

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

"Análisis de la Capacidad de Caldero en una Terminal de Asfaltos"

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

Examen Complexivo

Previo la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Presentado por:

Julio Enrique Díaz Gaitán

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2015

AGRADECIMIENTO

A Dios,

a la Madre Dolorosa,

a mis Padres, a mis hermanos,

a mi esposa e hijos,

a mis amigos que de uno u

otro modo colaboraron para la

realización de este trabajo.

DEDICATORIA

A DIOS

A MIS PADRES

A MIS

HERMANOS

A MI FAMILIA

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Freddy Xavier Jervis Calle, Ph.D

VOCAL

Gonzalo Rodolfo Zabala Ortíz, M.Sc.

VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido desarrollado en la presente propuesta de examen complejo, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL).

Julio E. Díaz G.

RESUMEN

En este proyecto se analizó técnicamente la adquisición de un Caldero para la Terminal de Asfaltos y con capacidad de transferir la energía para mantener el producto a la temperatura requerida para su normal operación.

Se calculó la potencia mínima que debe tener el caldero para suministrar y mantener el calor en los asfaltos almacenados en la Terminal. Se analizó la cantidad de calor que se disipa en los tanques de almacenamiento a través de sus paredes laterales y techo.

Los resultados obtenidos de la transferencia de calor del producto almacenado en los tanques de asfalto, arrojaron valores para un caldero con una capacidad superior a la estimada, por lo que se decidió adquirir un caldero con una menor capacidad para atender un tanque de despacho diario y se ajustó el proyecto a esas características, esto se debió a limitantes de espacio y de presupuesto, además, el equipo requerido no se encontraba disponible en el mercado, y, por otro lado el proyecto tenía la premura de la inauguración de la planta de asfaltos para empezar con la entrega del producto a obras emergentes como el Aeropuerto de Guayaquil.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN	I
ÍNDICE GENERAL	II
ABREVIATURAS	III
SIMBOLOGÍA	IV
ÍNDICE DE FIGURAS	V
ÍNDICE DE TABLAS	VI
CAPÍTULO 1	
1. ANTECEDENTES DE LA COMERCIALIZACIÓN DE ASFALTOS	
1.1. Los Asfaltos y su comercialización en el Ecuador	7
1.2. Descripción del Terminal de Asfaltos de Shell Ecuador	11
1.3. Análisis del Sistema de Calentamiento	13
CAPÍTULO 2	
2. METODOLOGÍA Y CÁLCULOS DE LA CAPACIDAD DEL CALDERO	16
CAPÍTULO 3	
3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	28
APÉNDICE	
BIBLIOGRAFÍA	30
	42

ABREVIATURAS

TM	Tonelada Métrica
m	Metro
cm	Centímetro
mm	Milímetro
°C	Grados Centígrados
W / m °K	Watts por metro grado Kelvin
KW	Kilowatts
KW-h	Kilowatts Hora
W	Watts

SIMBOLOGÍA

Φ	Diámetro de Tanque
H	Altura del Tanque
h	Coefficiente de Transferencia de calor
A	Área
t	tiempo
T_{asf}	Temperatura del Asfalto
T_{amb}	Temperatura Ambiente
Q	Calor Emitido por el Tanque
$\text{Cap}_{\text{caldero}}$	Capacidad del Caldero
ΔT	Variación de Temperatura

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Proceso de destilación del Crudo	8
Figura 2 Mapa de la Red Vial del Ecuador	10
Figura 3 Vista aérea del terminal de asfaltos	12
Figura 4 Layout del terminal de asfaltos	13
Figura 5 Diagrama de distribución de serpentines	14
Figura 6 Diagrama lateral de tanques asfaltos	18
Figura 7 Circuito de resistencia área lateral tanques	19
Figura 8 Circuito de resistencia en los techos tanques	22

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Propiedades del Asfalto	11
Tabla 2. Datos generales para el Cálculo de Capacidad de Caldero	17-18
Tabla 3. Tabla de Resultados	26

CAPITULO 1

1. ANTECEDENTES DE LA COMERCIALIZACIÓN DE LOS ASFALTOS

1.1. Los asfaltos y su comercialización en el Ecuador

De acuerdo al Instituto del Asfalto, al Bitumen o Asfalto es definido como: “Un líquido viscoso, o un sólido, que esencialmente consiste en hidrocarburos y sus derivados, el cual es soluble en tricloroetileno, es sustancialmente no volátil y se ablanda cuando es calentado. Es de color negro o café, posee impermeabilidad y propiedades adhesivas. Es obtenido mediante procesos de refinación de petróleo”, lo que permite a esta otra definición, es un “Mineral negro de origen natural u obtenido artificialmente por destilación del petróleo”. Como se muestra en la Figura 1, donde se observa el proceso de destilación del petróleo para la obtención de asfalto.

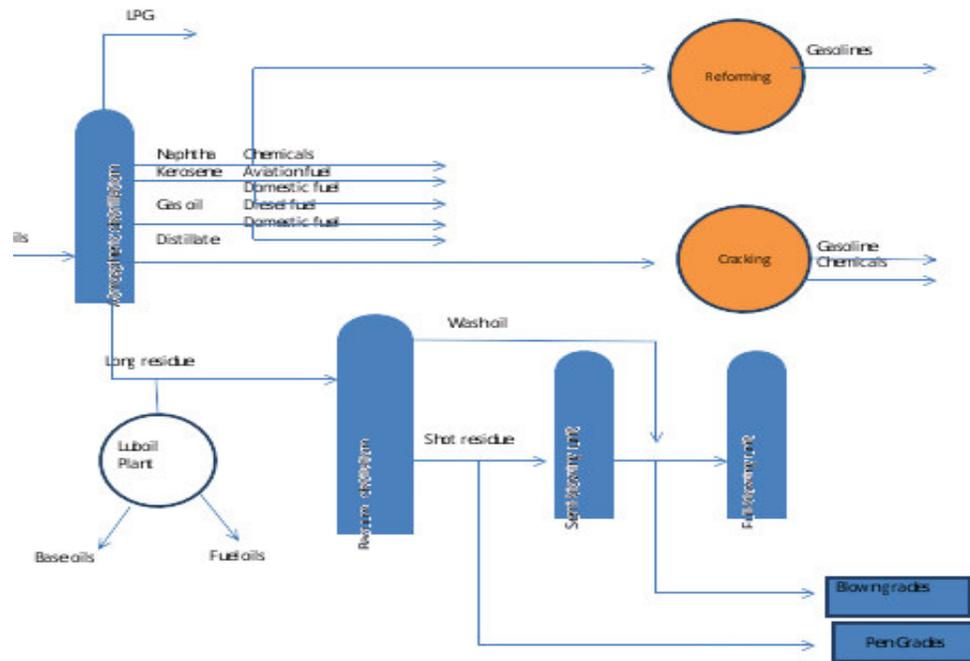


Fig. 1. Proceso de destilación del aceite crudo

En el Ecuador la única refinería habilitada para su producción es en Esmeraldas, capital de la Provincia de Esmeraldas, situada al norte del País. La

Refinería de Esmeraldas no es apta para producir asfaltos homogéneos y de calidad, a pesar de la excelente materia prima como es el crudo del Oriente; países como Perú (Refinería de Talara) y Chile (Refinería Enac) lo utilizan como materia prima para la producción de asfaltos con un buen rendimiento y desempeño. Cabe desatacar, que el asfalto peruano es utilizado en la actualidad para las obras viales que realiza el Municipio de Guayaquil. La ubicación geográfica de la Refinería de Esmeraldas, en el extremo norte del Ecuador, encarece los costos de distribución para las provincias localizadas hacia el sur del centro geográfico del País, como se muestra en la Figura 2 donde se detalla la red vial de primer orden; y también implica un incremento en los costos donde las vías son concesionadas, ya que se prioriza la calidad del asfalto y el mantenimiento vial.



Figura 2. Mapa de la Red Vial del Ecuador

Shell Ecuador S.A., comercializadora de combustibles y asfaltos en el país, evaluó la inversión para el montaje e implantación de una Terminal de Asfaltos en el Ecuador, en la ciudad de Guayaquil, desde cuyo Terminal se podría contar con: 1) Asfalto homogéneo de alta calidad y con características sustentables, 2) Optimizar costos de transporte al tener un eje equidistante más central, sobre todo en la zona de influencia del desarrollo de los ejes viales del País.

A continuación en la Tabla 1 se aprecian las propiedades de los asfaltos. En la Costa y Oriente se utilizan asfaltos con penetración 60/70, y en la Sierra

los asfaltos con penetración 80/100. Es importante la máxima temperatura a la cual se almacenan, los asfaltos se despachan a temperaturas aproximadas de 145°C, y debe ser almacenado a temperatura alta para despachar los asfaltos calientes en forma ágil y segura.

Tabla 1. Propiedades del Asfalto.

Test		Grado de Penetración				
		80/100	60/70	40/50	20/30	10/20
Softening Point, R and B (ASTM D-36)°C	°C	45-52	48-56	52-60	59-69	65-75
Penetration at 25°C	0.1 mm	80-100	60-70	40-50	20-30	10-20
Loss on Heating (ASTM D-6)	% wt max	0.5	0.2	0.2	0.2	0.1
Drop in Penetration after Heating	% max	20	20	20	20	20
Flash Point (Cleveland Open Cup)	°C min	225	250	250	250	250

1.2. Descripción del Terminal de Asfaltos de Shell Ecuador

El área destinada para el Terminal esta colindante a la Planta de Lubricantes de Shell Ecuador ubicada al sur de la ciudad de Guayaquil, se destinó para su almacenamiento 2 tanques verticales con capacidad total de 3,900 TM, originalmente el producto se recibía a través de barcazas por el Río Guayas por lo que se utilizó el muelle próximo a la empresa, Molinos del Ecuador, con el que se tenía un acuerdo de recepción de aceites básicos,

colocándose una tubería adicional de 8" y 300 metros de longitud para la descarga marítima de los asfaltos. La recepción y descarga terrestre de estos productos en la Terminal, se ha hecho a través de Shell y actualmente por medio del Municipio de Guayaquil, el asfalto importado vía terrestre proviene desde Perú. En la Figura 3 se observa el Terminal de Asfaltos.

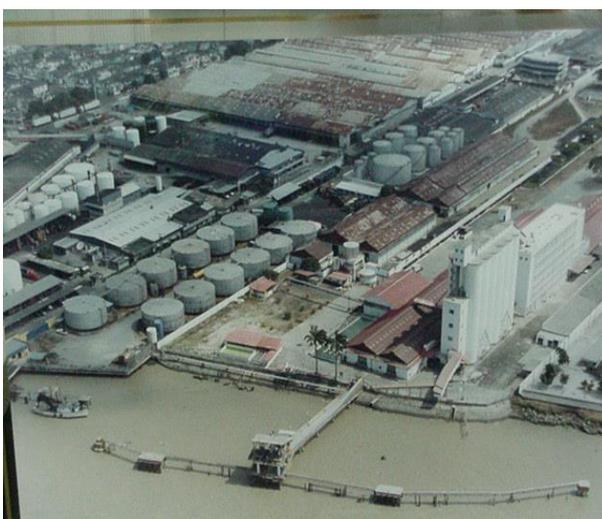


Figura 3. Vista aérea del Terminal de Asfaltos

En el análisis que se hizo para determinar la capacidad del caldero que requerido para mantener el asfalto almacenado a la temperatura deseada y realizar un normal despacho de los asfaltos a los clientes y usuario final, no se incorporó en la carga requerida a la tubería de descarga marítima. Por razones de eficiencia, seguridad, estándares internacionales y ambientales se independizó del calentamiento principal con el caldero, y se utilizó un sistema de

tracing eléctrico, esto hizo que caldero sea utilizado para el almacenamiento y despacho del producto. La Figura 4 muestra el Lay-out del Terminal de Asfaltos.

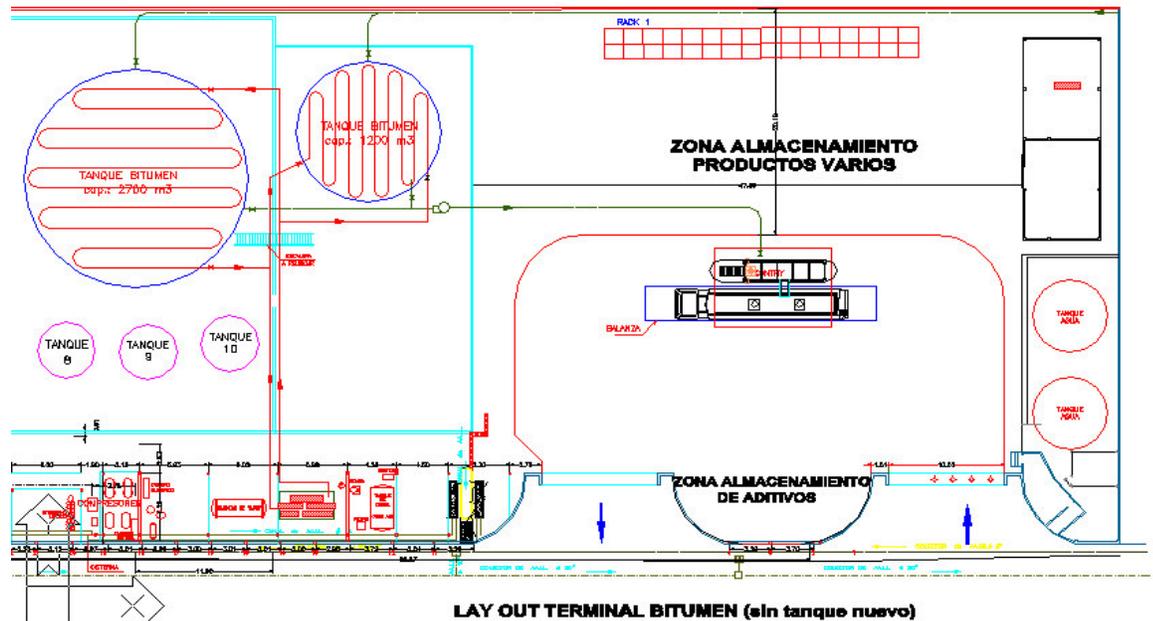


Figura 4. Lay-out del Terminal de Asfaltos

1.3. Análisis sistema de calentamiento

Debido a la naturaleza viscosa del asfalto, su corriente de convección es atrasada por lo que se extiende el período de calentamiento necesitado. Este factor es muy importante en los tanques, donde la razón de transferencia de calor es menor por su tamaño y volumen, y mucho más cuando se vayan

formando los depósitos sobre la tubería (serpentes) de calentamiento. Debido a la experiencia del Grupo Shell en el manejo de Terminales de Asfaltos y al análisis realizado por el equipo en Ecuador se decidió que lo más apropiado era el uso de calderos con circulación de Aceite Térmico en sus intercambiadores, en vez de los tradicionales calderos de vapor, además por razones de seguridad, de regulaciones legales, menor corrosión en tubería y menor mantenimiento y paralizaciones, mejor eficiencia, disminución de costos operativos, aislador del agua, principal enemigo de la calidad del Asfalto. En la Figura 5 se observa el diseño de serpentines utilizado en los tanques de almacenamiento de la terminal de asfaltos.



Figura 5. Diagrama de distribución serpentines

Al incrementar la velocidad del producto, la temperatura transferida en los intercambiadores de calor mediante el uso de calderos pirotubulares, que

son los utilizados en los Terminales de Asfalto a nivel mundial, es mayor en los en los serpentines de calentamiento del tanque. El uso de los serpentines de calentamiento con aletas ayudaría también a reducir la formación de los depósitos al actuar de aislante y mejoraría notablemente sus características de transferencia de calor. El uso de estas aletas fue discutida durante el proyecto pero por su costo y mayor tiempo de fabricación se descartaron también en este proyecto. En vez de esto, se colocaron alarmas de nivel las que nos darán información real sobre la formación de estos depósitos en los calentadores.

Otro punto importante en el análisis es que así como es necesario el calentamiento continuo del Asfalto, un sobre-calentamiento es tremendamente perjudicial y apresura su oxidación y envejecimiento prematuro, disminuyendo sus propiedades y acelerando su vida útil.

Los Asfaltos se calientan para reducir su viscosidad y de esta manera se haga fácil su manejo y distribución en los despachos a los tanqueros. La temperatura operativa de manejo depende del grado del asfalto que se esté manejando y como se indicó debe ser menor a su temperatura de inflamación y en la que permanezcan intactas sus propiedades físicas y químicas.

En los sistemas de Aceite Térmico, el aceite de transferencia usado es recirculado por medio de serpentines a través de la masa de asfalto y enviado de retorno a los intercambiadores de calor o caldero en un ciclo cerrado. El

calor se imparte al aceite térmico por medio de un calentador controlado termostáticamente. El flujo de aceite térmico para cada equipo es controlado por las válvulas operadas en forma manual.

Una diferencia fundamental entre el flujo de aceite térmico y el del vapor es que el aceite térmico debe incorporar siempre serpentines en el punto más bajo posible del tanque.

El calentador de Aceite Térmico lo constituirá el caldero en conjunto con la bomba de Aceite Térmico encargada de distribuir todo el aceite hacia los diferentes puntos donde será requerido. El calentador tipo tubos de fuego es el adoptado casi exclusivamente en las plantas del grupo, estos calentadores de tubos de fuego dan una eficacia térmica más alta, lo cual es conveniente para funcionamientos intermitentes, que es el caso de este proyecto.

CAPITULO 2

METODOLOGÍA Y CÁLCULOS DE LA CAPACIDAD DEL CALDERO

A continuación en este capítulo se presenta la metodología y los cálculos para poder determinar la potencia térmica que se requiere suministrar a todo el sistema, de almacenamiento y despacho de asfaltos en la terminal.

En primer lugar se procede a calcular el calor disipado que se eliminará en los tanques y cuyas medidas y datos están indicadas en la Tabla 2, la pérdida de calor de los tanques de almacenamiento al ambiente deberá ser compensada añadiendo calor a través de un caldero y así mantener los tanques de almacenamiento de asfalto a la temperatura ideal de 145 °C, con lo que se asegura un almacenamiento óptimo y agilidad en los despachos de asfalto.

Tabla 2. Datos generales para cálculo de capacidad de caldero

DESCRIPCIÓN	VALOR
Altura del Tanque 1 :	H= 9,5 m
Altura del Tanque 2 :	H = 9,6 m
Diámetro del Tanque 1	$\phi = 12$ m
Diámetro del Tanque 2	$\phi = 20,5$ m
Temperatura Ambiente	$T_{amb} = 30^{\circ}\text{C}$
Tiempo de trabajo diario :	$t_{work} = 24$ h
Temperatura de almacenamiento de asfalto:	$T_{asfalto} = 145^{\circ}\text{C}$
Radios del Tanque 1	
Radio del Tanque hasta plancha de acero	$r1 = 6,000$ m
Radio del Tanque incluyendo espesor plancha acero	$r2 = 6,008$ m
Radio del Tanque plancha y aislante	$r3 = 6,058$ m
Radios del Tanque 2	
Radio del tanque hasta plancha de acero	$r1 = 10,250$ m
Radio del Tanque incluyendo espesor plancha de acero	$r2 = 10,258$ m
Radio del Tanque con plancha acero y aislante	$r3 = 10,308$ m
Coeficiente Conductivo Acero:	$k_1 = 50$ W / m °C
Coeficiente Conductivo Aislante:	$k_2 = 0,037$ W /m °C
Coeficiente de Convección Aire :	$h_{aire} = 25$ W / m ² °C

Espesor plancha de acero	$e_1 = 0,008 \text{ m}$
Espesor aislante	$e_2 = 0,050 \text{ m}$

A continuación en la Figura 6 se detalla diagrama radial de los tanques, dónde la superficie celeste es el espesor de la plancha de acero y la amarilla es el espesor de la capa aislante.

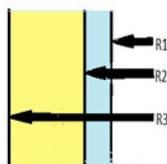


Figura 6. Diagrama lateral de Tanque Asfaltos

Para calcular el calor total que se pierde en los tanques de almacenamiento, se procede a calcular individualmente el calor emitido por las paredes laterales, por el techo y el piso. Primero se analizará y evaluará la emisión de calor en las paredes laterales de cada tanque, como se indica en Figura 6 se visualiza las superficies del aislante y acero, para el análisis se utilizan las ecuaciones (2.1), (2.2) y (2.3).

$$Q = UA(\Delta T) \text{ [W]} \quad (2.1)$$

$$UA = \frac{1}{\sum R} \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K} \right] \quad (2.2)$$

$$UA_0 = \frac{1}{\frac{1}{h_i \cdot A_i} + \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi k_1 L} + \frac{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}{2\pi k_2 L} + \frac{1}{h_0 \cdot A_0}} \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K} \right] \quad (2.3)$$

Se asume que la temperatura del asfalto va a ser igual a la temperatura de la plancha de acero en contacto con el asfalto, por lo que se elimina la convección en el asfalto, y el circuito lateral sería como se muestra en el gráfico de la Figura 7.

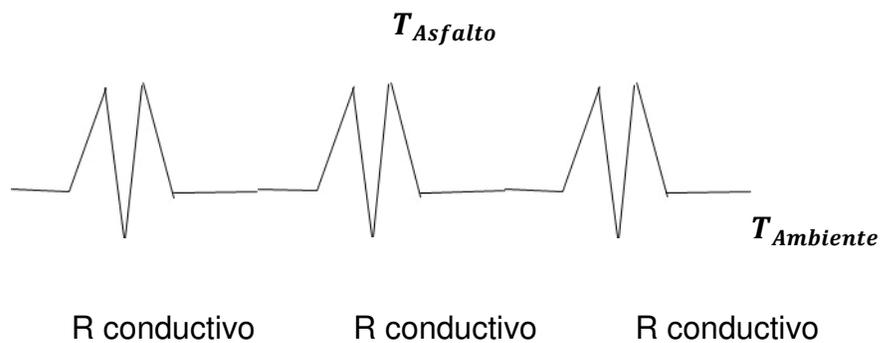


Figura 7. Circuito de resistencia área lateral Tanques

Ahora la ecuación (2.3) queda resumida de la siguiente forma:

$$UA_0 = \frac{1}{\frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi k_1 L} + \frac{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}{2\pi k_2 L} + \frac{1}{h_0 \cdot A_0}} \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K} \right]$$

Luego se divide todo para el A_0 , que es el Área exterior lateral del tanque:

$$A_0 = 2\pi r_3 L \quad [m^2]$$

Donde se obtiene la nueva ecuación (2.4) de esta forma:

$$U = \frac{1}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right) * \left(\frac{r_3}{k_1}\right) + \ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right) * \left(\frac{r_3}{k_2}\right) + \frac{1}{h_0}} \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right] \quad (2.4)$$

A continuación se valora,

$$U = \frac{1}{\ln\left(\frac{6,008}{6}\right) * \left(\frac{6,058}{50}\right) + \ln\left(\frac{6,058}{6,008}\right) * \left(\frac{6,058}{0,037}\right) + \frac{1}{25}} \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$$

$$U = \frac{1}{(0,000157) + (1,3534) + (0,04)}$$

$$U = \frac{1}{1,3936}$$

El resultado es:

$$U = 0,7176 \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$$

Por lo que se retoma la ecuación inicial (2.1) y se valora,

$$Q = U * A * \Delta T \quad [W] \quad (2.1)$$

$$Q_1 = (0,7176) * (2 * \pi * 6,058 * 9,5) * (145^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C}) [W]$$

$$Q_1 = 29,841 [W]$$

Así, Q_1 es el calor disipado por el área lateral del Tanque 1.

Ahora se calcula el calor disipado por el área lateral del Tanque 2 utilizando las mismas ecuaciones aplicadas para el Tanque 1, se procede con la ecuación (2.5) y se obtiene:

$$U = \frac{1}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right) * \left(\frac{r_3}{k_1}\right) + \ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right) * \left(\frac{r_3}{k_2}\right) + \frac{1}{h_0}} \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K} \right] \quad (2.5)$$

Ahora se valora incluyendo las dimensiones del Tanque 2:

$$U = \frac{1}{\ln\left(\frac{10,258}{10,25}\right) * \left(\frac{10,308}{50}\right) + \ln\left(\frac{10,308}{10,258}\right) * \left(\frac{10,308}{0,037}\right) + \frac{1}{25}} \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K} \right]$$

$$U = \frac{1}{(0,000161) + (1,357) + (0,04)}$$

$$U = \frac{1}{1,3971}$$

Y el resultado es:

$$U = 0,7158 \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K} \right]$$

Por lo que se retoma la ecuación inicial (2.1) y se valora con los datos obtenidos del Tanque 2.

$$Q = U * A * \Delta T \text{ [W]} \quad (2.1)$$

$$Q_2 = (0,7158) * (2 * \pi * 10,308 * 9,6) * (145^{\circ}\text{C} - 30^{\circ}\text{C}) \text{ [W]}$$

$$Q_2 = 51,181.86 \text{ [W]}$$

Este es el calor disipado a través de área lateral del Tanque 2.

Ahora se procede a evaluar el calor disipado por los techos de los tanques, aunque hay una leve pendiente en los techos, se asume para nuestros cálculos a los techos de forma plana y no cónica, por lo que de la misma forma como se realizó el cálculo del calor disipado a través de las paredes laterales, por lo que el circuito de transferencia de calor sería como se muestra en la Figura 8 que se encuentra a continuación:

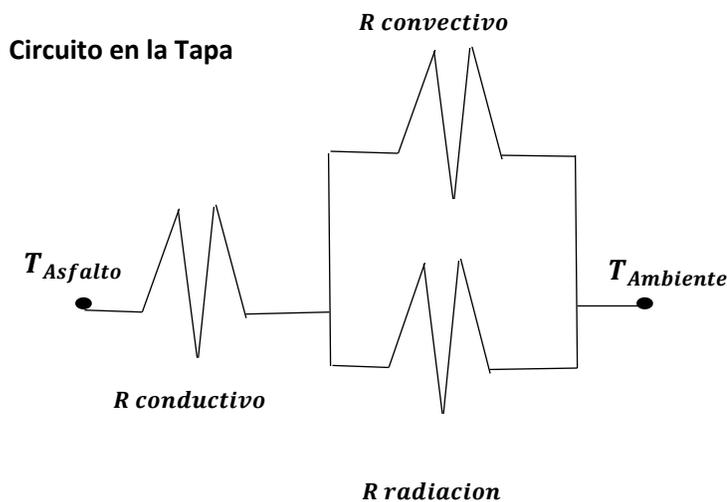


Figura 8. Circuito de resistencia en los techos.

Se procede a realizar el cálculo de la sumatoria de resistencias de conducción y convección según la ecuación (2.6) indicada abajo y queda de esta forma:

$$\sum R = \frac{1}{A} \left(\frac{e_1}{k_1} + \frac{e_2}{k_2} + \frac{1}{h_{aire}} \right) \quad (2.6)$$

Se valora,

$$\sum R = \frac{1}{\pi * 36} \left(\frac{0,008}{50} + \frac{0,050}{0,037} + \frac{1}{25} \right)$$

$$\sum R = 0,0123 \left[\frac{^{\circ}K}{W} \right]$$

Ahora se utiliza la ecuación (2.1) antes descrita,

Se reemplazan los valores obtenidos,

$$UA = \frac{1}{0,0123}$$

$$UA = 81,3 \left[\frac{W}{^{\circ}K} \right]$$

Ahora se ingresa valores en la ecuación (2.1)

$$Q_{techo1} = (81,3) * (145 - 30)$$

$$Q_{techo1} = 9,349.5 W$$

Este es el calor disipado a través del área del techo en el Tanque 1.

Ahora evaluó el Tanque 2 utilizando la ecuación (2.6), y se colocan los valores de las dimensiones de este tanque, así:

$$\sum R = \frac{1}{\pi * 105,06} \left(\frac{0,008}{50} + \frac{0,050}{0,037} + \frac{1}{25} \right)$$

$$\sum R = 0,0042 \left[\frac{^{\circ}K}{W} \right]$$

Ahora se utiliza la ecuación (2.2), y el resultado obtenido es:

$$UA = \frac{1}{0,0042}$$

$$UA = 238,09 \left[\frac{W}{^{\circ}K} \right]$$

Se reemplazó los valores en la ecuación (2.1)

$$Q_{techo2} = (238,09) * (145 - 30)$$

$$\mathbf{Q_{techo2} = 27,380.95 W}$$

Este es el calor disipado por el área del techo en el Tanque 2.

Los valores aquí obtenidos representan el calor que el tanque disipará a través de sus paredes y techo, se asume mínimo y despreciable el calor disipado por el piso de los tanques por lo tanto no se incluyen en los cálculos, los valores son de acuerdo con las condiciones arriba indicadas en el transcurso

del día y que será igual al calor que se necesita ingresar en los serpentines para lograr el calentamiento de este producto.

Entonces la capacidad requerida del caldero para una operación de 24 horas, se obtiene reemplazando los valores en la ecuación (2.7) de los parámetros antes calculados.

$$Cap_{caldero} = Q_{total} * t \quad (2.7)$$

Donde;

Cap_{caldero} Capacidad del Caldero

t Tiempo de operación diaria

Los datos de la capacidad requerida en el Caldero se calculan utilizando ecuación (2.7) y reemplazó los valores obtenidos arriba de Q para las paredes y techo de cada tanque, se obtiene los resultados expresados en la Tabla 3.

Tabla 3. Resultados del Calor Disipado por los tanques

	TANQUE 1 (W)	TANQUE 2 (W)
PAREDES	30000 ± 2%	51000 ± 2%
TECHO	9300 ± 2%	27000 ± 2%
TOTAL (W)	39300	78000
Capacidad (kW-h)	943,20	1872,00

Como se observa en la Tabla 3, la potencia requerida por el caldero en el caso de necesitar el calentamiento total del producto almacenado en los 2 tanques, es de aproximadamente 2,800 kW-h. Por motivos de análisis de costos, beneficios y tiempo de entrega, la empresa decidió adquirir un caldero de capacidad 1´000.000 Kcal (1,162 kW-h) por lo que todo el calor generado por el caldero se utiliza para el calentamiento del Tanque 1 (el de menor dimensión) que necesita una potencia calculada de 943,20 kW-h, a este tanque se lo denomina tanque de despacho y el cual permanece siempre a la temperatura ideal de despacho, es decir 145°C. El Tanque 2 tendrá un calentamiento mínimo y se lo denomina tanque de stock (el de mayor dimensión), y diariamente se trasladó o compensó el material asfáltico pasando del Tanque 2 (stock) al

Tanque 1 de despacho para que siempre mantenga este tanque la cantidad de asfalto caliente necesaria para atender los diversos requerimientos de los clientes. Por motivos de seguridad, en el caso de un sobrecalentamiento del Tanque 1 al utilizar toda la capacidad del caldero adquirido 1'000.000 Kcal (1,162 KW-h), la temperatura a la que puede llegar el asfalto fluctúa entre 169°C y 175°C, que no llegaría a la temperatura de inflamación de los asfaltos, que es 250°C, pero que sí afectaría la vida útil del producto almacenado apresurando su oxidación y ocasionando un envejecimiento prematuro

CAPITULO 3

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El análisis y evaluación de los cálculos, el presupuesto, disponibilidad de equipos y tiempos de entrega; el sistema de calentamiento para el almacenamiento total que se requiere es de aproximadamente 2,800 kW-h, por lo que se enfoca en que se tendrá un tanque de servicio, el de menor diámetro, para el despacho diario y a ese tanque se lo mantendrá siempre a la temperatura ideal de despacho y al tanque grande se va a mantener como stock y se completara los niveles pasando del tanque de stock al tanque de despacho diario, para mantener el mismo volumen listo para ser despachado.

- Estas consideraciones se dan por la limitante que se tuvo en la selección del caldero apropiado que si había en stock para entrega inmediata, de las dimensiones apropiadas y de al menos una capacidad mínima requerida. El Caldero que se instaló fue de 1'000.000 Kcal (1,162 kW-h) que son suficientes para mantener el producto el Tanque 1 de despacho diario a la temperatura deseada cuya demanda de calor es de 943,20 kW-h, y se aprovecha el diferencial para el calentamiento mínimo del tanque 2 que se utiliza para stock.
- Por lo tanto, el caldero suple los requerimientos mínimos de calentamiento del tanque de producto para el despacho en la Terminal.

- Siempre se opera a las temperaturas máximas seguras de almacenamiento y despacho recomendadas para los diferentes tipos de asfaltos.
- Uno de los factores para emplear Aceite Térmico como fluido de transporte de calor en el sistema de calentamiento, es que es el sistema más óptimo, dado su menor costo, su mantenimiento es mínimo, su eficiencia térmica es alta, no hay emisiones tóxicas al ambiente, y su operación es segura, la corrosión en tuberías es mínima.
- Debido a la limitante en la capacidad del caldero, se empleó otro sistema para el calentamiento de las líneas de tubería tanto de recepción del asfalto desde el muelle hasta los tanques de almacenamiento, y de las líneas de tubería de descarga y despacho a los carros-tanques de los clientes desde los tanques de almacenamiento al gantry de descarga.
- En la actualidad el sistema de calentamiento se encuentra funcionando.

APÉNDICE

A continuación se realiza el análisis y cálculo de la sensibilidad del calor disipado tanto por las paredes laterales como por el techo de los tanques en la terminal de asfalto.

$$Q = UA(\Delta T) \quad [W] \quad (2.1)$$

$$UA = \frac{1}{\sum R} \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K} \right] \quad (2.2)$$

$$UA_0 = \frac{1}{\frac{1}{h_i * A_i} + \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi k_1 L} + \frac{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}{2\pi k_2 L} + \frac{1}{h_0 * A_0}} \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K} \right] \quad (2.3)$$

Se elimina la convección en el asfalto al asumir que la temperatura del asfalto va a ser igual a la temperatura de la plancha de acero en contacto con el asfalto.

Ahora la ecuación (2.3) queda resumida de la siguiente forma:

$$UA_0 = \frac{1}{\frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi k_1 L} + \frac{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}{2\pi k_2 L} + \frac{1}{h_0 * A_0}} \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K} \right]$$

Luego se divide todo para el A_0 , que es el Área exterior lateral del tanque:

$$A_0 = 2\pi r_3 L \quad [m^2]$$

Donde se obtiene la nueva ecuación (2.4) de esta forma:

$$U = \frac{1}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right) * \left(\frac{r_3}{k_1}\right) + \ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right) * \left(\frac{r_3}{k_2}\right) + \frac{1}{h_0}} \left[\frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ K} \right] \quad (2.4)$$

A continuación se valora,

$$U = \frac{1}{\ln\left(\frac{6,014}{6,006}\right) * \left(\frac{6,064}{50}\right) + \ln\left(\frac{6,064}{6,014}\right) * \left(\frac{6,064}{0,037}\right) + \frac{1}{25}} \left[\frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ K} \right]$$

$$U = \frac{1}{(1,611 \times 10^{-4}) + (1,306) + (0,040)}$$

$$U = \frac{1}{1,346}$$

El resultado para el Tanque 1 es:

$$U = 0,743 \left[\frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ K} \right]$$

Por lo que se retoma la ecuación inicial (2.1) y se valora,

$$Q = U * A * \Delta T \quad [W] \quad (2.1)$$

$$Q_1 = (0,743) * (2 * \pi * 6,064 * 9,5) * (145^{\circ}\text{C} - 30^{\circ}\text{C}) \text{ [W]}$$

$$Q_1 = 30,928 \text{ [W]}$$

Este es la pérdida máxima de calor por las paredes en el tanque 1.

Ahora se procede a realizar el cálculo para la mínima pérdida de calor para el Tanque 1.

$$Q = UA(\Delta T) \text{ [W]} \quad (2.1)$$

$$UA = \frac{1}{\sum R} \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^{\circ}K} \right] \quad (2.2)$$

$$UA_0 = \frac{1}{\frac{1}{h_i \cdot A_i} + \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi k_1 L} + \frac{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}{2\pi k_2 L} + \frac{1}{h_o \cdot A_o}} \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^{\circ}K} \right] \quad (2.3)$$

Se elimina la convección en el asfalto al asumir que la temperatura del asfalto va a ser igual a la temperatura de la plancha de acero en contacto con el asfalto.

Ahora la ecuación (2.3) queda resumida de la siguiente forma:

$$UA_0 = \frac{1}{\frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi k_1 L} + \frac{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}{2\pi k_2 L} + \frac{1}{h_o \cdot A_o}} \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^{\circ}K} \right]$$

Luego se divide todo para el A_0 , que es el Área exterior lateral del tanque:

$$A_0 = 2\pi r_3 L \quad [m^2]$$

Donde se obtiene la nueva ecuación (2.4) de esta forma:

$$U = \frac{1}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right) * \left(\frac{r_3}{k_1}\right) + \ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right) * \left(\frac{r_3}{k_2}\right) + \frac{1}{h_0}} \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right] \quad (2.4)$$

A continuación se valora,

$$U = \frac{1}{\ln\left(\frac{6,002}{5,994}\right) * \left(\frac{6,052}{50}\right) + \ln\left(\frac{6,052}{6,002}\right) * \left(\frac{6,052}{0,037}\right) + \frac{1}{25}} \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$$

$$U = \frac{1}{(1,614 \times 10^{-4}) + (1,357) + (0,040)}$$

$$U = \frac{1}{1,397}$$

El resultado es:

$$U = 0,716 \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$$

Por lo que se retoma la ecuación inicial (2.1) y se valora,

$$Q = U * A * \Delta T \quad [W] \quad (2.1)$$

$$Q_1 = (0,716) * (2 * \pi * 6,052 * 9,5) * (145^{\circ}\text{C} - 30^{\circ}\text{C}) \text{ [W]}$$

$$Q_1 = 29,745 \text{ [W]}$$

Este es la pérdida mínima de calor por las paredes en el Tanque 1.

Ahora se procede a calcular las pérdidas por las paredes en el Tanque 2

$$Q = UA(\Delta T) \text{ [W]} \quad (2.1)$$

$$UA = \frac{1}{\sum R} \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^{\circ}K} \right] \quad (2.2)$$

$$UA_0 = \frac{1}{\frac{1}{h_i \cdot A_i} + \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi k_1 L} + \frac{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}{2\pi k_2 L} + \frac{1}{h_o \cdot A_o}} \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^{\circ}K} \right] \quad (2.3)$$

Se elimina la convección en el asfalto al asumir que la temperatura del asfalto va a ser igual a la temperatura de la plancha de acero en contacto con el asfalto.

Ahora la ecuación (2.3) queda resumida de la siguiente forma:

$$UA_0 = \frac{1}{\frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi k_1 L} + \frac{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}{2\pi k_2 L} + \frac{1}{h_0 * A_0}} \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K} \right]$$

Luego se divide todo para el A_0 , que es el Área exterior lateral del tanque:

$$A_0 = 2\pi r_3 L \quad [m^2]$$

Donde se obtiene la nueva ecuación (2.4) de esta forma:

$$U = \frac{1}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right) * \left(\frac{r_3}{k_1}\right) + \ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right) * \left(\frac{r_3}{k_2}\right) + \frac{1}{h_0}} \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K} \right] \quad (2.4)$$

A continuación se valora,

$$U = \frac{1}{\ln\left(\frac{10,2683}{10,2603}\right) * \left(\frac{10,3183}{50}\right) + \ln\left(\frac{10,3183}{10,2683}\right) * \left(\frac{10,3183}{0,037}\right) + \frac{1}{25}} \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K} \right]$$

$$U = \frac{1}{(1,606 \times 10^{-4}) + (1,354) + (0,040)}$$

$$U = \frac{1}{1,394}$$

El resultado para el Tanque 2 es:

$$U = 0,717 \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K} \right]$$

Por lo que se retoma la ecuación inicial (2.1) y se valora,

$$Q = U * A * \Delta T \text{ [W]} \quad (2.1)$$

$$Q_1 = (0,717) * (2 * \pi * 10,3183 * 9,5) * (145^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C}) \text{ [W]}$$

$$\mathbf{Q_1 = 51,319 \text{ [W]}}$$

Este es la pérdida máxima de calor a través de las paredes en el Tanque 2.

Ahora se calcula en el Tanque 2 la pérdida mínima de calor.

$$Q = UA(\Delta T) \text{ [W]} \quad (2.1)$$

$$UA = \frac{1}{\sum R} \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right] \quad (2.2)$$

$$UA_0 = \frac{1}{\frac{1}{h_i \cdot A_i} + \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi k_1 L} + \frac{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}{2\pi k_2 L} + \frac{1}{h_o \cdot A_o}} \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right] \quad (2.3)$$

Se elimina la convección en el asfalto al asumir que la temperatura del asfalto va a ser igual a la temperatura de la plancha de acero en contacto con el asfalto.

Ahora la ecuación (2.3) queda resumida de la siguiente forma:

$$UA_0 = \frac{1}{\frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi k_1 L} + \frac{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}{2\pi k_2 L} + \frac{1}{h_0 * A_0}} \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$$

Luego se divide todo para el A_0 , que es el Área exterior lateral del tanque:

$$A_0 = 2\pi r_3 L \quad [m^2]$$

Donde se obtiene la nueva ecuación (2.4) de esta forma:

$$U = \frac{1}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right) * \left(\frac{r_3}{k_1}\right) + \ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right) * \left(\frac{r_3}{k_2}\right) + \frac{1}{h_0}} \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right] \quad (2.4)$$

A continuación se valora,

$$U = \frac{1}{\ln\left(\frac{10,2478}{10,2398}\right) * \left(\frac{10,2978}{50}\right) + \ln\left(\frac{10,2978}{10,2478}\right) * \left(\frac{10,2978}{0,037}\right) + \frac{1}{25}} \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$$

$$U = \frac{1}{(1,609 \times 10^{-4}) + (1,355) + (0,040)}$$

$$U = \frac{1}{1,395}$$

El resultado para el Tanque 2 es:

$$U = 0,716 \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$$

Por lo que se retoma la ecuación inicial (2.1) y se valora,

$$Q = U * A * \Delta T \text{ [W]} \quad (2.1)$$

$$Q_1 = (0,716) * (2 * \pi * 10,2978 * 9,6) * (145^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C}) \text{ [W]}$$

$$Q_1 = 51,145 \text{ [W]}$$

Este es la pérdida mínima de calor a través de las paredes en el Tanque 2.

Ahora se procede a evaluar el calor disipado por los techos de los tanques, como se asume para los cálculos a los techos de forma plana y no cónica, por lo que de la misma forma como se realizó el cálculo del calor disipado a través de las paredes laterales se procede a realizar el cálculo de la sumatoria de resistencias de conducción y convección según la ecuación (2.6) indicada abajo y queda de esta forma:

$$\sum R = \frac{1}{A} \left(\frac{e_1}{k_1} + \frac{e_2}{k_2} + \frac{1}{h_{aire}} \right) \quad (2.6)$$

Se valora para calcular el calor disipado máximo del tanque 1,

$$\sum R = \frac{1}{\pi * 36} \left(\frac{8,008 \times 10^{-3}}{50} + \frac{5,050 \times 10^{-3}}{0,037} + \frac{1}{25} \right)$$

$$\sum R = 0,01232 \left[\frac{^\circ\text{K}}{\text{W}} \right]$$

Ahora se utiliza la ecuación (2.1) antes descrita,

Se reemplazan los valores obtenidos,

$$UA = \frac{1}{0,0123}$$

$$UA = 81,3001 \left[\frac{W}{^{\circ}K} \right]$$

Ahora se ingresa valores en la ecuación (2.1)

$$Q_{techo1} = (81,3001) * (145 - 30)$$

$$Q_{max\ techo\ 1} = \mathbf{9,349.51\ W}$$

Ahora se valora para calcular el calor disipado mínimo a través del techo en el tanque 1,

$$\Sigma R = \frac{1}{\pi * 36} \left(\frac{7,992 \times 10^{-3}}{50} + \frac{4,995 \times 10^{-3}}{0,037} + \frac{1}{25} \right)$$

$$\Sigma R = 0,00155 \left[\frac{^{\circ}K}{W} \right]$$

Ahora se utiliza la ecuación (2.1) antes descrita,

Se reemplazan los valores obtenidos,

$$UA = \frac{1}{0,0123}$$

$$UA = 81,2994 \left[\frac{W}{^{\circ}K} \right]$$

Ahora se ingresa valores en la ecuación (2.1)

$$Q_{\min \text{techo}1} = (81,2994) * (145 - 30)$$

$$Q_{\min \text{techo}1} = 9,349.42 \text{ W}$$

Ahora se valora para calcular el calor disipado máximo a través del techo en el tanque 2,

$$\sum R = \frac{1}{\pi * 105,06} \left(\frac{8,008 \times 10^{-3}}{50} + \frac{5,050 \times 10^{-3}}{0,037} + \frac{1}{25} \right)$$

$$\sum R = 0,0042 \left[\frac{^{\circ}\text{K}}{\text{W}} \right]$$

Ahora se utiliza la ecuación (2.1) antes descrita,

Se reemplazan los valores obtenidos,

$$UA = \frac{1}{0,0123}$$

$$UA = 238,11 \left[\frac{\text{W}}{^{\circ}\text{K}} \right]$$

Ahora se ingresa valores en la ecuación (2.1)

$$Q_{\text{techo}1} = (238,11) * (145 - 30)$$

$$Q_{max\ techo\ 1} = 27,382.65\ W$$

Ahora se valora para calcular el calor disipado mínimo a través del techo en el tanque 1,

$$\Sigma R = \frac{1}{\pi * 105,06} \left(\frac{7,992 \times 10^{-3}}{50} + \frac{4,995 \times 10^{-3}}{0,037} + \frac{1}{25} \right)$$

$$\Sigma R = 0,0123 \left[\frac{^{\circ}K}{W} \right]$$

Ahora se utiliza la ecuación (2.1) antes descrita,

Se reemplazan los valores obtenidos,

$$UA = \frac{1}{0,0123}$$

$$UA = 238,07 \left[\frac{W}{^{\circ}K} \right]$$

Ahora se ingresa valores en la ecuación (2.1)

$$Q_{min\ techo\ 1} = (238,07) * (145 - 30)$$

$$Q_{min\ techo\ 1} = 27,378.05\ W$$

BIBLIOGRAFÍA

1. Fundamentals of Heat and Mass Transfer, Frank Incropera Séptima Edición, 2011.
2. The Shell Bitumen Handbook, London 2003.
3. Transferencia de Calor y Masa, Yunus Cengel, Afshin J. Ghajar, México 2011.
4. Principles of Heat Transfer, Frank Kreith, Raj M. Manglik, Mark S. Bohn, Séptima edición, 2011.