacional	279,0	15,9
			280	

El resultado de este cálculo se muestra en la tabla 4 asumiendo que el costo reportado en CUC es el costo por combustible y que este representa el 60% del costo total de la electricidad.

Tabla 4. Costo evitado de la electricidad consumida por el cliente final.				
Periodo del día	Horario	Costo		
		CUC/ kWh	CUP/ kWh	Total/ kWh
Horario del día	5:00 – 17:00	0,165	0,110	0,275
		0,160	0,107	0,267
Horario del pico	17:00 – 21:00	0,259	0,173	0,432
		0,233	0,155	0,388
Horario de la noche	21:00 - 24:00	0,165	0,110	0,275
		0,160	0,107	0,267
Horario de madrugada	24:00 – 5:00	0,181	0,121	0,302
		0,182	0,121	0,303
Las 24 h		0,185	0,123	0,308
		0,183	0,120	0,303

b. Venta de electricidad al SEN.

En diciembre del 2011 fue aprobada la Resolución No.425/2011 del MFP para *"Establecer el Sistema de Tarifas en pesos cubanos (CUP), para la compra de energía eléctrica, generada con Biocombustibles, que realiza la Unión Eléctrica a los suministradores a través de Cogeneradores y Generadores Renovables, para su entrega al Sistema Electroenergético Nacional"* y además *"Autorizar la aplicación de un componente en pesos convertibles (CUC) del 60% de la tarifa total calculada, según horarios del día, para la compra de energía que realiza la Unión Eléctrica a las entidades subordinadas al Grupo Azucarero "AZCUBA"*.

La aplicación de esta tarifa a generadores no subordinados a AZCUBA, requiere de la autorización previa del MFP.

El cálculo de esta tarifa incluye el coeficiente de ajuste "K" para reflejar las variaciones del precio del combustible en el mercado internacional. En la tabla 5 se muestran los precios de venta con una $k = 6,86$.

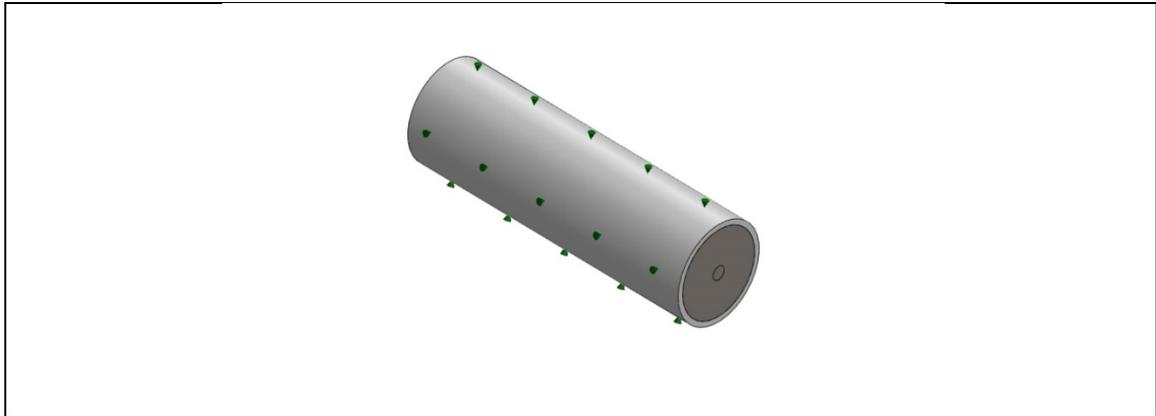
Tabla 5. Precio de venta de electricidad neta al SEN (tarifa AZCUBA):				
Periodo del día	Horario	CUC/kW-h	CUP/kW-h	Total/kW-h
Horario del día	5:00 – 17:00	0,112	0,075	0,186
Horario del pico	17:00 – 21:00	0,216	0,144	0,361
Horario de madrugada	21:00 – 5:00	0,077	0,051	0,128
Las 24 h		0,118	0,078	0,196

3. Condiciones de financiamiento (valores referenciales)

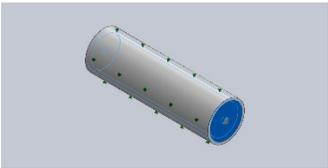
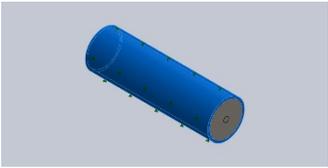
- Plazo de gracia: 1 - 2 años.
- Plazo de devolución: 6 - 10 años.
- Tasa de interés: 8 - 12 %.

Anexo # 5 Resultados del estudio con el SolidWork.

Nombre del modelo:Ensamblaje
Configuración actual: Predeterminado



Sólidos			
Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
Saliente-Extruir1 	Sólido	Masa:7625.68 kg Volumen:8.36149 m³ Densidad:912 kg/m³ Peso:74731.7 N	F:\Lisandra\Asfalto.SLDPRT May 15 12:19:58 2014
Saliente-Extruir1 	Sólido	Masa:2317.91 kg Volumen:0.294524 m³ Densidad:7870 kg/m³	F:\Lisandra\Quemador.SLDPRT May 15 12:20:04 2014

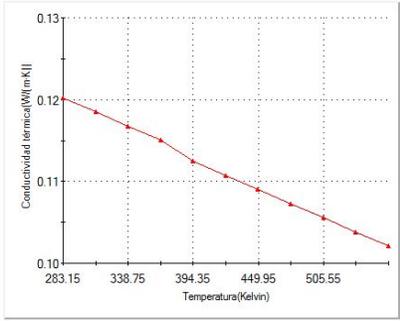
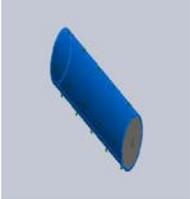
		Peso:22715.5 N	
Cortar-Extruir1 	Sólido	Masa:26818.6 kg Volumen:3.4077 m³ Densidad:7870 kg/m³ Peso:262822 N	F:\Lisandra\tanque.SLDprt May 15 12:20:08 2014
Saliente-Extruir1 	Sólido	Masa:3268.51 kg Volumen:3.20442 m³ Densidad:1020 kg/m³ Peso:32031.4 N	F:\Lisandra\Lana de Vidrio.SLDprt May 15 12:19:54 2014

Unidades de Estado

Nombre de estudio	calentamiento de asfalto
Tipo de análisis	Térmico(Transitorio)
Tipo de malla	Malla sólida
Tipo de solver	FFEPlus
Tipo de solución	Transitorio
Tiempo total	14400 Segundos
Incremento de tiempo	1800 Segundos
¿Se definió la resistencia de contacto?	No
Carpeta de resultados	Documento de SolidWorks (F:\Lisandra)

Unidades

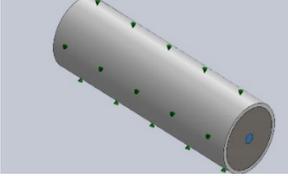
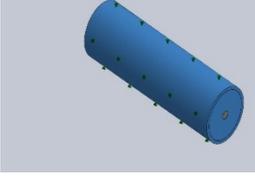
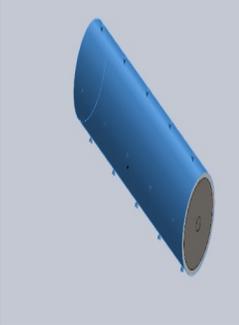
Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p>Nombre: asfalto</p> <p>Tipo de modelo: Isotrópicoelástico lineal</p> <p>Criterio de error predeterminado: Tensión máxima de von Mises</p> <p>Conductividad térmica: Dependiente de la temperatura</p> <p>Calor específico: 1386 J/(kg.K)</p> <p>Densidad: 912 kg/m³</p>	<p>Sólido 1(Saliente-Extruir1)(Asfalto-1)</p>
<p>Datos de curva:</p> <div data-bbox="362 1041 800 1438">  <p style="text-align: center;">Conductividad térmica en X frente a Temperatura</p> </div> <p style="text-align: center;">Conductividad térmica en X frente a Temperatura</p>		
	<p>Nombre: lana de vidrio</p> <p>Tipo de modelo: Isotrópicoelástico lineal</p> <p>Criterio de error predeterminado: Tensión máxima de von Mises</p>	<p>Sólido 1(Saliente-Extruir1)(Lana de Vidrio-2)</p>

	<p>Conductividad térmica: 0.2256 W/(m.K)</p> <p>Calor específico: 1386 J/(kg.K)</p> <p>Densidad: 1020 kg/m³</p>	
Datos de curva:N/A		
	<p>Nombre: AISI 1015 Acero estirado en frío (SS)</p> <p>Tipo de modelo: Isotrópicoelástico lineal</p> <p>Criterio de error predeterminado: Tensión máxima de von Mises</p> <p>Conductividad térmica: 52 W/(m.K)</p> <p>Calor específico: 486 J/(kg.K)</p> <p>Densidad: 7870 kg/m³</p>	<p>Sólido 1(Saliente-Extruir1)(Quemador-1),</p> <p>Sólido 1(Cortar-Extruir1)(Tanque-1)</p>
Datos de curva:N/A		

Cont acto	Imagen del contacto	Propiedades del contacto
----------------------	------------------------------------	---------------------------------

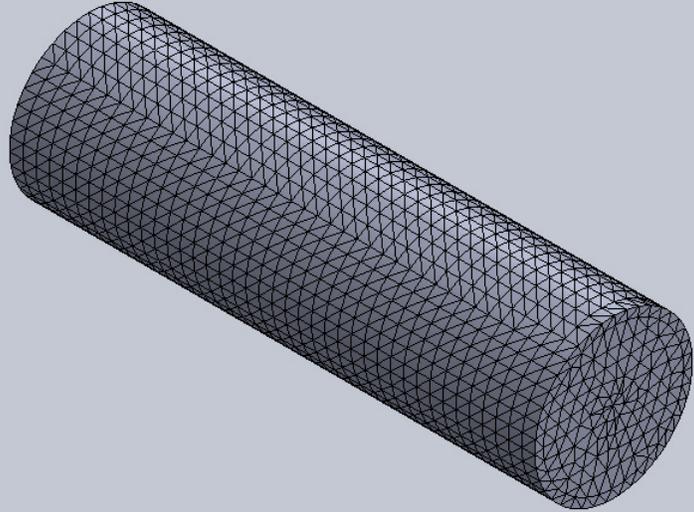
Conta cto global		Tipo: Unión rígida Componentes: 1 componente(s) Opciones: Mallado compatible
------------------------	---	---

Nombre de carga	Cargar Imagen	Detalles de carga
Temperatura-1		Entidades: 1 componente(s) Temperatura: 500 Celsius
Temperatura-2		Entidades: 3 componente(s) Temperaturainicial 30 Celsius :
Convección-1		Entidades: 1 cara(s) Coefficiente de 8.06 W/(m ² ·K) convección: Variación de tiempo: Desactivar Variación de Desactivar temperatura: Temperaturaambiente: 303.15 Kelvin Variación de tiempo: Desactivar

Información de Malla

Tipo de malla	Malla solida
Número total de nodos	
Número total de elementos	
Cocientemáximo de aspecto	
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	
% de elementostorsionados (Jacobiana)	
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	
Nombre de computadora:	

Nombre de modelo: Ensamblaje
 Nombre de estudio: calentamiento de asfalto
 Tipo de malla: Malla de sólido



Mallador utilizado:

Malla basada en curvatura

Puntosjacobianos	4 Puntos
Tamaño máximo de elemento	0 mm
Tamaño mínimo del elemento	0 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Regenerar la malla de piezas fallidas con malla incompatible	Desactivar

Resultado del Estudio

