



UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y AMBIENTALES

Trabajo de Fin de Carrera Titulado:

“OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE PRECALENTAMIENTO DE CRUDO DE CARGA MEDIANTE EL APROVECHAMIENTO DEL CALOR RESIDUAL DE LOS PRODUCTOS OBTENIDOS DE LA UNIDAD NO CATALÍTICA MEDIANTE EL DISEÑO DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR DE CRUDO CARGA-JET FUEL PARA REDUCIR COSTOS OPERATIVOS EN LA PRODUCCIÓN DE PRODUCTOS LIMPIOS EN LA REFINERÍA DE LAGO AGRIO”

Realizado por:

DANIEL FERNANDO ORELLANA SAENZ

Director del proyecto:

Ing. Rodolfo Jefferson Rubio Aguiar, MSc.

Como requisito para la obtención del título de:

MAGISTER EN ECOEFICIENCIA INDUSTRIAL

Quito, 15 de Marzo de 2021

OPTIMIZACION DEL SISTEMA DE PRECALENTAMIENTO DE CRUDO DE CARGA MEDIANTE EL APROVECHAMIENTO DEL CALOR RESUDUAL DE LOS PRODUCTOS OBTENIDOS DE LA UNIDAD NO CATALITICA MEDIANTE EL DISEÑO DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR DE CRUDO CARGA JET FUEL PARA REDUCIR COSTOS OPERATIVOS EN LA PRODUCCION DE PRODUCTOS LIMPIOS EN LA REFINERIA DE LAGO AGRIO

DECLARACIÓN JURAMENTADA

Yo, DANIEL FERNANDO ORELLANA SAENZ, con cédula de identidad # 1719240481, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado a calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.



FIRMA

171924048-1

OPTIMIZACION DEL SISTEMA DE PRECALENTAMIENTO DE CRUDO DE CARGA MEDIANTE EL APROVECHAMIENTO DEL CALOR RESIDUAL DE LOS PRODUCTOS OBTENIDOS DE LA UNIDAD NO CATALITICA MEDIANTE EL DISEÑO DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR DE CRUDO CARGA JET FUEL PARA REDUCIR COSTOS OPERATIVOS EN LA PRODUCCION DE PRODUCTOS LIMPIOS EN LA REFINERIA DE LAGO AGRIO

DECLARATORIA

El presente trabajo de investigación titulado:

“OPTIMIZACION DEL SISTEMA DE PRECALENTAMIENTO DE CRUDO DE CARGA MEDIANTE EL APROVECHAMIENTO DEL CALOR RESIDUAL DE LOS PRODUCTOS OBTENIDOS DE LA UNIDAD NO CATALITICA MEDIANTE EL DISEÑO DE INTERCAMBIADORES DE CALOR DE CRUDO CARGA-JET FUEL PARA REDUCIR COSTOS OPERATIVOS EN LA PRODUCCION DE PRODUCTOS LIMPIOS EN LA REFINERÍA DE LAGO AGRIO”

Realizado por:

DANIEL FERNANDO ORELLANA SAENZ

Como Requisito para la Obtención del Título de:

MAGISTER EN ECOEFICIENCIA INDUSTRIAL

Ha sido dirigido por el profesor

MSC. RODOLFO JEFFERSON RUBIO AGUILAR

Quien considera que constituye un trabajo original de su autor



MSc. Rodolfo Jefferson Rúbio Aguilar

DIRECTOR

OPTIMIZACION DEL SISTEMA DE PRECALENTAMIENTO DE CRUDO DE CARGA MEDIANTE EL APROVECHAMIENTO DEL CALOR RESUDUAL DE LOS PRODUCTOS OBTENIDOS DE LA UNIDAD NO CATALITICA MEDIANTE EL DISEÑO DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR DE CRUDO CARGA JET FUEL PARA REDUCIR COSTOS OPERATIVOS EN LA PRODUCCION DE PRODUCTOS LIMPIOS EN LA REFINERIA DE LAGO AGRIO

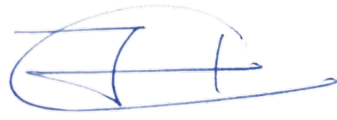
LOS PROFESORES INFORMANTES

Los Profesores Informantes:

JESÚS LÓPEZ VILLADA

JAVIER MARTÍNEZ GÓMEZ

Después de revisar el trabajo presentado,
lo han calificado como apto para su defensa oral ante el tribunal examinador



FIRMA



FIRMA

Quito, 15 de Marzo de 2021

OPTIMIZACION DEL SISTEMA DE PRECALENTAMIENTO DE CRUDO DE CARGA MEDIANTE EL APROVECHAMIENTO DEL CALOR RESUDUAL DE LOS PRODUCTOS OBTENIDOS DE LA UNIDAD NO CATALITICA MEDIANTE EL DISEÑO DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR DE CRUDO CARGA JET FUEL PARA REDUCIR COSTOS OPERATIVOS EN LA PRODUCCION DE PRODUCTOS LIMPIOS EN LA REFINERIA DE LAGO AGRIO

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo a Dios, mi familia y a toda la gente con instinto de superación, ya que
seremos quienes salvemos a nuestras generaciones de un futuro sin promesa de cambios y sin
esperanza de gloria.

OPTIMIZACION DEL SISTEMA DE PRECALENTAMIENTO DE CRUDO DE CARGA MEDIANTE EL APROVECHAMIENTO DEL CALOR RESUDUAL DE LOS PRODUCTOS OBTENIDOS DE LA UNIDAD NO CATALITICA MEDIANTE EL DISEÑO DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR DE CRUDO CARGA JET FUEL PARA REDUCIR COSTOS OPERATIVOS EN LA PRODUCCION DE PRODUCTOS LIMPIOS EN LA REFINERIA DE LAGO AGRIO

AGRADECIMIENTO

A Dios y a mí sagrada familia.

A Gloria por su incondicional apoyo y constante motivación para alcanzar metas.

Agradezco infinitamente a Petroamazonas EP la empresa que me ha dado todo.

A la Universidad Internacional SEK, por brindarme la posibilidad de realizar mi maestría y seguir creciendo tanto personal como profesionalmente

OPTIMIZACION DEL SISTEMA DE PRECALENTAMIENTO DE CRUDO DE CARGA MEDIANTE EL APROVECHAMIENTO DEL CALOR RESIDUAL DE LOS PRODUCTOS OBTENIDOS DE LA UNIDAD NO CATALITICA MEDIANTE EL DISEÑO DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR DE CRUDO CARGA JET FUEL PARA REDUCIR COSTOS OPERATIVOS EN LA PRODUCCION DE PRODUCTOS LIMPIOS EN LA REFINERIA DE LAGO AGRIO

Resumen.

El petróleo es una mezcla de varios componentes en los cuales prevalecen los hidrocarburos, estos pueden estar en estado líquido, semi solido o gaseoso. Los hidrocarburos son una fuente importante de generación de energía a nivel mundial y para casi todas las industrias y hogares. Pero no son sólo combustibles, sino que a través de procesos más avanzados se separan sus elementos y se logra su aprovechamiento a través de la industria petroquímica.

La industria de la petroquímica, ha multiplicado el uso del petróleo en la fabricación de polimeros y fibras sintéticas. Casi todo los productos que se utilizan en la vida diaria son hechos en base a hidrocarburos como son combustibles, plásticos, lapiceros, muchas telas, las cremas, las pinturas, los insecticidas, muchas partes de las máquinas y de los electrodomésticos entre otros.

Para obtener estos productos derivados, el petróleo crudo debe pasar por varios procesos (catalíticos y no catalíticos), en los procesos no catalíticos se obtiene productos básicamente por incrementos de temperatura y variaciones de presión, en los procesos catalíticos se utilizan diferentes catalizadores que básicamente son sustancias que se añaden al proceso para aumentar la velocidad de reacción sin ser consumida en el proceso.

En el bloque 56, ubicado en la Provincia de Sucumbíos cantón Nueva Loja, la empresa Petroamazonas EP cuenta con la Refinería Lago Agrio, la cual tiene una unidad no catalítica o destilación atmosférica (NC-1) la cual tiene una capacidad de procesamiento de 1000 barriles de petróleo por día (BPD). Esta unidad fracciona el crudo carga en diferentes corrientes según la curva de destilación del crudo en:

- Gasolina base

OPTIMIZACION DEL SISTEMA DE PRECALENTAMIENTO DE CRUDO DE CARGA MEDIANTE EL APROVECHAMIENTO DEL CALOR RESIDUAL DE LOS PRODUCTOS OBTENIDOS DE LA UNIDAD NO CATALITICA MEDIANTE EL DISEÑO DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR DE CRUDO CARGA JET FUEL PARA REDUCIR COSTOS OPERATIVOS EN LA PRODUCCION DE PRODUCTOS LIMPIOS EN LA REFINERIA DE LAGO AGRIO

- Jet fuel
- Diésel
- Crudo reducido

La unidad de destilación atmosférica de la refinería de Lago Agrio es poco eficiente en su proceso, esto debido a que se desperdicia mucha energía térmica en las corrientes de productos limpios obtenidos, esta energía puede ser aprovechada y así reducir el consumo de combustibles fósiles (gasolina) para el calentamiento del crudo carga. Estos productos a su salida de la torre de destilación atmosférica conservan aun mucha energía la cual actualmente es desperdiciada en procesos de enfriamiento y condensación para su posterior almacenamiento. Esta energía se aprovechará con este sistema de precalentamiento del crudo carga mediante la implementación de un intercambiador de calor. La fracción de Jet Fuel o Keroseno que sale de la unidad de destilación a un flujo másico de 1400 lb/hora ingresa aproximadamente a una temperatura de 350° F al intercambiador de calor, por otra parte en contra flujo ingresa el crudo carga aproximadamente 11538 lb/hora a una temperatura de 80°F, después del intercambio de calor el Keroseno cede su energía hasta llegar a la temperatura de salida del intercambiador de 130°F, incrementando así la temperatura del crudo carga a 120°F.

Para este intercambiador con fluidos Crudo – Kerosen los coeficientes globales de transferencia de calor varían entre 10 Btu/h ft² °F a 35 Btu/h ft² °F. Este coeficiente global de transferencia de calor para el actual diseño se calculó en 10.10 Btu/h ft² ° considerando los factores de ensuciamiento del crudo carga 0.005 h ft² °F/Btu y del Keroseno 0.001 h ft² °F/Btu. Se calculó que el área requerida para el intercambio de calor es de 176 pies cuadrados de ahí se realiza el diseño con número de tubos de 44 y una longitud de 16 pies por tubo, el número de tubos se consideró con el espacio disponible en la refinería para la implementación, se recomienda que

OPTIMIZACION DEL SISTEMA DE PRECALENTAMIENTO DE CRUDO DE CARGA MEDIANTE EL APROVECHAMIENTO DEL CALOR RESUDUAL DE LOS PRODUCTOS OBTENIDOS DE LA UNIDAD NO CATALITICA MEDIANTE EL DISEÑO DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR DE CRUDO CARGA JET FUEL PARA REDUCIR COSTOS OPERATIVOS EN LA PRODUCCION DE PRODUCTOS LIMPIOS EN LA REFINERIA DE LAGO AGRIO

el largo de los tubos sea igual a la mitad del espacio disponible, con el fin de facilitar la instalación y limpieza del haz de tubos.

Para incrementar el coeficiente de transferencia de calor del lado tubos, se procura tener la velocidad más alta posible en este caso tenemos una velocidad de 3 ft/s, esto se logra usando el mayor número de tubos que permite el diseño con el menor diámetro interno de tubos posible, esto dependiendo del tipo de fluido que tengamos en el lado tubos, si es un fluido con un coeficiente de ensuciamiento alto no se recomienda utilizar diámetros menores a 1 pulgada además se debe tener en cuenta la limitación por la caída de presión en este caso debido al coeficiente de ensuciamiento del crudo se consideró un tubo de 1 pulgada.

En cuanto al numero de Reynolds necesitamos que el fluido sea lo mas turbulento posible, esto favorecerá el intercambio de calor incrementando los valores del coeficientes de transmisión tanto del lado tubo como del lado carcaza, este numero de Reynolds se incrementara a medida que reducimos el tamaño de los tubos o la coraza, pero también se debe tener en cuenta que los diámetros muy pequeños pueden generar problemas de taponamientos cuando se trabaja con fluidos con coeficientes de ensuciamiento altos reduciendo la eficiencia considerablemente.

En el análisis económico determinamos que con la implementación del intercambiador de calor reducimos la cantidad de combustible requerido para el horno en 140 galones por día es decir aproximadamente 4404.38 Kw/h al día, lo que representa un ahorro de 114 975 dolares al año. La implementación de este trabajo, conduce a una disminución del volumen consumido de gasolina en el horno de calentamiento y por ende a un ahorro de este combustible, que se reflejará en el costo final por galón de derivado producido en la planta, lo cual es importante con el fin de mejorar la eficiencia energética del proceso.

Palabras clave: *Petróleo, Energía, Industrialización, Producción, Horno.*

OPTIMIZACION DEL SISTEMA DE PRECALENTAMIENTO DE CRUDO DE CARGA MEDIANTE EL APROVECHAMIENTO DEL CALOR RESIDUAL DE LOS PRODUCTOS OBTENIDOS DE LA UNIDAD NO CATALITICA MEDIANTE EL DISEÑO DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR DE CRUDO CARGA JET FUEL PARA REDUCIR COSTOS OPERATIVOS EN LA PRODUCCION DE PRODUCTOS LIMPIOS EN LA REFINERIA DE LAGO AGRIO

Abstract.

Hydrocarbons (Oil + Gas), are organic compounds that contain carbon and hydrogen, occurring in nature as gases, liquids, fats and sometimes solids. Hydrocarbons are an important source of energy generation for industries, for our homes and for the development of our daily lives. But they are not only fuels, but through more advanced processes their elements are separated and their use is achieved through the petrochemical industry.

The petrochemical industry has multiplied the use of oil in the manufacture of different objects made of plastic and synthetic fibers. Many things that surround us as pens, the fabric of bath clothes, creams, paints, insecticides, many parts of machines and appliances, and even the petrochemical soda bottles to exist. But the most important thing about refining is to obtain gasoline and distillates.

The hydrocarbon industry is very fluctuating due to the different political and socio-economic factors that influence its cost per barrel, which is why the best way to guarantee the return on our investment is by lowering the operating cost, this can be done by optimizing resources, taking advantage of resources opportunities for improvement and improving processes.

In Oil block 56, located in the Province of Sucumbíos - Nueva Loja, Petroamazonas Ep has the Lago Agrio Refinery, which has an atmospheric distillation unit where 1000 barrels of oil are processed per day (BPD). In its subdivision four streams are obtained which are: base gasoline, jet fuel, diesel and reduced crude, as derived products. The outgoing diesel current with an approximate temperature of 183 ° C due to its separation in the fractionation tower in the direction of a stripper and air cooler has sensible heat that is not used in another operation giving this heat to the environment.

OPTIMIZACION DEL SISTEMA DE PRECALENTAMIENTO DE CRUDO DE CARGA MEDIANTE EL APROVECHAMIENTO DEL CALOR RESUDUAL DE LOS PRODUCTOS OBTENIDOS DE LA UNIDAD NO CATALITICA MEDIANTE EL DISEÑO DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR DE CRUDO CARGA JET FUEL PARA REDUCIR COSTOS OPERATIVOS EN LA PRODUCCION DE PRODUCTOS LIMPIOS EN LA REFINERIA DE LAGO AGRIO

Waste energy wasted in this type of process could increase operating costs; consequently, the need is generated to carry out the thermal design of a “crude load / diesel” exchanger to take advantage of the heat produced by diesel cooling using a shell and tube exchanger. The recovered heat will be used in a first preheating of crude load for the process of separation and obtaining of derivatives.

The future implementation of this work leads to a decrease in the volume of gasoline consumed in the heating furnace and therefore to a saving of this fuel, which will be reflected in the final cost per gallon of derivative produced in the plant. This is important in order to improve the energy efficiency of the process.

The fraction of Jet Fuel or Kerosene that leaves the distillation unit at a mass flow of 1400 lb / hour enters the heat exchanger at approximately 350 ° F, on the other hand, in counter flow the crude enters the load approximately 11538 lb / hour at a temperature of 80 ° F, after the heat exchange the kerosene uses its energy until it reaches the outlet temperature of the exchanger of 130 ° F, thus increasing the temperature of the crude oil load to 120 ° F.

For this exchanger with Crude - Kerosen fluids the global heat transfer coefficients vary between 10 Btu / h ft² ° F to 35 Btu / h ft² ° F. This global heat transfer coefficient for the current design was calculated at 10.10 Btu / h ft² ° considering the fouling factors of the crude oil load 0.005 h ft² ° F / Btu and the kerosene 0.001 h ft² ° F / Btu.

It was calculated that the required area for heat exchange is 176 square feet, from there the design is made with a number of tubes of 44 and a length of 16 feet per tube, the number of tubes was considered with the space available in the refinery For the implementation, it is recommended that the length of the tubes be equal to half the available space, in order to facilitate the installation and cleaning of the tube bundle.

OPTIMIZACION DEL SISTEMA DE PRECALENTAMIENTO DE CRUDO DE CARGA MEDIANTE EL APROVECHAMIENTO DEL CALOR RESUDUAL DE LOS PRODUCTOS OBTENIDOS DE LA UNIDAD NO CATALITICA MEDIANTE EL DISEÑO DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR DE CRUDO CARGA JET FUEL PARA REDUCIR COSTOS OPERATIVOS EN LA PRODUCCION DE PRODUCTOS LIMPIOS EN LA REFINERIA DE LAGO AGRIO

To increase the heat transfer coefficient on the tube side, we try to have the highest possible speed in this case we have a speed of 3 ft / s, this is achieved by using the largest number of tubes that allows the design with the smallest internal diameter. of pipes possible, this depending on the type of fluid we have on the pipe side, if it is a fluid with a high fouling coefficient it is not recommended to use diameters smaller than 1 inch, in addition, the limitation due to the pressure drop in In this case, due to the fouling coefficient of the crude oil, a 1-inch tube was considered.

Regarding the Reynolds number, we need the fluid to be as turbulent as possible, this will favor heat exchange by increasing the values of the transmission coefficients on both the tube side and the shell side, this Reynolds number will increase as we reduce the size of the tubes or the shell, but it should also be taken into account that very small diameters can cause clogging problems when working with fluids with high fouling coefficients, reducing efficiency considerably.

The results obtained from the calculation and simulation indicate a heat transfer area of 176 square feet, the exchanger is designed with 44 tubes with a shell diameter of 12 inches and a length of tubes of 16 feet with an outer diameter of tubes of 1 inch and the tube spacing is 1.25 inches.

Regarding the temperatures of the hot fluid (Jet fuel), it enters the exchanger at a temperature of 350 ° F and leaves after the heat exchange at a temperature of 130 ° F. The fluid to be heated or cold (crude) enters at a temperature 80 ° F and exits the exchanger at a temperature of 120 ° F.

The global coefficient of heat exchange required is 9.63 Btu / h ft² ° F and according to design the global coefficient calculated is 10.10 Btu / h ft² ° F.

OPTIMIZACION DEL SISTEMA DE PRECALENTAMIENTO DE CRUDO DE CARGA MEDIANTE EL APROVECHAMIENTO DEL CALOR RESIDUAL DE LOS PRODUCTOS OBTENIDOS DE LA UNIDAD NO CATALITICA MEDIANTE EL DISEÑO DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR DE CRUDO CARGA JET FUEL PARA REDUCIR COSTOS OPERATIVOS EN LA PRODUCCION DE PRODUCTOS LIMPIOS EN LA REFINERIA DE LAGO AGRIO

In the economic analysis, we determined that with the implementation of the heat exchanger we reduced the amount of fuel required for the furnace by 140 gallons per day, that is, approximately 4404.38 Kw / h per day, which represents a saving of 114,975 dollars per year.

The implementation of this work leads to a decrease in the volume of gasoline consumed in the heating furnace and therefore to a saving of this fuel, which will be reflected in the final cost per gallon of derivative produced in the plant, which is important. in order to improve the energy efficiency of the process.

Key words: Oil, Energy, Industrialization, Production, Furnace.

OPTIMIZACION DEL SISTEMA DE PRECALENTAMIENTO DE CRUDO DE CARGA MEDIANTE EL APROVECHAMIENTO DEL CALOR RESUDUAL DE LOS PRODUCTOS OBTENIDOS DE LA UNIDAD NO CATALITICA MEDIANTE EL DISEÑO DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR DE CRUDO CARGA JET FUEL PARA REDUCIR COSTOS OPERATIVOS EN LA PRODUCCION DE PRODUCTOS LIMPIOS EN LA REFINERIA DE LAGO AGRIO

TABLA DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN	14
Refinería Lago Agrio.	16
ESTADO DEL ARTE	19
Calor	19
Recuperación de calor	20
Métodos de Transferencia de Calor	20
Conducción.....	21
Convección.....	22
Radiación.....	23
Intercambiadores De Calor.....	23
Intercambiador de Calor de Carcasa y tubos.....	24
Partes de Intercambiador de carcasa y Tubos	26
Tubos para Intercambiadores de Calor.....	27
Carcasa	28
Cabezal, Espejo o Placa	28
Arreglo	29
Cabezal de distribución o estacionario.....	30
Cabezal flotante.....	30
Espaciado de los Tubos	31
Deflectores	32
METODO.....	34
Método para el diseño y Evaluación de Intercambiadores de Calor de Tubo y Coraza	34
Consideraciones para el diseño de los intercambiadores de calor:	34
Ubicación de fluidos.....	34
Factores de ensuciamiento.	34
Disposición de flujos.....	35
Materiales de construcción.....	35
Propiedades de los fluidos y parámetros operativos de la refinería de Lago Agrio.....	35

OPTIMIZACION DEL SISTEMA DE PRECALENTAMIENTO DE CRUDO DE CARGA MEDIANTE EL APROVECHAMIENTO DEL CALOR RESUDUAL DE LOS PRODUCTOS OBTENIDOS DE LA UNIDAD NO CATALITICA MEDIANTE EL DISEÑO DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR DE CRUDO CARGA JET FUEL PARA REDUCIR COSTOS OPERATIVOS EN LA PRODUCCION DE PRODUCTOS LIMPIOS EN LA REFINERIA DE LAGO AGRIO

Diseño térmico del intercambiador de calor Crudo Carga – Jet Fuel	37
Cálculo del calor transferido	37
Ecuación de diseño.....	38
Cálculo de la diferencia media logarítmica de temperaturas.	38
Cálculo de la diferencia media de temperaturas corregida (DTMLC).....	38
Cálculo del factor de corrección F de la DTML	39
Cálculo de la temperatura media logarítmica corregida.....	39
Estimación de coeficiente de transferencia de calor Ud	40
Calculo de area de tranferencia de calor y numero de tubos.....	40
Calculo de número de tubos	40
Calculo de número de pasos por los tubos	41
Cálculo de la velocidad de fluido por los tubos	42
Determinación del tamaño de la coraza y el número de tubos actuales	42
Cálculo de coeficiente global requerido.....	42
Calculo del coeficiente de transmisión de calor del lado tubos (hi).....	43
Calculo del número de Prandtl	43
Calculo del coeficiente de transmisión de calor del lado coraza (ho)	44
Cálculo del área de la coraza.....	44
Cálculo del flujo másico por área superficial.....	45
Cálculo del número de Reynolds.	45
Calculo del factor de colburn, JH.....	45
Calculo de Coeficiente Global Limpio, UC	45
Cálculo de la temperatura de la pared del tubo	46
Cálculo del factor de ensuciamiento del sistema, RD	46
Calculo de Coeficiente Global con ensuciamiento, UD.....	47
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	48
Análisis de los resultados del Dimensionamiento termico.....	48
Análisis del ahorro en el consumo de combustibles.	48
Representación gráfica de los fluidos de ingreso y salida del intercambiador y las propiedades físico-químicas del fluido a calentar.	49

OPTIMIZACION DEL SISTEMA DE PRECALENTAMIENTO DE CRUDO DE CARGA MEDIANTE EL APROVECHAMIENTO DEL CALOR RESIDUAL DE LOS PRODUCTOS OBTENIDOS DE LA UNIDAD NO CATALITICA MEDIANTE EL DISEÑO DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR DE CRUDO CARGA JET FUEL PARA REDUCIR COSTOS OPERATIVOS EN LA PRODUCCION DE PRODUCTOS LIMPIOS EN LA REFINERIA DE LAGO AGRIO

Dimensiones del intercambiador de calor diseñado.....	49
CONCLUSIONES	51
RECOMENDACIONES	54
BIBLIOGRAFÍA.....	55

OPTIMIZACION DEL SISTEMA DE PRECALENTAMIENTO DE CRUDO DE CARGA MEDIANTE EL APROVECHAMIENTO DEL CALOR RESUDUAL DE LOS PRODUCTOS OBTENIDOS DE LA UNIDAD NO CATALITICA MEDIANTE EL DISEÑO DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR DE CRUDO CARGA JET FUEL PARA REDUCIR COSTOS OPERATIVOS EN LA PRODUCCION DE PRODUCTOS LIMPIOS EN LA REFINERIA DE LAGO AGRIO

Lista de Figuras

Figura 1. Esquema de refinería de última generación.	14
Figura 2. Termografía formas de transferencia de calor	21
Figura 3. Intercambiador de calor de tubo y carcasa.	24
Figura 4. Clasificación intercambiadores carcasa y tubo según TEMA.	26
Figura 5. Partes de un intercambiador de calor de tubo y carcasa.	27
Figura 6. Tubos para intercambiador de calor de tubo y carcasa.	27
Figura 7. Carcasa del intercambiador de calor.	28
Figura 8. Cabezal, Espejo o Placa del intercambiador de calor.	29
Figura 9. Disposición geométrica de los tubos en la placa	30
Figura 10. Cabezal de distribución o estacionario.	30
Figura 11. Cabezal flotante de intercambiador de calor de tubo y carcasa.	31
Figura 12. Espaciado de los tubos del intercambiador de calor de tubo y carcasa.	32
Figura 13. Tipos de deflectores de un intercambiador de calor de tubo y carcasa.	32
Figura 14. Diseño de intercambiador de calor según TEMA con una configuración AES.	33
Figura 15. Disposición del intercambiador en contraflujo hacia el fluido del lado de la carcasa	35

OPTIMIZACION DEL SISTEMA DE PRECALENTAMIENTO DE CRUDO DE CARGA MEDIANTE EL APROVECHAMIENTO DEL CALOR RESUDUAL DE LOS PRODUCTOS OBTENIDOS DE LA UNIDAD NO CATALITICA MEDIANTE EL DISEÑO DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR DE CRUDO CARGA JET FUEL PARA REDUCIR COSTOS OPERATIVOS EN LA PRODUCCION DE PRODUCTOS LIMPIOS EN LA REFINERIA DE LAGO AGRIO

Lista de Tablas

Tabla 1. Reporte mensual promedio de operaciones del año 2020	36
Tabla 2. Reporte mensual promedio de productos obtenidos del año 2020.....	36
Tabla 3. Reporte mensual promedio de análisis de crudo carga del año 2020	36
Tabla 4. Propiedades promedio de los ensayos para el Jet Fuel	37
Tabla 5. Propiedades a las temperaturas medias, para fluidos del intercambiador IC-CC/JP1	37
Tabla 6. Resumen del diseño térmico	48
Tabla 7. Ahorro de combustible	48
Tabla 8. Costos por mano de obra, materiales, equipos y transportes.	51
Tabla 9. Costos totales.	52
Tabla 10. Propiedades de los fluidos del intercambiador IC-CC/JP1.....	64
Tabla 11. Análisis de situación actual:.....	67
Tabla 12. Análisis de situación propuesta:.....	68

OPTIMIZACION DEL SISTEMA DE PRECALENTAMIENTO DE CRUDO DE CARGA MEDIANTE EL APROVECHAMIENTO DEL CALOR RESIDUAL DE LOS PRODUCTOS OBTENIDOS DE LA UNIDAD NO CATALITICA MEDIANTE EL DISEÑO DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR DE CRUDO CARGA JET FUEL PARA REDUCIR COSTOS OPERATIVOS EN LA PRODUCCION DE PRODUCTOS LIMPIOS EN LA REFINERIA DE LAGO AGRIO

Lista de Anexos

ANEXO A. Cálculos diseño de intercambiador de calor.....	59
ANEXO B. Diagrama de la refinería de lago agrio	71
ANEXO C. Selección de tubos para intercambiadores de calor	73
ANEXO D. Coeficientes globales para intercambiadores de calor	74
ANEXO E. Dimensiones de tubos para intercambiadores de calor	75
ANEXO F. Conductividades térmicas de materiales para intercambiadores de calor.....	76
ANEXO G. Número de pasos y diámetro de la coraza para tubos de 2 in y pitch de 1 ½ in...	77
ANEXO H. Conductividad térmica de hidrocarburos.	78
ANEXO I. Factor de corrección f en intercambiadores de pasos pares contracorriente.....	78
ANEXO J. Resistencia al ensuciamiento de diferentes fluidos.	79
ANEXO K. Hoja de especificación de intercambiadores de calor según tema	80

OPTIMIZACION DEL SISTEMA DE PRECALENTAMIENTO DE CRUDO DE CARGA MEDIANTE EL APROVECHAMIENTO DEL CALOR RESUDUAL DE LOS PRODUCTOS OBTENIDOS DE LA UNIDAD NO CATALITICA MEDIANTE EL DISEÑO DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR DE CRUDO CARGA JET FUEL PARA REDUCIR COSTOS OPERATIVOS EN LA PRODUCCION DE PRODUCTOS LIMPIOS EN LA REFINERIA DE LAGO AGRIO

INTRODUCCIÓN

La refinación del petróleo es uno de los actores mas importantes en el crecimiento económico de los países que los poseen, no obstante es un proceso que demanda muchos recursos económicos y genera también emisiones de CO₂ al ambiente.

Una refinería es una planta industrial destinada a la refinación del petróleo, por medio de la cual, mediante una serie de procesos, se obtienen diversos combustibles fósiles capaces de ser utilizados en motores de combustión: naftas, gas oil, etc. Además, se obtienen diversos productos tales como kerosene, aceites minerales, asfaltos, coque, parafinas, materia prima para procesos petroquímicos, etc. A continuación se muestra un esquema general de una refinería, en la cual ingresa la materia prima (MP) o petróleo crudo, y al aplicar una serie de procesos específicos, se obtienen los distintos tipos de productos (YPF, 2011).

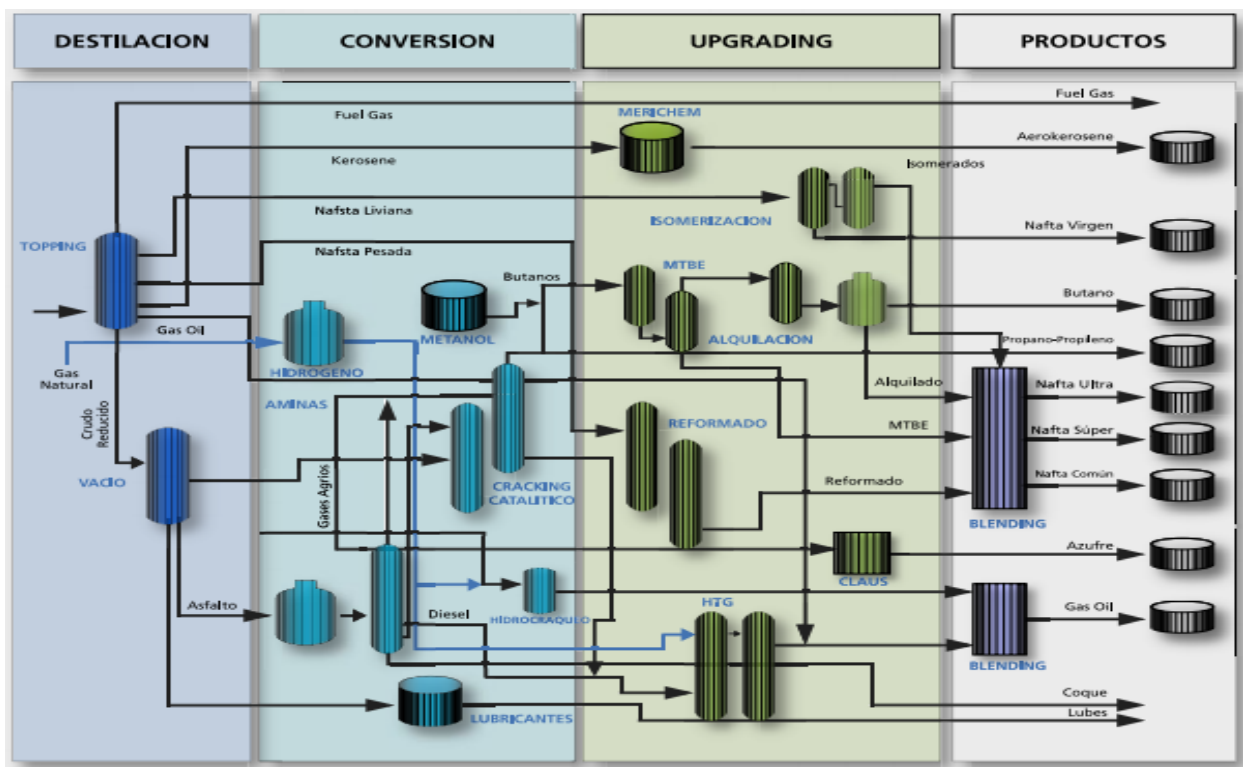


Figura 1. Esquema de refinería de última generación.

Fuente. (Fundación YPF, 2012)

El petróleo crudo, o también llamado simplemente crudo, es una mezcla compleja formada por

OPTIMIZACION DEL SISTEMA DE PRECALENTAMIENTO DE CRUDO DE CARGA MEDIANTE EL APROVECHAMIENTO DEL CALOR RESIDUAL DE LOS PRODUCTOS OBTENIDOS DE LA UNIDAD NO CATALITICA MEDIANTE EL DISEÑO DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR DE CRUDO CARGA JET FUEL PARA REDUCIR COSTOS OPERATIVOS EN LA PRODUCCION DE PRODUCTOS LIMPIOS EN LA REFINERIA DE LAGO AGRIO

hidrocarburos y otros compuestos de carbono e hidrógeno que frecuentemente contiene significativas cantidades de azufre, nitrógeno, oxígeno y otras menores de metales como níquel o vanadio, entre otros (PINO, 2014).

Cada tipo de crudo es único y es una mezcla compleja de miles de componentes. La mayoría de los componentes presentes en el petróleo crudo son hidrocarburos (componentes orgánicos compuestos por átomos de hidrógeno y carbono). Asimismo, se pueden encontrar no sólo carbono e hidrógeno, sino también pequeñas (pero importantes) cantidades de otros (“hetero”) elementos, en particular azufre, nitrógeno y ciertos metales (por ejemplo, níquel, vanadio, etc.). El petróleo crudo está compuesto por la molécula de hidrocarburo más pequeña y simple – CH₄ (metano) – hasta las moléculas más grandes y complejas que contienen 50 o más átomos de carbono (además de hidrógeno y heteroelementos) (MathPro, 2011).

Las propiedades físicas y químicas de cualquier tipo de hidrocarburo o molécula dependen no sólo de la cantidad de átomos de carbono en la molécula, sino también de la naturaleza de los enlaces químicos entre ellos. La unión de átomos da como resultado cadenas de alcanos (enlace simple), alquenos (doble enlace) y alquinos (triple enlace) formando diferentes clases de hidrocarburos. Cuánto más pesado (más denso) es el crudo, más alta es su proporción de C/H. Debido a los procesos químicos de la refinación, cuánto mayor es la proporción de C/H del crudo, más intenso y costoso es el proceso de refinación que se requiere para producir determinados volúmenes de gasolina y combustibles destilados. Por ello, la composición química del petróleo crudo y su división en fracciones de distinto punto de ebullición incluyen en los requisitos de inversión de la refinería y la energía que utiliza, los dos aspectos más importantes del costo total de la refinación (MathPro, 2011).

OPTIMIZACION DEL SISTEMA DE PRECALENTAMIENTO DE CRUDO DE CARGA MEDIANTE EL APROVECHAMIENTO DEL CALOR RESIDUAL DE LOS PRODUCTOS OBTENIDOS DE LA UNIDAD NO CATALITICA MEDIANTE EL DISEÑO DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR DE CRUDO CARGA JET FUEL PARA REDUCIR COSTOS OPERATIVOS EN LA PRODUCCION DE PRODUCTOS LIMPIOS EN LA REFINERIA DE LAGO AGRIO

Refinería Lago Agrio.

La refinería de Lago Agrio está diseñada para procesar 1000 BPD de crudo entre 28-30 °API, este crudo actualmente proveniente del campo Lago Norte, en el (anexo B) se puede visualizar un diagrama de la planta industrial, a continuación se detallan los equipos y unidades que la conforman.

- Tanques de almacenamiento.
- Sistema de bombeo
- Compresores
- Planta generadora de vapor con calderos base diésel.
- Intercambiador de calor Crudo Carga/Crudo Reducido E-231 A/B
- Horno a gasolina H-241.
- Torre de fraccionamiento V-111 de 23 platos dimensiones 3' diámetro y 42' de altura.
- Bombas de circulación de crudo P-311 y P-312.
- Condensador de gasolina E-221
- Acumulador de gasolina V-121 con dimensiones 3' de diámetro y 8' de altura.
- Bombas de circulación de gasolina P-317 y P-318
- Despojador de fracciones livianas para Jet Fuel V-113
- Bomba de fondo de despojador hacia enfriador P-316
- Sistema de enfriamiento de Jet Fuel E-221 B
- Despojador de fracciones livianas diésel V-112
- Bombas de fondo de despojador hacia enfriador P-315
- Sistema de enfriamiento de diésel E-221 C
- Bombas de productos pesados P-313 y P-314

OPTIMIZACION DEL SISTEMA DE PRECALENTAMIENTO DE CRUDO DE CARGA MEDIANTE EL APROVECHAMIENTO DEL CALOR RESUDUAL DE LOS PRODUCTOS OBTENIDOS DE LA UNIDAD NO CATALITICA MEDIANTE EL DISEÑO DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR DE CRUDO CARGA JET FUEL PARA REDUCIR COSTOS OPERATIVOS EN LA PRODUCCION DE PRODUCTOS LIMPIOS EN LA REFINERIA DE LAGO AGRIO

- Calderos para generación de vapor
- Sistema de generación eléctrica

Productos limpios obtenidos en el proceso de refinación de la refinería de Lago Agrio son:

- Gasolina base,
- Jet fuel
- Diésel los cuales son utilizados para abastecer la demanda de la empresa ya sea como combustible para la aviación, para el transporte vehicular o para el funcionamiento de las unidades en el proceso de refinación.
- Crudo reducido utilizado en el intercambiador de calor E-231 A/B

El complejo industrial cuenta con un Laboratorio, con el objeto de comprobar que las características de los productos derivados obtenidos se encuentren dentro de las especificaciones de control de calidad ASTM. Los ensayos que se realizan en el laboratorio son los siguientes:

- Gravedad API
- BSW “Cantidad de agua y sedimentos”
- WSIM “Micro filtración de partículas de agua”
- Flash Point “Punto de inflamabilidad”
- Viscosidad cinemática
- Contenido de azufre
- Curvas de destilación

Todos estos ensayos, caracterizaciones y análisis se los hacen en base a las normas establecidas por la INEN y ASTM que son regularizadas y controladas por la ARCH (Agencia de Regulación y Control Hidrocarburífero).

OPTIMIZACION DEL SISTEMA DE PRECALENTAMIENTO DE CRUDO DE CARGA MEDIANTE EL APROVECHAMIENTO DEL CALOR RESIDUAL DE LOS PRODUCTOS OBTENIDOS DE LA UNIDAD NO CATALITICA MEDIANTE EL DISEÑO DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR DE CRUDO CARGA JET FUEL PARA REDUCIR COSTOS OPERATIVOS EN LA PRODUCCION DE PRODUCTOS LIMPIOS EN LA REFINERIA DE LAGO AGRIO

Eficiencia energética en la obtención de derivados.

La eficiencia energética es de aplicación de todas las industrias, con el fin de reducir costos y emisiones de gases de efecto invernadero, resultando en procesos más eficientes y menos contaminantes. La producción de derivados de hidrocarburos es relativamente costosa y contaminante al ambiente, debido a los altos costos que implican los procesos de las unidades, a la utilización de materia prima de origen fósil para procesos como en el calentamiento, uso de catalizadores, entre otros. Por ello mientras mayor sea la optimización en el uso de combustibles fósiles para la generación de los derivados, el país obtiene mayor ganancia económica y ayudamos en la reducción de los gases de efecto invernadero al ambiente.

La refinería de Lago Agrio, produce diariamente 490 barriles de productos limpios y 510 barriles de crudo reducido, los derivados son:

Jet fuel: 120 bbls

Diesel: 250 bbls

Gasolina: 120 bbls

Para la obtención de estos productos utilizamos aproximadamente 1400 galones de gasolina de 90 octanos para el calentamiento del crudo previo al ingreso en la columna de fraccionamiento, este valor se reduce considerablemente si utilizamos previo al ingreso al horno, intercambiadores de calor de precalentamiento del crudo, estos intercambiadores utilizan el calor residual de los destilados obtenidos en la columna de fraccionamiento que salen aproximadamente de 360 – 400 °F el diésel y de 320 - 350 °F el jet fuel, para calentar el crudo que ingresa a la refinería desde el campo Lago Norte a 80 °F aproximadamente.

OPTIMIZACION DEL SISTEMA DE PRECALENTAMIENTO DE CRUDO DE CARGA MEDIANTE EL APROVECHAMIENTO DEL CALOR RESIDUAL DE LOS PRODUCTOS OBTENIDOS DE LA UNIDAD NO CATALITICA MEDIANTE EL DISEÑO DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR DE CRUDO CARGA JET FUEL PARA REDUCIR COSTOS OPERATIVOS EN LA PRODUCCION DE PRODUCTOS LIMPIOS EN LA REFINERIA DE LAGO AGRIO

ESTADO DEL ARTE

Calor

El calor es una energía en tránsito, que se transfiere debido a una diferencia de temperaturas entre dos sistemas o el sistema y sus alrededores, por lo que no es una propiedad de los cuerpos.

Siempre que exista una diferencia de temperaturas en un cuerpo o entre cuerpos debe ocurrir una transferencia de calor. (Incropera, 1999)

En términos generales la cantidad de calor que se transfiere de un cuerpo a otro se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$Q = W * Ce * \Delta T \quad [1]$$

Donde:

Q= Calor (BTU/h)

W= Flujo másico (lb/h)

Ce= Calor específico (BTU/lb °F)

ΔT = Gradiente de Temperatura (°F)

Cuando un cuerpo u objeto recibe energía (calor) y aumenta su temperatura sin afectar su estructura molecular y por ende su estado se considera calor sensible. Por el contrario cuando un cuerpo u objeto recibe energía (calor) lo suficiente como para cambiar la estructura molecular y su estado físico se considera calor latente, este calor se invierte para el cambio de fase y no para un aumento de temperatura.

En el diseño de intercambiadores de calor para precalentamiento se utilizan intercambiadores sin cambio de fase, es decir se intercambia calor sensible aumentando la temperatura del fluido

OPTIMIZACION DEL SISTEMA DE PRECALENTAMIENTO DE CRUDO DE CARGA MEDIANTE EL APROVECHAMIENTO DEL CALOR RESIDUAL DE LOS PRODUCTOS OBTENIDOS DE LA UNIDAD NO CATALITICA MEDIANTE EL DISEÑO DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR DE CRUDO CARGA JET FUEL PARA REDUCIR COSTOS OPERATIVOS EN LA PRODUCCION DE PRODUCTOS LIMPIOS EN LA REFINERIA DE LAGO AGRIO

a calendar sin que exista cambio de fase.

Recuperación de calor

Toda industria de refinacion de petroleo recupera calor del proceso, precalentando la materia prima (crudo) de acuerdo a diseño, ahorro y recuperación de energía, y a las mejoras en el proceso, en el caso de la refinería de Lago Agrio se agregaria 1 tren de calentamiento en serie, el crudo de alimentación a la columna atmosférica se precalienta con productos de destilación primaria ingresando por el lado de los tubos a los intercambiadores de calor crudo carga – jet fuel, crudo carga – diesel y crudo carga – crudo reducido.

La implementación de los trenes de precalentamiento en la refinacion, específicamente en el proceso de destilación reducen en promedio un 30 por ciento de los costos de producción en la obtencion de productos primarios, es por ello que se hace tan importante el aprovechamiento de las corrientes de productos obtenidos en las unidades de destilacion atmosférica. Actualmente la refinería de Lago Agrio desperdicia este calor en procesos de enfriamiento previo al almacenamiento de los productos haciendo necesario el uso de mas combustibles fósiles en los hornos para calentar el crudo carga.

Métodos de Transferencia de Calor

Los métodos o formas en que el calor puede ser transferido de la fuente al receptor son tres, sin embargo en muchas de las aplicaciones en la ingeniería son combinaciones de dos o tres; éstos son: conducción, convección y radiación.

OPTIMIZACION DEL SISTEMA DE PRECALENTAMIENTO DE CRUDO DE CARGA MEDIANTE EL APROVECHAMIENTO DEL CALOR RESUDUAL DE LOS PRODUCTOS OBTENIDOS DE LA UNIDAD NO CATALITICA MEDIANTE EL DISEÑO DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR DE CRUDO CARGA JET FUEL PARA REDUCIR COSTOS OPERATIVOS EN LA PRODUCCION DE PRODUCTOS LIMPIOS EN LA REFINERIA DE LAGO AGRIO



Figura 2. Termografía formas de transferencia de calor
Fuente: Universidad de Cantabria (2018)

Conducción

Siempre que exista un gradiente de temperatura en un medio sólido, el calor fluirá de la region de mayor temperatura a la de menor temperatura. La velocidad a la que el calor se transfiere por conducción es proporcional al gradient de temperatura por el area en la cual se transfiere el calor (Kreith, Manglik, & Bohn, 2012).

La conducción sucede en sólidos, líquidos y gases. En los gases y en los líquidos la conducción, se debe a las colisiones entre las moléculas durante su movimiento aleatorio. En los sólidos se debe a la combinación de vibraciones de las moléculas de una estructura y a la energía transportada por electrones libres.

$$Q = k^1 A \frac{\Delta T}{\Delta X} \quad [2]$$

OPTIMIZACION DEL SISTEMA DE PRECALENTAMIENTO DE CRUDO DE CARGA MEDIANTE EL APROVECHAMIENTO DEL CALOR RESIDUAL DE LOS PRODUCTOS OBTENIDOS DE LA UNIDAD NO CATALITICA MEDIANTE EL DISEÑO DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR DE CRUDO CARGA JET FUEL PARA REDUCIR COSTOS OPERATIVOS EN LA PRODUCCION DE PRODUCTOS LIMPIOS EN LA REFINERIA DE LAGO AGRIO

Donde:

k^l = Conductividad Térmica del material (BTU/h ft °F)

A= Área de transferencia de calor (ft²)

ΔT = Gradiente de temperatura (°F)

Δx = Espesor de la capa (ft)

Convección

Es la transferencia de energía entre una superficie sólida y un fluido adyacente que está en movimiento, e implica los efectos combinados de la conducción y el movimiento de un fluido, tanto mayor es el movimiento mayor es la transferencia de calor por convección (Yonus & Boles, 2009).

El modo de transferencia por convección es de dos tipos:

Convección Forzada. - Cuando un fluido es forzado a fluir en un tubo o sobre una superficie por un agitador mecánico o una diferencia de presión externamente impuesta (por un ventilador, una bomba o un compresor) que produce la transferencia (Intriago A. , 2014).

Convección Natural o libre.- Cuando el movimiento del fluido es provocado por fuerzas de flotación que son inducidas por diferencias de densidad entre el fluido caliente y el fluido frío, es decir, producto de la variación de la temperatura en el fluido (Intriago A. , 2014).

La transferencia de calor por convección se determina por la Ley de Enfriamiento de Newton, la cual se expresa como:

$$Q = h * A * (T_s - T_f) \quad [3]$$

Donde:

h = Coeficiente de transferencia de calor por convección (BTU/h ft² °F)

OPTIMIZACION DEL SISTEMA DE PRECALENTAMIENTO DE CRUDO DE CARGA MEDIANTE EL APROVECHAMIENTO DEL CALOR RESUDUAL DE LOS PRODUCTOS OBTENIDOS DE LA UNIDAD NO CATALITICA MEDIANTE EL DISEÑO DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR DE CRUDO CARGA JET FUEL PARA REDUCIR COSTOS OPERATIVOS EN LA PRODUCCION DE PRODUCTOS LIMPIOS EN LA REFINERIA DE LAGO AGRIO

A = Área de la superficie mediante la cual ocurre la transferencia térmica (ft^2)

T_s = Temperatura de la superficie ($^{\circ}\text{F}$)

T_f = Temperatura del fluido más allá de la superficie ($^{\circ}\text{F}$)

Radiación

Es la energía emitida por la materia mediante ondas electromagnéticas, como resultado de los cambios en las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas (Intriago A. , 2014).

Intercambiadores De Calor

En los sistemas mecánicos, químicos, nucleares y otros, ocurre que el calor debe ser transferido de un lugar a otro, o bien, de un fluido a otro. Los intercambiadores de calor son los dispositivos que permiten realizar dicha tarea (Jaramillo, 2007).

Los intercambiadores de calor son equipos que sirven para transferir calor entre dos corrientes en un proceso, desde una corriente fluida caliente a una corriente fluida fría, en donde la naturaleza de las fases presentes, puede estar en: gas-gas, gas-líquido, gas-sólido, líquido-líquido, líquido-sólido, sólido-sólido (Intriago A. , 2014).

En general existen tres tipos de intercambiadores de calor sin cambio de fase, los cuales son:

- Intercambiador de contacto directo sin almacenar calor.
- Intercambiador con almacenamiento de calor.
- Intercambiador a través de una pared sin almacenar calor.

Existen 2 tipos de intercambiadores de calor con cambio de fase, los cuales son:

- Condensadores.
- Vaporizadores o recalentadores.

Cada uno de estos grandes grupos se subdivide en otros de gran relevancia, de este gran grupo se determina que el más adecuado es el intercambiador de calor de carcasa y tubos por las

OPTIMIZACION DEL SISTEMA DE PRECALENTAMIENTO DE CRUDO DE CARGA MEDIANTE EL APROVECHAMIENTO DEL CALOR RESUDUAL DE LOS PRODUCTOS OBTENIDOS DE LA UNIDAD NO CATALITICA MEDIANTE EL DISEÑO DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR DE CRUDO CARGA JET FUEL PARA REDUCIR COSTOS OPERATIVOS EN LA PRODUCCION DE PRODUCTOS LIMPIOS EN LA REFINERIA DE LAGO AGRIO

siguientes razones:

Intercambiador de Calor de Carcasa y tubos

Dentro de la clasificación de intercambiadores de calor tenemos a los de carcasa y tubos que son intercambiadores a travez de una pared sin almacenar calor, como su nombre lo indica es un haz de tubos dentro de una carcasa cilíndrica donde un fluido pasa por el interior de los tubos y el otro fluido fluye por el exterior de los tubos, dentro de la coraza de tal manera que no se mezclen e intercambien calor (Intriago A. , 2014).

La configuración de tubos y carcasa es la construcción más básica y común de los intercambiadores de calor, debido a ser el sistema de tubos más empleado se le denomina intercambiador de tubos sin más, el fluido que circula por el interior de los tubos se denomina flujo interno y el fluido que circula por la carcasa flujo externo (Soutullo, 2012).

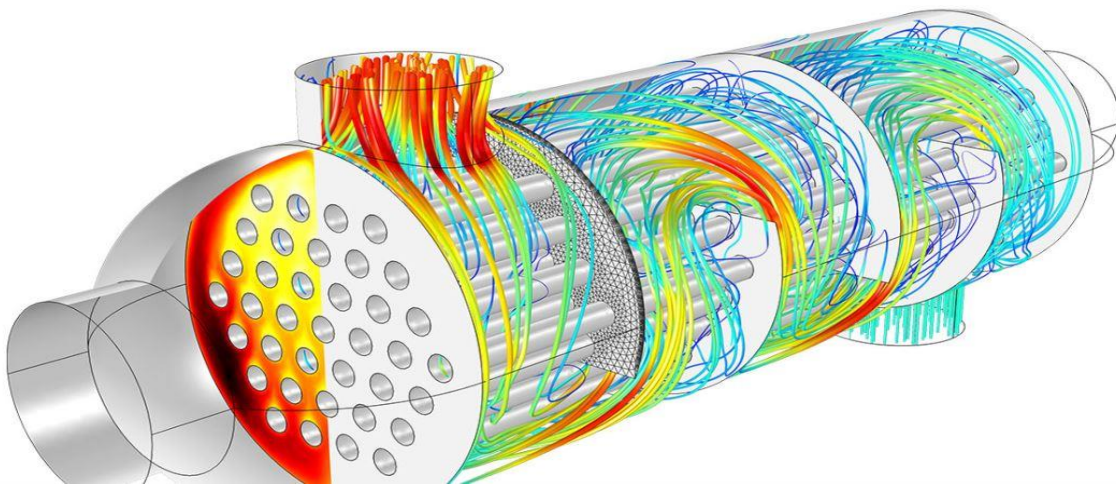


Figura 3. Intercambiador de calor de tubo y carcasa.
Fuente: Ingeniero Marino, 2012

En los extremos de los tubos, el fluido que circula por el interior de los tubos es separado del fluido que circula por la carcasa por las denominadas placas del tubo. En las partes intermedias se pueden apreciar unos separadores en forma de medialuna llamados deflectores cuya función es forzar la dirección del flujo y mejorar el intercambio de calor (Soutullo, 2012).

OPTIMIZACION DEL SISTEMA DE PRECALENTAMIENTO DE CRUDO DE CARGA MEDIANTE EL APROVECHAMIENTO DEL CALOR RESIDUAL DE LOS PRODUCTOS OBTENIDOS DE LA UNIDAD NO CATALITICA MEDIANTE EL DISEÑO DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR DE CRUDO CARGA JET FUEL PARA REDUCIR COSTOS OPERATIVOS EN LA PRODUCCION DE PRODUCTOS LIMPIOS EN LA REFINERIA DE LAGO AGRIO

Es el más utilizado en las refinerías y plantas químicas en general debido a que:

- ☐ Proporciona flujos de calor elevados en relación con su peso y volumen.
- ☐ Se utilizan principalmente para sistemas de líquido-líquido,
- ☐ Se emplea para procesos con flujos continuos.
- ☐ Es relativamente fácil de construir en una gran variedad de tamaños.
- ☐ Es bastante fácil de limpiar y de reparar.
- ☐ Es versátil y puede ser diseñado para cumplir prácticamente con cualquier aplicación.

El mecanismo para la transferencia de calor se da en forma combinada de la siguiente manera:

- ☐ Convección desde el fluido en el interior del tubo hasta las paredes del mismo.
- ☐ Conducción del interior al exterior del tubo
- ☐ Convección desde el exterior del tubo al fluido.

Clasificación de intercambiadores de carcasa y tubos según el conjunto de normas y estándares más habitual empleado por diseñadores, fabricantes y usuarios para la fabricación y el diseño de intercambiadores de calor TEMA.

OPTIMIZACION DEL SISTEMA DE PRECALENTAMIENTO DE CRUDO DE CARGA MEDIANTE EL APROVECHAMIENTO DEL CALOR RESUDUAL DE LOS PRODUCTOS OBTENIDOS DE LA UNIDAD NO CATALITICA MEDIANTE EL DISEÑO DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR DE CRUDO CARGA JET FUEL PARA REDUCIR COSTOS OPERATIVOS EN LA PRODUCCION DE PRODUCTOS LIMPIOS EN LA REFINERIA DE LAGO AGRIO

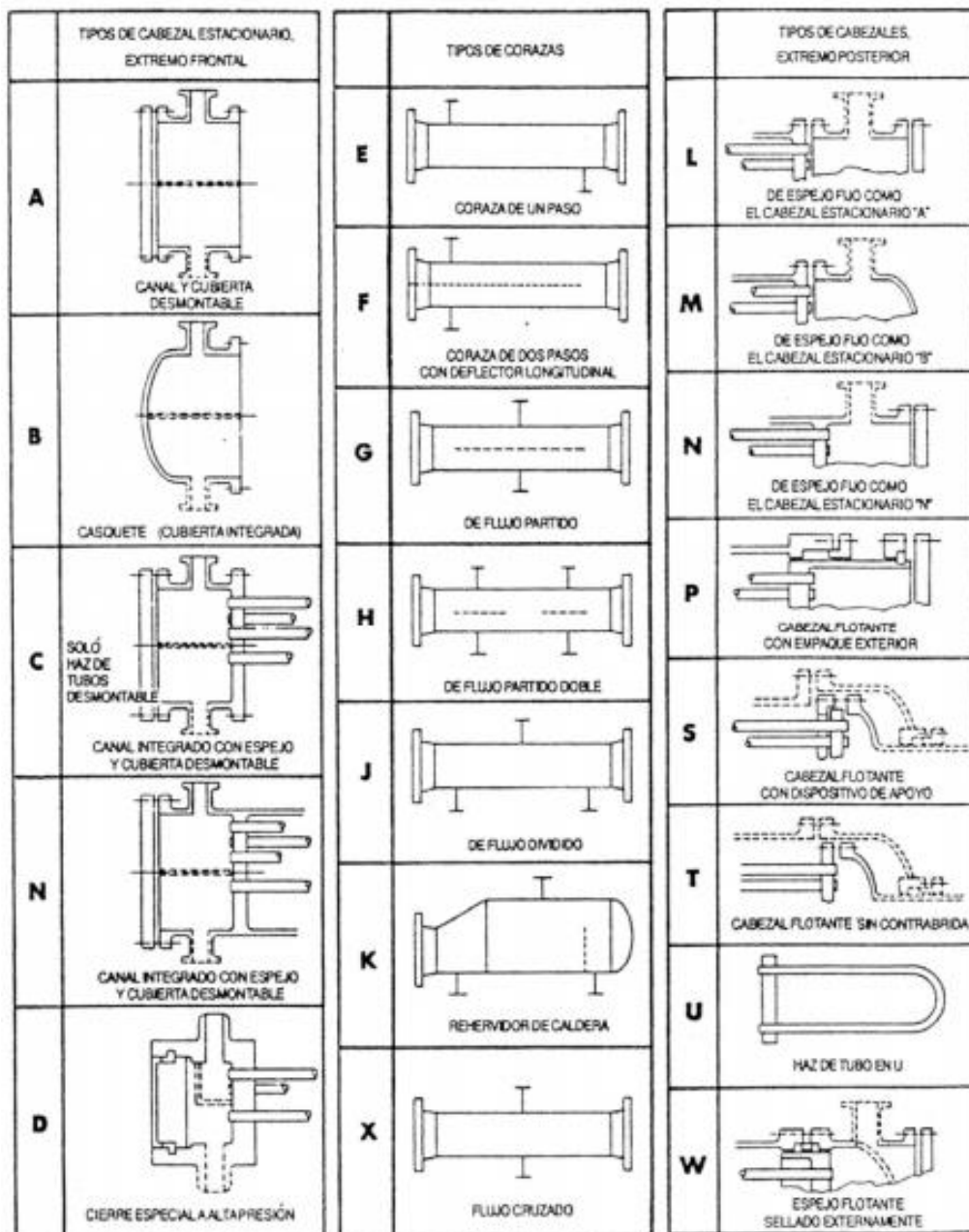


Figura 4. Clasificación intercambiadores carcasa y tubo según TEMA.
Fuente: (Standards of the tubular exchanger manufacturers association, 2018)

Partes de Intercambiador de carcasa y Tubos

En la figura 4, podemos observar las partes internas de un intercambiador de calor de tubo y carcasa, el diseño dependerá de la configuración estos pueden ser de uno o varios pasos por la coraza y uno o varios pasos por los tubos.

OPTIMIZACION DEL SISTEMA DE PRECALENTAMIENTO DE CRUDO DE CARGA MEDIANTE EL APROVECHAMIENTO DEL CALOR RESIDUAL DE LOS PRODUCTOS OBTENIDOS DE LA UNIDAD NO CATALITICA MEDIANTE EL DISEÑO DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR DE CRUDO CARGA JET FUEL PARA REDUCIR COSTOS OPERATIVOS EN LA PRODUCCION DE PRODUCTOS LIMPIOS EN LA REFINERIA DE LAGO AGRIO

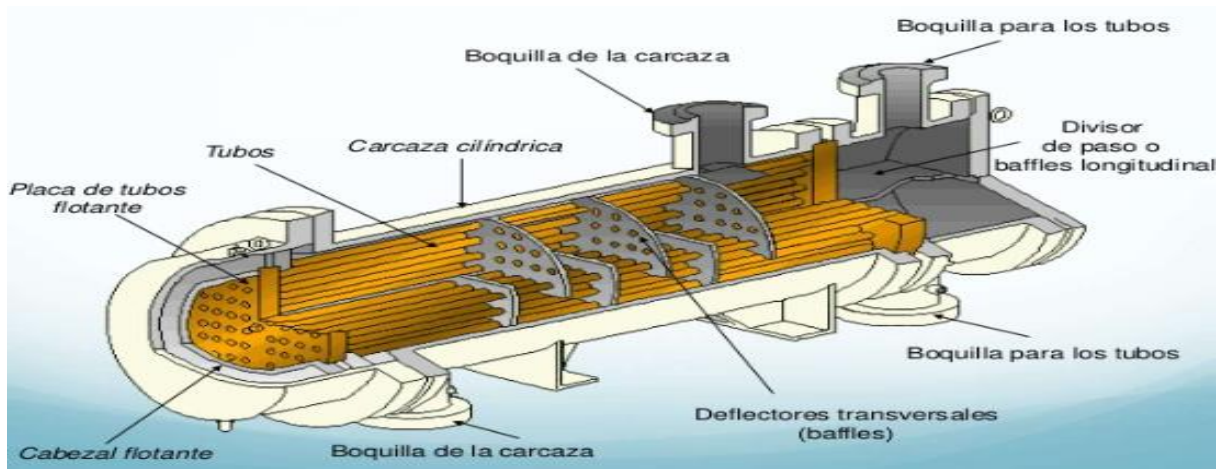


Figura 5. Partes de un intercambiador de calor de tubo y carcasa.
Fuente: (CAO Eduardo 1983)

Tubos para Intercambiadores de Calor

Proporcionan la superficie de transferencia de calor entre un fluido que fluye dentro de ellos y otro que fluye sobre su superficie externa, es decir la coraza. Pueden utilizarse tubos de diámetros que van desde $\frac{1}{4}$ in hasta 1,5 in (Holman, 1999). Sin embargo, casi todos los intercambiadores se construyen utilizando tubos de $\frac{3}{4}$ in o de 1 in. El largo de los tubos es definido por el diseñador. No resulta aconsejable la utilización de tubos de más de 6 m de longitud ya que la construcción del equipo se hace más dificultosa. La utilización de tubos excesivamente largos también dificulta las operaciones de limpieza (Tirenti, 2016).



Figura 6. Tubos para intercambiador de calor de tubo y carcasa.
Fuente: (Universidad de Cantabria, 2018)

OPTIMIZACION DEL SISTEMA DE PRECALENTAMIENTO DE CRUDO DE CARGA MEDIANTE EL APROVECHAMIENTO DEL CALOR RESUDUAL DE LOS PRODUCTOS OBTENIDOS DE LA UNIDAD NO CATALITICA MEDIANTE EL DISEÑO DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR DE CRUDO CARGA JET FUEL PARA REDUCIR COSTOS OPERATIVOS EN LA PRODUCCION DE PRODUCTOS LIMPIOS EN LA REFINERIA DE LAGO AGRIO

Carcasa

Es toda la parte externa del intercambiador que encierra el haz de tubos. Existen diversos tipos de coraza de un intercambiador de calor de casco y tubo según nos dice la norma TEMA los cuales se identifican con tres letras, el diámetro en pulgadas del casco y la longitud nominal de los tubos en pulgadas (Rojas, 2014).

La primera letra es la que nos indica el tipo del cabezal estacionario. Los de tipo A representan el canal y la cubierta desmontable y los de tipo B representan el casquete y son los más comunes. La segunda letra nos indica el tipo de casco o coraza, en estas se encuentra la más común que es la de tipo E que representa una coraza de un paso, la de tipo F es la representativa de dos pasos y es más complicada de mantener, los de tipos G, H y J se emplean para reducir las pérdidas de presión en la coraza, el K es el tipo de rehervidor de una caldera utilizado en la torre de fraccionamiento y el de tipo U (haz de tubos en U) es el más económico (Rojas, 2014).



Figura 7. Carcasa del intercambiador de calor.

Fuente: (Universidad de Cantabria, 2018)

Cabezal, Espejo o Placa

El haz tubular remata sus extremos en chapas perforadas llamadas placas tubulares, que sirven por una parte como elementos divisores entre el flujo del lado carcasa y el flujo del lado tubos

OPTIMIZACION DEL SISTEMA DE PRECALENTAMIENTO DE CRUDO DE CARGA MEDIANTE EL APROVECHAMIENTO DEL CALOR RESIDUAL DE LOS PRODUCTOS OBTENIDOS DE LA UNIDAD NO CATALITICA MEDIANTE EL DISEÑO DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR DE CRUDO CARGA JET FUEL PARA REDUCIR COSTOS OPERATIVOS EN LA PRODUCCION DE PRODUCTOS LIMPIOS EN LA REFINERIA DE LAGO AGRIO

y por otra parte como elementos de sujeción de los tubos (Tirenti, 2016).

Los tubos cruzan la placa tubular a través de sus perforaciones y sellan expansionados contra las placas tubulares o mediante una soldadura perimetral en los extremos de los tubos, para unirlos a las placas tubulares permanentemente (Tirenti, 2016).



Figura 8. Cabezal, Espejo o Placa del intercambiador de calor.
Fuente: (Arveng, 2018)

Arreglo

Es la disposición geométrica de los tubos en la placa. Un arreglo de tubos queda definido por su tipo de acuerdo al diámetro de los tubos y por el paso de los fluidos, así se tienen los siguientes tipos de arreglos:

Arreglo en cuadro @ (90°).- Se utilizan con flujo turbulento, cuando la limpieza mecánica es crítica. Son accesibles para limpieza externa, tienen pequeña caída de presión y el fluido de la carcasa debe ser sucio.

Arreglo en cuadro @ (45°).- Se utilizan con flujo laminar y la limpieza mecánica es crítica, por lo que el fluido de la carcasa debe ser sucio.

Arreglo en triángulo @ (30°).- Ideal para factores de incrustación inferiores a 0,002 ft² h

OPTIMIZACION DEL SISTEMA DE PRECALENTAMIENTO DE CRUDO DE CARGA MEDIANTE EL APROVECHAMIENTO DEL CALOR RESUDUAL DE LOS PRODUCTOS OBTENIDOS DE LA UNIDAD NO CATALITICA MEDIANTE EL DISEÑO DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR DE CRUDO CARGA JET FUEL PARA REDUCIR COSTOS OPERATIVOS EN LA PRODUCCION DE PRODUCTOS LIMPIOS EN LA REFINERIA DE LAGO AGRIO

°F/BTU en cualquier régimen de flujo.

Arreglo en Triángulo @ (60°).- Raramente se usa por las altas caídas de presión que genera.

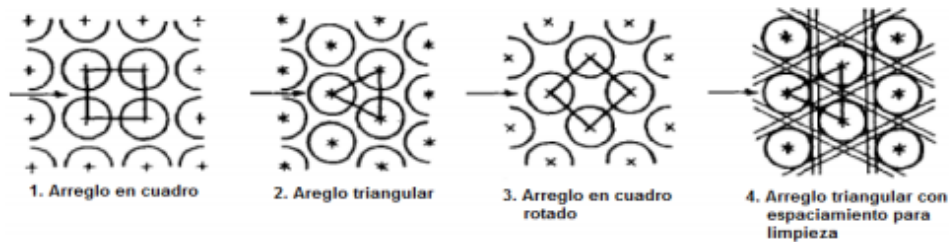


Figura 9. Disposición geométrica de los tubos en la placa

Fuente: (Burbano S, 2014)

Cabezal de distribución o estacionario

Elemento similar a la carcasa, cuya función es recibir el fluido que ha de circular por el interior de los tubos, distribuirlo y recolectarlo para enviarlo fuera de él (Tirenti, 2016).



Figura 10. Cabezal de distribución o estacionario.

Fuente: (Arveng, 2018)

Cabezal flotante

Está constituido por un cabezal que se fija a la placa tubular flotante por medio de pernos y un anillo dividido, teniendo como función retornar el fluido que circula por el interior de los tubos hacia el cabezal de distribución (Tirenti, 2016). Su construcción es compleja, demanda muchas horas de mecanizado y controles de calidad estrictos. No obstante lo anterior, debido al gran

OPTIMIZACION DEL SISTEMA DE PRECALENTAMIENTO DE CRUDO DE CARGA MEDIANTE EL APROVECHAMIENTO DEL CALOR RESIDUAL DE LOS PRODUCTOS OBTENIDOS DE LA UNIDAD NO CATALITICA MEDIANTE EL DISEÑO DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR DE CRUDO CARGA JET FUEL PARA REDUCIR COSTOS OPERATIVOS EN LA PRODUCCION DE PRODUCTOS LIMPIOS EN LA REFINERIA DE LAGO AGRIO

número de juntas en éste tipo de elemento suelen producirse fugas (Tirenti, 2016).

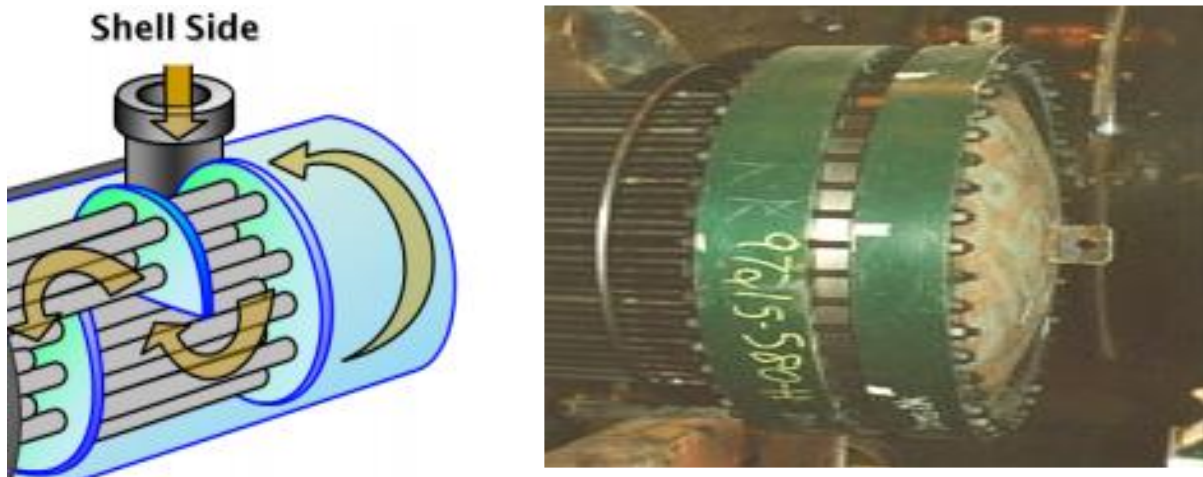


Figura 11. Cabezal flotante de intercambiador de calor de tubo y carcasa.
Fuente: (Arveng, 2018)

Espaciado de los Tubos

Los orificios de los tubos no pueden taladrarse muy cerca uno de otro, ya que una franja demasiado estrecha de metal entre los tubos adyacentes, debilita estructuralmente el cabezal de tubos. Se llama paso (P_T) o espaciado de los tubos a la distancia menor de centro a centro en tubos adyacentes (Intriago A. , 2014).

Los espaciados más comunes para arreglos cuadrados son de 3/4 in DE en un espaciado cuadrado de 1 in y de 1 in DE en un espaciado en cuadro de 1¼ in. Para arreglos triangulares éstos son, de 3/4 in DE en un espaciado triangular de 15/16 in, 3/4 in DE en un arreglo triangular de 1 in, y 1 in DE en un arreglo triangular 1% in. Si los tubos se separan suficientemente, es posible dejar los pasajes indicados para limpieza (Intriago A. , 2014).

OPTIMIZACION DEL SISTEMA DE PRECALENTAMIENTO DE CRUDO DE CARGA MEDIANTE EL APROVECHAMIENTO DEL CALOR RESUDUAL DE LOS PRODUCTOS OBTENIDOS DE LA UNIDAD NO CATALITICA MEDIANTE EL DISEÑO DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR DE CRUDO CARGA JET FUEL PARA REDUCIR COSTOS OPERATIVOS EN LA PRODUCCION DE PRODUCTOS LIMPIOS EN LA REFINERIA DE LAGO AGRIO

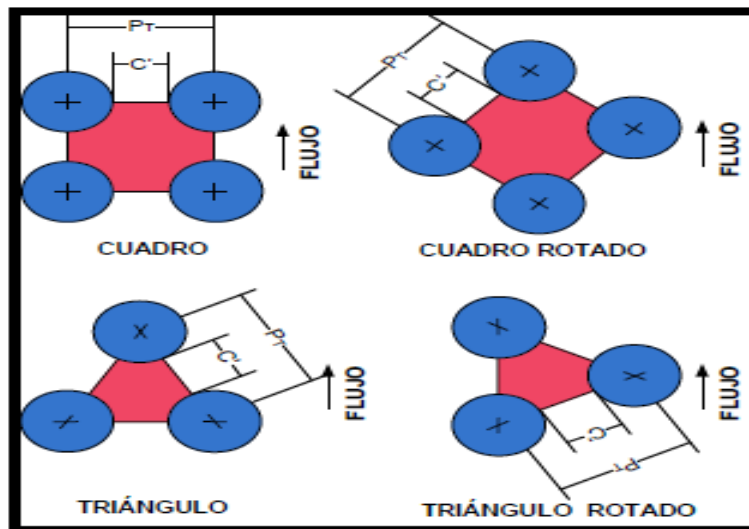


Figura 12. Espaciado de los tubos del intercambiador de calor de tubo y carcasa.
Fuente: (Arveng, 2018)

Deflectores

Es claro que se logran coeficientes de transmisión de calor más altos cuando el fluido se mantiene en estado de turbulencia. Para inducir turbulencia fuera del espacio de los tubos, es habitual emplear deflectores que hacen que el fluido circule a través de la coraza a ángulos rectos con el eje de los tubos. Esto causa considerable turbulencia aun cuando por la coraza fluya un caudal pequeño de fluido (Llangarí & Solís, 2012).

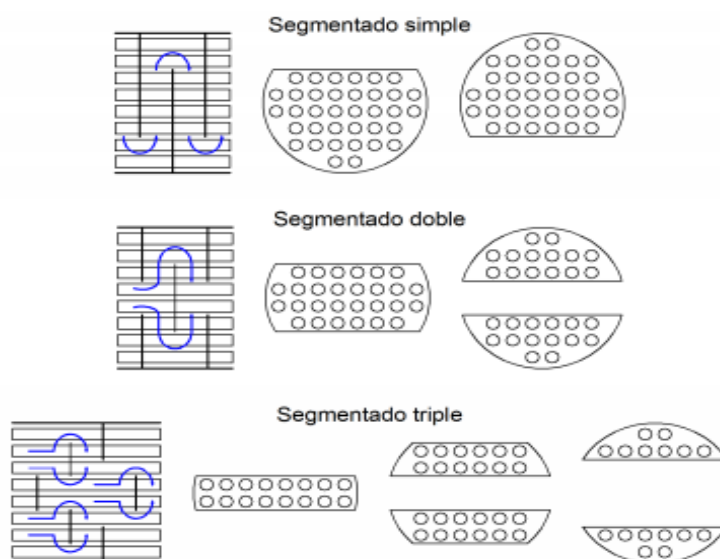


Figura 13. Tipos de deflectores de un intercambiador de calor de tubo y carcasa.
Fuente: (Llangarí & Solís, 2012)

OPTIMIZACION DEL SISTEMA DE PRECALENTAMIENTO DE CRUDO DE CARGA MEDIANTE EL APROVECHAMIENTO DEL CALOR RESUDUAL DE LOS PRODUCTOS OBTENIDOS DE LA UNIDAD NO CATALITICA MEDIANTE EL DISEÑO DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR DE CRUDO CARGA JET FUEL PARA REDUCIR COSTOS OPERATIVOS EN LA PRODUCCION DE PRODUCTOS LIMPIOS EN LA REFINERIA DE LAGO AGRIO

Existen de diferentes configuracione, la que utilizaremos es la configuración AES.

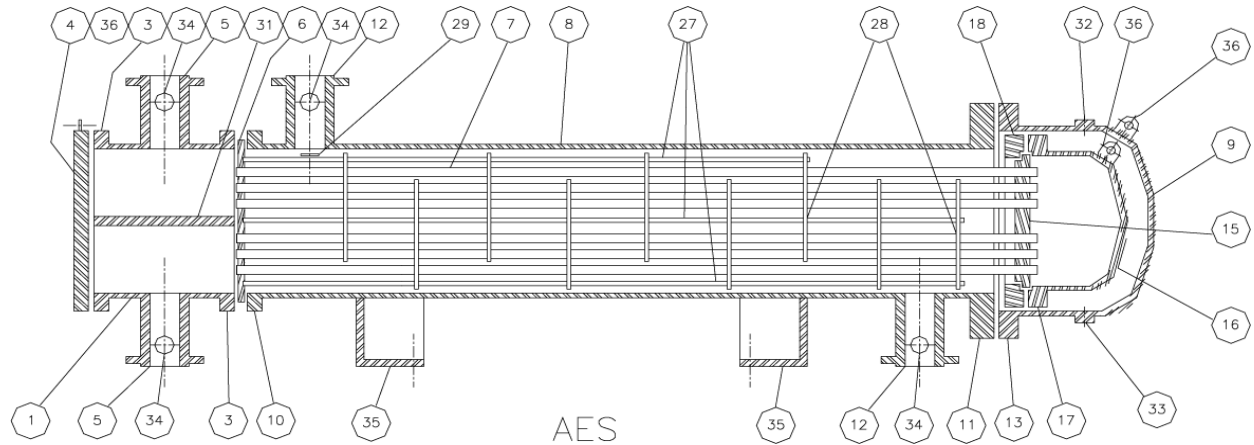


Figura 14. Diseño de intercambiador de calor según TEMA con una configuración AES.

Fuente: (Llangarí & Solís, 2012)

1. Cabezal de distribución o estacionario	20. Brida deslizable de apoyo
2. Cabezal de distribución o Bonete	21. Tapa del cabezal flotante
3. Brida del cabezal estacionario	22. Faldón del Cabezal Flotante
4. Tapa del cabezal de distribución	23. Caja de Empaquetadura
5. Conexión entrada cabezal	24. Empaquetadura
6. Placa Tubular fija o estacionaria	25. Contrabrida de la caja
7. Tubos de Transferencia	26. Anillo opresor
8. Carcasa o Envoltente	27. Varillas tensoras y espaciadores
9. Cabezal de la carcasa	28. Baffles Transversales
10. Brida de la carcasa a la placa tubular	29. Placa de Choque
11. Brida de la carcasa al cabezal	30. Baffle longitudinal
12. Conexión entrada carcasa	31. Placa de partición de pasos
13. Brida del cabezal de la carcasa	32. Brida de cuerpo carcasa
14. Junta de Expansión	33. Brida de cuerpo cabezal
15. Placa Tubular Flotante	34. Conexión para instrumentos
16. Cabezal de la placa tubular flotante	35. Silletas o cunas de soporte
17. Brida del cabezal flotante	36. Orejeta de Izado
18. Contrabrida cabezal flotante	37. Ménsula de soporte
19. Anillo Dividido	

OPTIMIZACION DEL SISTEMA DE PRECALENTAMIENTO DE CRUDO DE CARGA MEDIANTE EL APROVECHAMIENTO DEL CALOR RESUDUAL DE LOS PRODUCTOS OBTENIDOS DE LA UNIDAD NO CATALITICA MEDIANTE EL DISEÑO DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR DE CRUDO CARGA JET FUEL PARA REDUCIR COSTOS OPERATIVOS EN LA PRODUCCION DE PRODUCTOS LIMPIOS EN LA REFINERIA DE LAGO AGRIO

METODO

Método para el diseño y Evaluación de Intercambiadores de Calor de Tubo y Coraza

El método más empleado para la evaluación de los Intercambiadores calor de Tubo y Coraza es el Método de Kern, este método incluye cálculos como la temperatura media logarítmica, la Duty, los coeficientes de Transferencia de Calor tanto en el lado tubo como en el lado de la carcasa, Coeficiente Total Limpio, Coeficiente Total de Diseño o de lodos, el Factor de Ensuciamiento y las caídas de presión por ambos lados (Reyes, Moya, Cruz, Firvida, & Velázquez, 2014)

Consideraciones para el diseño de los intercambiadores de calor:

Ubicación de fluidos.

El Jet Fuel y el Diesel no son corrosivos, pero el petróleo crudo puede serlo. Sin embargo, a la baja temperatura de la corriente de crudo carga en esta aplicación, la corrosión no debe ser un problema siempre que el crudo se haya desalado (ARCENTALES, 2015).

El crudo carga debe colocarse en los tubos debido a su tendencia de ensuciamiento y ser la corriente con mayor presión. Además, el JP1 y el diésel deben colocarse en la coraza debido a su alta temperatura y a su baja tasa de ensuciamiento no despreciable en el tiempo.

Factores de ensuciamiento.

El factor de ensuciamiento recomendado para el crudo es de $0.005 \text{ ft}^2\text{F/btu h}$ mientras que para el Jet Fuel y el diésel es de $0.001 \text{ ft}^2\text{F/btu h}$ (Intriago A. , 2014), lo que indica un potencial de ensuciamiento significativo. Por lo tanto, se seleccionarán intercambiadores que permitan la limpieza mecánica de las superficies de los tubos exteriores e interiores. Además, la placa de tubos en los cabezales flotantes permitirá la expansión térmica diferencial debido a una diferencia considerable de temperatura entre las dos corrientes (Intriago A. , 2014).

OPTIMIZACION DEL SISTEMA DE PRECALENTAMIENTO DE CRUDO DE CARGA MEDIANTE EL APROVECHAMIENTO DEL CALOR RESUDUAL DE LOS PRODUCTOS OBTENIDOS DE LA UNIDAD NO CATALITICA MEDIANTE EL DISEÑO DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR DE CRUDO CARGA JET FUEL PARA REDUCIR COSTOS OPERATIVOS EN LA PRODUCCION DE PRODUCTOS LIMPIOS EN LA REFINERIA DE LAGO AGRIO

Disposición de flujos.

En una unidad donde el fluido caliente está en el lado de la carcasa, se debe comprender la relación entre la temperatura de la pared y la tasa de incrustaciones. El aumento de temperatura en el crudo carga y por ende en la pared del tubo, hará que la tasa de incrustaciones aumente, entonces se debe elegir una disposición de paso que minimice la temperatura de la pared. Por lo tanto, la mejor disposición es para el paso en contraflujo hacia el fluido del lado de la carcasa (ARCENTALES, 2015).

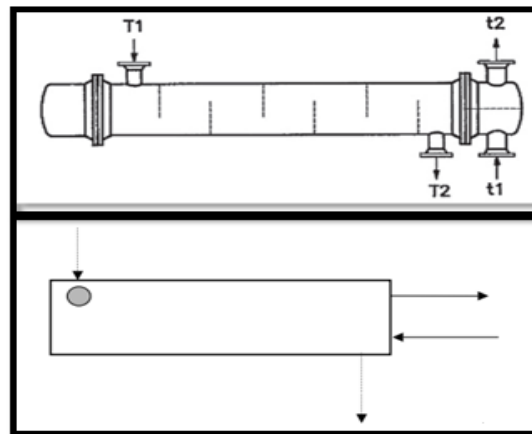


Figura 15. Disposición del intercambiador en contraflujo hacia el fluido del lado de la carcasa..

Fuente: (Llangarí & Solís, 2012)

Materiales de construcción

Debido a la resistencia, su conductividad térmica y la baja tendencia corrosiva de los fluidos del proceso se utilizarán el acero al carbón para tubos, carcasa y otros componentes.

Propiedades de los fluidos y parámetros operativos de la refinería de Lago Agrio.

A continuación, se detallan las propiedades fisicoquímicas del crudo carga y jet fuel, que se tienen de los reportes realizados en laboratorios y los reportes que se entregan en refinería y a sus agencias de control, también las propiedades físicas del material a utilizarse en el diseño del intercambiador de carcasa y tubos, siendo este del tipo acero al carbón

OPTIMIZACION DEL SISTEMA DE PRECALENTAMIENTO DE CRUDO DE CARGA MEDIANTE EL APROVECHAMIENTO DEL CALOR RESUDUAL DE LOS PRODUCTOS OBTENIDOS DE LA UNIDAD NO CATALITICA MEDIANTE EL DISEÑO DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR DE CRUDO CARGA JET FUEL PARA REDUCIR COSTOS OPERATIVOS EN LA PRODUCCION DE PRODUCTOS LIMPIOS EN LA REFINERIA DE LAGO AGRIO

Tabla 1

Reporte mensual promedio de operaciones del año 2020

REPORTE MENSUAL PROMEDIO DE OPERACIONES DEL AÑO 2020							
MESES	P, (psi)		T, (°F) NUEVO IC-CC/JP1		T, (°F) IC PRINCIPAL		HORNO, T (°F)
	CC	D	CC	JP1	CR	CR	CC
	Entrada	Entrada	Entrada	Entrada	Entrada	Salida	Salida
ENERO	114	78	81	342	368	257	680
FEBRERO	116	78	78	349	355	255	681
MARZO	112	78	83	352	367	263	680
ABRIL	114	78	77	358	363	256	682
MAYO	115	80	80	348	365	259	680
JUNIO	118	80	80	348	343	264	681
Promedios	115	80	80	350	360	259	680

Fuente: (Petroamazonas EP., 2020)

Tabla 2

Reporte mensual promedio de productos obtenidos del año 2020

Meses de producción	BPD, barril/día del primer semestre 2020		
	Crudo Carga	Jet Fuel	Gasolina
Enero	890	120	100
Febrero	900	119	100
Marzo	905	119	90
Abril	901	120	100
Mayo	906	120	100
Junio	895	120	100
Promedio	900	120	98

Fuente: (Petroamazonas EP., 2020)

Tabla 3

Reporte mensual promedio de análisis de crudo carga del año 2020

REPORTE PROMEDIO: CRUDO CARGA 2020			
Parámetros	unidades	Método	DATO
T			
Temperatura obs	°F	ASTM D1298-12b(2017)	80.0
API 60/60°F	°API	ASTM D1298-12b(2017)	29.4
Viscosidad 80°F	cSt(mm ² /s)	ASTM D445-18	16.4
Viscosidad 113°F	cSt(mm ² /s)	ASTM D445-18	9.74
Gravedad 60/60°F	kg/m ³	ASTM D1298-12b(2017)	879.4
Kuop	-	UOP375	11.00

Fuente: (Petroamazonas EP., 2020)

OPTIMIZACION DEL SISTEMA DE PRECALENTAMIENTO DE CRUDO DE CARGA MEDIANTE EL APROVECHAMIENTO DEL CALOR RESUDUAL DE LOS PRODUCTOS OBTENIDOS DE LA UNIDAD NO CATALITICA MEDIANTE EL DISEÑO DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR DE CRUDO CARGA JET FUEL PARA REDUCIR COSTOS OPERATIVOS EN LA PRODUCCION DE PRODUCTOS LIMPIOS EN LA REFINERIA DE LAGO AGRIO

Tabla 4

Propiedades promedio de los ensayos para el Jet Fuel

REPORTE PROMEDIO: JET FUEL 2020			
Parámetros	unidades	Método	DATO
Curva de destilación		ASTM D-86	
PI	°C		181.6
10%	°C		226.2
50%	°C		284.2
90%	°C		310.2
PF	°C		350.0
Viscosidad Cinemática 40°C	cSt	NTE INEN 810	2.0
Gravedad especifica 60/60°F	g/cm ³	Calculado	0.8017
gravedad API 60/60°F		ASTM D-1298	45
Kuop	-	Curva D-86 y °API 60/60°F	12.01

Fuente: (Petroamazonas EP., 2020)

Tabla 5

Propiedades a las temperaturas medias, para fluidos del intercambiador IC-CC/JP1

Ubicación			CARCASA	TUBOS
Fluido			Jet Fuel (fluido caliente)	Crudo Carga (fluido frío)
Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor	
Flujo másico	M	lb/hora	1400	11538
Densidad	ρ_c / ρ_t	lb/ft ³	50.05	54.90
Calor específico	C_{p_c} / C_{p_t}	BTU/lb.°F	0.5776	0.5039
Viscosidad	μ_c / μ_t	Lb/ft-h	3.87	31.06
Conductividad térmica de fluidos	k_c / k_t	BTU/h ft °F	0.0627	0.0701

Fuente: (Petroamazonas EP., 2020)

Diseño térmico del intercambiador de calor Crudo Carga – Jet Fuel

Cálculo del calor transferido

Los balances térmicos expresan el calor transferido del fluido caliente al frío en todo el intercambiador de la siguiente manera:

$$Q = \dot{m}_c * C_{p_c} * (T_1 - T_2) \quad [4]$$

Donde:

$\dot{m}_c$ = Caudal [Lb/s]

C_p = Calor específico [BTU/h lb °F]

OPTIMIZACION DEL SISTEMA DE PRECALENTAMIENTO DE CRUDO DE CARGA MEDIANTE EL APROVECHAMIENTO DEL CALOR RESUDUAL DE LOS PRODUCTOS OBTENIDOS DE LA UNIDAD NO CATALITICA MEDIANTE EL DISEÑO DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR DE CRUDO CARGA JET FUEL PARA REDUCIR COSTOS OPERATIVOS EN LA PRODUCCION DE PRODUCTOS LIMPIOS EN LA REFINERIA DE LAGO AGRIO

T1= Temperatura de entrada [°F]

T2= Temperatura de salida [°F]

Esta expresión supone que no hay cambios de fase, y que no hay intercambios con otros medios (pérdidas de calor). Las diferencias de temperatura representan el aumento o disminución de temperatura de cada fluido al pasar por el intercambiador.

Para determinar el calor total transferido en el intercambiador utilizamos la ecuación de diseño.

$$Q = U * A * \Delta T_{ML} \quad [5]$$

Donde:

U = Coeficiente global de transferencia de calor BTU/h ft °F

A = Area de transferencia de calor ft²

ΔT_{ML} = Temperatura media logarítmica °F

Cálculo de la diferencia media logarítmica de temperaturas.

Debido a que el diferencial de temperatura no es constante a lo largo del intercambiador de calor, encontramos la temperatura media logarítmica la cual es la diferencia de temperatura representativa.

$$DT_{ML} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}} = \frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{\ln \frac{T_1 - t_2}{T_2 - t_1}} \quad [6]$$

Donde:

ΔT_1 = Diferencial de temperatura a la entrada del intercambiador [°F]

ΔT_2 = Diferencial de temperatura a la salida del intercambiador [°F]

Cálculo de la diferencia media de temperaturas corregida (DTMLC)

Como se menciona la diferencia de temperatura media logarítmica no se puede aplicar a

OPTIMIZACION DEL SISTEMA DE PRECALENTAMIENTO DE CRUDO DE CARGA MEDIANTE EL APROVECHAMIENTO DEL CALOR RESIDUAL DE LOS PRODUCTOS OBTENIDOS DE LA UNIDAD NO CATALITICA MEDIANTE EL DISEÑO DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR DE CRUDO CARGA JET FUEL PARA REDUCIR COSTOS OPERATIVOS EN LA PRODUCCION DE PRODUCTOS LIMPIOS EN LA REFINERIA DE LAGO AGRIO

intercambiadores de calor de múltiple paso y de flujo cruzado. El parámetro de temperatura F, es la real o diferencia de temperatura media efectiva y está relacionada a la diferencia de temperatura media logarítmica corregida por la efectividad del lado frio (P) y por la razón de capacidades térmicas (R).

$$P = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - t_1} \quad [4] \quad R = \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1} \quad [7]$$

Donde:

T1= Temperatura de entrada lado coraza

T2= Temperatura de salida lado coraza

t1= Temperatura de entrada lado tubos

t2= Temperatura de salida lado tubos

Cálculo del factor de corrección F de la DTML

El factor de corrección se lo puede obtener tanto de forma analítica como en tablas con los valores de P y T calculados anteriormente.

$$F = \frac{\sqrt{R^2 + 1} \ln \left(\frac{1 - P}{1 - PR} \right)}{(R - 1) \ln \left[\frac{2 - P(R + 1 - \sqrt{R^2 + 1})}{2 - P(R + 1 + \sqrt{R^2 + 1})} \right]} \quad [8]$$

Donde:

R²= Razon de capacidades térmicas

P= Coeficiente de efectividad

Cálculo de la temperatura media logarítmica corregida

$$DTMLC = \Delta TML * F \quad [9]$$

OPTIMIZACION DEL SISTEMA DE PRECALENTAMIENTO DE CRUDO DE CARGA MEDIANTE EL APROVECHAMIENTO DEL CALOR RESUDUAL DE LOS PRODUCTOS OBTENIDOS DE LA UNIDAD NO CATALITICA MEDIANTE EL DISEÑO DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR DE CRUDO CARGA JET FUEL PARA REDUCIR COSTOS OPERATIVOS EN LA PRODUCCION DE PRODUCTOS LIMPIOS EN LA REFINERIA DE LAGO AGRIO

Donde:

ΔTML = Diferencia de la temperatura media logarítmica [°F].

F = Factor de corrección.

Estimación de coeficiente de transferencia de calor U_d

Para un intercambiador con fluidos crudo – Kerosen los coeficientes varían entre 10 Btu/h ft² °F a 35 Btu/h ft² °F (anexo B). Para nuestro diseño térmico tomamos el valor de 12 Btu/h ft² °F, posteriormente se corregirá este coeficiente conforme el diseño.

Calculo de area de tranferencia de calor y numero de tubos

Para el cálculo del área de transferencia de calor y número de tubos utilizamos el coeficiente de transferencia de calor asumido 15 Btu/h ft² °F.

$$A = \left(\frac{q}{U_d * \Delta TLM * F} \right) \quad [10]$$

Donde:

U_d = Coeficiente de transferencia de calor asumido [Btu/h ft² °F]

q = Calor transferido [Btu/h]

ΔTML = Diferencia de la temperatura media logarítmica [°F].

F = Factor de corrección.

Calculo de número de tubos

Para nuestro calculo del numero de tubos se debe considerar el espacio disponible en la refineria para la implementación, se recomienda que el largo de los tubos sea igual a la mitad del espacio disponible, con el fin de facilitar la instalación y limpieza del haz de tubos.

$$nt = \frac{A}{\pi D_o L} \quad [11]$$

OPTIMIZACION DEL SISTEMA DE PRECALENTAMIENTO DE CRUDO DE CARGA MEDIANTE EL APROVECHAMIENTO DEL CALOR RESUDUAL DE LOS PRODUCTOS OBTENIDOS DE LA UNIDAD NO CATALITICA MEDIANTE EL DISEÑO DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR DE CRUDO CARGA JET FUEL PARA REDUCIR COSTOS OPERATIVOS EN LA PRODUCCION DE PRODUCTOS LIMPIOS EN LA REFINERIA DE LAGO AGRIO

Donde:

A = Area de transferencia [Ft²]

Do = Diametro externo de los tubos [Ft]

L = Longitud de los tubos [Ft]

Calculo de número de pasos por los tubos

Con el fin de incrementar el coeficiente hii de transferencia del lado tubos, se procura tener la velocidad más alta posible, para lo cual se usa el mayor número de tubos posible con el menor diámetro interno posible esto dependiendo del tipo de fluido que tengamos en el lado tubos, si es un fluido con un coeficiente de ensuciamiento alto no se recomienda utilizar diámetros menores a 1 pulgada además se debe tener en cuenta la limitación por la caída de presión. Esta última se incrementa al aumentar el número de tubos ya que este incremento involucra una reducción en el diámetro de los tubos.

Primero calculamos el numero de Reynolds, para mejorar la eficiencia del intercambio se requiere que el flujo sea lo mas turbulento posible pero a la vez que no tapone los tubos en fluidos con coeficientes de ensuciamiento altos para ello se utilizarán tubos de 1 de pulgada.

$$Re = \frac{4 \text{ mt } (\frac{np}{nt})}{\pi Di \mu} \quad [12]$$

Donde:

mt = Flujo masico de fluido por los tubos [lb/h]

np= Numero de pasos por los tubos

nt= numero de tubos calculados

Di= Diametro interno del tubos [ft]

μ = Viscosiad de fluido lado tubos [lb/ft h]

OPTIMIZACION DEL SISTEMA DE PRECALENTAMIENTO DE CRUDO DE CARGA MEDIANTE EL APROVECHAMIENTO DEL CALOR RESIDUAL DE LOS PRODUCTOS OBTENIDOS DE LA UNIDAD NO CATALITICA MEDIANTE EL DISEÑO DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR DE CRUDO CARGA JET FUEL PARA REDUCIR COSTOS OPERATIVOS EN LA PRODUCCION DE PRODUCTOS LIMPIOS EN LA REFINERIA DE LAGO AGRIO

Cálculo de la velocidad de fluido por los tubos

Para el cálculo de la velocidad de fluido por los tubos utilizamos la densidad del crudo carga y el número de pasos estimados en el cálculo del número de Reynolds. Los valores recomendados de la velocidad del fluido por los tubo es entre 2 – 10 ft/s (ARCENALES, 2015).

$$V = \frac{4 \text{ mt} \left(\frac{np}{nt} \right)}{\pi \rho (Di)^2} \quad [13]$$

Donde:

mt = Flujo masico de fluido por los tubos [lb/h]

np= Numero de pasos por los tubos

nt= numero de tubos calculados

Di= Diametro interno del tubos [ft]

μ = Viscosiad de fluido lado tubos [lb/ft h]

Determinación del tamaño de la coraza y el número de tubos actuales

Estos valores seran determinados mediante tablas (anexo E) ajustando a los calculos obtenidos analiticamente con el diametro y numero de tubos.

Cálculo de coeficiente global requerido

Con la determinación del tamaño de la coraza y el número de tubos procedemos a realizar el cálculo del coeficiente global requerido para el diseño.

$$U_{req} = \left(\frac{q}{nt \pi Do L F \Delta TLM} \right) \quad [14]$$

Donde:

q = Calor transferido [Btu/h]

Do = Diámetro externo de los tubos [ft]

L= Longitud de los tubos [ft]

OPTIMIZACION DEL SISTEMA DE PRECALENTAMIENTO DE CRUDO DE CARGA MEDIANTE EL APROVECHAMIENTO DEL CALOR RESUDUAL DE LOS PRODUCTOS OBTENIDOS DE LA UNIDAD NO CATALITICA MEDIANTE EL DISEÑO DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR DE CRUDO CARGA JET FUEL PARA REDUCIR COSTOS OPERATIVOS EN LA PRODUCCION DE PRODUCTOS LIMPIOS EN LA REFINERIA DE LAGO AGRIO

ΔTML = Diferencia de la temperatura media logarítmica [°F].

F = Factor de corrección.

nt= numero de tubos calculados

Calculo del coeficiente de transmisión de calor del lado tubos (hi)

Para este cálculo asumimos el factor de corrección de viscosidad igual a 1.

$$h_{ii} = \left(\frac{k}{D_i} \right) * 0.023 * Re^{0.8} * Pr^{0.33} * \left(\frac{\mu}{\mu_p} \right)^{0.14} \quad [15]$$

Donde:

k= conductividad del fluido [Btu/h ft °F]

D_i = Diámetro interno de los tubos [ft]

Re = Numero de reynolds para fluido lado tubo

Pr = Numero de prandtl

μ = Viscosidad del fluido a temperatura de de trabajo [lb/ h ft]

μ_p = Viscosidad del fluido a temperatura de la pared de carcaza [lb/ h ft]

Calculo del número de Prandtl

Para el cálculo del número de Prandtl utilizamos el calor específico del crudo carga y su conductividad térmica.

$$Pr = \frac{C_p * \mu}{k} \quad [16]$$

Donde:

μ = Viscosidad del fluido a temperatura de de trabajo [lb/ h ft]

C_p = Capacidad calorífica [btu/lb °F]

k = Conductividad térmica del material [btu/h ft °F]

OPTIMIZACION DEL SISTEMA DE PRECALENTAMIENTO DE CRUDO DE CARGA MEDIANTE EL APROVECHAMIENTO DEL CALOR RESUDUAL DE LOS PRODUCTOS OBTENIDOS DE LA UNIDAD NO CATALITICA MEDIANTE EL DISEÑO DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR DE CRUDO CARGA JET FUEL PARA REDUCIR COSTOS OPERATIVOS EN LA PRODUCCION DE PRODUCTOS LIMPIOS EN LA REFINERIA DE LAGO AGRIO

Calculo del coeficiente de transmisión de calor del lado coraza (ho)

Para este cálculo asumimos el factor de corrección de viscosidad igual a 1 debido a que no sabemos aun la temperatura de pared.

$$ho_i = JH \left(\frac{k}{De} \right) * Pr^{0.33} * \left(\frac{\mu}{\mu_p} \right)^{0.14} \quad [17]$$

Donde:

JH = Factor de colburn

K = Conductividad térmica del fluido [btu/h ft °F]

De = Diámetro exterior [ft]

Pr = Número de Pranktl

μ_p = Viscosidad del fluido a temperatura de la pared de carcaza [lb/ h ft]

Cálculo del área de la coraza

Para encontrar el coeficiente de transmisión de calor del lado coraza debemos partir por encontrar el área de la coraza.

$$As = \frac{ds C' B}{144 PT} \quad [18]$$

Donde:

B= Espacio entre baffles [in]

ds = Diámetro interno de la coraza [in]

As= Área de la coraza [ft²]

C'= Espacio entre tubos [in]

Pt = Pitch o espacio entre centro de tubos [in]

$$B = 0.17 * ds \quad [19]$$

$$C' = Pt - Do \quad [20]$$

OPTIMIZACION DEL SISTEMA DE PRECALENTAMIENTO DE CRUDO DE CARGA MEDIANTE EL APROVECHAMIENTO DEL CALOR RESIDUAL DE LOS PRODUCTOS OBTENIDOS DE LA UNIDAD NO CATALITICA MEDIANTE EL DISEÑO DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR DE CRUDO CARGA JET FUEL PARA REDUCIR COSTOS OPERATIVOS EN LA PRODUCCION DE PRODUCTOS LIMPIOS EN LA REFINERIA DE LAGO AGRIO

Cálculo del flujo másico por área superficial

Para este cálculo utilizamos el flujo masico del lado coraza que corresponde al Jet Fuel.

$$G = \frac{m}{As} \quad [21]$$

Donde:

m = Flujo masico del lado coraza [lb/h]

As = Area de la coraza [ft]

Cálculo del número de Reynolds.

Para este cálculo utilizamos la viscosidad del fluido lado coraza.

$$Re = \frac{De G}{\mu} \quad [22]$$

Donde:

De = Diámetro externo de los tubos [ft]

G = Flujo másico por área superficial [lb/ h ft²]

μ = Viscosidad del fluido [lb/ft h]

Calculo del factor de colburn, JH

$$JH = 0.5 \left(1 + \frac{B}{ds} \right) (0.08 Re^{0.6821} + Re^{0.1772}) \quad [23]$$

Donde:

B= Espacio entre baffles [in]

ds = Diámetro interno de la coraza [in]

Re = Número de Reynolds

Calculo de Coeficiente Global Limpio, UC

Para determinar si es correcto este coeficiente debe ser mayor al coeficiente de transferencia de calor requerido.

OPTIMIZACION DEL SISTEMA DE PRECALENTAMIENTO DE CRUDO DE CARGA MEDIANTE EL APROVECHAMIENTO DEL CALOR RESUDUAL DE LOS PRODUCTOS OBTENIDOS DE LA UNIDAD NO CATALITICA MEDIANTE EL DISEÑO DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR DE CRUDO CARGA JET FUEL PARA REDUCIR COSTOS OPERATIVOS EN LA PRODUCCION DE PRODUCTOS LIMPIOS EN LA REFINERIA DE LAGO AGRIO

$$UC = \left[\frac{Do}{hi Di} + \frac{Do \ln \left(\frac{Do}{Di} \right)}{2 k tubo} + \frac{1}{ho} \right]^{-1} \quad [24]$$

Donde:

Do = Diametro exterior de los tubos [ft]

hi = Coeficiente de transmisión de calor lado tubo [btu/h ft² °F]

Di = Diametro interior de los tubos [ft]

k = Conductividad térmica del material [btu/h ft °F]

ho = Coeficiente de transmisión de calor lado carcaza [btu/h ft² °F]

Cálculo de la temperatura de la pared del tubo

Como el fluido de la carcasa es el caliente; entonces se utilizan las siguientes ecuaciones para el cálculo de la temperatura de la pared. Los cálculos se realizan con los valores de los coeficientes individuales tanto de los tubos como de la carcasa.

$$T_p = \frac{h_o T + h_i t}{h_o + h_i} \quad [25]$$

Donde:

ho = Coeficiente lado carcaza

hi = Coeficiente lado tubo

T = Temperatura media del fluido en la carcaza

t = Temperatura media del fluido en los tubos

Cálculo del factor de ensuciamiento del sistema, RD

Para el calculo del factor de ensuciamiento tenemos el factor de ensuciamiento del crudo carga 0.005 h ft² °F/Btu y del Keroseno 0.001 h ft² °F/Btu.

$$RD = \frac{RD_i Do}{Di} + RD_o \quad [26]$$

OPTIMIZACION DEL SISTEMA DE PRECALENTAMIENTO DE CRUDO DE CARGA MEDIANTE EL APROVECHAMIENTO DEL CALOR RESUDUAL DE LOS PRODUCTOS OBTENIDOS DE LA UNIDAD NO CATALITICA MEDIANTE EL DISEÑO DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR DE CRUDO CARGA JET FUEL PARA REDUCIR COSTOS OPERATIVOS EN LA PRODUCCION DE PRODUCTOS LIMPIOS EN LA REFINERIA DE LAGO AGRIO

Donde:

RD_i = Factor de ensuciamiento del keroseno [h ft² °F/Btu.]

RD_o= Factor de ensuciamiento del crudo carga [h ft² °F/Btu.]

Calculo de Coeficiente Global con ensuciamiento, UD

$$UC = \left[\frac{Do}{hi Di} + \frac{Do \ln \left(\frac{Do}{Di} \right)}{2 k tubo} + \frac{1}{ho} + RD \right]^{-1} \quad [27]$$

Donde:

Do = Diametro exterior de los tubos [ft]

hi = Coeficiente de transmisión de calor lado tubo [btu/h ft² °F]

Di = Diametro interior de los tubos [ft]

k = Conductividad térmica del material [btu/h ft °F]

ho = Coeficiente de transmisión de calor lado carcaza [btu/h ft² °F]

RD = Factor de ensuciamiento del sistema [h ft² °F/Btu.]

OPTIMIZACION DEL SISTEMA DE PRECALENTAMIENTO DE CRUDO DE CARGA MEDIANTE EL APROVECHAMIENTO DEL CALOR RESUDUAL DE LOS PRODUCTOS OBTENIDOS DE LA UNIDAD NO CATALITICA MEDIANTE EL DISEÑO DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR DE CRUDO CARGA JET FUEL PARA REDUCIR COSTOS OPERATIVOS EN LA PRODUCCION DE PRODUCTOS LIMPIOS EN LA REFINERIA DE LAGO AGRIO

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de los resultados del Dimensionamiento termico

Tabla 6

Resumen del diseño térmico

Resumen del diseño térmico		
Q (Transferencia de calor)	177901	Btu / h
Factor de corrección ΔTLM	0.85	-----
ΔTLM Corregido	100	°F
Area de transferencia de calor	176	ft ²
Numero de tubos	44	Tubos
Diámetro de la coraza	12	in
Longitud del tubo	16	ft
Velocidad del lado tubos	3	ft/s
Diámetro externo del tubo	1	in
U requerido	9.63	Btu/h ft ² °F
Pitch	1.25	in
Hi	40.82	Btu/h ft ² °F
Ho	16.56	Btu/h ft ² °F
UC	10.86	Btu/h ft ² °F
RD	0.007	h ft ² °F/Btu
UD	10.10	Btu/h ft ² °F

Fuente: Autor.

Tabla 7

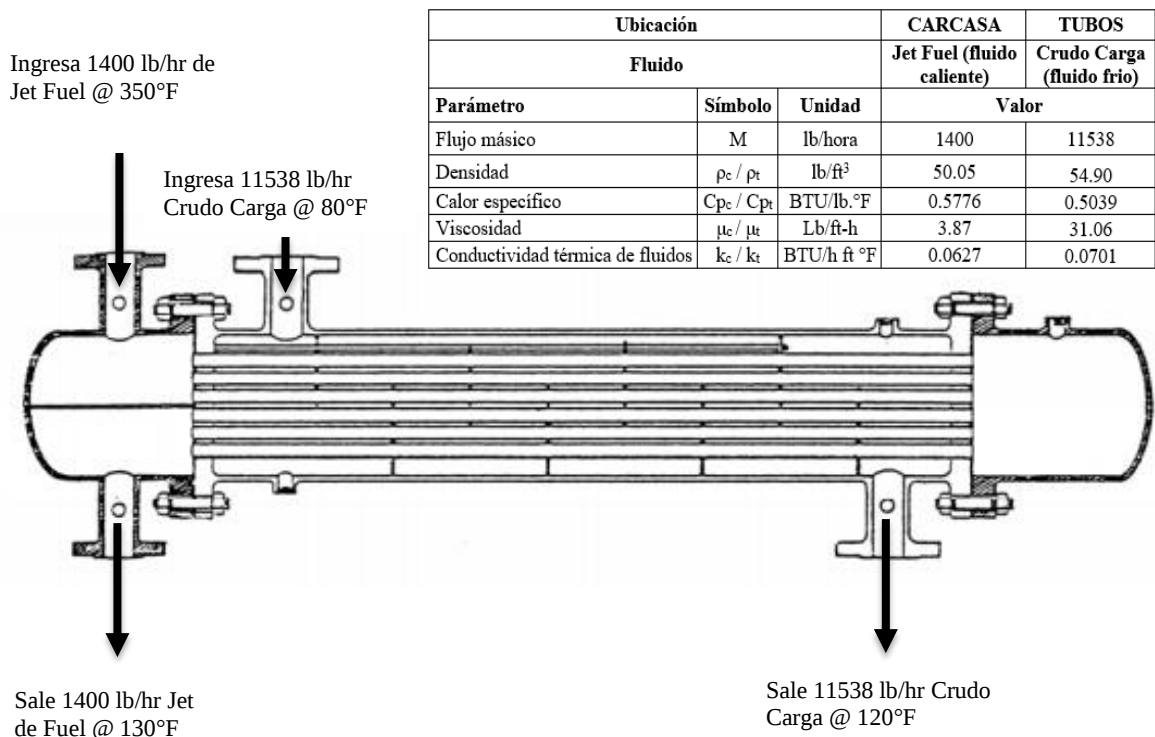
Ahorro de combustible

Análisis del ahorro en el consumo de combustibles.	
Combustible requerido sin intercambiador de calor	730 galones
Combustible requerido aplicando el intercambiador	590 galones
Diferencia en volumen	140 galones
Ahorro en dólares	114 975 dolares al año

Fuente: Autor

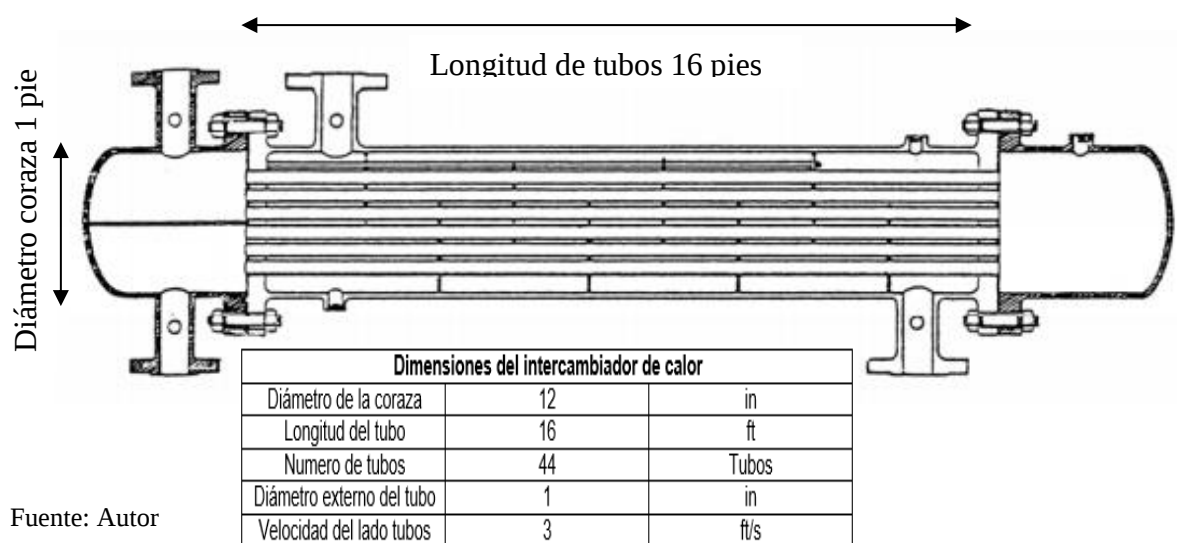
OPTIMIZACION DEL SISTEMA DE PRECALENTAMIENTO DE CRUDO DE CARGA MEDIANTE EL APROVECHAMIENTO DEL CALOR RESUDUAL DE LOS PRODUCTOS OBTENIDOS DE LA UNIDAD NO CATALITICA MEDIANTE EL DISEÑO DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR DE CRUDO CARGA JET FUEL PARA REDUCIR COSTOS OPERATIVOS EN LA PRODUCCION DE PRODUCTOS LIMPIOS EN LA REFINERIA DE LAGO AGRIO

Representación gráfica de los fluidos de ingreso y salida del intercambiador y las propiedades físico-químicas del fluido a calentar.



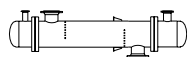
Fuente: Autor

Dimensiones del intercambiador de calor diseñado.



Fuente: Autor

OPTIMIZACION DEL SISTEMA DE PRECALENTAMIENTO DE CRUDO DE CARGA MEDIANTE EL APROVECHAMIENTO DEL CALOR RESUDUAL DE LOS PRODUCTOS OBTENIDOS DE LA UNIDAD NO CATALITICA MEDIANTE EL DISEÑO DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR DE CRUDO CARGA JET FUEL PARA REDUCIR COSTOS OPERATIVOS EN LA PRODUCCION DE PRODUCTOS LIMPIOS EN LA REFINERIA DE LAGO AGRIO

Hoja de especificación de intercambiadores de calor según TEMA											
1	Company: PETROAMAZONAS EP										
2	Location: BLOQUE 56 LAGO AGRIO										
3	Service of Unit:			Our Reference:							
4	Item No.:			Your Reference:							
5	Date: 11/14/2020	Rev No.: 3	Job No.: 1								
6	Tamaño	8-48	in	Tipo	AES Horizontal	Conectado en:	1	1 Paralelo	1Serie		
7	Area/Unid(ef)	176	ft2	Carcasas/unidad	1	Area/Carc.(ef)	176	ft2			
8	Cumplimiento una unidad										
9	Localización fluido			Lado Carcasa			Lado Tubos				
10	Nombre de fluido			JET FUEL			PETRÓLEO CRUDO				
11	Cantidad total de fluido			lb/h	1400			11538			
12	Vapor (Ent/Sal)			lb/h	0	0	0	0			
13	Líquido			lb/h	1400	1400	11538	11538			
14	Nocondensable			lb/h							
16	Temperatura (Ent/Sal)			F	350	130	80	120			
17	Punto cond/evaporación			F	--	--	--	--			
18	Densidad			lb/ft3	44.72	50.05	54.90	52.90			
19	Viscosidad			cp	0.42	1.59	12.83	2.773			
20	Peso molecular, Vap				0	0	0	0			
21	Peso molecular, NC										
22	Calor específico			BTU/(lb*F)	0,5776	0.5822	0,5039	0.4950			
23	Conductividad térmica			BTU/(ft*h*F)	0,0627	0.0627	0,0701	0.0701			
25	Presión			psi	80	80	114	114			
26	Velocidad			ft/s	1.8			3.1			
27	Caída de Presión, perm/calc			psi	10	7,947	2	0,088			
28	Resistencia ensuciamiento (min)			ft2*h*F/BTU	0.001			0.005			
29	Calor intercambiado			BTU/h	177901	MTD corregido	100	F			
30	Coeficiente transferencia-203,66			9.63	Sucio	10.10	Limpio	10.86	BTU/(h*ft2*F)		
31	Construcción de carcasa						Dibujo				
32			Lado Carcasa	Lado Tubos							
33	Presión Diseño/Prueba		psi	100 /	/ Código					120 /	/ Código
34	Temperatura de Diseño		F	410						410	
35	Número de pasos en carcasa		#	1						6	
36	Espesor de corrosión		in	0,0625						0,0625	
37	Conexiones	Adentro	10 / 150 ANSI		2 / 150 ANSI						
38	Tamaño/Compr.	Afuera	10 / 150 ANSI		2 / 150 ANSI						
39	in	Intermedio	150 ANSI		150 ANSI						
40	Núm.tubos	44	OD	1 in	Esp.-proMedia	0,065	in	Longitud	16 Ft		
41	Tipo de tubo		BWG	16	Material			Carbon Steel	Trazado tubos		
42	Carcasa	Carbon Steel	DI	12	in	Cubierta carcasa		Carbon Steel			
43	Canal or bonnet		Carbon Steel			Cubierta canal		Carbon Steel			
44	Placa tubular estaciona		Carbon Steel			Cabezal flotante		Carbon Steel			
45	Cubierta cabezal flotante		Carbon Steel			Placa choque		ninguna			
46	Deflector-cruzando		Carbon Steel	Tipo	Simple	Corte(%d)	26	hor	Espacio: c/c		
47	Deflector-long		Tipo sello			Entrada		20,4375	in		
48	Soportes-tubos		Vuelta-U			Tipo					
49	Sello bypass		Junta tubos-placa			ranura/Expander					
50	Junta de expansión		Tipo								
51	RhoV2-Boquilla entrada		Entrada haz			Salida haz		lb/(ft*s2)			
52	Empaque-carcasa		Lado Tubos								
53	Cabezal flotante										
54	Requerimientos del código		ASME Código Sec VIII Div 1			Clase TEMA B					
55	Peso/Carcasa		2284,7	Lleno de agua		3270,7	Haz	1479,3	lb		

OPTIMIZACION DEL SISTEMA DE PRECALENTAMIENTO DE CRUDO DE CARGA MEDIANTE EL APROVECHAMIENTO DEL CALOR RESUDUAL DE LOS PRODUCTOS OBTENIDOS DE LA UNIDAD NO CATALITICA MEDIANTE EL DISEÑO DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR DE CRUDO CARGA JET FUEL PARA REDUCIR COSTOS OPERATIVOS EN LA PRODUCCION DE PRODUCTOS LIMPIOS EN LA REFINERIA DE LAGO AGRIO

Costos directos.

Tabla 8

Costos por mano de obra, materiales, equipos y transportes.

MANO DE OBRA				
DESCRIPCION	UND	CANT	SALARIO INDIVIDUAL	COSTO TOTAL
Supervisor de obra	UND	1	1600	1600
Eléctrico	UND	1	1600	1600
Soldadores certificado	UND	2	1200	2400
Esmerilador	UND	2	800	1600
Mecánico	UND	1	1600	1600
Instrumentista	UND	1	1200	1200
TOTAL (USD)				10 000
MATERIALES				
DESCRIPCION	UND	CANT	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
ACERO				
Ángulos 200 x 4 mm	UND	10,00	5.00	50.00
Manhole	KG	350,00	10.00	3500.00
Estructura: Perfil W	KG	400.00	3.00	1200,00
Láminas de cuerpo y tapa	UND	8	600.00	4800.00
Planchas metálicas	M2	10	80.00	800.00
TUBERIA Y FITTINGS				
Brida 12" ANSI 150.	UND	2,00	45.00	90.00
Brida 6", ANSI 150	UND	1,00	19.00	19,00
Codo 2"x 90° sch. 40	UND	1,00	29.00	29.00
Conector 1" OD AGA	UND	4,00	90.00	360.00
Empaque espiro metálico 2", ANSI 150.	UND	2,00	3.50	7,00
Empaque espiro metálico 6", ANSI 150	UND	2,00	8.00	16.00
Espárragos, 3.1/4" x 5/8"	UND	88,00	5.25	462.00
Tubería API 1", sch. 40	M	44,00	40.00	1760.00
Válvula de bola acero al carbono, 2".	UND	1,00	300.00	300.00
VALVULAS Y ELEMENTOS DE CONTROL				
Manómetros 0-300 PSI	UND	2,00	230.00	460.00
Válvula reguladora de presión, 2"	UND	1,00	700,00	700.00
Válvula solenoide 3 vías 2" OD	UND	1,00	380.00	380.00
Sensor de temperatura	UND	1,00	600.00	600.00
Válvula de seguridad PSV 2"	UND	1,00	2500.00	2500.00
Indicador de temperatura	UND	1,00	140.00	140.00
EQUIPOS ADICIONALES				
Bomba para recirculación de jet fuel	UND	1,00	25000.00	25000.00
TOTAL				43173.00

OPTIMIZACION DEL SISTEMA DE PRECALENTAMIENTO DE CRUDO DE CARGA MEDIANTE EL APROVECHAMIENTO DEL CALOR RESUDUAL DE LOS PRODUCTOS OBTENIDOS DE LA UNIDAD NO CATALITICA MEDIANTE EL DISEÑO DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR DE CRUDO CARGA JET FUEL PARA REDUCIR COSTOS OPERATIVOS EN LA PRODUCCION DE PRODUCTOS LIMPIOS EN LA REFINERIA DE LAGO AGRIO

EQUIPO Y TRANSPORTE				
DESCRIPCION	UND	CANT	COSTO UNT	COSTO TOTAL
Grúa 40 Ton	DIA	7	200	1400
Herramienta básica	DIA	30	50	1500
Transporte de materiales	VIAJE	2	1000	2000
TOTAL (USD)				4900

Fuente: Autor

Tabla 9

Costos totales.

COSTOS TOTALES	
DESCRIPCION	COSTO (USD)
Mano de obra	10 000
Materiales	43173
Equipos y transporte	4900
TOTAL	58973.00

Fuente: Autor

OPTIMIZACION DEL SISTEMA DE PRECALENTAMIENTO DE CRUDO DE CARGA MEDIANTE EL APROVECHAMIENTO DEL CALOR RESUDUAL DE LOS PRODUCTOS OBTENIDOS DE LA UNIDAD NO CATALITICA MEDIANTE EL DISEÑO DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR DE CRUDO CARGA JET FUEL PARA REDUCIR COSTOS OPERATIVOS EN LA PRODUCCION DE PRODUCTOS LIMPIOS EN LA REFINERIA DE LAGO AGRIO

CONCLUSIONES

- Los resultados obtenidos del cálculo y simulación indican un área de transferencia de calor de 176 pies cuadrados, el intercambiador se diseña con 44 tubos con un diámetro de coraza de 12 pulgadas y una longitud de tubos de 16 pies con un diámetro exterior de tubos de 1 pulgada y el espaciamiento entre tubos es de 1.25 pulgadas. En cuanto a las temperaturas del fluido caliente (Jet fuel) ingresa al intercambiador a una temperatura de 350 °F y sale después del intercambio de calor a una temperatura de 130°F. El fluido a calentar o frio (crudo carga) ingresa a una temperatura de 80°F y sale del intercambiador a una temperatura de 120 °F. El coeficiente global de intercambio de calor requerido es de 9.63 Btu/h ft² °F y según diseño el coeficiente global calculado es de 10.10 Btu/h ft² °F.
- Para obtener un mejor aprovechamiento de energía existente en las corrientes de los fluidos producidos en la columna de fraccionamiento, debemos utilizar todos los productos limpios a la salida de la torre de destilación para pre calentar el crudo carga, de esta manera necesitaremos menos combustible en el horno para llegar a la temperatura de operación.
- Para el cálculo del numero de tubos se debe considerer el espacio disponible en la refineria para la implementación, se recomienda que el largo de los tubos sea igual a la mitad del espacio disponible, con el fin de facilitar la instalación y limpieza del haz de tubos.
- Con el fin de incrementar el coeficiente de transferencia de calor del lado tubos, se

OPTIMIZACION DEL SISTEMA DE PRECALENTAMIENTO DE CRUDO DE CARGA MEDIANTE EL APROVECHAMIENTO DEL CALOR RESUDUAL DE LOS PRODUCTOS OBTENIDOS DE LA UNIDAD NO CATALITICA MEDIANTE EL DISEÑO DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR DE CRUDO CARGA JET FUEL PARA REDUCIR COSTOS OPERATIVOS EN LA PRODUCCION DE PRODUCTOS LIMPIOS EN LA REFINERIA DE LAGO AGRIO

procura tener la velocidad más alta posible, para lo cual se usa el mayor número de tubos posible con el menor diámetro interno, esto dependiendo del tipo de fluido que tengamos en el lado tubos, si es un fluido con un coeficiente de ensuciamiento alto no se recomienda utilizar diámetros menores a 1 pulgada, además se debe tener en cuenta la limitación por la caída de presión. Esta última se incrementa al aumentar el número de tubos ya que el incremento involucra una reducción en el diámetro de los tubos.

- En el análisis económico determinamos que con la implementación del intercambiador de calor reducimos la cantidad de combustible (gasolina) para el horno en 140 galones por día, lo que representa un ahorro anual de 114 975 dolares.
- El ahorro de combustible implica la disminución de 453,26 Ton CO₂/año

RECOMENDACIONES

- Se recomienda implementar el presente estudio ya que reducirá considerablemente la necesidad de combustibles (gasolina) que a más de ser costosa es importada, en gran parte esto reducirá el costo de producción de productos de la refinería y reduce el impacto ambiental.
- El uso de intercambiadores de calor en la refinería debe aplicarse para cada una de las corrientes de productos limpios obtenidas en la unidad de destilación atmosférica, el diésel y el jet fuel y el crudo reducido brindarán energía al sistema y de esta manera se optimizarán los procesos.
- El aprovechamiento del calor sensible de los productos limpios obtenidos en la unidad de fraccionamiento nos ayuda a mejorar el proceso y a reducir costos, aplicando este proyecto se aprovechará esa energía que actualmente es desperdiciada.
- Para la aplicación del presente proyecto se recomienda el soporte del diseño en un

OPTIMIZACION DEL SISTEMA DE PRECALENTAMIENTO DE CRUDO DE CARGA MEDIANTE EL APROVECHAMIENTO DEL CALOR RESUDUAL DE LOS PRODUCTOS OBTENIDOS DE LA UNIDAD NO CATALITICA MEDIANTE EL DISEÑO DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR DE CRUDO CARGA JET FUEL PARA REDUCIR COSTOS OPERATIVOS EN LA PRODUCCION DE PRODUCTOS LIMPIOS EN LA REFINERIA DE LAGO AGRIO

software de simulación.

BIBLIOGRAFÍA

- Aeade. (2019). Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador.
- Aguilar Monterrey, S. (2019). Propuesta de un plan de ambiental para el monitoreo y mitigación del material particulado MP10, del ruido de los gases CO, CO₂, SO_x, Nox, para mejorar la calidad del aire en el malecón de atraque al servicio del Perú.
- Alam, M., & A, M. (2014). A critical review and assessment of Eco-driving policy & Technology: Benefits& limitations. *Transp. Policy*.
- Andrade M, A. &. (2016). Emisiones de gases de efecto invernadero por uso de combustibles fósiles en Ibagué. *Corpoica Cienc. y Tecnol Agropecu*.
- Andrieu, G., & Saint Pierre, C. (2014). Evaluation of ecodriving performances and teaching method; comparing training and simple advice. *EJTIR*, 201-213.
- ARCENTALES, R. (2015). *DISEÑO DE INTERCAMBIADORES DE CALOR UTILIZANDO EL LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN JAVA*. QUITO.
- Badillo Beltran, J., Latorre Bayona, L., & Orejuela Rondon, C. &. (2018). Conocimientos de una comunidad de Bucaramanga sobre la contaminación ambiental y sus efectos en la salud de los niños de 5 a 12 años.
- Baric, D., & Zobak, G. &. (2013). Effects of eco-drive education on the reduction of fuel consumption and CO₂ emissions. *Promet - Traffic & Transportation*, 265-272.
- Baric, M., Zovak, D., & Perisa, G. (2013). Effects of eco-drive education on the reduction of fuel consumption and CO₂ EMISSIONS. *Promet- Traffic & Transportation*, 265-272.
- Ccicev. (2019). *Procedimiento de ensayos de laboratorio*. Quito - Ecuador.
- Cordoba, M. (2015). Using a gamification tool to save fuel. *IEEE Intell Transp Syst Mag*, 58-70.
- Correa Espinal, A., & Salazar A & Cogollo, J. (2010). Ecaluación del efecto de la conducción eficiente en el consumo de combustible en vehículos de transporte de carga pesada usando diseño de experimentos.
- Darquea, D. (2018). Estudio de emisiones contaminantes utilizando combustibles locales. *INNOVA*, 23-34.
- Dib, G., Chasse, W., Moulin, A., & Sciarretta, P. (2014). Optimal Energy Management for an Electric vehicle in Eco-driving Applications. *Control Eng. Pract*, 299-307.
- Domingo, A. M. (2011). Apuntes de transmisión de calor. In A. M. Domingo, *Apuntes de transmisión de calor* (p. 56). Madrid: Creative Commons.
- Eraso, M. &. (2012). Análisis de la política de regulación de hidrocarburos para el combustible líquido en zonas de fronteras, aplicando para el municipio de Pasto, año 2011-2012. *Doctoral dissertation Universidad de Nariño*.
- Frey, D., & Eichenberger, C. (1997). Remote sensing of mobile source air pollutant emissions: variability and uncertainly in on-road emissions estimates of carbon monoxide and hydrocarbons for school and transit buses.
- Gaviria, C., & Benavides, F. &. (2011). Contaminación por material particulado (pm_{2,5} y PM₁₀) y consultas por enfermedades respiratorias en Medellín (2008-2009). *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*.

OPTIMIZACION DEL SISTEMA DE PRECALENTAMIENTO DE CRUDO DE CARGA MEDIANTE EL APROVECHAMIENTO DEL CALOR RESUDUAL DE LOS PRODUCTOS OBTENIDOS DE LA UNIDAD NO CATALITICA MEDIANTE EL DISEÑO DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR DE CRUDO CARGA JET FUEL PARA REDUCIR COSTOS OPERATIVOS EN LA PRODUCCION DE PRODUCTOS LIMPIOS EN LA REFINERIA DE LAGO AGRIO

- Gongbin, Q. &. (2013). Microscopic Simulation Study of Eco/Driving Performance At Urban Intersections. *13 a Ed Word Conference on Transport Research*, 2-13.
- Guardia, Y., J. M., Sánchez, V., Llanes, E., & Rocha, J. &. (2018). Enhancements to the subject statistical design of experiments for students of the mechanical engineer. *Espacios*.
- Haworth, N. &. (2001). The relationship between fuel economy and safety outcomes. *Monash University Accident Research Centre*.
- Ho, V., & Wong, S. &. (2015). What can eco-driving do for sustainable Road Transport Perspectives from a city eco-driving progamme. *Sustain. Cities Soc*, 82-88.
- Holman, J. P. (1999). Transferencia de calor. In J. P. Holman, *Transferencia de calor* (p. 613). México: Compañía editorial continental.
- Incropera, F. P. (1999). Fundamentos de transferencia de calor. In F. P. Incropera, & D. DeWitt, *Fundamentos de transferencia de calor* (p. 912). Mexico: Prentice Hall Hispanoamericana S.A.
- Intriago, A. (2014). OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE INTERCAMBIADORES DE CALOR DEL TREN DE PRECALENTAMIENTO DE CRUDO DE LA UNIDAD NO CATALÍTICAS II EN LA REFINERÍA ESTATAL ESMERALDAS. In A. Intriago, *OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE INTERCAMBIADORES DE CALOR DEL TREN DE PRECALENTAMIENTO DE CRUDO DE LA UNIDAD NO CATALÍTICAS II EN LA REFINERÍA ESTATAL ESMERALDAS*. Riobamba.
- Intriago, A. (2014). *OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE INTERCAMBIADORES DE CALOR DEL TREN DE PRECALENTAMIENTO DE CRUDO DE LA UNIDAD NO CATALÍTICAS II EN LA REFINERÍA ESTATAL ESMERALDAS*. RIOBAMBA.
- Iodice P, S. G. (2015). Effect of ethanol-gasoline blends on CO and HC emissions in last generation SI within the cold-start transient: An experimental investigation. *Appl Energy*, 159-175.
- Jaramillo, O. A. (2007). Intercambiadores de calor. In U. N. Mexico, *Intercambiadores de calor*. Mexico.
- K. M. Krajzewicz D., B. M. (2014). Second Generation of Pollutant Emission Models for SUMO. *Second SUMO User Conference*, (pp. 203-221).
- Kreith, F., Manglik, R., & Bohn, M. (2012). Principios de transferencia de calor. In F. Kreith, R. Manglik, & M. Bohn, *Principios de transferencia de calor* (p. 627). Mexico: Cengage Learning.
- Lapuerta, C., Armas, M., & Agudelo, O. (2006). Study of the Altitude Effect on Internal Combustion Engine Operation. *Performance: Inf. tecnológica*, 21-30.
- Larue, G., Malik, H., & Rakotonirainy & Demmel, S. (590-597). Fuel consumption and gas emissions of an automatic transmission vehicle following simple eco-driving instructions on urban roads. *IET Intell, Transp. Syst*, 2014.
- Leguisamo, J., Celi, S., & Norona, M. &. (2018). Estudio de emisiones contaminantes producidas por un motor MEP con transmisión automática y transmisión manual. *INNOVA Research Journal*, 120-128.
- Lizarazu, R. &. (2013). Escenarios de emisión de gases de efecto invernadero CO2 en el sector energético en Bolivia. *Revista Latinoamericana de Desarrollo Económico*, 77-98.
- Llangarí, V., & Solís, G. (2012). Diseño térmico e hidráulico de un intercambiador de coraza y tubos. In V. Llangarí, & G. Solís, *Diseño térmico e hidráulico de un intercambiador*

OPTIMIZACION DEL SISTEMA DE PRECALENTAMIENTO DE CRUDO DE CARGA MEDIANTE EL APROVECHAMIENTO DEL CALOR RESUDUAL DE LOS PRODUCTOS OBTENIDOS DE LA UNIDAD NO CATALITICA MEDIANTE EL DISEÑO DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR DE CRUDO CARGA JET FUEL PARA REDUCIR COSTOS OPERATIVOS EN LA PRODUCCION DE PRODUCTOS LIMPIOS EN LA REFINERIA DE LAGO AGRIO

- de coraza y tubos*. Riobamba: 136.
- López Terán, J. (2013). Evaluación del consumo de combustible de vehículos livianos en el Distrito Metropolitano de Quito.
- Luján, J., Guardiata, C., & Pla, B. &. (2018). Fuel and pollutant efficient vehicle speed optimization in real driving conditions. *IFAC-PapersOnLine*, 225-232.
- MathPro. (2011). REFINACIÓN DEL PETRÓLEO Y PRODUCCIÓN DE GASOLINA Y DIÉSEL CON CONTENIDO ULTRA BAJO DE AZUFRE.
- McIlroy, R., & Stanton, N. A. (2016). What do people know about eco-driving? An exploratory survey study. *Ergonomics*, 754-769.
- Mensing, B., Bideaux, E., Trigui, R., & Ribet, J. &. (2014). Eco-driving: An Economic or Ecologic Driving Style. *Transp. Res Part C Emerg Technol*, 110-121.
- Mora, C. (2009). El consumo de combustible en Bogota, una aproximación macroeconomica. *Observatorio de la Economía de Latinoamérica*, 114.
- Morello, E., & Toffolo, S. &. (2016). Impact Analysis of ecodriving behaviour using suitable simulation platformf (ICT-EMISSIONS Project). *Transportation Research Procedia*.
- Ocaña Huerta, L. (2014). Cálculo de factores de emisión vehicular para la zona urbana de Quito en base al análisis de los registros de la revisión técnica vehicular del año 2013 y monitoreo en ruta de campo.
- Petroamazonas EP. (2020). *Reportes de producción mensual refinería Lago Agrio*. Nueva Loja.
- PINO, A. C. (2014). PROCESO DE REFINO DEL PETRÓLEO PARA LA OBTENCIÓN DE COMBUSTIBLES MARINOS.
- Qu, X., Li, L., Chen, M., & Lu. (n.d.).
- Qu, X., Li, L., Chen, M., Lu, D., & Jin, K. &. (2015). Multivariate analysis between driving condition and vehicle emissions for light duty gasoline vehicles during rush. *Atmos. Environment*, 103-110.
- Quichimbla, F., & Soliz, J. (2017). Desarrollo de ciclos de conducción en ciudad, carretera y combinado para evaluar el rendimiento real del combustible de un vehículo con motor ciclo Otto en el Distrito Metropolitano de Quito.
- Reyes, M., Moya, J., Cruz, O., Firvida, E., & Velázquez, J. (2014). Automatización y optimización del diseño de intercambiadores de calor de tubo y coraza mediante el método de Taborek. México.
- Rodríguez, S., Areco, L., & Duarte L & MartínezL, C. (2018). Monitoreo de los niveles de benceno, hidrocarburos aromáticos y compuestos oxigenados en combustibles fósiles importados en Paraguay. *Revista de la Sociedad Científica del Paraguay*, 57-66.
- Rogel Gutiérrez, E., & Pineda, I. &. (2019). Política Económica de la Union Europea en la disminución del consumo de hidrcarburos desde el 2020. *Revista Universidad y Sociedad*, 15-30.
- Rojas, S. P. (2014). Diseño de un módulo intercambiador de calor de coraza y tubos. In S. P. Rojas, *Sonia Paola Burbano Rojas* (p. 88). Bogotá.
- Rutty, H., mATTHEWS, M., & Andrey, L. &. (2013). Eco-driver training within the city of calgary`s municipal fleet: Monitoring the impact. *Transp. Res. Part Transportation Environment*, 44-51.
- Soutullo, R. G. (2012). *Ingeniero Marino*. Retrieved from Intercambiadores de calor: <https://ingenieromarino.com/intercambiadores-de-calor/>
- Téllez, J. &. (2006). Contaminación por monóxido de carbono: un problema de salud

OPTIMIZACION DEL SISTEMA DE PRECALENTAMIENTO DE CRUDO DE CARGA MEDIANTE EL APROVECHAMIENTO DEL CALOR RESUDUAL DE LOS PRODUCTOS OBTENIDOS DE LA UNIDAD NO CATALITICA MEDIANTE EL DISEÑO DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR DE CRUDO CARGA JET FUEL PARA REDUCIR COSTOS OPERATIVOS EN LA PRODUCCION DE PRODUCTOS LIMPIOS EN LA REFINERIA DE LAGO AGRIO

- ambiental. *Revista de Salud Pública*, 108-117.
- Tibaquicha, G., & Carolina, D. (2018). Como mejorar el rendimiento de la flota en una empresa transportadora en cuanto a mantenimiento y combustible.
- Tipanluisa, L., Remache, A., & Ayabaca, C. &. (2017). Emisiones contaminantes de un Motor de Gasolina funcionando a dos cotas con combustibles de dos calidades. *Información Tecnológica*, 03-12.
- Tirenti, J. (2016). INTERCAMBIADORES DE CALOR DE C&T. *ARVENG*, 97.
- Toro, M., Ramírez, J., & Quinceno, R. &. (2001). Cálculo de la emisión vehicular de contaminantes atmosféricos en la ciudad de Medellín mediante factores de emisión Corinair. *Revista Acodal*, 42-49.
- Tortojada, I., Castell, I., Andreu, G., Domingues, I., & Garcia, G. &. (2001). Enfermedades asociadas a la polución atmosférica por combustibles fósiles. *Aspectos pediátricos*, 213-225.
- Yonus, C., & Boles, M. (2009). Termodinámica. In C. Yunus, & M. Boles, *Termodinámica* (p. 96). Mexico: McGraw Hill.
- YPF, F. (2011). Refinación de Petróleo. 27.

ANEXO A

CÁLCULOS DISEÑO DE INTERCAMBIADOR DE CALOR

Cálculo del calor transferido calculado a partir del fluido caliente.

$$Q = \dot{m}_c * C_{p_c} * (T_1 - T_2)$$

$$Q = 1400 * 0.5776 * (350 - 130)$$

$$Q = 177901 \text{ BTU/h}$$

Cálculo de la diferencia media logarítmica de temperaturas.

$$DTML = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}} = \frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{\ln \frac{T_1 - t_2}{T_2 - t_1}}$$

$$DTML = \frac{(350 - 120) - (130 - 80)}{\ln \frac{350 - 120}{130 - 80}}$$

$$DTML = 117.95 \text{ } ^\circ F$$

Cálculo de la diferencia media de temperaturas corregida (DTMLC)

$$P = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - t_1} \quad R = \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1}$$

$$P = \frac{120 - 80}{350 - 80} \quad R = \frac{350 - 130}{120 - 80}$$

$$P = 0.15 \quad R = 5.5$$

Cálculo del factor de corrección F de la DTML

$$F = \frac{\sqrt{R^2 + 1} \ln \left(\frac{1 - P}{1 - PR} \right)}{(R - 1) \ln \left[\frac{2 - P(R + 1 - \sqrt{R^2 + 1})}{2 - P(R + 1 + \sqrt{R^2 + 1})} \right]}$$

$$F = \frac{\sqrt{5.5^2 + 1} \ln \left(\frac{1 - 0.15}{1 - 0.15 * 5.5} \right)}{(5.5 - 1) \ln \left[\frac{2 - 0.15 * (5.5 + 1 - \sqrt{5.5^2 + 1})}{2 - 0.15 * (5.5 + 1 + \sqrt{5.5^2 + 1})} \right]}$$

$$F = 0.85$$

Cálculo de la temperatura media logarítmica corregida

$$DTMLC = \Delta TML * F$$

$$DTMLC = 117.95 * 0.85$$

$$DTMLC = 100 \text{ }^{\circ}\text{F}$$

Estimación de coeficiente de transferencia de calor Ud

$$Ud = 12 \quad \text{Btu/h ft}^2 \text{ }^{\circ}\text{F.}$$

Calculo de area de tranferencia de calor y numero de tubos

$$A = \left(\frac{q}{Ud * \Delta TLM * F} \right)$$

$$A = \left(\frac{177901}{12 * 117.95 * 0.85} \right)$$

$$A = 148 \text{ ft}^2$$

Calculo de número de tubos

$$nt = \frac{A}{\pi Do L}$$

$$nt = \frac{148}{\pi * \frac{1}{12} * 16}$$

$$nt = 35 \text{ tubos}$$

Calculo de número de Reynolds

$$Re = \frac{4 \text{ mt } \left(\frac{np}{nt} \right)}{\pi Di \mu}$$

$$Re = \frac{4 * 11538 \left(\frac{np}{35} \right)}{\pi * \frac{0.782}{12} * 31.06}$$

$$Re = 207.3 * np$$

$$Re = 207.3 * 6$$

$$Re = 1244 \quad \text{Flujo Laminar}$$

Cálculo de la velocidad de fluido por los tubos

$$V = \frac{4 \text{ mt} \left(\frac{\text{np}}{\text{nt}} \right)}{\pi \rho (Di)^2}$$

$$V = \frac{4 * 11538 \left(\frac{6}{35} \right)}{\pi * 54.90 * \left(\frac{0.782}{12} \right)^2}$$

$$V = 10802 \frac{\text{ft}}{\text{h}} \approx 3.0 \frac{\text{ft}}{\text{s}}$$

Determinación del tamaño de la coraza y el número de tubos actuales

Para tubos de diametro de 1 pulgada, con arreglo triangular y pitch de 1.25 pulgada (anexo A), seis pasos por los tubos, para una configuracion del equipo AES y basandonse en el numero de tubos calculados que corresponde nt= 35 tubos, el numero de tubos que se ajusta según la tabla de datos del (anexo E) son 44 tubos y una coraza con diametro interno que corresponde a ds= 12 in.

Cálculo de coeficiente global requerido

Con la determinación del tamaño de la coraza y el número de tubos procedemos a realizar el cálculo del coeficiente global requerido para el diseño.

Para intercambiadores de calor generalmente se diseñan con longitudes entre 5 ft y 20 ft para nuestro calculo utilizaremos una longitud de 16 pies esto debido al espacio disponible en la refineria para la implementación, se recomienda que el largo de los tubos sea igual a la mitad del espacio disponible, con el fin de facilitar la instalación y limpieza del haz de tubos.

$$U_{req} = \left(\frac{q}{nt \pi Do L F \Delta TLM} \right)$$

$$U_{req} = \left(\frac{177901}{44 * \pi * \frac{1}{12} * 16 * 0.85 * 117.95} \right)$$

$$U_{req} = 9.63 \frac{BTU}{h \text{ ft}^2 \text{ } ^\circ F}$$

Calculo del coeficiente de transmisión de calor del lado tubos (hi)

Para este cálculo asumimos el factor de corrección de viscosidad igual a 1 debido a que desconocemos el valor de la temperatura de la pared de los tubos.

$$h_{ii} = \left(\frac{k}{Di} \right) * 0.023 * Re^{0.8} * Pr^{0.33} * \left(\frac{\mu}{\mu_p} \right)^{0.14}$$

$$h_{ii} = \left(\frac{0.0701}{0.0651} \right) * 0.023 * 990^{0.8} * 223^{0.33}$$

$$h_{ii} = 36.76 \frac{BTU}{h \text{ ft}^2 \text{ } ^\circ F}$$

Calculo de número de Reynold

$$Re = \frac{4 \text{ mt} \left(\frac{np}{nt} \right)}{\pi Di \mu}$$

$$Re = \frac{4 * 11538 \left(\frac{6}{44} \right)}{\pi * \left(\frac{0.782}{12} \right) * 31.06}$$

$$Re = 990$$

Calculo del número de Prandtl

$$Pr = \frac{Cp * \mu}{k}$$

$$Pr = \frac{0.5039 * 31.06}{0.0701}$$

$$Pr = 223$$

Calculo del coeficiente de transmisión de calor del lado coraza (ho)

Para este cálculo asumimos el factor de corrección de viscosidad igual a 1 debido a que desconocemos el valor de la temperatura de la pared de la carcasa.

$$h_{oi} = JH \left(\frac{k}{De} \right) * Pr^{0.33} * \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0.14}$$

$$hoi = 6.73 * \left(\frac{0.0627}{0.0833} \right) * 35.65^{0.33}$$

$$hoi = 16.47 \frac{btu}{h \, ft^2 \, ^\circ F}$$

Cálculo del área de la coraza

$$B = 0.17 * ds$$

$$B = 0.17 * 12$$

$$B = 2.04 \, in$$

$$C = Pt - Do$$

$$C = 1.25 - 1$$

$$C = 0.25 \, in$$

$$As = \frac{ds \, C' \, B}{144 \, PT}$$

$$As = \frac{12 * 0.25 * 2.04}{144 * 1.25}$$

$$As = 0.034 \, ft^2$$

Cálculo del flujo másico por área superficial

$$G = \frac{m}{As}$$

$$G = \frac{1400}{0.034}$$

$$G = 41177 \frac{lb}{h * ft^2}$$

Cálculo del número de Reynolds.

$$Re = \frac{De \, G}{\mu}$$

$$Re = \frac{0.083 * 41177}{3.87}$$

$$Re = 883$$

Calculo del factor de colburn, JH

$$JH = 0.5 \left(1 + \frac{B}{ds} \right) (0.08 Re^{0.6821} + Re^{0.1772})$$

$$JH = 0.5 \left(1 + \frac{2.04}{12} \right) (0.08 * 883^{0.6821} + 883^{0.1772})$$

$$JH = 6.73$$

Calculo del número de Prandtl

$$Pr = \frac{Cp * \mu}{k}$$

$$Pr = \frac{0.5776 * 3.87}{0.0627}$$

$$Pr = 35.65$$

Cálculo de la temperatura de la pared del tubo

$$T_p = \frac{h_o T + h_i t}{h_o + h_i}$$

$$T_p = \frac{16.47 * 240 + 36.76 * 100}{16.47 + 36.76}$$

$$T_p = 143.32 \text{ } ^\circ\text{F}$$

Con esta temperatura encontramos mediante correlaciones las viscosidades tanto del fluido en la carcasa como de los tubos a la temperatura de la pared, también se lo puede hacer mediante un modelo de simulación en Aspen HYSYS, presentando los siguientes resultados:

Tabla 10

Propiedades de los fluidos del intercambiador IC-CC/JP1 a las temperaturas de pared.

Ubicación			CARCASA	TUBOS
Fluido			JP1(fluido caliente)	Crudo carga(fluido frio)
Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor	
Viscosidad a T _p	μ _p	Lb/ft h	3.72	14.70
Conductividad térmica del acero al carbón a T _p	k _p	BTU/h ft °F	-	30

Fuente: (Petroamazonas EP., 2020)

Calculo del coeficiente de transmisión de calor del lado tubos (hi) corregido.

$$hi = h_{ii} * \left(\frac{\mu}{\mu_p}\right)^{0.14}$$

$$hi = 36.76 * \left(\frac{31.06}{14.70}\right)^{0.14}$$

$$hi = 40.82 \frac{BTU}{h \text{ ft}^2 \text{ } ^\circ F}$$

Calculo del coeficiente de transmisión de calor del lado coraza (ho) corregido.

$$ho = h_{oi} * \left(\frac{\mu}{\mu_p}\right)^{0.14}$$

$$ho = 16.47 * \left(\frac{3.87}{3.72}\right)^{0.14}$$

$$ho = 16.56 \frac{btu}{h \text{ ft}^2 \text{ } ^\circ F}$$

Calculo de Coeficiente Global Limpio, UC

$$UC = \left[\frac{Do}{hi Di} + \frac{Do \ln\left(\frac{Do}{Di}\right)}{2 k \text{ tubo}} + \frac{1}{ho} \right]^{-1}$$

$$UC = \left[\frac{\frac{1}{12}}{40.82 * \frac{0.782}{12}} + \frac{\frac{1}{12} \ln\left(\frac{1}{0.782}\right)}{2 * 30} + \frac{1}{16.56} \right]^{-1}$$

$$UC = 10.86 \frac{BTU}{h \text{ ft}^2 \text{ } ^\circ F}$$

Para continuar $UC > U_{req}$

Factor de ensuciamiento del sistema, RD

Para el calculo del factor de ensuciamiento tenemos el factor de ensuciamiento del crudo carga 0.005 h ft² °F/Btu y del Keroseno 0.001 h ft² °F/Btu.

$$RD = \frac{RD_i Do}{Di} + RD_o$$

$$RD = \frac{0.005 * 1}{0.782} + 0.001$$

$$RD = 0.007 \frac{h ft^2 \text{ } ^\circ F}{BTU}$$

Calculo de Coeficiente Global con ensuciamiento, UD

$$UD = \left[\frac{Do}{hi Di} + \frac{Do \ln \left(\frac{Do}{Di} \right)}{2 k tubo} + \frac{1}{ho} + RD \right]^{-1}$$

$$UD = \left[\frac{\frac{1}{12}}{40.82 * \frac{0.782}{12}} + \frac{\frac{1}{12} \ln \left(\frac{1}{0.782} \right)}{2 * 30} + \frac{1}{16.56} + 0.007 \right]^{-1}$$

$$UD = 10.10 \frac{BTU}{h ft^2 \text{ } ^\circ F}$$

Para continuar UD > Ureq

Calculo del área corregida.

$$A = \left(\frac{q}{Ud * \Delta TLM * F} \right)$$

$$A = \left(\frac{177901}{10.10 * 117.95 * 0.85} \right)$$

$$A = 176 \text{ ft}^2$$

Análisis de la optimización de recursos económicos y del consumo de combustible.

Para el presente análisis de optimización se toma como referencia dos escenarios en el primero se representa como se encuentra actualmente la operación en la refinería, con el consumo diario y anual de gasolina en el horno para llegar a la temperatura de fraccionamiento necesaria en la unidad no catalítica.

En el segundo escenario se representa cuanto se reduce el consumo de combustible en el horno al implementar el intercambiador de calor crudo carga - jet fuel previo al intercambiador que actualmente esta operando de crudo - carga crudo reducido.

Tabla 11
Análisis de situación actual:

INT CALOR	P, (psi)		T, (°F) IC PRINCIPAL				HORNO, T (°F)
	CC	CR	CC	CC	CR	CR	CC
	Entrada	Entrada	Entrada	Salida	Entrada	Salida	Salida
PROMEDIO	114	110	80	148	368	257	680

Fuente: Autor.

Datos crudo reducido:

API= 16.6°

$\rho_e = 0.9554$

$\rho = 59.65 \text{ lb/ft}^3$

Flujo másico= 7254 lb/h

$C_p = 0.5400 \text{ BTU/h lb } ^\circ\text{F}$

$T_{\text{prom}} = 310 \text{ } ^\circ\text{F}$

$Q = 395633 \text{ BTU/h}$

Datos crudo carga:

API= 29.4

$\rho_e = 0.8794$

$\rho = 54.90 \text{ lb/ft}^3$

Flujo másico= 11538 lb/h

$C_p = 0.5039 \text{ BTU/h lb } ^\circ\text{F}$

$T_{\text{prom}} = 100 \text{ } ^\circ\text{F}$

$Q = 395633 \text{ BTU/h}$

Temperatura de salida del crudo carga después del paso por el intercambiador de CC-CR.

$$T_2 = \frac{Q}{C_p * m} + T_1$$

$$T_2 = \frac{395633}{0.5039 * 11538} + 80$$

$$T_2 = 148 \text{ } ^\circ\text{F}$$

Tabla 12*Análisis de situación propuesta:*

INT CALOR	P, (psi)		T, (°F) IC PRINCIPAL				HORNO, T (°F)
	CC	CR	CC	CC	CR	CR	CC
	Entrada	Entrada	Entrada	Salida	Entrada	Salida	Salida
PROMEDIO	114	80	120	228	368	257	680

Fuente: Autor

Datos crudo carga:

API= 29.4

 $\rho_e = 0.8794$ $\rho = 54.90 \text{ lb/ft}^3$

Flujo másico= 11538 lb/h

 $C_p = 0.5039 \text{ BTU/h lb } ^\circ\text{F}$ $T_{\text{prom}} = 134 ^\circ\text{F}$ $Q = 395633 \text{ BTU/h}$

Mediante simulación en ASPEN HYSYS se logra obtener datos de la temperatura de salida del intercambiador de calor de crudo carga - crudo reducido con la temperatura de entrada a 120°F.

Combustible requerido sin intercambiador

API= 29.4

 $\rho = 54.90 \text{ lb/ft}^3$

Flujo másico= 11538 lb/h

 $C_p = 0.5039 \text{ BTU/h lb } ^\circ\text{F}$ $T_{\text{prom}} = 400 ^\circ\text{F}$

Poder calorífico de la gasolina= 41562 BTU/kg

$$Q = 11538 * 0.5039 * (680 - 120)$$

$$Q = 3255839 \frac{\text{BTU}}{\text{h}}$$

$$Energia\ requerida = \frac{3255839}{41562} * 24$$

$$Energia\ requerida = 1880 \frac{Kg\ gasolina}{dia}$$

$$Volumen\ requerido = \frac{Energia\ requerida \frac{Kg\ gasolina}{dia}}{Densidad\ gasolina \frac{Kg}{m^3}} * 1000$$

$$Volumen\ requerido = \frac{1880}{680} * 1000$$

$$Volumen\ requerido = 2765\ litros \approx 730\ galones$$

Combustible requerido con intercambiador

API= 29.4

ρ = 54.90 lb/ft³

Flujo másico= 11538 lb/h

Cp= 0.5039 BTU/h lb °F

Tprom= 454 °F

Poder calorífico de la gasolina= 41562 BTU/kg

$$Q = 11538 * 0.5039 * (680 - 228)$$

$$Q = 2627927 \frac{BTU}{h}$$

$$Energia\ requerida = \frac{2627927}{41562} * 24$$

$$Energia\ requerida = 1518 \frac{Kg\ gasolina}{dia}$$

$$Volumen\ requerido = \frac{Energia\ requerida \frac{Kg\ gasolina}{dia}}{Densidad\ gasolina \frac{Kg}{m^3}} * 1000$$

$$Volumen\ requerido = \frac{1518}{680} * 1000$$

$$Volumen\ requerido = 2232\ litros \approx 590\ galones$$

Resultados del ahorro de combustible:

$$\text{Ahorro} = (\text{Vol requerido sin int} - \text{vol requerido con int}) * \text{precio nafta} * 365$$

$$\text{Ahorro} = 730 \text{ galones} - 590 \text{ galones}$$

$$\text{Ahorro} = 140 \frac{\text{galones}}{\text{dia}} * 2.25 \frac{\text{dolares}}{\text{galones}} * 365 \frac{\text{dias}}{\text{año}}$$

$$\text{Ahorro} = 114\,975 \frac{\text{dolares}}{\text{año}}$$

ANEXO B

REFINERIA DE LAGO AGRIO - PETROPRODUCCION

E-231 (A & B)
INTERCAMBIADOR DE CRUDO

H-241
CALENTADOR DE CRUDO (HORNO)

V-111
TORRE DE DESTILACION

V-112
DESOLJADOR DE DIESEL
STRIPPER

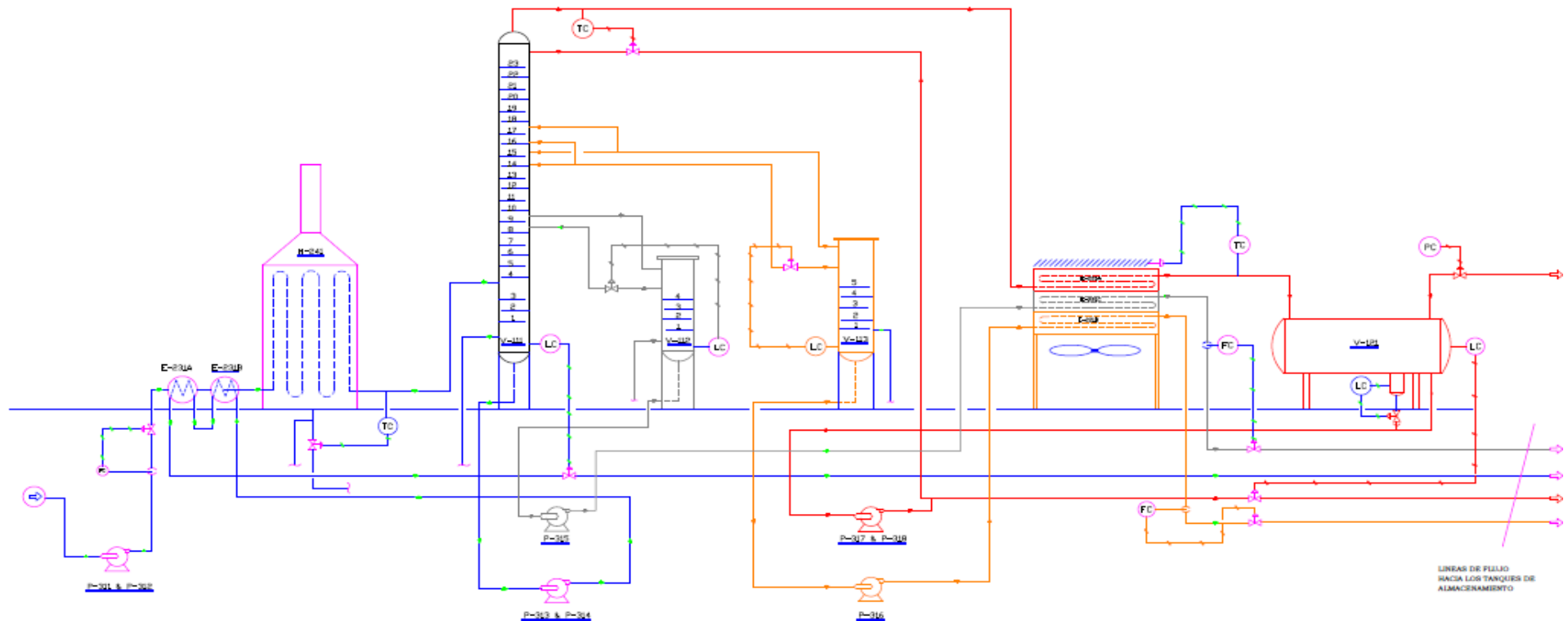
V-113
DESOLJADOR DE JET FUEL
STRIPPER

V-121
ACUMULADOR DE GASOLINA

E-221A
CONDENSADOR DE GASOLINA

E-221B
ENFRIADOR DE JET FUEL

E-221C
ENFRIADOR DE DIESEL



P-311 & P-312 (SPARE)
BOMBA DE DESCARGA DE CRUDO

P-315
BOMBA DE DESCARGA DE DIESEL

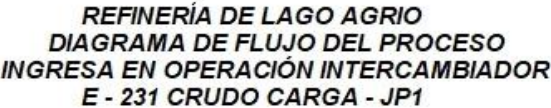
P-313 & P-314 (COMMON SPARE)
BOMBA DE DESCARGA DE CRUDO REDUCIDO

P-316
BOMBA DE JET FUEL

P-318 & P-317 (COMMON SPARE)
BOMBA DE GASOLINA

LINEAS DE FLUIDO
HACIA LOS TANQUES DE
ALMACENAMIENTO

REFINERIA DE LAGO AGRIO - PETROPRODUCCION



ANEXO C

Selección de tubos para intercambiadores de calor

Diámetro Exterior (in)	BWG Gauge	Espesor (in)	Sección de flujo (in ²)	Superficie Exterior (pie ² /pie)	Superficie Interior (pie ² /pie)	Diámetro Interior (in)	OD / ID
5/8	12	.109	.1301	.1636	.1066	.407	1.536
5/8	13	.095	.1486	.1636	.1139	.435	1.437
5/8	14	.083	.1655	.1636	.1202	.459	1.362
5/8	15	.072	.1817	.1636	.1259	.481	1.299
5/8	16	.065	.1924	.1636	.1296	.495	1.263
5/8	17	.058	.2035	.1636	.1333	.509	1.228
5/8	18	.049	.2181	.1636	.1380	.527	1.186
5/8	19	.042	.2298	.1636	.1416	.541	1.155
5/8	20	.035	.2419	.1636	.1453	.555	1.126
3/4	10	.134	.1825	.1963	.1262	.482	1.556
3/4	11	.120	.2043	.1963	.1335	.510	1.471
3/4	12	.109	.2223	.1963	.1393	.532	1.410
3/4	13	.095	.2463	.1963	.1466	.560	1.339
3/4	14	.083	.2679	.1963	.1529	.584	1.284
3/4	15	.072	.2884	.1963	.1587	.606	1.238
3/4	16	.065	.3019	.1963	.1623	.620	1.210
3/4	17	.058	.3157	.1963	.1660	.634	1.183
3/4	18	.049	.3339	.1963	.1707	.652	1.150
3/4	20	.035	.3632	.1963	.1780	.680	1.103
7/8	10	.134	.2892	.2291	.1589	.607	1.441
7/8	11	.120	.3166	.2291	.1662	.635	1.378
7/8	12	.109	.3390	.2291	.1720	.657	1.332
7/8	13	.095	.3685	.2291	.1793	.685	1.277
7/8	14	.083	.3948	.2291	.1856	.709	1.234
7/8	16	.065	.4359	.2291	.1950	.745	1.174
7/8	18	.049	.4742	.2291	.2034	.777	1.126
7/8	20	.035	.5090	.2291	.2107	.805	1.087
1	8	.165	.3526	.2618	.1754	.670	1.493
1	10	.134	.4208	.2618	.1916	.732	1.366
1	11	.120	.4536	.2618	.1990	.760	1.316
1	12	.109	.4803	.2618	.2047	.782	1.279
1	13	.095	.5153	.2618	.2121	.810	1.235
1	14	.083	.5463	.2618	.2183	.834	1.199
1	15	.072	.5755	.2618	.2241	.856	1.167
1	16	.065	.5945	.2618	.2278	.870	1.149
1	18	.049	.6390	.2618	.2361	.902	1.109
1	20	.035	.6793	.2618	.2435	.930	1.075
1 – 1/4	7	.180	.6221	.3272	.2330	.890	1.404
1 – 1/4	8	.165	.6648	.3272	.2409	.920	1.359
1 – 1/4	10	.134	.7574	.3272	.2571	.982	1.273
1 – 1/4	11	.120	.8012	.3272	.2644	1.010	1.238
1 – 1/4	12	.109	.8365	.3272	.2702	1.032	1.211
1 – 1/4	13	.095	.8825	.3272	.2775	1.060	1.179
1 – 1/4	14	.083	.9229	.3272	.2838	1.084	1.153
1 – 1/4	16	.065	.9852	.3272	.2932	1.120	1.116
1 – 1/4	18	.049	1.042	.3272	.3016	1.152	1.085
1 – 1/4	20	.035	1.094	.3272	.3089	1.180	1.059
1 – 1/2	10	.134	1.192	.3927	.3225	1.232	1.218
1 – 1/2	12	.109	1.291	.3927	.3356	1.282	1.170
1 – 1/2	14	.083	1.398	.3927	.3492	1.334	1.124
1 – 1/2	16	.065	1.474	.3927	.3587	1.370	1.095
2	11	.120	2.433	.5236	.4608	1.760	1.136
2	13	.095	2.573	.5236	.4739	1.810	1.105
2 – 1/2	9	.148	3.815	.6540	.5770	2.204	1.134

ANEXO D

Coeficientes globales para intercambiadores de calor

Shell side	Tube side	Design	Includes total
Liquid-liquid media			
Aroclor 1248	Jet fuels	100–150	0.0015
Cutback asphalt	Water	10–20	0.01
Demincralized water	Water	300–500	0.001
Ethanol amine (MEA or DEA) 10–25% solutions	Water or DEA, or MEA solutions	140–200	0.003
Fuel oil	Water	15–25	0.007
Fuel oil	Oil	10–15	0.008
Gasoline	Water	60–100	0.003
Heavy oils	Heavy oils	10–40	0.004
Heavy oils	Water	15–50	0.005
Hydrogen-rich reformer stream	Hydrogen-rich reformer stream	90–120	0.002
Kerosene or gas oil	Water	25–50	0.005
Kerosene or gas oil	Oil	10–35	0.005
Kerosene or jet fuels	Trichloroethylene	40–50	0.0015
Jacket water	Water	230–300	0.002
Lube oil (low viscosity)	Water	25–50	0.002
Lube oil (high viscosity)	Water	40–80	0.003
Lube oil	Oil	11–20	0.006
Naphtha	Water	50–70	0.005
Naphtha	Oil	25–35	0.005
Organic solvents	Water	50–150	0.003
Organic solvents	Brine	35–90	0.003
Organic solvents	Organic solvents	20–60	0.002
Tall oil derivatives, vegetable oil, etc.	Water	20–50	0.004
Water	Caustic soda solutions (10–30%)	100–250	0.003
Water	Water	200–250	0.003
Wax distillate	Water	15–25	0.005
Wax distillate	Oil	13–23	0.005

ANEXO E

Dimensiones de tubos para intercambiadores de calor

Tube OD (in.)	BWG	Tube ID ^a (in.)	Internal area ^b (in. ²)	External surface per foot length ^c (ft ² /ft)	OD ID
1/2	16	0.370	0.1075	0.1309	1.351
	18	0.402	0.1269	0.1309	1.244
	20	0.430	0.1452	0.1309	1.163
	22	0.444	0.1548	0.1309	1.126
5/8	12	0.407	0.1301	0.1636	1.536
	13	0.435	0.1486	0.1636	1.437
	14	0.459	0.1655	0.1636	1.362
	15	0.481	0.1817	0.1636	1.299
	16	0.495	0.1924	0.1636	1.263
	17	0.509	0.2035	0.1636	1.228
	18	0.527	0.2181	0.1636	1.186
	19	0.541	0.2299	0.1636	1.155
	20	0.555	0.2419	0.1636	1.126
3/4	10	0.482	0.1825	0.1963	1.556
	11	0.510	0.2043	0.1963	1.471
	12	0.532	0.2223	0.1963	1.410
	13	0.560	0.2463	0.1963	1.339
	14	0.584	0.2679	0.1963	1.284
	15	0.606	0.2884	0.1963	1.238
	16	0.620	0.3019	0.1963	1.210
	17	0.634	0.3157	0.1963	1.183
	18	0.652	0.3339	0.1963	1.150
	20	0.680	0.3632	0.1963	1.103
7/8	10	0.607	0.2894	0.2291	1.442
	11	0.635	0.3167	0.2291	1.378
	12	0.657	0.3390	0.2291	1.332
	13	0.685	0.3685	0.2291	1.277
	14	0.709	0.3948	0.2291	1.234
	15	0.731	0.4197	0.2291	1.197
	16	0.745	0.4359	0.2291	1.174
	17	0.759	0.4525	0.2291	1.153
	18	0.777	0.4742	0.2291	1.126
	20	0.805	0.5090	0.2291	1.087
1.0	8	0.670	0.3526	0.2618	1.493
	10	0.732	0.4208	0.2618	1.366
	11	0.760	0.4536	0.2618	1.316
	12	0.782	0.4803	0.2618	1.279
	13	0.810	0.5153	0.2618	1.235
	14	0.834	0.5463	0.2618	1.199
	15	0.856	0.5755	0.2618	1.168
	16	0.870	0.5945	0.2618	1.149
	18	0.902	0.6390	0.2618	1.109
	20	0.930	0.6793	0.2618	1.075

ANEXO F

Conductividades térmicas de materiales para intercambiadores de calor.

Table A.16 Thermal Conductivities of Tubing Materials

Material	k (Btu/h · ft · °F)	Material	k (Btu/h · ft · °F)
Carbon steel	24–30	Inconel 800	6.7–8
304 Stainless steel	8.6–12	Inconel 825	7.2
309 Stainless steel	29	Hastelloy B	6.1–9
310 Stainless steel	7.3–11	Hastelloy C	5.9–10
316 and 317 Stainless steel	7.7–12	Alloy 904L	7.5–9
321 and 347 Stainless steel	8–12	Alloy 28	6.5–9
25Cr–12Ni Steel	6.5–10	Cr–Mo Alloy XM–27	11.3
22Cr–5Ni–3Mo Steel	9.5	Alloy 20CB	7.6
3.5Ni Steel	23.5	Copper	225
Carbon–0.5Mo Steel	25	90–10 Cu–Ni	30
1.0 & 1.25Cr–0.5Mo Steel	21.5	70–30 Cu–Ni	18
2.25Cr–1.0Mo Steel	21	Admiralty brass	64–75
5Cr–0.5Mo Steel	16.9–19	Naval brass	71–74
12Cr & 13Cr Steel	15.3	Muntz metal (60Cu–40Zn)	71
15Cr Steel	14.4	Aluminum bronze	71
17Cr Steel	13	Al–Ni Bronze	72
Nickel alloy 200	38.5	Aluminum alloy 3003	102–106
Nickel alloy 400	12.6–15	Aluminum alloy 6061	96–102
Inconel 600	9	Titanium	11.5–12.7
Inconel 625	7.5–9	Zirconium	12

This table lists typical values of thermal conductivity that can be used to estimate the thermal resistance of tube and pipe walls. These values may not be appropriate for operation at very high or very low temperatures.

ANEXO G

Número de pasos y diámetro de la coraza para tubos de 2 in y pitch de 1 ½ in

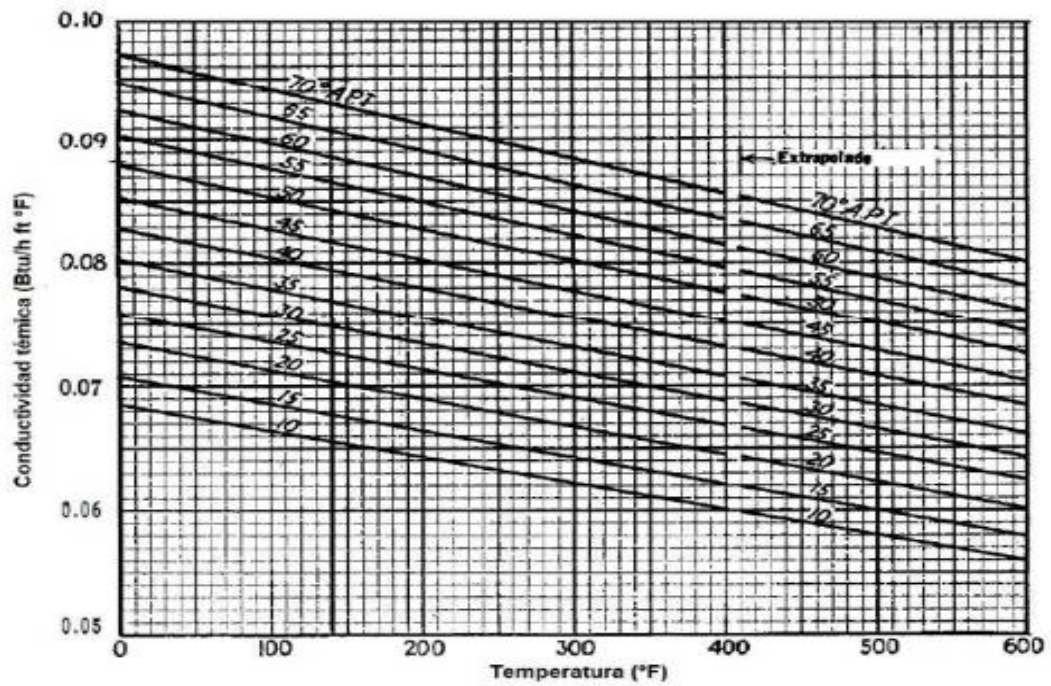
Diámetro interno de la coraza		TEMA PoS				TEMA U		
mm	in	Número de pasos				Número de pasos 6		
		1	2	4	6	2	4	6
203	8	17	12	8	12	14	8	6
254	10	30	30	16	18	30	24	12
305	12	52	48	42	24	44	40	32
337	13½	61	56	52	50	60	48	44
387	15½	85	78	62	64	80	72	74
438	17½	108	108	104	96	104	100	100
489	19½	144	136	130	114	132	132	120
540	21½	173	166	154	156	172	168	148
591	23½	217	208	194	192	212	204	198
635	25	252	240	230	212	244	240	230
686	27	296	280	270	260	290	284	274
737	29	345	336	310	314	340	336	328
787	31	402	390	366	368	400	384	372
838	33	461	452	432	420	456	444	440
889	35	520	514	494	484	518	504	502
940	37	588	572	562	548	584	576	566
991	39	661	640	624	620	664	644	640
1067	42	776	756	738	724	764	748	750
1143	45	900	882	862	844	902	880	862
1219	48	1029	1016	984	972	1028	1008	1004
1372	54	1310	1296	1268	1256	1320	1296	1284
1524	60	1641	1624	1598	1576	1634	1616	1614

F. Tubos de 1 in de diámetro exterior con paso triangular de 1 1/4 de in

Diámetro interno de la coraza		TEMA L o M				TEMA PoS				TEMA U		
mm	in	Número de pasos				Número de pasos				Número de pasos		
		1	2	4	6	1	2	4	6	2	4	6
203	8	27	26	8	12	18	14	8	12	14	12	6
254	10	42	40	34	24	33	28	16	18	28	24	24
305	12	64	66	52	44	51	48	42	44	52	40	40
337	13½	81	74	62	56	73	68	52	44	64	56	52
387	15½	106	106	88	92	93	90	78	76	90	80	78
438	17½	147	134	124	114	126	122	112	102	122	112	102
489	19½	183	176	150	152	159	152	132	136	152	140	136
540	21½	228	220	204	186	202	192	182	172	196	180	176
591	23½	268	262	236	228	249	238	216	212	242	224	216
635	25	316	302	274	272	291	278	250	240	286	264	246
686	27	375	360	336	324	345	330	298	288	340	320	300
737	29	430	416	390	380	400	388	356	348	400	380	352
787	31	495	482	452	448	459	450	414	400	456	436	414
838	33	579	554	520	504	526	514	484	464	526	504	486
889	35	645	622	586	576	596	584	548	536	596	572	548
940	37	729	712	662	648	672	668	626	608	668	636	614
991	39	808	792	744	732	756	736	704	692	748	728	700
1067	42	947	918	874	868	890	878	834	808	890	856	830
1143	45	1085	1068	1022	1000	1035	1008	966	948	1028	992	972
1219	48	1241	1220	1176	1148	1181	1162	1118	1092	1180	1136	1100
1372	54	1577	1572	1510	1480	1520	1492	1436	1416	1508	1468	1442
1524	60	1964	1940	1882	1832	1884	1858	1800	1764	1886	1840	1794
1676	66	2390	2362	2282	2260							
1829	72	2861	2828	2746	2708							
1981	78	3368	3324	3236	3216							
2134	84	3920	3882	3784	3736							
2286	90	4499	4456	4370	4328							
2438	96	5144	5104	4986	4936							
2743	108	6546	6494	6360	6300							
3048	120	8117	8038	7870	7812							

ANEXO H

Conductividad térmica de hidrocarburos.

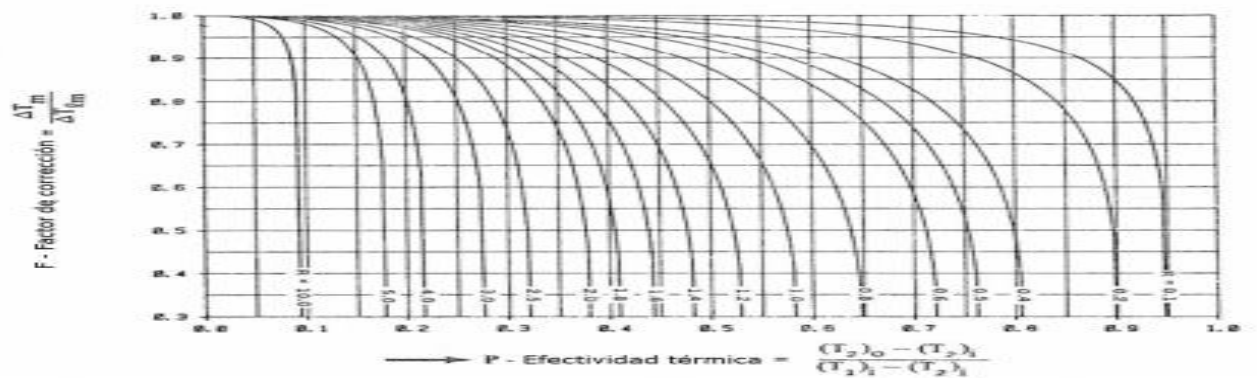
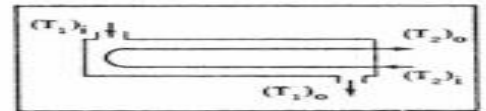


ANEXO I

Factor de corrección f en intercambiadores de pasos pares contracorriente.

$$R = \frac{C_2}{C_1} = \frac{(T_1)_i - (T_1)_o}{(T_2)_o - (T_2)_i}$$

T_1 y T_2 son intercambiables



ANEXO J

Resistencia al ensuciamiento de diferentes fluidos.

Fluido	Resistencia por ensuciamiento R_f [W/m ² K] ⁻¹
Aceite combustible	0,005
Aceite para transformadores	0,001
Aceite vegetal	0,003
Gasóleo ligero	0,002
Gasóleo pesado	0,003
Asfalto	0,005
Gasolina	0,001
Keroseno	0,001
Soluciones cáusticas	0,002
Líquidos refrigerantes	0,001
Fluido hidráulico	0,001
Sales fundidas	0,0005
Gas de escape de un motor	0,01
Vapor (Sin aceite)	0,0005
Vapor (Con aceite)	0,001
Vapores refrigerantes (Con aceite)	0,002
Aire comprimido	0,002
Gas ácido	0,001
Vapores solventes	0,001
Agua marina	0,0005-0,001
Agua salada	0,001-0,003
Agua de torre de enfriamiento (Tratada)	0,001-0,002
Agua de torre de enfriamiento (Sin tratar)	0,002-0,005
Agua de río	0,001-0,004
Agua destilada o condensada en un circuito cerrado	0,0005
Agua tratada de alimentación para calderas	0,0005-0,001

ANEXO K

Hoja de especificación de intercambiadores de calor según tema

1	Cliente	Obra Num:
2		Referencia Num:
3	Dirección	Solicitud de Cotización Num:
4	Localización de la planta	Fecha
5	Servicio de la unidad	Tag:
6	Tamaño	Conectada en:
7	Superficie por unidad	Carcasas por unidad
8	Comportamiento por unidad	
9		Lado carcasa
10	Fluido circulado	Lado tubos
11	Total de fluido que entra	
12	Vapor	
13	Líquido	
14	Vapor de agua	
15	No condensables	
16	Fluido vaporizado o condensado	
17	Vapor de agua condensado	
18	Gravedad específica del líquido	
19	Viscosidad del líquido/vapor	
20	Conductividad térmica del líquido/vapor	
21	Calor específico del líquido/vapor	
22	Peso molecular del vapor	
23	Calor latente	
24	Temp de entrada	
25	Temp de salida	
26	Presión de operación	
27	Número de pasos	
28	Velocidad	
29	Caída de presión admisible/calculada	
30	Resistencia de ensuciamiento	
31	Calor intercambiado	
32	Coef de transmisión en servicio	Coef limpio
33	CONSTRUCCION	
34	Presión de diseño	
35	Presión de prueba	
36	Temp de diseño	
37	Tubos Número	Diá exterior BWG
38	Carcasa Diámetro interno	Diá externo
39	Tapa de carcasa	Longitud Espaciado
40	Cabezal	Espesor
41	Placas tubulares estacionarias	Tapa cabezal flotante
42	Deflector transversal	Tapa canal
43	Deflector longitudinal	Flotantes
44	Unión placa tubos	Espesor
45	Juntas	Espesor
46	Conexión carcasa Entrada	Barra separadoras
47	Conexión carcasa Salida	
48	Conexión cabezal entrada	Serie
49	Conexión cabezal salida	Serie
50	Tolerancia de corrosión lado carcasa	Lado tubos
51	Requerimiento de código	Clase TEMA
52	Peso carcasa	Lleno de agua
53	Requerimientos especiales	
54	Observaciones	
55		