

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

ESCUELA DE INGENIERIA

DISEÑO DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR PARA EL SISTEMA DE CALENTAMIENTO DE AGUA DE LOS TANQUES DE LAVADO DE PETROPRODUCCION

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCION DEL TITULO DE INGENIERO
MECANICO**

ANGEL PATRICIO PAGUAY GUAMAN

DIRECTOR: ING. ADRIÁN PEÑA

Quito, Octubre 2006

DECLARACION

Yo, Ángel Patricio Paguay Guamán, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o 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 Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

INFORMATION ONLY

Ángel Patricio Paguay Guamán

CERTIFICACION

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Ángel Patricio Paguay Guamán, bajo mi supervisión.

Ing. Adrián Peña

RESUMEN

El proyecto de titulación estudia los calentadores de agua del sistema de lavado de petróleo de las diferentes estaciones de producción de Petroproducción.

Primero analiza el proceso de deshidratación del petróleo hasta llegar a la concentración de agua máxima permitida para su comercialización, para ello considera la forma de producción y transporte.

A continuación analiza los calentadores actuales en su: constitución, materiales, dimensiones y los problemas que presentan actualmente como son la baja efectividad.

Con base a este estudio plantea un modelo nuevo de intercambiadores de calor y posteriormente procede a diseñar un calentador prototipo. En el Capítulo III se realiza una amplia exposición de la forma en la cual se puede diseñar este tipo de calentadores desde los parámetros de diseño pasando por las restricciones hasta llegar a la comprobación de las medidas del calentador.

PRESENTACION

En las diferentes áreas que explota Petroproducción, para deshidratar el petróleo, utilizan métodos químicos y mecánicos. Para que resulte óptimo el proceso de deshidratación con químicos demulsificantes, el petróleo en el Tanque de Lavado, debe estar a una temperatura mínima que depende de la gravedad específica del crudo. Generalmente esta temperatura en la actualidad es menor a la necesaria, por ello se emplea calentadores de agua de formación que calienten el colchón de agua y facilitar la acción del químico demulsificante. Estos calentadores presentan muchos inconvenientes, baja efectividad, poca vida útil entre otras.

El objetivo de esta tesis es dar una solución a estos problemas, para ello en el Capitulo I se analiza la situación actual utilizando los conceptos básicos de Transferencia de Calor y Termodinámica.

El Capitulo II detalla la forma de calcular los esfuerzos térmicos y la efectividad de los calentadores que se utilizan actualmente.

Posterior a ello, el Capitulo III, plantea un nuevo diseño para los calentadores, primero se determinan los parámetros de diseño tales como temperaturas y transferencia de calor, con estos se procede a detallar la forma física y demás componentes necesarios.

Finalmente, en el Capitulo IV, consta la codificación de los planos y una breve explicación de los costos de construcción del intercambiador.

En los anexos constan los planos de los elementos principales del calentador y la hoja técnica de un quemador.

CONTENIDO

CAPITULO I		1
1.	ANÁLISIS DE LOS CALENTADORES DE AGUA DE LOS TANQUES DE LAVADO DE PETRÓLEO	1
1.1.	INTRODUCCIÓN	1
1.2.	DESHIDRATACIÓN DE PETRÓLEO	1
1.2.1.	EMULSIÓN	2
1.2.2.	DEMULSIFICANTE	3
1.2.3.	EFECTOS DE LA TEMPERATURA	5
1.2.4.	EQUIPOS PARA EL TRATAMIENTO DE DESHIDRATACIÓN	8
1.3.	AGUA DE FORMACIÓN	9
1.3.1.	CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DEL AGUA	10
1.4.	GAS NATURAL	12
1.4.1.	CROMATOGRAFÍA DE GASES	13
1.5.	SISTEMA USADO EN PETROPRODUCCION	13
1.6.	ANÁLISIS DE LOS CALENTADORES ARTESANALES	15
1.6.1.	CONSIDERACIONES GENERALES	15
1.6.2.	DISTRIBUCIÓN DE LOS CALENTADORES EN LAS ESTACIONES	17
1.6.3.	MEDICIONES DE CAMPO	19
1.6.3.1.	Temperaturas	20
1.6.3.2.	Consumo de gas	20
1.6.3.3.	Caudal de agua	27
1.6.4.	PROBLEMAS ENCONTRADOS	30
1.6.4.1.	Efectividad	30
1.6.4.1.1.	<i>Lago Agrio</i>	32
1.6.4.1.2.	<i>Sacha</i>	33
1.6.4.1.3.	<i>Auca</i>	34
1.6.4.1.4.	<i>Shushufindi</i>	35
1.6.4.2.	Esfuerzos térmicos	36
1.6.4.3.	Incrustaciones	39
CAPITULO II		41
2.	CÁLCULOS PARA LOS CALENTADORES EXISTENTES	41
2.1.	INTRODUCCIÓN	41
2.2.	CONCEPTOS BÁSICOS	41
2.2.1.	PRIMERA LEY DE LA TERMODINÁMICA	41
2.2.2.	TRANSFERENCIA DE CALOR	42
2.2.3.	CONDUCCIÓN	43
2.2.4.	CONVECCIÓN	44
2.2.5.	EFFECTIVIDAD	46
2.3.	EJEMPLO DE CÁLCULO	47
2.3.1.	DATOS	47
2.3.2.	ESQUEMA	48
2.3.3.	SOLUCIÓN	49
CAPITULO III		52
3.	ANÁLISIS DE LA ALTERNATIVA Y DISEÑO NUEVO	52
3.1.	INTRODUCCIÓN	52
3.2.	PARÁMETROS DE DISEÑO	52
3.2.1.	TEMPERATURA DEL AGUA	53
3.2.2.	COMBUSTIBLE	55
3.3.	SELECCIÓN DEL TIPO DE INTERCAMBIADOR	55
3.4.	DIMENSIONAMIENTO	56
3.4.1.	TRANSFERENCIA DE CALOR	56
3.4.2.	COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR (U)	59

3.4.2.1.	Factor de impureza externo	60
3.4.2.2.	Factor de impureza interno	60
3.4.2.3.	Resistencia térmica por el tubo de fuego	61
3.4.2.3.1.	<i>Espesor de la coraza y del tubo de fuego</i>	61
3.4.2.3.2.	<i>Presión de diseño</i>	62
3.4.2.4.	Coefficiente de convección externo	62
3.4.2.5.	Coefficiente de convección interno	64
3.4.2.6.	Coefficiente de radiación	65
3.4.3.	TUBO DE FUEGO	65
3.4.3.1.	Material	66
3.4.4.	DIFERENCIA DE TEMPERATURAS	66
3.4.4.1.	Temperatura adiabática de llama	67
3.5.	EJEMPLO DE CÁLCULO	68
3.5.1.	DATOS	68
3.5.2.	CAPACIDAD DEL QUEMADOR	69
3.5.3.	DIMENSIONAMIENTO	70
3.5.3.1.	Restricciones	70
3.5.3.1.1.	<i>Velocidad de erosión</i>	70
3.5.3.1.2.	<i>Caída de presión en la coraza</i>	71
3.5.3.1.3.	<i>Esbeltez del calentador</i>	72
3.5.3.2.	Coefficiente global de Transferencia de Calor	73
3.5.3.3.	Temperaturas	73
3.5.3.3.1.	<i>Temperatura inicial del gas</i>	73
3.5.3.3.2.	<i>Temperatura de salida del gas</i>	74
3.5.3.3.3.	<i>Temperatura de entrada del agua</i>	75
3.5.3.3.4.	<i>Temperatura de salida del agua</i>	75
3.5.3.4.	Comprobación	76
3.5.3.4.1.	<i>Resistencias térmicas</i>	77
3.5.3.4.2.	<i>Propiedades termo físicas</i>	77
3.5.3.4.3.	<i>Coefficiente de convección externo</i>	78
3.5.3.4.4.	<i>Coefficiente de convección interno</i>	78
3.5.3.4.5.	<i>Convección por radiación del gas</i>	79
3.5.3.4.6.	<i>Coefficiente global de transferencia de calor</i>	80
3.6.	ELABORACIÓN DE HOJA DE CÁLCULO	81
3.6.1.	DIAGRAMA DE FLUJO	81
3.6.2.	GUIA DE USO	83

CAPITULO IV 86

4.	ELABORACION DE PLANOS Y COSTO DEL INTERCAMBIADOR	86
4.1.	ELABORACIÓN DE PLANOS	86
4.1.1.	CODIFICACION	87
4.1.2.	PLANO DE PROCESO	87
4.1.3.	PLANOS MECANICOS	88
4.1.3.1.	Quemador	89
4.1.3.2.	Coraza o cuerpo	89
4.1.3.2.1.	<i>Registros</i>	90
4.1.3.2.2.	<i>Boquillas</i>	90
4.1.3.2.3.	<i>Soportes y guías</i>	90
4.1.3.2.4.	<i>Accesorios</i>	90
4.1.3.2.5.	<i>Elementos de seguridad</i>	91
4.1.3.3.	Tubo de fuego	91
4.1.3.4.	Chimenea	91
4.1.3.5.	Silletas	91

4.2.	COSTO DEL INTERCAMBIADOR	91
4.2.1.	COSTOS DIRECTOS	92
4.2.1.1	Costos de mano de obra	92
4.2.1.2	Costos de materiales	92
4.2.1.3	Equipo y transporte	94
4.2.1.4	Costos directos totales	94
4.2.2.	COSTOS INDIRECTOS	95
4.2.3.	COSTO DEL EQUIPO	95
 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		96
5.1.	CONCLUSIONES	96
5.2.	RECOMENDACIONES	97
 BIBLIOGRAFIA		99

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Macrofotografía de partículas emulsionadas de petróleo en agua	2
Figura 1.2 Perdidas de volumen por evaporación vs. Temperatura	6
Figura 1.3 Curva de densidad del petróleo en función de la temperatura	7
Figura 1.4 Diagrama de producción de petróleo	14
Figura 1.5 Calentador artesanal de tubo concéntricos	16
Figura 1.6 Esquema de un quemador artesanal	17
Figura 1.7 Esquema de un registrador	21
Figura 1.8 Esquema de recirculación de agua	28
Figura 1.9 Curva de la bomba y el sistema	30
Figura 1.10 Efectividad de los calentadores lago Agrio	32
Figura 1.11 Calentador Lago Norte	33
Figura 1.12 Efectividad de los calentadores Sacha	33
Figura 1.13 Efectividad de los calentadores Auca	34
Figura 1.14 Efectividad de los calentadores Shushufindi	35
Figura 1.15 Lado del calentador donde se presenta mayor gradiente de temperatura	36
Figura 1.16 Perfil de temperaturas tubo externo e interno	37
Figura 1.17 Diagrama de cuerpo libre	37
Figura 2.1 Perfil de velocidades	44
Figura 2.2 Esquema calentador de agua	48
Figura 2.3 Efectividad de los calentadores del Distrito Amazónico	51
Figura 2.4 Comparativo de las Temperatura del agua de entrada y salida	51
Figura 3.1 Temperatura de tratamiento del crudo vs. Densidad	53

Figura 3.2	Ingreso de agua al wash tank	54
Figura 3.3	Distancia del calentador al wash tank	54
Figura 3.4	Esquema del calentador	56
Figura 3.5	Análisis termodinámico en el wash tank	57

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1	Equipos y métodos de deshidratación de petróleo	8
Tabla 1.2	Tendencias del agua según su índice	10
Tabla 1.3	Tipos de dureza del agua	11
Tabla 1.4	Características del termómetro infrarrojo	20
Tabla 1.5	Efectividad de los calentadores de agua	31
Tabla 2.1	Coefficientes de calor por convección	46
Tabla 3.1	Resistencia debido a las impurezas del agua	60
Tabla 3.2	Resistencia debido al hollín	61
Tabla 3.3	Valores de las restricciones impuestas	72
Tabla 3.4	Coefficiente U en función de la longitud del calentador	80
Tabla 3.5	Diámetros con planchas disponibles en el mercado	84
Tabla 4.1	Costo de mano de obra	92
Tabla 4.2	Listado de materiales y costos	93
Tabla 4.3	Costo de alquiler de equipo y transporte	94
Tabla 4.4	Costos directos	95

CAPITULO I

1. ANÁLISIS DE LOS CALENTADORES DE AGUA DE LOS TANQUES DE LAVADO DE PETRÓLEO

El presente capítulo realiza un análisis de los diferentes calentadores de agua utilizados en el sistema de deshidratación de petróleo en los campos de Petroproducción. Previo a ello explica el proceso de deshidratación del petróleo, las características del agua de formación y del gas natural que se emplea como combustible.

1.1. INTRODUCCIÓN

El petróleo es un compuesto de hidrocarburos (hidrógeno y carbono), en su mayoría parafinas, naftenos y aromáticos, que lo caracterizan; junto con cantidades variables de derivados hidrocarbonados de azufre, oxígeno y nitrógeno. También contiene gas que se encuentra disuelto en cantidades variables y pequeñas proporciones de componentes metálicos tales como hierro, vanadio, cromo, cadmio. Contiene agua en suspensión o en emulsión y sales disueltas tales como sulfatos, nitratos, fosfatos, carbonatos, cloruros. Sus componentes útiles se obtienen por destilación en las refinerías de petróleo. Los componentes no deseados: gas natural, azufre, metales, agua, sales, etc., se eliminan mediante procesos mecánicos y físico-químicos.

1.2. DESHIDRATACIÓN DE PETRÓLEO

Se realiza la deshidratación del petróleo con el fin de satisfacer los requerimientos de entrega a refinería o explotación. La cantidad máxima permitida de agua en el petróleo para su transporte y venta es del 1% ⁽¹⁾. La cantidad máxima permitida de petróleo en el agua para su inyección o disposición es de 20 ppm.

El lavado de petróleo ocurre en el colchón de agua formado en la parte inferior del tanque, debido al choque de este con los baffles que se encuentran dentro del

¹ DIRECCIÓN NACIONAL DE HIDROCARBUROS; Reglamento Operaciones Hidrocarburíferas, pag.13.

tanque. La altura del colchón de agua generalmente es de ocho pies. A partir de esta altura, el agua contenida en el petróleo se separa con ayuda de la temperatura del colchón lavador y el tiempo de residencia suficiente para romper la emulsión de agua en petróleo, es decir, separar las pequeñas partículas de agua atrapadas en el petróleo.

El Anexo N° 1 muestra el plano del Tanque de Lavado de Sacha Central, donde se aprecia las entradas y salidas de agua y crudo así como también la disposición de los baffles.

1.2.1. EMULSIÓN

La emulsión de agua en petróleo es una suspensión cuasi-estable que consiste en la presencia de pequeñas partículas de agua dispersas en el crudo. En la Figura N° 1.1, el líquido presente como gotas es la fase dispersa o interna, mientras que el petróleo que lo rodea es la fase continua o externa.

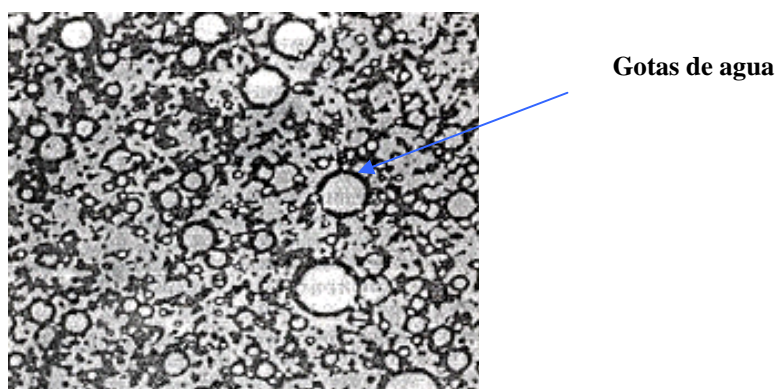


Figura N° 1.1. Macrofotografía de partículas emulsionadas de agua en petróleo.

Para que una emulsión exista debe haber dos líquidos mutuamente inmiscibles, un agente emulsionante, y la agitación suficiente para disgregar la fase dispersa en la fase continua. En la producción de petróleo, el aceite y el agua son mutuamente dos líquidos inmiscibles; las parafinas, los asfaltenos, los fluidos de work over y lodos de perforación también son fuentes de agentes emulsificantes; y la agitación ocurre por el flujo multifásico generalmente turbulento desde el yacimiento hasta los separadores de producción y la bota de gas.

El grado de agitación, la naturaleza y cantidad de agentes emulsificantes determina la estabilidad de la emulsión. Hay emulsiones estables que pueden tomar semanas o meses para separar, otras emulsiones inestables pueden separarse en cuestión de minutos.

El agua dispersa en el aceite forma gotas esféricas. Las gotas más pequeñas se unen con las gotas más grandes, haciendo que se decante. Algún elemento en el emulsificante tiene preferencia por el crudo y atrae otros elementos al agua. Un emulsificante tiende a ser insoluble en una de las fases por ello se concentra en la interfaz.

En los sistemas de levantamiento artificial por bombeo hidráulico (power oil), el uso de bombas Jets ocasiona emulsiones considerables por los altos caudales de inyección y velocidades desarrolladas para levantar el fluido hacia la superficie.

La acción del emulsificante consiste en:

- Disminuir la tensión interfacial de la gota de agua y formar gotas más pequeñas. Las gotas más pequeñas toman mas tiempo para unirse en gotas más grandes y por lo tanto se demora más en precipitarse.
- Forma una capa viscosa en las gotas que los impiden unirse a las gotas más grandes cuando ellas chocan. Toma más tiempo que las gotas pequeñas creadas por agitación se reestablezcan.
- Los emulsificantes son moléculas polares que se alinean de manera semejante cerca de una carga eléctrica en la superficie de las gotas. Subsecuentemente las cargas eléctricas se rechazan, dos gotas deben chocar con suficiente fuerza para superar esta repulsión antes de que la unión pueda ocurrir.

1.2.2. DEMULSIFICANTE

Los demulsificantes son químicos que actúan para neutralizar el efecto de los agentes emulsificantes. Ellos promueven la separación de aceite y agua. El demulsificante debe desintegrar la interfase para que se libere la gota de agua a la coalescencia.

Los demulsificantes tienen la habilidad de emigrar rápidamente a través de la fase de aceite a la interfaz de la gota, donde compite con el agente emulsionador. Si el emulsificante es débil, la fuerza del floculante puede bastar para causar unión. Esto no ocurre en la mayoría de los casos y los demulsificantes deben neutralizar el emulsificante, por consiguiente debe promover una ruptura de la película de interfaz de gota.

Los agentes demulsificantes son compuestos formulados con varios productos químicos como:

- Esteres: Son deshidratadores, provocan asentamiento lento de las gotas de agua, si se sobre dosifican provocan emulsiones inversas.
- Di-epóxicos: Excelentes deshidratadores, provocan un asentamiento lento de las gotas de agua.
- Uretanos: Son deshidratadores, provocan un asentamiento lento de las gotas de agua
- Resinas: Son deshidratadores, provocan un asentamiento rápido de las gotas de agua, dan un agua separada limpia.
- Poli alquílenos: Deshidratadores pobres, lento asentamiento de las gotas de agua
- Glicoles: Se necesita mezclarse con otros demulsificantes para su uso.
- Sulfonatos: Humectantes de sólidos que tiene capacidad para el asentamiento de las gotas de agua, sobre dosificados no causa emulsiones inversas, pero pueden causar la precipitación de partículas de sulfuro de hierro en el agua separada.
- Poliéster aminas: Agentes de superficie activa, deshidratan en bajas dosificaciones, al sobre dosificarse producen emulsiones inversas.
- Oxialquilados: Agentes humectantes, son usados en mezclas.
- Poliaminas: Lentos asentadores de gotas de agua.
- Alcanolaminas: Rápidos asentadores de gotas de agua.

Para el tratamiento de deshidratación se usa mezclas de agentes químicos demulsificantes más un solvente que puede ser: nafta aromática pesada,

benceno, tolueno o alcohol isopropílico, con el fin de obtener un líquido que fluya a la menor temperatura esperada.

En el Anexo N° 2 se encuentra la hoja técnica del producto de Baker Petrolite para el tratamiento de deshidratación.

Los demulsificantes son dosificados en forma continua en la relación y cantidad determinado por las pruebas de botella y/o pruebas de campo, cuyo procedimiento específico es descrito en el método API MPMS 10.4 (1988).

1.2.3. EFECTOS DE LA TEMPERATURA

El método tradicional de separar las fases o deshidratar el petróleo es agregar calor al crudo entrante. El aumento de temperatura reduce la viscosidad de la fase primaria que permite velocidades de restablecimiento más rápidas.

También tiene el efecto de disolver los cristales pequeños de parafina y asfaltenos y neutralizar su acción. Un efecto negativo es que puede causar una pérdida significativa de hidrocarburos que tienen un punto de ebullición más bajo (extremos ligeros), debido a que se evaporan rápidamente. Esto produce pequeñas pérdidas del aceite, o volúmen de pérdida.

En la Figura N° 1.2 ⁽²⁾ se aprecia las pérdidas de volumen por evaporación con respecto al aumento de temperatura para diferentes tipos de crudos en función de su grado API.

² GÓMEZ, J; Apuntes de Clase "Manejo de la Producción en la Superficie". Facultad de Ingeniería. UNAM 1984. pag 10.

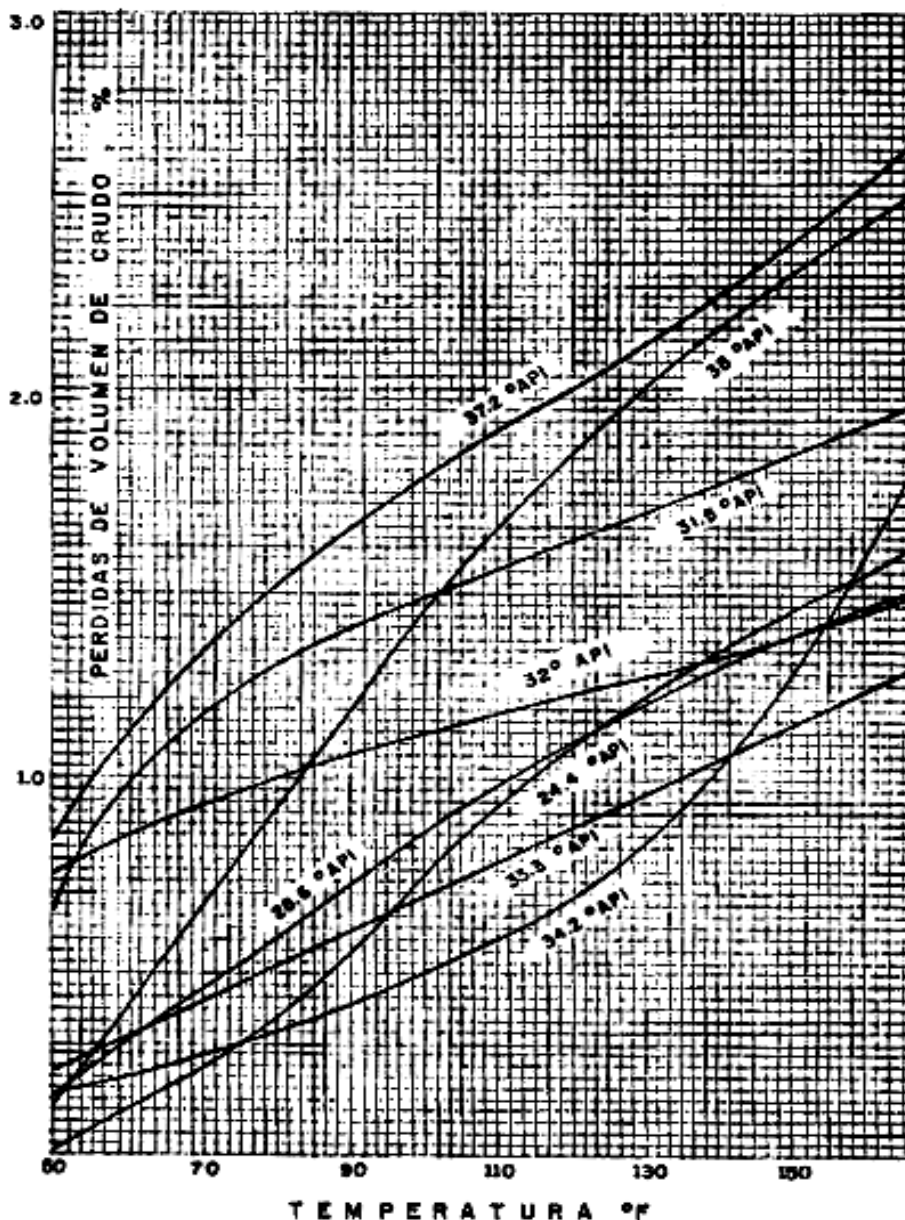


Figura N° 1.2. Pérdidas de volumen por evaporación.

La temperatura tiene un efecto de reducción de viscosidad tanto del petróleo como del agua; sin embargo, el efecto es mayor en el petróleo. Esto hace que la diferencia de viscosidad disminuya con el aumento de la temperatura. Por otro lado el calor tiene un efecto semejante entre la densidad del petróleo y la densidad del agua. La mayor densidad del agua es a 4 °C, a mayor o menor temperatura que esta su densidad disminuye. Para el petróleo, la densidad disminuye constantemente a medida que aumenta la temperatura.

En casos de emulsión extrema se trata el crudo en separadores electrostáticos o ciclónicos.

La Figura N° 1.3 ⁽³⁾ muestra la curva de densidad del petróleo en función de su viscosidad y temperatura.

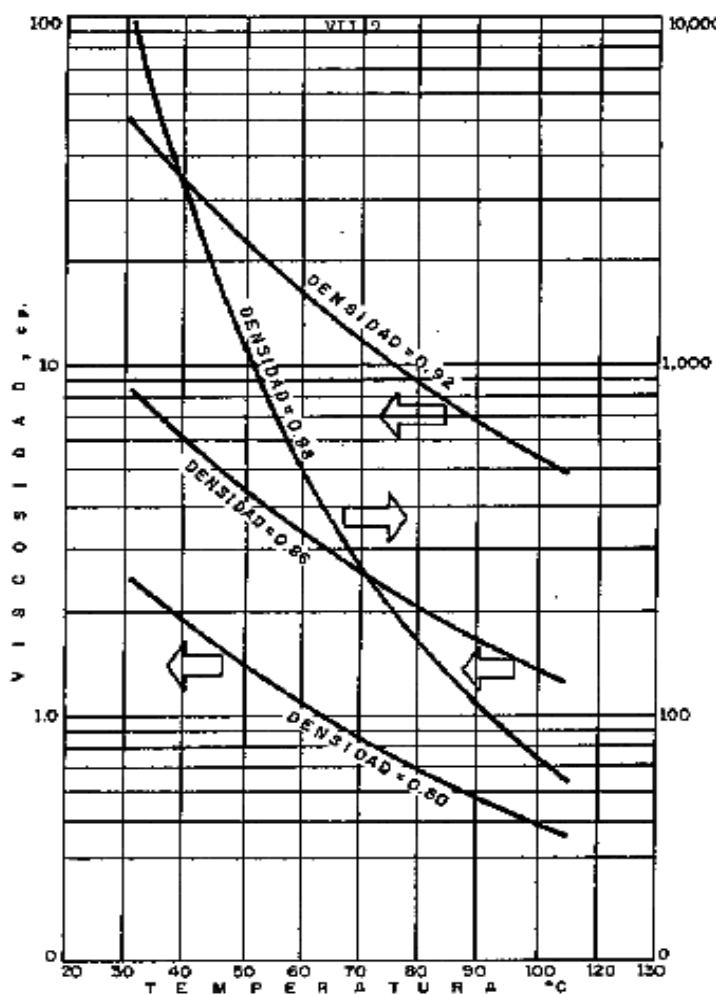


Figura N° 1.3. Curva de densidad del petróleo.

El efecto de la temperatura sobre los líquidos y emulsiones son los siguientes:

1 - El petróleo reduce drásticamente su viscosidad con el aumento de temperatura. Esta reducción para las emulsiones de agua en petróleo aumenta las fuerzas de atracción de las gotas durante la colisión de estas. La reducción de la viscosidad acelera la velocidad de separación y asentamiento del agua.

³ GÓMEZ, J; Apuntes de Clase "Manejo de la Producción en la Superficie". Facultad de Ingeniería. UNAM 1984. pag. 9.

2 – La temperatura aumenta la velocidad de movimiento de las moléculas incrementando la frecuencia de colisión de la fase dispersa.

3 – La temperatura reduce el efecto del emulsificante aumentando la rapidez de acción y eficacia del químico demulsificante. Esto es particularmente cierto en el caso de las parafinas, al disolver sus cristales reduce el efecto emulsificante de estas.

4 – La temperatura aumenta la diferencia de densidades entre el agua y el petróleo incrementando la velocidad de asentamiento del agua. En general para temperaturas menores de 120 °F, el tratamiento térmico aumenta la diferencia de densidades. Para petróleos pesados, los cuales normalmente requieren más de 180 °F, el calor puede tener efectos negativos sobre los componentes livianos que pueden evaporarse.

5 – Al aumentar la temperatura aumenta la velocidad de corrosión, siendo esta una de las desventajas.

1.2.4. EQUIPOS PARA EL TRATAMIENTO DE DESHIDRATACIÓN

Para deshidratar el petróleo se utiliza diferentes equipos, esto depende del sistema a utilizarse.

Tabla N° 1.1. Equipos y métodos de deshidratación de petróleo.

EQUIPO	METODO
Calentadores	Calor
Tratadores térmicos	Gravedad y calor
Tratadores termoquímicos	Gravedad, calor y reactivo químico
Tratadores termo electroquímicos	Gravedad, calor, reactivos químicos y electricidad
Tanques deshidratadores	Gravedad
Deshidratadores electrostáticos	Gravedad, electricidad
Coalescedores mecánicos	Gravedad y efectos mecánicos

1.3. AGUA DE FORMACIÓN

Con el petróleo y el gas sale agua de los pozos productores, la cantidad y propiedades físico-químicas del gas asociado y el agua de formación depende de la arena productora, sistema de extracción (levantamiento artificial), tiempo de producción del pozo. Al inicio de la explotación, generalmente un pozo tiene poca cantidad de agua pero con el paso del tiempo esta va en aumento.

Con las propiedades físico-químicas del agua de formación se evalúa la tendencia de esta, ya que puede ser incrustante o corrosiva. En el Anexo N° 3 se presenta los resultados de los análisis físico-químicos de las diferentes estaciones de las áreas de explotación de Petroproducción.

La determinación de la tendencia del agua es de importancia para posteriormente elegir el tipo de material a usarse en la construcción de los intercambiadores de calor.

En la industria petrolera, para determinar esta tendencia, se utiliza el índice de Odde -Tomson que considera el efecto de la presión total y de la presión parcial del bióxido de carbono. Este índice es análogo al de Stiff y Davis.

El cálculo del índice de saturación se lo realiza con la siguiente formula ⁽⁴⁾:

$$I_s = \log\left[\left(\frac{Ca^{++}}{HCO_3^-}\right)\right] + pH - 2.76 + 9.88 \times 10^{-3} T + 0.61 \times 10^{-6} T^2 - 3.03 \times 10^{-5} P - 2.348 \sqrt{\mu} + 0.77 \mu$$

Donde:

Ca^{++} = Concentración del ión calcio, (moles/L)

HCO_3^- = Concentración del ión bicarbonato, (moles/L)

⁴ PATTON, C; Applied water technology; Pag. 73

T = Temperatura, °F

P = Presión absoluta, (psia)

μ' = Concentración, (moles/L)

Para evaluar este índice se utiliza la tabla N° 1.2 ⁽⁵⁾:

Tabla N° 1.2. Tendencias del agua según su índice de saturación.

Índice de saturación	Tendencia
Si es positivo	El agua esta supersaturada con CaCO ₃ . Indica formación de escala.
Si es negativo	El agua tiene bajo contenido de CaCO ₃ .La formación de escala es improbable
Si es igual a cero	El agua esta saturada de CaCO ₃

1.3.1. CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DEL AGUA

Al realizar un análisis físico químico del agua de formación, se determina los siguientes parámetros:

- Ph: Está relacionado con la cantidad de protones en el agua. El agua con un ph menor de 7 es ácida, en cambio es básica si tiene un ph mayor que 7.
- Dureza: Es una medida de la cantidad de metales alcalinotérreos en el agua, principalmente calcio (Ca) y magnesio (Mg) provenientes de la disolución de rocas y minerales, será mayor si es más elevada la acidez del agua. Por lo tanto es una medida del estado de mineralización del agua. En función de este estado de mineralización, se puede distinguir distintos tipos de aguas, en la tabla N° 1.3 se presenta el tipo de agua según la dureza.

⁵ IDEM 4

Tabla Nº 1.3 ⁽⁶⁾. Tipos de dureza del agua

Clasificación	Dureza (mg CaCO₃/l)
Blandas	0 – 100
Moderadamente duras	101 – 200
Duras	200 – 300
Muy duras	> 300

- Alcalinidad: Es la suma de las concentraciones de los iones carbonato (CO₃²⁻), bicarbonato (HCO₃⁻) e hidróxidos (OH⁻).
- Nitratos: Es un compuesto de nitrógeno importante. La concentración de nitratos, al igual que de nitritos está relacionada con la posterior aparición de algas.
- Sólidos totales: Es la suma de sólidos suspendidos, disueltos y sedimentables. Estos sólidos aumentan la turbidez del agua y disminuyen la calidad de la misma.
- Sólidos en suspensión: Tiene naturaleza coloidal que se debe a las pequeñas cargas eléctricas que poseen estas partículas que las hacen tener una cierta afinidad por las moléculas de agua.
- Sólidos disueltos: Están relacionados con el grado de mineralización del agua por que son iones de sales minerales que el agua ha disuelto a su paso. Se relaciona con la conductividad del agua ya que un aumento de estos iones aumenta la capacidad conductiva.
- Oxígeno disuelto: Es la cantidad de este compuesto disuelto en el agua, se lo expresa normalmente en ppm (partes por millón). La solubilidad del oxígeno y la temperatura tiene una relación inversa, a mayor temperatura menos oxígeno se disuelve. Un valor alto de oxígeno disuelto en agua indica una buena calidad del agua para consumo humano.
- Turbidez: Es un parámetro relacionado con el grado de transparencia y limpieza del agua que depende de la cantidad de sólidos en suspensión que el agua puede contener, pueden ser resultado de una posible actividad biológica

⁶ IDEM 4

o simplemente una presencia de componentes no deseables. Se mide mediante la absorción que sufre un haz de luz al atravesar un determinado volumen de agua

1.4. GAS NATURAL

El gas que se utiliza como combustible es gas natural proveniente de la separación del crudo y el agua de formación. En el Anexo N° 4 se presentan los resultados de las cromatografías de gases de las estaciones de producción del Distrito Amazónico del año 2005.

De este anexo se detallan a continuación algunas de las propiedades más relevantes:

- Poder calorífico: Energía liberada en la combustión del gas natural seco con un volumen teórico de aire.
- Poder calorífico bruto: Cantidad de energía liberada al iniciarse la combustión completa de una cantidad específica de gas con aire, ambos a condiciones estándar (288,15 K). Los productos de la combustión se enfrían hasta las condiciones estándar (288,15 K) midiéndose el calor liberado hasta este nivel de referencia. Al poder calorífico bruto también se le denomina poder calorífico superior.
- Poder calorífico neto: Resultado del valor del poder calorífico bruto menos el calor latente de vaporización del vapor de agua. Este vapor de agua es el que se forma de la combustión del hidrógeno del gas natural seco y el oxígeno del aire. Al poder calorífico neto también se le denomina poder calorífico inferior.
- Dióxido de carbono (CO₂): Compuesto químico inerte presente en el gas natural seco, en ausencia o en muy bajo contenido de vapor de agua no es corrosivo. Sin embargo, en presencia de vapor de agua forma el ácido carbónico que produce corrosión en los sistemas de tuberías metálicas. Actúa como producto inerte reduciendo el contenido calórico del gas en su utilización como combustible.

- Oxígeno (O₂): Elemento químico presente en cantidades bajas en el gas natural seco, que debe controlarse para evitar corrosión en tuberías de acero en presencia de humedad.
- Sulfuro de hidrógeno (H₂S): Compuesto químico presente en cantidades bajas en el gas natural seco, el cual, no sólo tiene una gran acción corrosiva sobre el material de las tuberías (ante la presencia de un alto contenido de vapor de agua), sino que además es un contaminante de alta toxicidad para el ser humano.
- Metano (CH₄): Compuesto químico que aumenta el poder calorífico del gas natural.

1.4.1. CROMATOGRAFÍA DE GASES

Para determinar la composición de un gas se utiliza la cromatografía de gases que es un método físico de separación en el cual los componentes a separar se distribuyen entre dos fases, una de las cuales constituye la *fase estacionaria*, de gran área superficial, y la otra es un fluido (*fase móvil*) que pasa a través o a lo largo de la fase estacionaria. Con esto se obtiene un cromatograma que es comparado con patrones para determinar su composición.

El análisis cromatográfico proporciona datos para el cálculo de las propiedades fisicoquímicas tales como el poder calorífico y la densidad relativa.

1.5. SISTEMA USADO EN PETROPRODUCCION

A continuación se describe el proceso de deshidratación de petróleo utilizado en las diferentes áreas de Petroproducción en el Distrito Amazónico. En la Figura N° 1.4 se muestra el sistema de producción de petróleo.

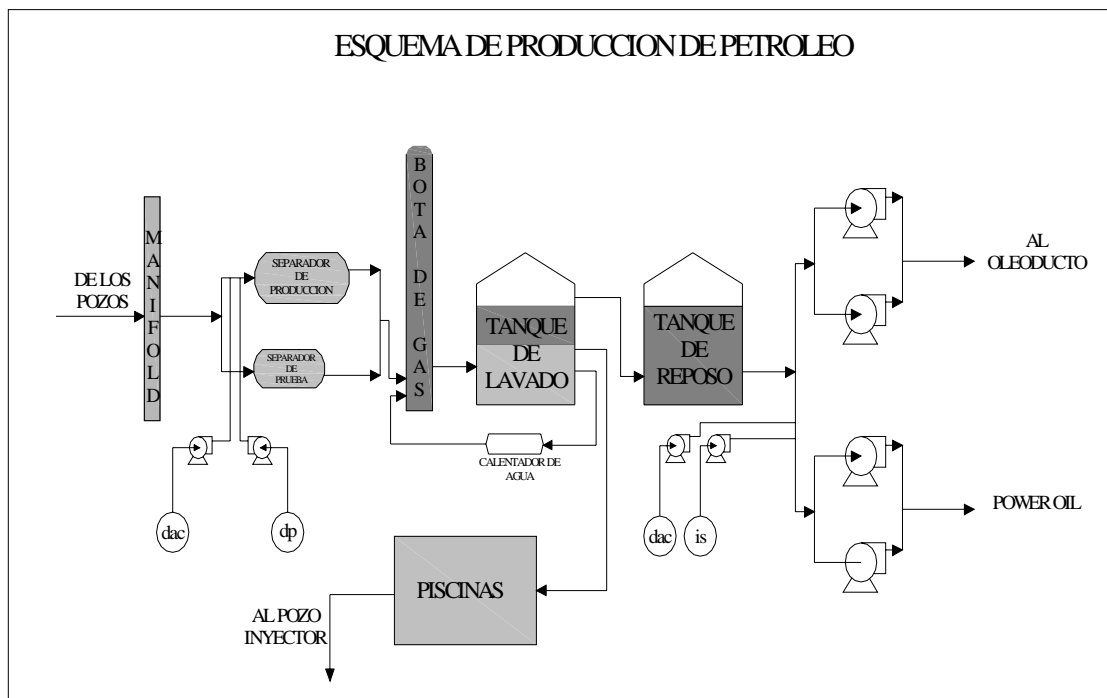


Figura N° 1.4. Diagrama de producción de petróleo.

Después de que el pozo ha sido perforado, el petróleo ya sea por flujo natural o levantamiento artificial, fluye hacia la subestación o estación correspondiente donde llega hasta un manifold, de allí pasa a los separadores de producción donde se separa la fase gas. Este gas es utilizado como combustible para la generación de energía eléctrica y el exceso es quemado en los mecheros.

La mezcla de crudo y agua pasa a la siguiente etapa que es la deshidratación del petróleo, para ello se utiliza los tanques de lavado en donde el crudo se encuentra en la parte superior sobre de un colchón de agua.

En las diferentes estaciones de Petroproducción la deshidratación del petróleo se la hace en base a tratamientos químicos con demulsificantes que proporcionan empresas de servicios dedicadas al tratamiento de crudo y agua.

Para este tratamiento químico se utiliza demulsificantes a base de resinas secantes que los inyectan a nivel de pozo, en los separadores y al ingreso del tanque de lavado. La concentración y el tipo de químico se lo determinan por la temperatura del fluido y composición química; valores que cambian de estación en estación. Además del demulsificante, al petróleo se le inyecta otro tipo de químicos como: antiparafínicos, antiespumantes, inhibidores de escala, biocida,

anticorrosivos; que son utilizados en los diferentes procesos inherentes a la extracción y producción de petróleo.

Dependiendo de la temperatura en el tanque de lavado algunas estaciones complementan la deshidratación con la utilización de calentadores de agua. Estos calentadores incrementan la temperatura del agua de formación que circula por el tanque de lavado, esta a su vez calienta el petróleo que se encuentra en dicho tanque.

1.6. ANÁLISIS DE LOS CALENTADORES ARTESANALES

En la mayoría de estaciones la temperatura del crudo en el tanque de lavado es menor a la que se necesita para que el proceso de deshidratación sea óptimo, esto supone un mayor consumo de químico demulsificante.

Para superar este inconveniente, los técnicos de Petroproducción construyen calentadores para el agua de formación, conocidos como de forma artesanal, sin cálculos que sustenten la elección del tipo de intercambiador, dimensiones, ni materiales.

Para analizar estos calentadores, se utiliza como marco teórico de referencia la Termodinámica y la Transferencia de Calor, en especial la parte de Intercambiadores de Calor que involucra los procesos de: conducción, convección, flujo interno y externo. Previamente se los describe de manera general y en el siguiente capítulo se profundiza en los cálculos de efectividad y flujo de calor.

1.6.1. CONSIDERACIONES GENERALES

Los calentadores artesanales se los puede clasificar como intercambiadores de calor de tubos concéntricos, de flujo paralelo o en contra flujo, dependiendo de la estación. En la Figura N° 1.5 se presenta un calentador típico en donde el fluido caliente, gases de combustión, fluyen por el tubo interno llamado tubo de fuego mientras que el fluido frío, agua de formación, fluye por la sección anular entre el tubo interno y externo.



Figura N° 1.5. Calentador artesanal de tubos concéntricos.

En las estaciones Auca Sur y Central se dispone de calentadores en forma de una caja metálica, en cuyo interior atraviesa un tubo de diámetro de 6", dicho tubo es en forma de U. En la parte inferior se tiene varios quemadores que son los que calientan el agua de formación.

Todos los tipos de calentadores son construidos con tubería de deshecho, material API 5L grado B, en el Anexo N° 5 se encuentra la hoja técnica de este tipo de material; el tubo interno es generalmente de cedula 80, mientras que el tubo externo es de cedula estándar. Los diámetros varían en el tubo interno desde 12 hasta 16 pulgadas, esto debido a que se los construye con el material disponible ese momento. El diámetro del tubo externo es de 26", tubería que se la utiliza para oleoducto.

En los talleres se acopla el tubo externo e interno soldándolos con tapas que se obtienen de la misma tubería. La soldadura de raíz se la realiza con electrodo E6010 de 1/8", para los pases siguientes se utiliza el mismo tipo de electrodo pero de diámetro 5/32", para el último pase se utiliza electrodo E7018 de 1/8".

Posterior a esto se suelda la tubería de entrada y salida de agua, y la chimenea para los gases de combustión. Una vez ensamblado todo se suelda el calentador a un skid metálico y se lo traslada hasta la estación donde se conecta a las tuberías de agua.

El quemador de gas es construido por el Departamento de PMD, se lo puede clasificar como un inhalador de premezclado, debido a que el aire se mezcla con el gas antes de llegar a la cámara de encendido. Estos quemadores cuentan con un sistema de control para evitar accidentes que consiste en una válvula de tres vías, que controla la existencia de llama y la bomba de agua.

A continuación se muestra el esquema de un quemador construido por el Departamento de PMD.



Figura N° 1.6. Esquema de un quemador artesanal.

En el Anexo N° 6 se encuentra el catálogo de las válvulas de tres vías utilizadas.

1.6.2. DISTRIBUCIÓN DE LOS CALENTADORES EN LAS ESTACIONES

Dependiendo de la estación, existe uno o varios calentadores conectados en serie o paralelo. A continuación se detalla la interconexión de los calentadores, la bomba y el tanque de lavado de cada estación:

1. Área Lago Agrio

- Estación Guanta: Existe un calentador de tubos concéntricos en contra flujo, el agua ingresa a la entrada de la bota de gas.
- Estación Lago Central: Existe un calentador de tubos concéntricos en contra flujo, el agua ingresa a la entrada de la bota de gas.
- Estación Lago Norte: Un calentador de tubos concéntricos en contra flujo, el agua ingresa a la entrada de la bota de gas

2. Área Auca

- Estación Auca Sur: Existen dos calentadores, el primero es un calentador tipo caja metálica rectangular donde el agua fluye por un tubo interno en forma de U, luego el agua pasa a un calentador de tubos concéntricos en contraflujo, el agua ingresa directamente a un costado del tanque de lavado.
- Estación Auca Central: Existe un calentador rectangular, el agua ingresa a un costado del tanque de lavado.

3. Área Sacha

- Estación Sacha Central: Cuatro calentadores de tubos concéntricos en flujo paralelo que trabajan en grupos de dos, ingresan a la salida de la bota y a un costado del tanque
- Estación Sacha Sur: Cuatro calentadores de tubos concéntricos en flujo paralelo que trabajan en grupos de dos, el agua ingresa a la salida de la bota de gas.
- Estación Sacha Norte 1: Dos calentadores de tubos concéntricos en flujo paralelo conectados en serie, el agua de formación ingresa a la salida de la bota de gas.
- Estación Sacha Norte 2: Dos calentadores de tubos concéntricos en flujo paralelo conectados en serie, el agua de formación ingresa a la salida de la bota de gas.
- Estación Pucuna: Dos calentadores de tubos concéntricos conectados en serie y flujo paralelo, el agua ingresa a la bota de gas.

4. Área Shushufindi

- Estación Aguarico: Existen dos calentadores de tubos concéntricos conectados en serie, de flujo paralelo, ingresan directamente al tanque.

En la estación Secoya del campo Libertador, no se utilizan calentadores debido a que la temperatura en los tanques es alta (150°F), en la estación Pichincha, los calentadores dejaron de funcionar hace dos años debido a que se rompió la tubería de entrada, no se la reparó por que la temperatura en el tanque supera los 115 °F.

En otras estaciones de otras áreas tampoco se utiliza calentadores debido a que se tienen pozos calientes, con temperaturas sobre los 110 °F.

1.6.3. MEDICIONES DE CAMPO

Para las mediciones de campo y recolección de datos necesarios para el cálculo y análisis de la efectividad de los calentadores, se visitó los campos de Petroproducción ubicados en las provincias de Sucumbíos y Orellana.

Petroproducción, empresa estatal petrolera, encargada de la explotación de petróleo en el país, actualmente tiene cinco áreas a su cargo, estas son:

- Área Lago Agrio: Ubicado en la provincia de Sucumbíos, tiene a su cargo las estaciones Lago Agrio Central, Lago Agrio Norte y Guanta.
- Área Sacha: Ubicado en la provincia de Orellana, tiene las estaciones Pucuna, Sacha Central, Sur, Norte 1 y 2.
- Área Auca: Ubicado en la provincia de Orellana, tiene las estaciones Auca Central, Auca Sur y Cononaco.
- Área Libertador: Ubicado en la provincia de Sucumbíos, tiene las estaciones: Pichincha, Secoya, Cuyabeno, Tetete, Atacapi, Parahuacu, Shuara, Sansahuari, Shushuqui y Frontera.
- Área Shushufindi: Ubicado en la provincia de Sucumbíos, tiene las estaciones Shushufindi Suroeste, Sur, Central, Norte y Aguarico.

Desde el día 16 de enero de 2006 se procedió a la medición de diámetros, longitudes y temperaturas de los calentadores y a la recopilación de información necesaria. Todas estas mediciones de campo y los datos recopilados se encuentran en el Anexo N° 7.

1.6.3.1. Temperaturas

Para realizar las mediciones de temperaturas de entrada y salida de gas y de agua de formación se utilizó un termómetro infrarrojo de las siguientes características:

Tabla N° 1.4. Características del termómetro infrarrojo utilizado.

Marca:	Cole Parmer
Serie:	39650-04
Apreciación:	±2 °F
Rango de medida:	-25 a 932 °F

En el Anexo N° 8 se adjunta una copia del manual del equipo.

El procedimiento para la toma de datos de temperaturas se lo realizó siguiendo las instrucciones de lo sugerido por el fabricante en el manual de usuario del termómetro infrarrojo.

Este tipo de termómetros utiliza un pirómetro de radiación que está constituido por cuatro partes: un sistema óptico, un detector de radiación, un sistema eléctrico y un dispositivo de lectura.

Se basa en la radiación de energía térmica que emite una superficie. Todos los materiales emiten radiación electromagnética, dependiendo de su temperatura; en muchas situaciones de proceso, esta energía está en la región infrarroja. Con el aumento de la temperatura, la cantidad de radiación infrarroja y su frecuencia aumentan. Estos detectores tienen la ventaja de realizar la medida a distancia, sin entrar en contacto con el cuerpo cuya temperatura se está midiendo.

1.6.3.2. Consumo de gas

En todas las áreas se lleva un balance de gas. En el Anexo N° 9 se encuentra el balance de gas de las diferentes áreas visitadas.

Para determinar el consumo de gas se utiliza el sistema placa orificio (medidor de tipo diferencial) según la Norma AGA (American Gas Association) Reporte 3, este método es empleado cuando se tiene volúmenes grandes de gas.

La lectura se registra en cartas cuadráticas de un registrador marca Barton, el cual mide la presión estática y la presión diferencial que ocurre en la placa orificio. Una precisión típica varía de $\pm 3\%$ a $\pm 0.5\%$, dependiendo del tipo de registro de lectura empleado.

En la Figura N° 1.7 se presenta un registrador marca Barton, en corte transversal, donde se aprecia las diferentes partes del equipo.

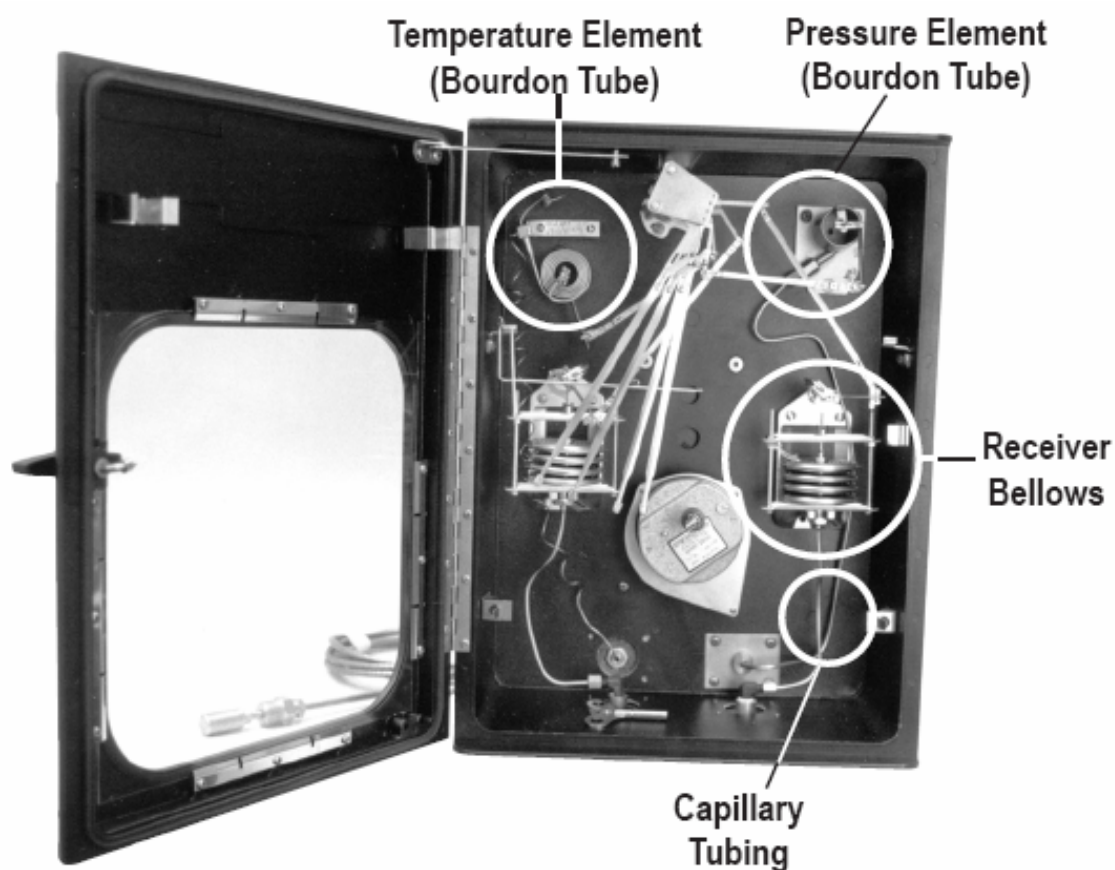


Figura N° 1.7. Corte transversal de un registrador

Para obtener una ecuación que relacione las mediciones del registrador, se procede de la siguiente manera:

Se aplica el teorema de Bernoulli en dos secciones de la tubería que se encuentran a un mismo nivel:

$$h_1 + \frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\rho_1} = h_2 + \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\rho_2} \quad (1.1)$$

Como las dos secciones se encuentran al mismo nivel y al ser el mismo fluido, al reagrupar la ecuación (1.1), se tiene:

$$P_1 - P_2 = \frac{\rho}{2g}(V_2^2 - V_1^2) \quad (1.2)$$

Si se considera la diferencia de presión como una columna de mercurio, h_m , en el tubo en "U" del medidor, el cual contiene mercurio, se tiene:

$$P_1 - P_2 = \rho_m h_m \quad (1.3)$$

A su vez, el caudal, Q, es:

$$Q = V * A \quad (1.4)$$

Y;

V = Velocidad

A = Área

Si se supone que el diámetro de la vena contracta es igual al diámetro del orificio, se tiene:

$$Q = Q_1 = Q_2 \quad (1.5)$$

Al sustituir la ecuación (1.5) en (1.4), se obtiene:

$$\frac{\pi d_i^2}{4} V_1 = \frac{\pi d^2}{4} V_2 \quad (1.6)$$

Donde:

d = Diámetro del orificio

Despejando V_1 :

$$V_1 = \left(\frac{d}{d_i} \right)^2 V_2 \quad (1.7)$$

Si se relaciona los diámetros de la siguiente manera:

$$\beta = \frac{d}{d_i} \quad (1.8)$$

Reemplazando las ecuaciones (1.8), (1.7) y (1.3) en (1.2):

$$\rho_m h_m = \frac{\rho}{2g} (V_2^2 - V_2^2 \beta^4) \quad (1.9)$$

Despejando V_2 :

$$V_2 = \left(\frac{2g\rho_m h_m}{\rho(1-\beta^4)} \right)^{1/2} \quad (1.10)$$

Reemplazando la ecuación (1.10) y el área en la igualdad del caudal, se tiene:

$$Q = \frac{\pi d^2}{4} \left(\frac{2g\rho_m h_m}{\rho(1-\beta^4)} \right)^{1/2} \quad (1.11)$$

Transformando la altura de columna de mercurio en columna de agua, se tiene:

$$\rho_m h_m = \rho_w h_w \quad (1.12)$$

Y;

ρ_w = Densidad del agua, 1 g/cm^3 a 60° F ,

g = Aceleración de la gravedad, 978.73 cm/s^2

$$Q = \frac{\pi}{4} (2g\rho_w)^{1/2} \frac{1}{(1-\beta^4)^{1/2}} d^2 \left(\frac{h_w}{\rho} \right)^{1/2}$$

Remplazando valores se tiene que:

$$Q = \frac{3.1416}{4} d^2 (2 \times 978.73 \times 1.000)^{1/2} \frac{1}{(1-\beta^4)^{1/2}} \left(\frac{h_w}{\rho} \right)^{1/2}$$

$$Q = 34.7485 d^2 \frac{1}{(1-\beta^4)^{1/2}} \left(\frac{h_w}{\rho} \right)^{1/2} \quad (1.13)$$

Donde:

Q = Consumo de gas en cm^3/s .

d = Diámetro del orificio en cm.

P es la densidad del gas (g/cm^3)

En el sistema ingles se tiene:

$$Q = 359.1 d^2 \frac{1}{(1-\beta^4)^{1/2}} \left(\frac{h_w}{\rho} \right)^{1/2} \quad (1.14)$$

h_w = Altura de la columna, (in H_2O).

ρ = Densidad del gas, (lb/pie^3)

q = Consumo, (pie^3/h)

d = Diámetro del orificio, (plg)

En las ecuaciones (1.13) y (1.14), una condición es que no existan pérdidas de energía y que el área del flujo después de la placa sea igual al orificio. Puesto que ninguna de estas suposiciones es verdadera, se introduce un coeficiente de descarga “k”, cuya determinación es experimentalmente, y que además de compensar los efectos de contracción del chorro y desviación de los vectores de la velocidad incluya el término $1/(1-\beta^4)^{1/2}$, por lo que la ecuación (1.14) se puede expresar como:

$$Q = 359.1kd^2 \left(\frac{h_w}{\rho} \right)^{1/2} \quad (1.15)$$

Utilizando la ley de los gases de Boyle y Charles:

$$\rho = \rho_a \gamma_g \frac{P_f 492}{14.7T_f} \quad (1.16)$$

Y;

ρ = Densidad del gas a condiciones de flujo, (lb/pie³).

ρ_a = Densidad del aire seco a 14.73 lb/pg² absoluta y 32⁰ F = 0.08073 lb/pie³

γ_g = Densidad relativa del gas (aire seco = 1.000)

P_f = Presión de flujo absoluta, (lb/pg²)

T = Temperatura de flujo, (R)

Sustituyendo valores en (1.16) se tiene:

$$\rho = 0.08073\gamma_g \frac{P_f 492}{14.7T_f} \quad (1.17)$$

Sustituyendo ρ en la ecuación (1.15) y agrupando, se tiene:

$$Q = 218.44d^2k \frac{T_b}{P_b} \left(\frac{1}{T_f \gamma_g} \right)^{1/2} (h_w P_f)^{1/2} \quad (1.18)$$

Considerando el valor de C como una constante se tiene:

$$C = 218.44d^2k \frac{T_b}{P_b} \left(\frac{1}{T_f \gamma_g} \right)^{1/2} \quad (1.19)$$

Hecho esto finalmente se tiene que:

$$Q_b = C(h_w P_f)^{1/2} \quad (1.20)$$

Donde:

Q_b = Gasto, (pie³/h)

C = Constante de flujo del orificio

h_w = Presión diferencial, (in H₂O)

P_f = Presión estática absoluta, (lb/pg²)

Como la lectura es registrada en cartas, es decir, da el valor de la raíz cuadrada del valor medido, por lo que para determinar el consumo de gas se lee la carta en el planímetro, se determina la presión de flujo y la presión diferencial y se los multiplica por la constante de orificio, C.

Esta constante de orificio se define en el Reporte N° 3 de AGA como:

$$C = F_b * F_r * \gamma * F_{pb} * F_{tb} * F_{tf} * F_g * F_{pv} * F_m \quad (1.21)$$

Donde:

F_b = Factor básico de orificio

F_r = Factor de número de Reynolds

γ = Factor de expansión

F_{pb} = Factor de base de presión

F_{tb} = Factor de base de temperatura

F_{tf} = Factor de temperatura de flujo

F_g = Factor de peso específico

F_{pv} = Factor de supercompresibilidad

F_m = Factor manómetro (solo para manómetros de mercurio)

Para determinar el consumo de gas utilizando la lectura de la presión estática y diferencial que registra el equipo marca Barton, se utiliza la siguiente fórmula:

$$Q = C * L_p * L_h \quad (1.22)$$

Y;

L_p = Lectura de la presión estática, (psia)^{1/2}

L_h = Lectura de la presión diferencial, (in. H₂O)^{1/2}

1.6.3.3. Caudal de agua

El caudal de agua se lo estima con las curvas características para cada modelo de bomba y la curva propia del sistema. El Departamento de Mantenimiento de Petroproducción dispone de estas curvas ya que es el encargado de conectar dichos equipos a los calentadores y darles su mantenimiento respectivo. Las curvas de varios de estos equipos y sus manuales se encuentran en el Anexo N° 10.

Para la estación Sacha Central se tiene el siguiente tipo de bomba:

- Marca: DURCO MARK III 2K 4x3-10H
- RPM=1750

Por lo tanto en el catálogo se tiene la curva N° MIII7600CV.

La Figura N° 1.8, muestra esquemáticamente el sistema de recirculación del agua de formación en la estación Sacha.

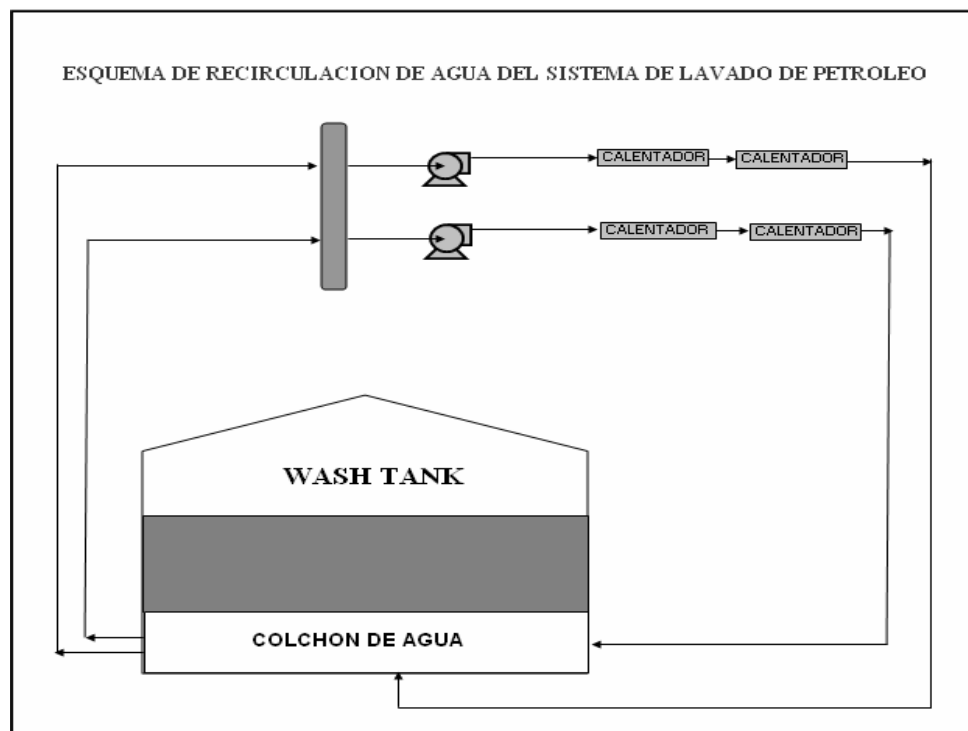


Figura N° 1.8. Esquema de recirculación de agua.

La ecuación de la energía para flujo y estado estable, en su forma simplificada dice:

$$h_b + \frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\rho_1} = h_f + \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\rho_2} \quad (1.23)$$

Donde:

P_1 y P_2 = Presiones absolutas

ρ = Densidad del fluido, en este caso del agua

V_1 y V_2 = Velocidades

h_b = Energía suministrada por la bomba al fluido

h_f = Energía perdida por fricción por la bomba al fluido

Para este caso la altura del fluido es la misma y la diferencia de presiones es igual a cero.

A su vez, la velocidad es igual a:

$$V = \frac{Q}{A} \quad (1.24)$$

Donde:

Q = Caudal

A = Área.

Remplazando la ecuación (1.24) en (1.23), y despejando Q se obtiene:

$$Q = \pi D^2 \sqrt{\frac{h_b - h_f}{8g(d_2^4 - d_1^4)}} \quad (1.25)$$

Se observa en la Figura N° 1.9 que el caudal para la bomba, trabajando a esas condiciones es de 130 gpm.

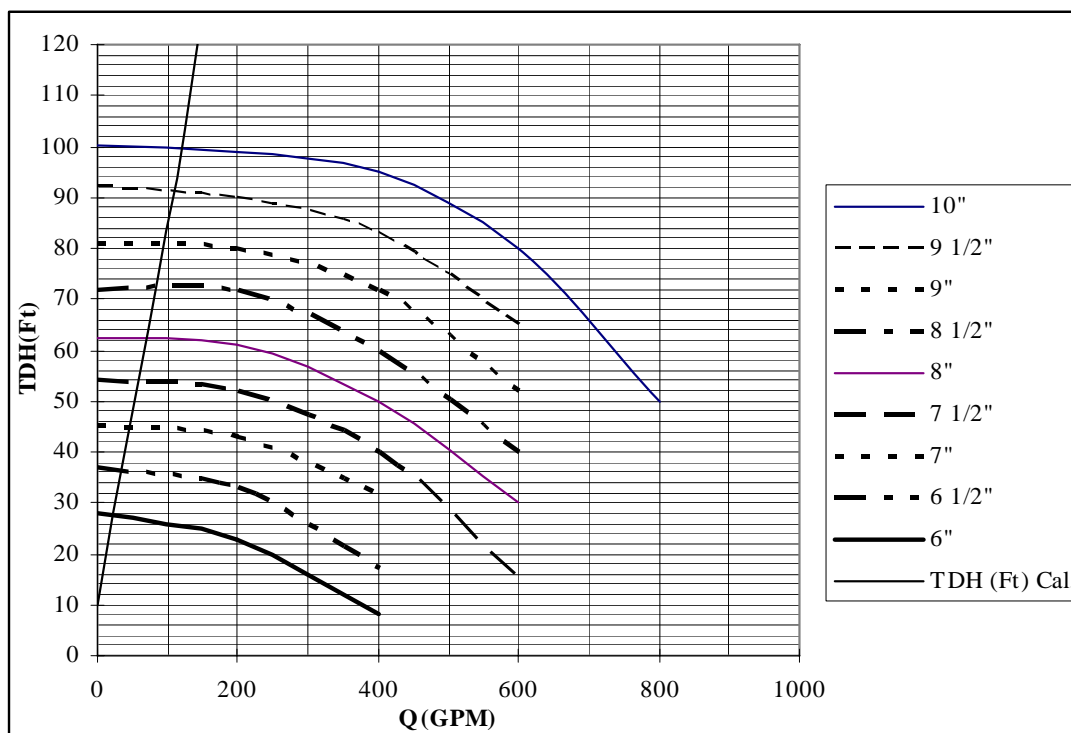


Figura N° 1.9. Curva de la bomba y el sistema.

1.6.4. PROBLEMAS ENCONTRADOS

Los calentadores artesanales presentan problemas de diseño, reparación y mantenimiento. A continuación se detalla estas falencias con su respectivo sustento teórico y cálculos realizados.

1.6.4.1. Efectividad

El principal inconveniente que presentan estos calentadores artesanales es su baja efectividad, no transfieren la mayor parte de calor del gas al agua de formación, por lo tanto el incremento de temperatura en el agua es bajo, en la mayoría de las estaciones es de 5°F y en el mejor de los casos llega a 10°F, en el capítulo II se indica la forma de calcular la efectividad de estos calentadores. En la Tabla N° 1.5 se encuentra la efectividad de los calentadores en funcionamiento en Petroproducción en el Distrito Amazónico.

Tabla Nº 1.5 Efectividad de los calentadores de agua.

UBICACIÓN		EFFECTIVIDAD
CAMPO	ESTACION	%
Lago Agrio	Central	3,52
	Norte	16,38
	Guanta	2,03
Sacha	Central	28,85
		9,18
		23,93
		11,47
	Norte 1	2,55
		7,57
	Norte 2	9,90
		13,46
	Sur	11,06
		23,03
		18,80
		44,22
	Pucuna	3,70
		8,12
Auca	Sur	8,25
		3,33
	Central	13,15
Shushufindi	Aguarico	0,34
		4,24

1.6.4.1.1. Lago Agrio

Esta área tiene pozos fríos, la temperatura que alcanza el crudo a la salida de los separadores esta entre 94 y 98 °F, por lo que el uso de calentadores es indispensable, pero los que actualmente existen tienen bajos rendimientos como se aprecia en la Figura N° 1.10.

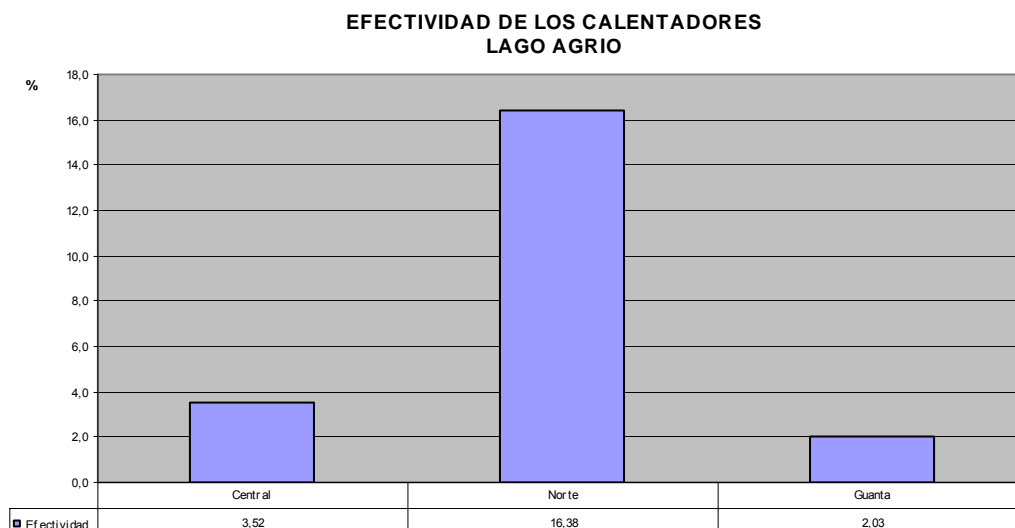


Figura N° 1.10. Efectividad de los calentadores de Lago Agrio.

Se observa que a pesar de ser calentadores en contraflujo su efectividad es baja, menos del 20%, especialmente el calentador de la estación Guanta, donde en días de lluvia no existe diferencia de temperaturas; es decir, la temperatura de entrada y salida son iguales. Esto se debe a que tiene mas de 6 meses de funcionamiento sin que haya recibido ningún tipo de mantenimiento como seria el de retirar la escala que se encuentra acumulada.

El calentador de la estación Lago Norte tiene la mayor efectividad (19%) de esta área debido a que es 3m más largo en, aquí se aprovecha la parte de la chimenea de salida de los gases haciendo que el agua ingrese por este sitio, en la Figura N° 1.11 se puede observar este calentador.



Figura N° 1.11. Fotografía del calentador de Lago Norte.

1.6.4.1.2. *Sacha*

En la estación Sacha Central el crudo tiene una temperatura más baja debido a que se utiliza el sistema de levantamiento artificial power oil. En la Figura N° 1.12 se observa que la eficiencia de los calentadores no supera el 45%.

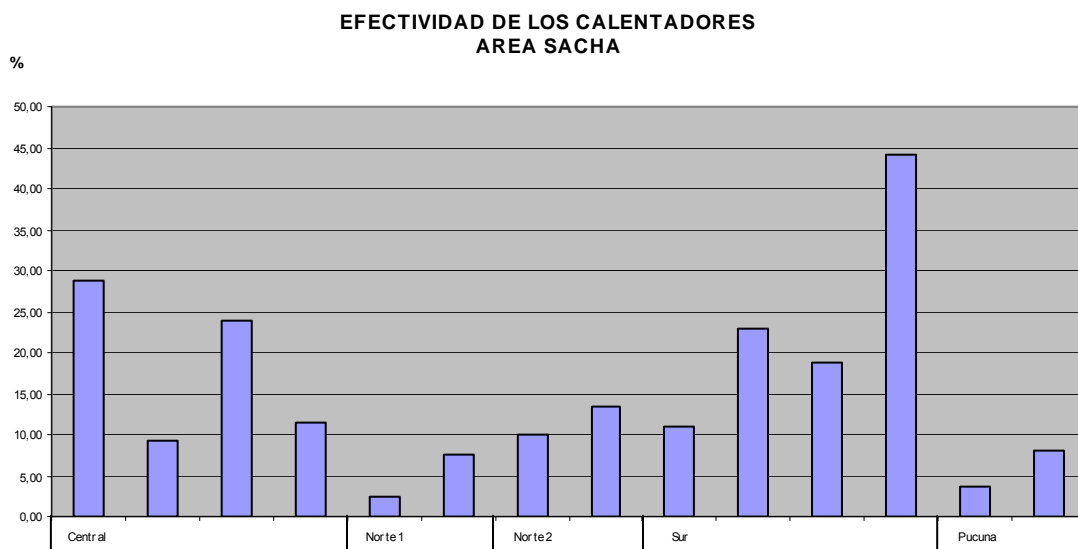


Figura N° 1.12. Efectividad de los calentadores de Sacha.

El mejor rendimiento tiene el calentador número cuatro de la estación Sur puesto que el aumento de temperatura es de 13.3 °C, esto se debe a que la longitud es de 7m, esto aumenta el área efectiva de transferencia de calor,

Los calentadores de la estación Norte 1 tienen baja efectividad debido a que el poder calórico neto de del gas es bajo (1 283,479 Btu/scf); comparado con el de otras estaciones.

1.6.4.1.3. Auca

En la Figura N° 1.13 se observa la baja efectividad de los calentadores del área Auca.

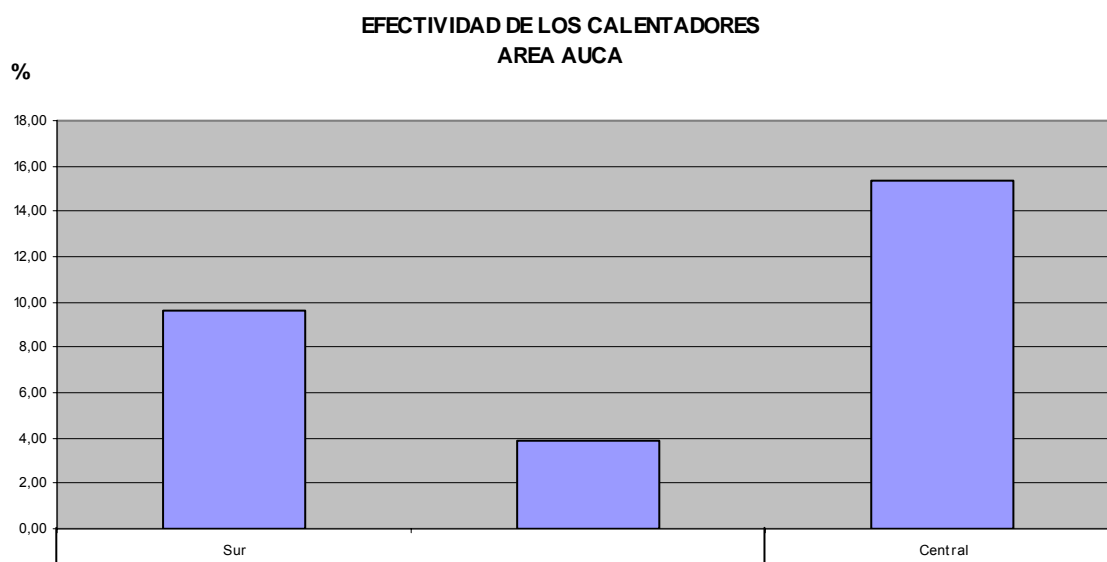


Figura N° 1.13. Efectividad de los calentadores de Auca.

En esta área se encuentran calentadores de tipo caja metálica pero su efectividad también es baja, la mayor parte de calor se transfiere al ambiente, pero comparados con el calentador artesanal de tubos concéntricos es mejor, mientras que éste tiene una efectividad del 3.68%, los de caja metálica alcanzan el 9 y 15% respectivamente.

1.6.4.1.4. Shushufindi

La única estación que requiere calentadores de agua es Aguarico.

La efectividad de estos calentadores es baja debido a que con el paso del tiempo se llenan de escala, lo que disminuye la transferencia de calor y por lo tanto la temperatura a la que elevan el agua de formación es de unos pocos grados Fahrenheit.

La temperatura que alcanzan estos calentadores no es suficiente para que el demulsificante actúe eficientemente, por lo que, se debe aumentar la dosis de químicos lo cual implica un aumento de costos. En la Figura N° 1.14 se observa que la efectividad de los calentadores del Área Shushufindi no sobrepasa el 10%

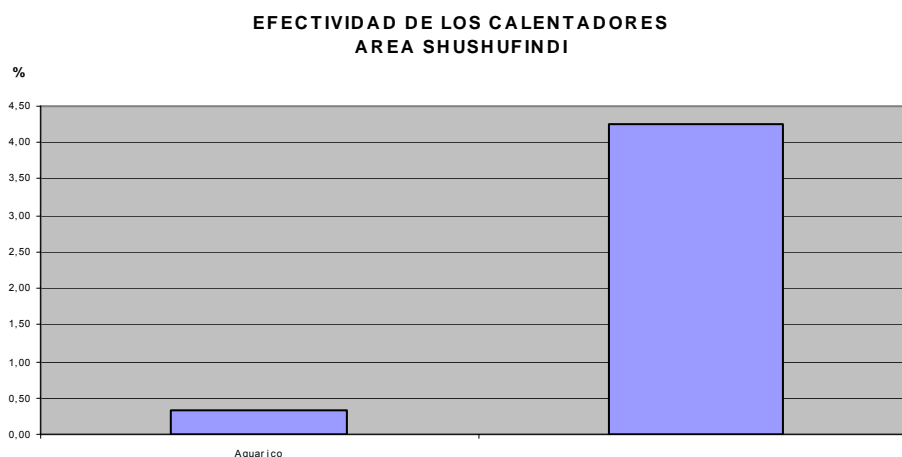


Figura N° 1.14. Efectividad de los calentadores de Shushufindi.

Para aumentar en algo esta diferencia de temperaturas, en diversas estaciones, los técnicos de Petroproducción colocan dos o más calentadores en serie, sin embargo esto no soluciona el problema. Otras variantes que realizan a los calentadores es en el sentido de flujo, algunos son de contra flujo, otros de flujo paralelo.

La efectividad de los calentadores de la estación Aguarico, 0.34% y 4.24%, se debe a que el consumo de gas, 300 MPCD, es alto. Este valor se asume, por que, no se posee el equipo para su correcta medición.

1.6.4.2. Esfuerzos térmicos

Los gradientes de temperatura que se presenta en los calentadores generan dilatación térmica, que conlleva, la presencia de esfuerzos térmicos.

El mayor gradiente se genera en el lado del quemador debido a que es allí donde el tubo interno se calienta más. Este tubo se dilata más que el tubo externo. Es precisamente en este lugar donde los calentadores presentan fallas y roturas, como se puede observar en la Figura N° 1.15.



Figura N° 1.15. Lado del calentador donde se presenta el gradiente de temperatura más elevado

En la Figura N° 1.16 se observa el gradiente de temperaturas en el tubo externo e interno en función de la longitud del calentador.

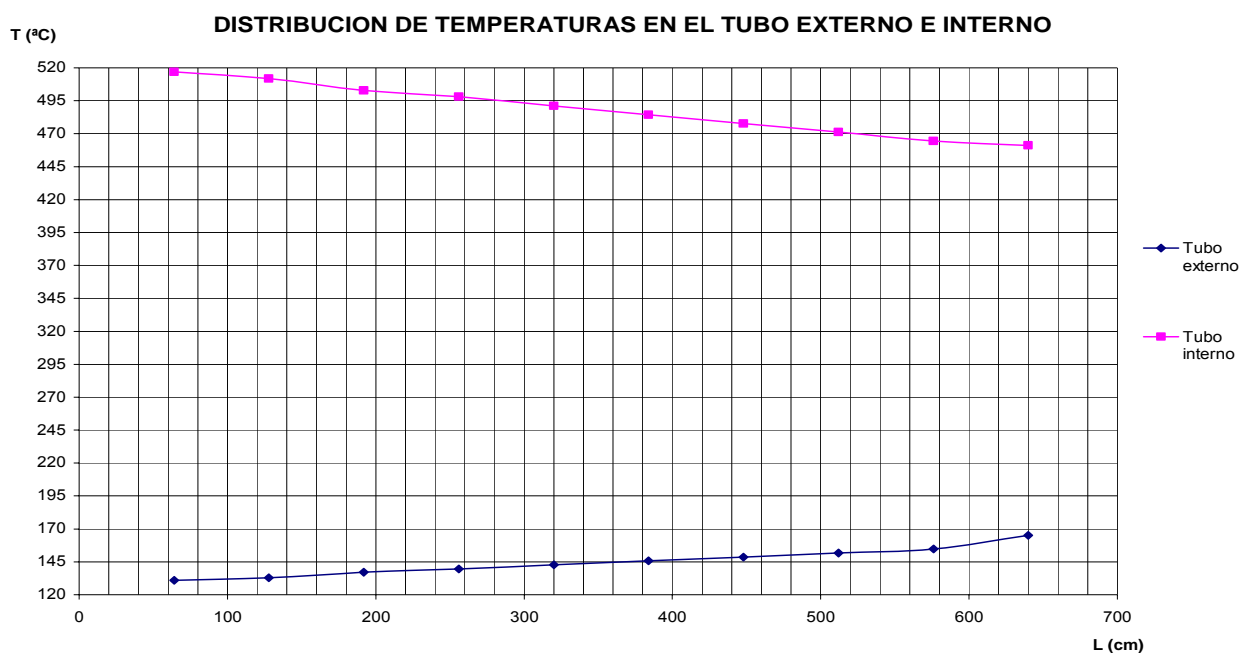


Figura N° 1.16. Perfil de temperaturas.

Para calcular los esfuerzos térmicos se procede a realizar el diagrama de cuerpo libre del calentador, este diagrama se presenta en la Figura N° 1.17.

DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE



Figura N° 1.17. Diagrama de cuerpo libre de los calentadores.

Se considera al calentador como una viga continua empotrada en los extremos por que al estar soldados no permite movimiento de ninguno de los tubos.

La dilatación lineal debido a la diferencia de temperatura es:

$$\Delta L = \alpha L \Delta T \quad (1.26)$$

Donde:

ΔL = Dilatación lineal, (m)

α = Coeficiente de dilatación térmica del acero que es igual a 125×10^{-7} (1/°C)

L = Longitud del calentador, (m)

$\Delta T = T_2 - T_1$ = Diferencia de temperaturas entre el tubo externo e interno, (°C)

Pero la dilatación térmica del calentador debido a la fuerza que ejerce el tubo interno sobre el externo es:

$$\Delta L = \frac{RL}{EA} \quad (1.27)$$

Donde:

R = Reacción, (N)

E = Modulo de elasticidad del acero que es 2×10^6 (kg/cm²)

A = Área transversal, (m²)

Al igualar las ecuaciones (1.26) y (1.27) se obtiene:

$$\alpha L \Delta T = \frac{RL}{EA}$$

Y la reacción es igual a:

$$R = \alpha \Delta T EA \quad (1.28)$$

El esfuerzo debido al gradiente de temperatura generado en el calentador es:

$$\sigma = \frac{R}{A} \quad (1.29)$$

Reemplazando en la ecuación (1.29) la reacción obtenida, el esfuerzo es:

$$\sigma = \alpha \Delta T E \quad (1.30)$$

Tomando el calentador de Sacha Central que tiene los siguientes datos:

Temperatura en la superficie del tubo externo=57 °C

Temperatura en el tubo interno=260 °C

Entonces el esfuerzo debido al cambio de temperatura es:

$$\sigma = 5075 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

Este valor es alto para una tubería que no es nueva sino que ya ha estado en servicio. Si se considera que el esfuerzo de rotura de un acero al carbono sobrepasa los 6000 kg/cm².

La rotura ocurre entre el cordón de soldadura y el tubo externo de lado del quemador, esto porque en ese sitio es donde se encuentra el mayor gradiente de temperatura.

El gas disuelto en el agua a veces genera explosiones y para evitar que el calentador se salga del skid lo fijan soldando el tubo externo al mismo. Esto es lo que genera los esfuerzos térmicos, por que no permite que se dilaten los dos tubos.

Los materiales usados en la construcción de estos calentadores es acero al carbono, este tipo de material no es apto para trabajar a temperaturas altas es por ello que el carbono del acero precipita en grafito formando hojuelas. Esto provoca que el acero se vuelva frágil y quebradizo y no resista los esfuerzos térmicos que se presentan.

1.6.4.3. Incrustaciones

El análisis físico químico del agua de formación, Anexo N° 3, indica que en la mayoría de las estaciones el agua tiene tendencia incrustante, es decir, tiene un

alto contenido de cloruros, carbonatos, calcio y magnesio. Esta es la razón por la cual los calentadores se obstruyen.

Al obstruirse los calentadores, la transferencia de calor es ineficiente, puesto que la escala, parafinas y asfaltenos que se depositan actúan como un aislante ya que poseen una baja conductividad térmica.

Se ocasionan fallas en el tubo de fuego por sobrecalentamiento debido a la presencia de depósitos de escala, que debido a su naturaleza, aíslan el metal del agua que los rodea y no permiten el contacto del agua con el tubo interno, el agua actúa como un elemento refrigerante para el tubo de fuego, al no haber contacto éste se recalienta y se deforma.

El coeficiente global de transferencia de calor que incluye la resistencia térmica debida al factor de impureza, disminuye.

El mantenimiento que reciben los calentadores es correctivo, se los repara cada vez que sufren una rotura. No reciben mantenimiento preventivo contra la formación de escala debido a que el químico que evita el depósito de sólidos disueltos tiene un precio elevado y si se lo añade podría acarrear problemas con el sistema de deshidratación.

El problema para remover las incrustaciones es complejo debido a que no se los puede retirar con medios sencillos como agua a presión sino que se necesita utilizar tratamientos ácidos debido a su dureza o por medios mecánicos.

Los calentadores artesanales no tienen un sistema de limpieza de escala acumulada, razón por la cual con el paso del tiempo ésta los taponan impidiendo su normal funcionamiento.

CAPITULO II

2. CÁLCULOS PARA LOS CALENTADORES EXISTENTES

2.1. INTRODUCCIÓN

Este capítulo detalla la manera de calcular la efectividad de los calentadores artesanales, para este fin, se toma como base conceptos y ecuaciones tanto de Transferencia de Calor y Termodinámica.

2.2. CONCEPTOS BÁSICOS

A continuación se enlista algunos conceptos fundamentales que se utilizarán para poder resolver este problema.

2.2.1. PRIMERA LEY DE LA TERMODINÁMICA

La Termodinámica establece que la energía se transforma mediante las interacciones entre un sistema y su alrededor. Estas interacciones son conocidas como calor y trabajo.

La Termodinámica considera los estados extremos de un proceso durante el cual ocurre la interacción pero no establece información con respecto a la naturaleza o la rapidez con la que ésta se produce.

Desde el punto de vista termodinámico, la cantidad de calor transferida durante un proceso de flujo estable en estado estable es igual a la diferencia entre el cambio de la entalpía y el trabajo realizado, es decir:

$$q = \Delta H + W$$

Donde:

q = Transferencia de Calor

ΔH = Cambio de entalpía

W = Trabajo realizado

Para cuantificar el calor se necesita describir el estado de un sistema en función de propiedades macroscópicas del fluido tales como presión, volumen y temperatura, las cuales se pueden medir directamente.

2.2.2. TRANSFERENCIA DE CALOR

La Transferencia de Calor se define como la energía que se transmite de una región a otra, como consecuencia de una diferencia de temperatura entre ellas.

Si se realiza un balance de energía donde no existe trabajo para cualquiera de los fluidos se obtiene que:

$$q = \Delta H$$

Y considerando calor específico constante se tiene ⁽¹⁾:

$$q = \dot{m} c_p \Delta T \quad (2.1)$$

Donde:

q = Transferencia de Calor, (Btu/h)

\dot{m} = Flujo másico del fluido, (lbm/h)

c_p = Calor específico a presión constante, (Btu/lbm °F)

ΔT = Diferencia de temperaturas de entrada y salida del fluido, (°F)

En la Transferencia de Calor, la solución de un problema requiere de suposiciones e idealizaciones, pues resulta casi imposible describir los fenómenos físicos con exactitud, y para expresar un problema en forma de una ecuación con solución es necesario hacer algunas aproximaciones.

¹ INCROPERA, F; Fundamentos de transferencia de Calor; 199; pag. 587.

No existen métodos simples para la solución de problemas nuevos o inexplorados y una suposición válida para un problema puede no serlo para otro. Sin embargo, el primer requisito para hacer una buena suposición o aproximación de ingeniería es un buen entendimiento del problema a resolver.

El fenómeno de transferencia de calor se analiza por tres modos distintos de transmisión de calor: conducción, convección y radiación.

En la mayoría de las situaciones naturales el calor se transfiere no sólo por uno, sino por varios mecanismos que operan en forma simultánea.

2.2.3. CONDUCCIÓN

Siempre que existe un gradiente térmico en un medio sólido, el calor fluirá de la región con mayor temperatura a la región con menor temperatura. La tasa a la cual se transfiere el calor por conducción, q_c , es proporcional al gradiente de temperatura dT/dx por el área a través de la cual se transfiere el calor ⁽²⁾:

$$q_c = -kA \frac{dT}{dx} \quad (2.2)$$

Donde:

q_c = Transferencia de Calor por conducción

κ = Coeficiente de conductividad térmica

A = Área de Transferencia de Calor

dT/dx = Derivada de la temperatura con respecto a la distancia x

El signo negativo es consecuencia de la segunda ley de la Termodinámica, la cual establece que el flujo de calor debe ir en la dirección de la temperatura más alta a la más baja.

² INCROPERA, F; Fundamentos de transferencia de Calor; 199; pag. 76.

La ecuación (2.2) define la conductividad térmica de un sólido y se conoce como la Ley de Fourier de conducción de calor en honor al científico francés J. B. J. Fourier, quien la propuso en 1822.

2.2.4. CONVECCIÓN

La Transferencia de Calor por convección se compone de dos mecanismos que operan al mismo tiempo. El primero es la transferencia de energía generada por el movimiento molecular, es decir, el modo conductivo. El otro es la transferencia de energía mediante el movimiento del fluido que se mueve por la acción de una fuerza externa. Esta fuerza puede ser el resultado de un gradiente de densidad, como en la convección natural o de una diferencia de presión generada por una bomba o un ventilador.

En la convección forzada, la velocidad lejos de la superficie tiende al valor de corriente libre impuesto por las fuerzas externas, mientras que en la convección libre o natural, la velocidad al principio se incrementa a medida que lo hace la distancia desde la superficie que transfiere calor y luego disminuye como se muestra en la Figura N° 2.1.

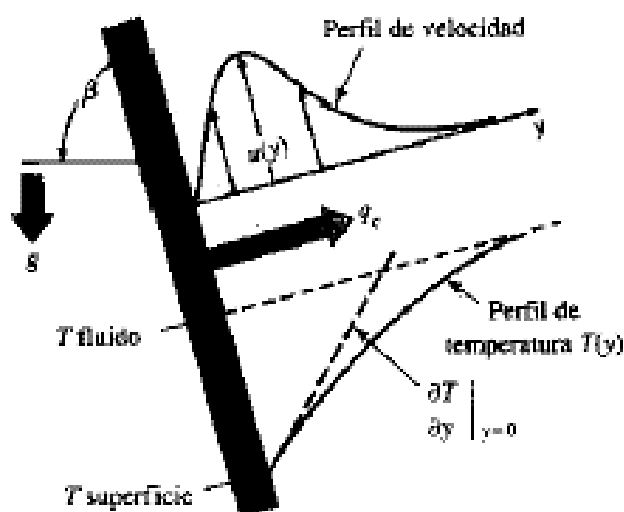


Figura N° 2.1. Perfil de velocidades

La distribución de temperatura en la convección forzada y natural tienen formas similares y en ambos casos el mecanismo de transferencia de calor en la interfaz sólido-fluido es la conducción.

El planteamiento anterior indica que la transferencia de calor por convección depende de la densidad, viscosidad y velocidad del fluido, así como también de las propiedades del fluido.

En la convección forzada la velocidad casi siempre se impone al sistema por medio mecánico, mientras que en la convección libre la velocidad depende de la diferencia de temperatura entre la superficie y el fluido. Independiente de los detalles del mecanismo, la tasa de transferencia de calor por convección entre una superficie y un fluido se calcula con la relación ⁽³⁾:

$$q_{conv} = h_c A \Delta T \quad (2.3)$$

Y;

q_{conv} = Tasa de la transferencia de calor por convección, (Btu/hr)

A = Área de transferencia de calor, (ft²)

ΔT = Diferencia entre la temperatura superficial y una temperatura del fluido en un lugar casi siempre alejado de la superficie, (°F)

h_c = Coeficiente de transferencia de calor por convección promedio a través del área A , a menudo llamado coeficiente de película, (Btu/hr ft² °F)

La relación expresada por la ecuación (2.3) originalmente fue propuesta por el científico inglés Isaac Newton en 1701.

³ INCROPERA, F; Fundamentos de transferencia de Calor; 199; pag. 285.

En la Tabla N° 2.1 ⁽⁴⁾ se presenta algunos valores comunes de los coeficientes de transferencia de calor por convección.

Tabla N° 2.1 Coeficientes de calor por convección.

FLUIDO	COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONVECCIÓN	
	W/m ² K	Btu/hr ft ² °F
Aire, convección libre	6-30	1-5
Vapor o aire sobrecalentado, convección forzada	30-300	5-50
Aceite, convección forzada	60-1800	10-300
Agua, convección forzada	300-18000	50-3000
Agua hirviente	3000-60000	500-10000
Vapor condensándose	6000-120000	1000-20000

Utilizando la ecuación 2.3 es posible definir la conductancia térmica para la transferencia de calor por convección como:

$$K_c = \frac{q_{cov}}{\Delta T} = h_c A \quad (2.4)$$

Y la resistencia térmica para la transferencia de calor por convección, la cual es igual al recíproco de la conductancia, como:

$$R_c = \frac{1}{h_c A} \quad (2.5)$$

2.2.5. EFECTIVIDAD

Para medir la efectividad de un intercambiador se relaciona la transferencia de calor real con la transferencia de calor máxima posible, esto indica que cantidad de calor se esta intercambiando entre los fluidos.

⁴ GONZALEZ, J; Flujo monofásico y multifásico en redes de tubería, pag. 15.

$$\varepsilon = \frac{q_{real}}{q_{maxima}} \quad (2.6)$$

Para el análisis de los calentadores artesanales la efectividad de los mismos se la puede relacionar como:

$$\varepsilon = \frac{q_{agua}}{q_{gas}} \quad (2.7)$$

Debido a que la transferencia de calor del gas no es completamente absorbida por el agua; viene a ser la máxima cantidad de transferencia de calor posible en el sistema mientras que la transferencia de calor del agua de formación viene a ser la cantidad real, es decir la cantidad de calor que esta absorbiendo el sistema.

2.3. EJEMPLO DE CÁLCULO

Como ejemplo de calculo se toma las características del calentador número uno de la Estación Sacha Central.

Se modela el calentador como un intercambiador de calor de tubos concéntricos en flujo paralelo; el flujo caliente, es decir, los gases de combustión pasan por el tubo interno, llamado tubo de fuego, mientras que el fluido frío, agua de formación, pasa por la sección anular entre los tubos externo e interno.

2.3.1. DATOS

Se conoce las temperaturas tanto de entrada como de salida del agua, datos que fueron tomados en campo y se encuentran debidamente tabulados en el Anexo N° 5, el consumo de gas se lo registra en el balance de gas que realiza cada Área, Anexo N° 7 y el poder calórico neto se encuentra en el análisis cromatográfico, Anexo N° 4. El caudal de agua es un dato que se lo obtuvo en el Departamento de Instrumentación de cada Área, este valor depende de las curvas características de cada bomba y de la curva del sistema, Anexo N° 8.

A continuación se lista todos estos datos:

- **Agua:**
 - Temperatura de entrada: $T_{ci} = 97.6 \text{ } ^\circ\text{F}$
 - Temperatura de salida: $T_{co} = 106.4 \text{ } ^\circ\text{F}$
 - Caudal: $Q = 130 \text{ gpm} = 4457.14 \text{ bpd}$

- **Gas:**
 - Consumo: $\dot{V} = 32.25 \text{ MPCD}$
 - Poder calórico neto: $\text{P.C.N.} = 1457.511 \text{ Btu/ft}^3$

2.3.2. ESQUEMA

El siguiente grafico muestra de manera esquemática el tipo de flujo de los calentadores.

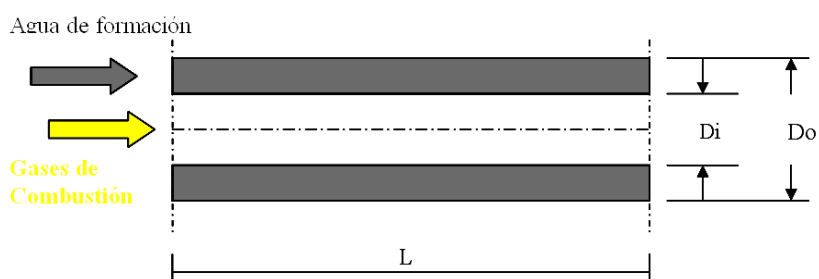


Figura N° 2.2

Se supone que la pérdida de calor con el medio ambiente es insignificante en comparación con el intercambio de calor que ocurre dentro del mismo, al igual que los cambios en la energía cinética y potencial.

El agua mantiene constantes todas sus propiedades al igual que el gas.

Se tiene condiciones completamente desarrolladas para el agua y el gas, esto quiere decir que el coeficiente global de transferencia de calor (U) es independiente de la coordenada x .

2.3.3. SOLUCIÓN

Primero se obtiene las propiedades termo físicas del agua, en este caso el parámetro que se involucra en los cálculos es el calor específico a presión constante (c_p), Este dato se lo obtiene de las tablas Termodinámicas del agua, a pesar de que es agua de formación la variación no es significativa. Para ello se evalúa esta propiedad con la temperatura media.

$$T_{\text{media}} = (T_{\text{co}} + T_{\text{ci}}) / 2 \quad (2.8)$$

Donde:

T_{co} y T_{ci} son las temperaturas de salida y entrada del agua de formación.

$$T_{\text{media}} = 102 \text{ } ^\circ\text{F}$$

El calor específico del agua a esa temperatura es:

$$c_p = 0.998271 \text{ Btu/lbm } ^\circ\text{F}$$

La transferencia de calor del agua de formación se la obtiene partir del balance global de energía con la ecuación (2.1).

El flujo másico de agua se lo obtiene a partir del caudal.

$$\dot{m}_w = 0.233 * Q_w * \rho_w \quad (2.9)$$

Donde:

$$\rho_w = \text{Densidad (lbm/ ft}^3\text{)}$$

$$Q_w = \text{Caudal de agua, (bpd)}$$

Sustituyendo valores se tiene:

$$\dot{m}_w = 64310,72 \text{ lbm/h}$$

Estos datos dan como resultado que la transferencia de calor es igual a:

$$q_w = 564955,30 \text{ Btu/h}$$

Para la transferencia de calor de los gases de combustión se utiliza la siguiente relación:

$$q_G = \dot{V} * P.C.N. \quad (5) \quad (2.10)$$

Donde:

\dot{V} = Consumo de gas, (ft³/h)

P.C.N. = Poder calórico, (Btu/ft³)

Remplazando datos se tiene que:

$$q_G = 3297302,5 \text{ Btu/h}$$

Entonces la efectividad de estos calentadores de agua es, aplicando la ecuación (2.7):

$$\varepsilon = 28.85 \%$$

Esto quiere decir que el 72% del calor del gas se desperdicia, es el calentador el que absorbe este calor por eso el tubo de fuego colapsa en poco tiempo de uso.

La Figura N° 2.3 presenta la efectividad de cada calentador de agua, ningún calentador tiene una efectividad de mas de 45%, incluso existen calentadores con valores menores del 1% como es el caso del calentador de la Estación Aguarico.

⁵ ASHRAE; Systems and Equipments Handbook (SI); Quinta edición; USA; 1981; pag 30.4

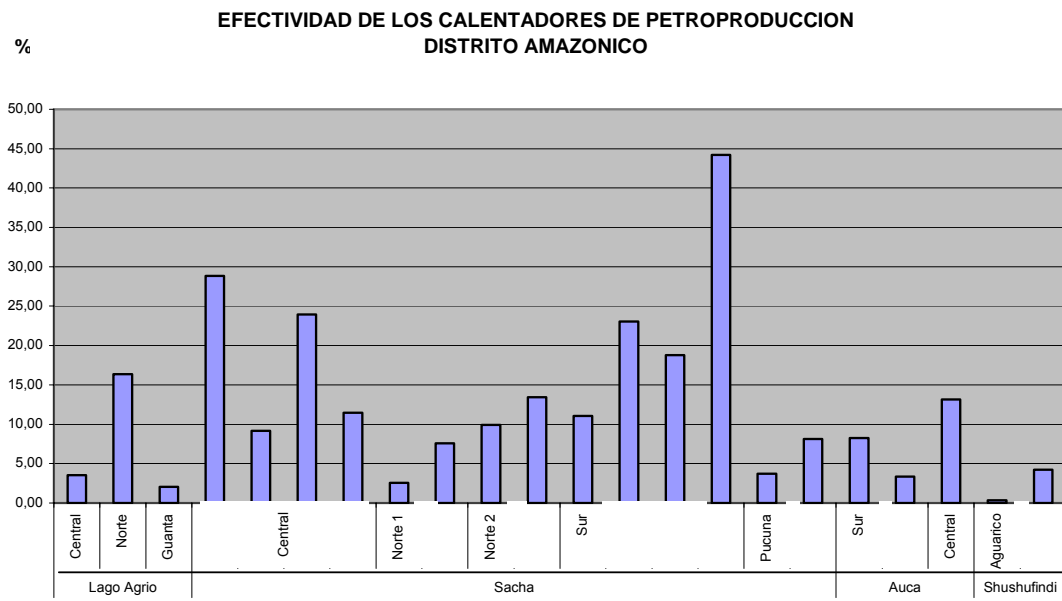


Figura N° 2.3

La Figura N° 2.4 es un comparativo entre la temperatura de entrada y de salida para cada calentador de agua.

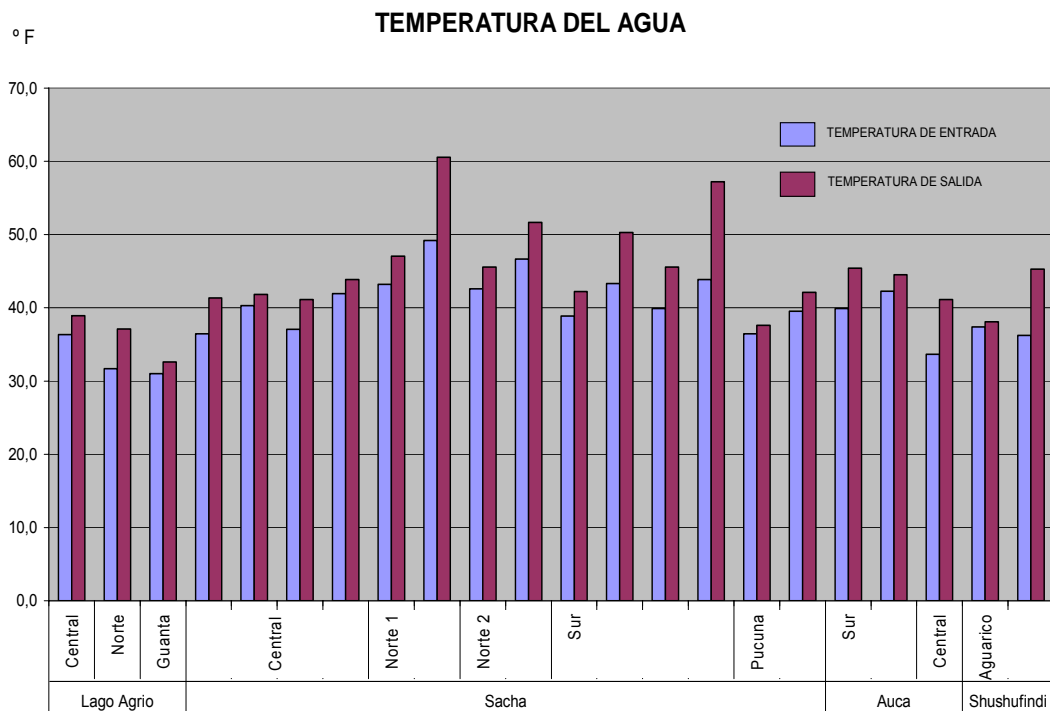


Figura N° 2.4

CAPITULO III

3. ANÁLISIS DE LA ALTERNATIVA Y DISEÑO NUEVO

3.1. INTRODUCCIÓN

Este capítulo plantea una solución viable al problema de los calentadores, tanto en su dimensionamiento térmico como en sugerencias para su construcción. Para ello primero se establece los parámetros necesarios, luego se analiza un diseño nuevo para un calentador prototipo, posterior a ello se dimensiona en base a los parámetros establecidos para calentar agua de formación hasta una temperatura aceptable sin que incida de forma negativa en el proceso de lavado de petróleo o la pérdida de hidrocarburos livianos debido a la evaporación de los mismos.

Para dimensionar y determinar la factibilidad técnica de un equipo necesario para transferir una cantidad determinada de calor en un tiempo dado, se realiza un análisis detallado de la transferencia de calor.

El dimensionamiento de los equipos de transferencia de calor depende de la cuantificación de la tasa de transferencia de calor entre el fluido y el medio que lo rodea.

Para ello se necesita cuantificar los parámetros que va a manejar el equipo.

3.2. PARÁMETROS DE DISEÑO

De los parámetros de diseño, el más importante es la temperatura del agua a la entrada del tanque de lavado, que debería ser igual a la temperatura de salida del calentador pero por las condiciones y la distancia a la que se encuentra el calentador del tanque de lavado, varía. Esta temperatura incide en la cantidad de calor suministrada al crudo en el tanque, que a su vez determina la cantidad de agua de formación que va a manejar el calentador y el consumo de gas.

3.2.1. TEMPERATURA DEL AGUA

La temperatura de tratamiento debe seleccionarse considerando la estabilidad de la emulsión, la volatilidad del aceite y el costo de calentamiento.

La temperatura a la que el agua debería entrar al tanque de lavado es la necesaria para que el proceso de lavado se efectúe de una manera óptima, es decir, poco consumo de químico demulsificante. Para establecer esta temperatura de entrada y salida del agua de formación se analiza las condiciones de entrada al tanque de lavado tanto del agua que esta recirculando en el sistema de calentamiento así como del crudo.

La temperatura a la que se trata el crudo depende de su densidad relativa y se determina con la Figura N° 3.1 ⁽¹⁾:

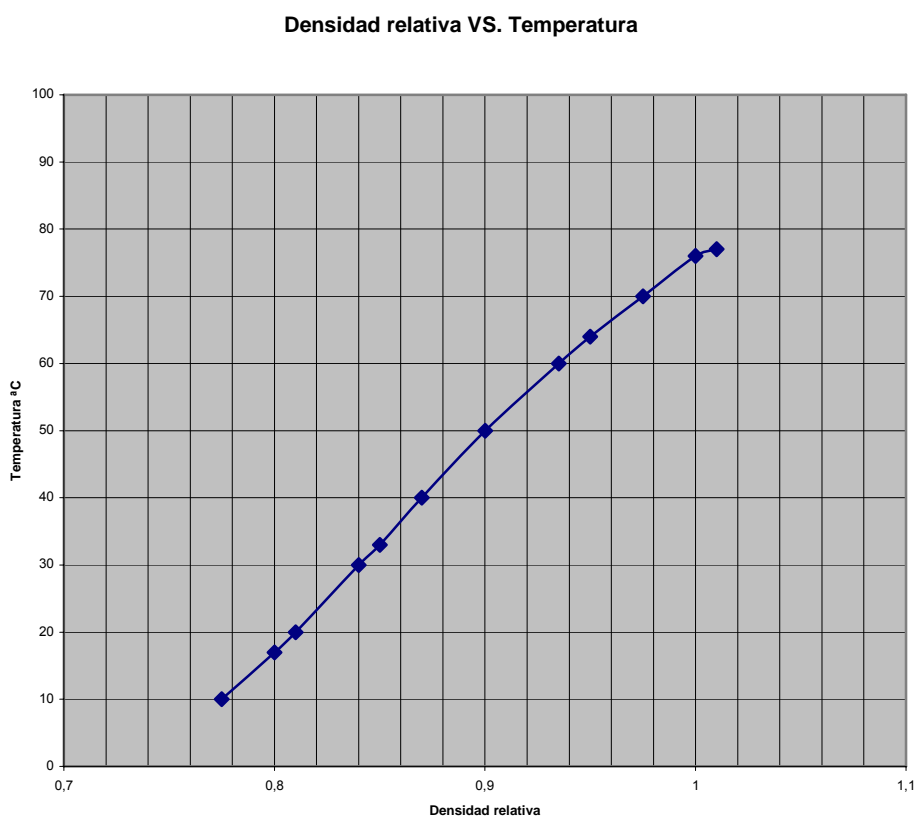


Figura N° 3.1.

¹ GÓMEZ, J; Apuntes de Clase “Manejo de la Producción en la Superficie”. Facultad de Ingeniería - UNAM 1984; pag. 29

Dependiendo de la estación, el agua de formación que sale de los calentadores ingresa directamente al tanque, como se observa en la Figura N° 3.2; en otras ingresa primero a la bota de gas y luego al tanque de lavado. La distancia desde el calentador al tanque de lavado es variable, por ello se debe analizar cada estación por separado para posteriormente establecer las condiciones que se tiene y llegar a determinar una temperatura que sea la adecuada para cada estación. En la Figura N° 3.3 se observa la distancia entre el tanque de lavado y el calentador de la estación Guanta. Esta temperatura es directamente dependiente de la transferencia de calor por lo que si se determina el flujo calórico para tratar el crudo a la temperatura del agua a la entrada del tanque de lavado se podría aumentar un porcentaje por pérdidas y esa sería la temperatura de salida del agua del calentador.

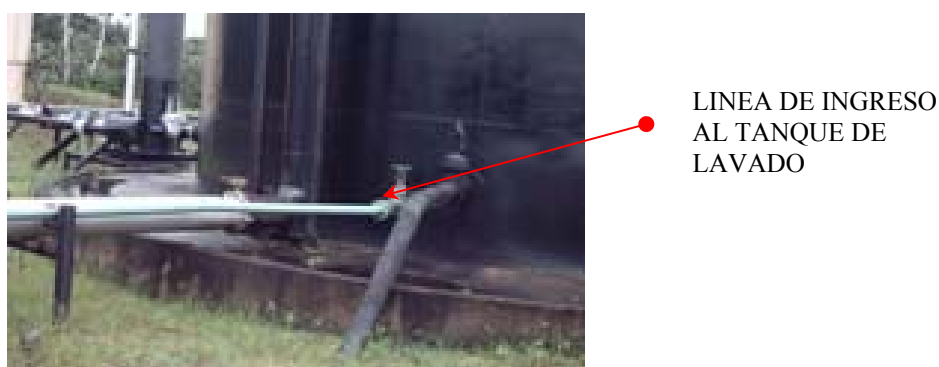


Figura N° 3.2. Ingreso de agua directo al Tanque de Lavado



Figura N° 3.3. Distancia desde calentador al Tanque de Lavado

3.2.2. COMBUSTIBLE

El combustible que se usará para calentar el agua de formación seguirá siendo el gas natural producto de la separación del petróleo.

La composición y propiedades de este gas se las encuentra en el Anexo N° 4, Análisis Cromatográfico. Los compuestos más importantes son el metano (CH_4) y el dióxido de carbono (CO_2) puesto que el metano es el elemento que proporciona el mayor porcentaje del poder calórico al gas mientras que el dióxido de carbono es el elemento que resta el poder calórico al gas natural.

La cantidad de CO_2 máxima recomendable para que un gas tenga un buen poder calórico es menos del 15%, mientras que el porcentaje de metano es del 60% o mas.

Con este gas se realiza el análisis respectivo para calcular la temperatura adiabática de llama que es un indicativo de la temperatura máxima que se obtendrá en el quemador del calentador.

3.3. SELECCIÓN DEL TIPO DE INTERCAMBIADOR

De los diferentes tipos de intercambiadores de calor, calentadores y demás sistemas con los que se podría calentar el agua de formación, se ha elegido el siguiente:

- Tipo: Intercambiador de calor de coraza y un tubo en U como tubo de fuego, un paso por la coraza.
- Dirección de los fluidos: El fluido caliente, es decir, el gas circula por el tubo en U, mientras que el fluido frío, el agua de formación, circula por la coraza.

Este tipo de calentadores es muy usado en la industria petrolera debido a las facilidades de construcción y mantenimiento.

La Figura N° 3.4 muestra de forma general el calentador, que se clasifica como un calentador de coraza y tubo interno en U.

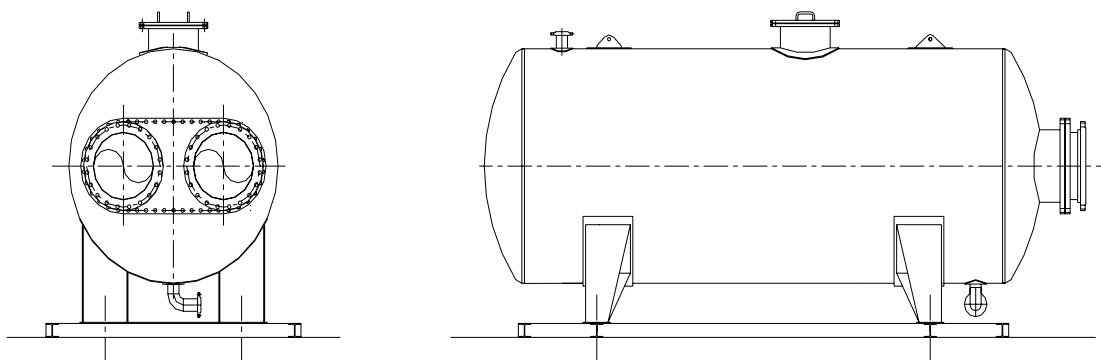


Figura N° 3.4. Esquema del calentador

Este es el tipo de intercambiador más adecuado debido al bajo poder calorífico del gas, el cual es un limitante de su uso. Al proponer un tubo en U se transfiere más energía debido a que el área efectiva de transferencia de calor aumenta por que se duplica la longitud del tubo de fuego y los gases salen a una temperatura menor.

La naturaleza del agua, incrustante, no permite utilizar tubería con diámetros pequeños ($<10''$), debido que se taponan fácilmente. Por ello la elección de que el fluido frío, agua de formación, no circule por el tubo interno es para evitar que se incruste fácilmente.

3.4. DIMENSIONAMIENTO

El dimensionar correctamente el equipo que se va a utilizar es el principal objetivo de este capítulo y de este proyecto de titulación, para ello se recurre a la utilización de un balance térmico tanto en el tanque de lavado como en el calentador.

3.4.1. TRANSFERENCIA DE CALOR

Determinar la transferencia de calor necesaria para elevar la temperatura del fluido que ingresa al tanque de lavado es la parte importante de todo el análisis, puesto que no solo se tiene que calentar el agua de formación que se encuentra en el colchón, sino también el crudo que esta encima de él.

Con este propósito se realiza un análisis termodinámico en el tanque de lavado. En la Figura N° 3.5 se tiene un esquema del tanque de lavado y se indica los fluidos que entran y salen de él.

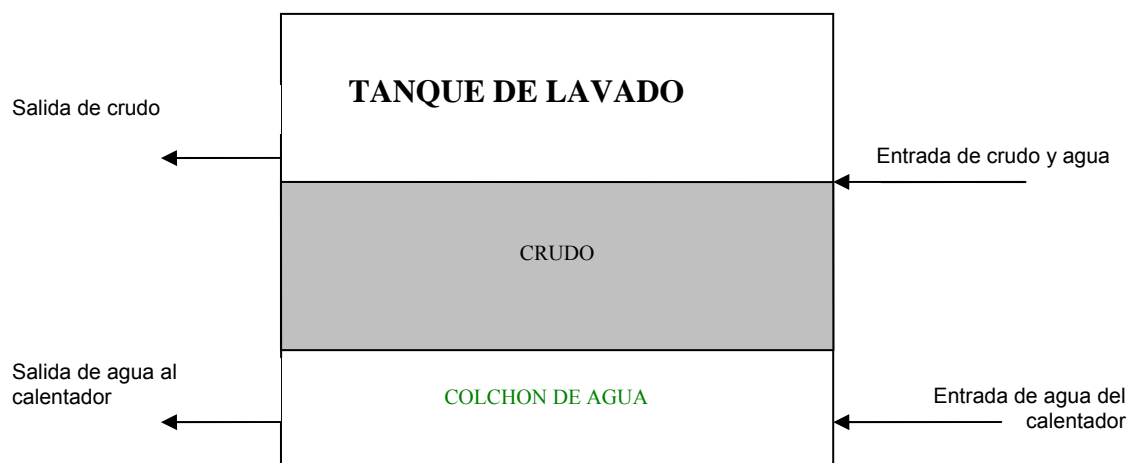


Figura N° 3.5.

Primero se elige el área de control, en este caso es la interfase entre agua y crudo en el tanque de lavado.

Si se supone que es un sistema termodinámicamente aislado, de aquí se deduce que la cantidad de calor que se necesita para mantener la temperatura del tanque de lavado es la misma que tiene que aportar el agua para calentar todo el contenido del tanque de lavado.

La cantidad de calor necesaria para aumentar la temperatura en el tanque de lavado, se puede calcular de una manera aproximada con la siguiente ecuación (2):

$$q = 16 \Delta T_{WT} (0.5 Q_o \gamma_o + Q_w \gamma_w) \quad (3.1)$$

Donde:

q = Calor requerido (BTU/h)

² LAFRANCHI, E; Seminario taller explotación, transporte, almacenamiento y mejoramiento de crudos pesados; pag. 146

ΔT_{WT} = Incremento de temperatura ($^{\circ}\text{F}$)

Q_o = Flujo del petróleo (bpd)

γ_o = Gavedad especifica del petróleo

Q_w = Flujo del agua (bpd)

γ_w = Gravedad especifica del agua

$$\Delta T_{WT} = T_{W2} - T_{W1} \quad (3.2)$$

Donde:

T_{W2} = Temperatura óptima para el lavado de petróleo

T_{W1} = Temperatura actual a la que se encuentra el tanque de lavado

El cálculo térmico del intercambiador de calor se lleva a cabo en base de un diseño, lo que permite determinar el área de transferencia de calor, con base de una comprobación en que se establece el régimen de trabajo del aparato y se determinan las temperaturas finales de los fluidos considerados. Las ecuaciones fundamentales de cálculo son:

Ecuación de transferencia de calor ⁽³⁾

$$q = UA\Delta T_{ml} \quad (3.3)$$

Y la ecuación del balance de energía:

$$q_G = q_w + \Delta q$$

Considerando que las perdidas al ambiente no son significativas.

$$q_G = q_w$$

³ INCROPERA, F; Fundamentos de Transferencia de Calor; 1999; pag. 588.

El calentamiento del crudo se hace por medio del agua que se calienta en el intercambiador de calor que utiliza gas como combustible.

La transferencia de calor hacia el agua es solo por convección, mientras que el gas transfiere calor por convección y radiación debido a la alta temperatura a la que se encuentra el gas.

El flujo de crudo que ingresa al tanque de lavado es la producción de los pozos que tienen un porcentaje de agua en el crudo (BSW), mayor al 2 %. Actualmente no toda la producción diaria de crudo ingresa al tanque de lavado pero para diseño se considera que toda la producción ingresa al tanque de lavado.

3.4.2. COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR (U)

Para determinar el coeficiente global de transferencia de calor se aplica la siguiente ecuación:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_o} + r_o + r_w + r_i \left(\frac{d_e}{2d_i} \right) + \left(\frac{1}{h_i + h_R} \right) \left(\frac{d_e}{2d_i} \right)} \quad (3.4)$$

Donde:

U = Coeficiente global de transferencia de calor (Btu/h ft² °F).

h_o = Coeficiente de convección externo (Btu/h ft² °F).

h_i = Coeficiente de convección interno (Btu/h ft² °F).

h_R = Coeficiente de radiación del gas (Btu/h ft² °F).

r_o = Factor de impureza externo (Btu/h ft² °F).

r_i = Factor de impureza interno (Btu/h ft² °F).

r_w = Resistencia térmica debido al espesor del tubo interno (Btu/h ft² °F).

$$\frac{d_e}{2d_i} = \text{Relación entre áreas.}$$

La Ecuación 3.4, es una variación de la ecuación de coeficiente global de transferencia de calor ⁽⁴⁾, ya que se aumenta el coeficiente de radiación debido a la temperatura alta de la llama en el quemador.

3.4.2.1. Factor de impureza externo

Por la acumulación de escala sobre el tubo de fuego, se forma un alto contenido de impurezas en el agua de formación que incrementa la resistencia térmica.

En la Tabla N° 3.1 se presentan valores típicos de resistencias térmicas debido a la impureza del agua y dependiendo de la velocidad del agua en el sistema.

Tabla N° 3.1. Resistencia térmica debido a las impurezas del agua ⁽⁵⁾.

Temperatura media de calentamiento	> a 240 °F		De 240 a 400 °F	
	125°		> de 125°	
Temperatura del agua	Velocidad ft/sec			
	(h ft ² °F/ Btu)			
	3 o menos	Mas de 3	3 o menos	Mas de 3
Agua de mar	0.0005	0.0005	0.001	0.001
Agua de ciudad	0.001	0.001	0.002	0.002
Salada	0.003	0.002	0.004	0.003
Dura	0.003	0.003	0.005	0.005

3.4.2.2. Factor de impureza interno

Los gases de combustión depositan hollín en la parte interna del tubo de fuego incrementando su resistencia térmica. En la Tabla N° 3.2 se encuentran valores de resistencias térmicas debido al hollín.

⁴ TEMA, pag. 103.

⁵ TEMA, pag. 215

Tabla Nº 3.2. Resistencia térmica debido al hollín producto de los gases de combustión. ⁽⁶⁾.

GASES Y VAPORES	(h ft ² °F/ Btu)
Gas natural	0.001 - 0.002
LIQUIDOS	(h ft ² °F/ Btu)
Aceite	0.002
Gasolina natural	0.001 – 0.002

3.4.2.3. Resistencia térmica por el tubo de fuego

Esta resistencia se presenta por el espesor y el material del tubo de fuego. Se calcula con la siguiente formula ⁽⁷⁾:

$$r_w = \frac{d}{24k} \left[\ln \left(\frac{d}{d - 2t} \right) \right] \quad (3.5)$$

Donde:

d = Diámetro externo del tubo de fuego (in)

k = Conductividad térmica (Btu/h ft °F)

t = Espesor del tubo de fuego, (in)

Para el cálculo del espesor del tubo de fuego y de la coraza se recurre a la Norma ASME sección VIII, recipientes a presión.

3.4.2.3.1. Espesor de la coraza y del tubo de fuego

Se determina con la siguiente formula ⁽⁸⁾:

$$t = \frac{P_d * R}{S * E + 0.4 * P_d} \quad (3.6)$$

⁶ TEMA, pag. 212

⁷ TEMA, pag. 104

⁸ MEGYESY, E; Manual de recipientes a presión; 1998; pag. 20.

Y;

t = Espesor, (in)

Pd = Presión de diseño, (lb/in²)

R = Radio externo, (in)

S = Valor de esfuerzo del material, (lb/in²)

E = Eficiencia de la junta. En el Anexo N° 11 se encuentra los valores para la eficiencia de juntas.

3.4.2.3.2. Presión de diseño

La presión de diseño es con la cual se realiza la prueba hidrostática, y cuyo valor es:

$$P_d = 1.5 * P_o \quad (3.7)$$

Donde:

P_d = Presión de diseño, (psi)

P_o = Presión de operación, (psi)

La presión de operación se la determina con la curvas de las bombas que se emplea en el sistema de calentamiento de agua.

3.4.2.4. Coeficiente de convección externo

Es el mecanismo por el cual el agua gana calor y aumenta su temperatura; se lo calcula con el siguiente método:

1. Tipo de flujo se determina con el número de Reynolds (Re)⁽⁹⁾,

⁹ ARNOLD, K; Surface Production Operating; 1986; pag. 227.

$$R_{e_w} = 92.1 \frac{Q_w * \gamma_w}{D_H * \mu_w} \quad (3.8)$$

Donde:

Q_w = Caudal de agua, (bpd)

γ_w = Gravedad específica del agua

μ_w = Viscosidad dinámica del agua, (centipoise)

D_H = Diámetro hidráulico, (in)

$$D_H = \frac{4A_c}{P} \quad (10) \quad (3.9)$$

Donde:

A_c = Área de la sección transversal

P = Perímetro mojado

$$A_c = \frac{\pi}{4} (d_e^2 - 4d_i^2) \quad (3.10)$$

$$P = \pi d_e + 2\pi d_i \quad (3.11)$$

Al reemplazar se tiene que:

$$D_H = d_e - 2d_i \quad (3.12)$$

2. Número de Nusselt si el flujo es turbulento se utiliza la siguiente correlación (11):

$$Nu_w = 0.023 * Re_w^{4/5} * Pr_w^{0.4} \quad (3.13)$$

¹⁰ INCROPERA, F; Fundamentos de Transferencia de Calor; 1999; pag. 421.

¹¹ INCROPERA, F; Fundamentos de Transferencia de Calor; 1999; pag 385.

3. Se determina el coeficiente de convección con la siguiente ecuación ⁽¹²⁾:

$$h_o = \frac{N_{UW} * k_w}{D_H} * 12 \quad (3.14)$$

3.4.2.5. Coeficiente de convección interno

Es uno de los mecanismos por el cual el gas cede calor, se calcula con el mismo método que para el coeficiente de convección externo, utilizando los parámetros del gas:

1. El tipo de flujo se determina con el número de Reynolds (Re) ⁽¹³⁾:

$$R_{e_G} = 6.31 \frac{\dot{m}_G}{d_i * \mu_G} \quad (3.15)$$

Donde:

\dot{m}_G = Flujo másico, (lbm/h)

μ_G = Viscosidad del gas, (centipoise)

d_i = Diámetro, (in)

2. Número de Nusselt se aplica el mismo procedimiento que con el agua.

$$Nu_G = 0.023 * Re_G^{4/5} * Pr_G^{0.4} \quad (3.16)$$

3. El coeficiente de convección se calcula con la siguiente ecuación, que es similar a (3.13), en lugar del diámetro hidráulico se utiliza el diámetro del tubo de fuego:

$$h_o = \frac{N_{U_G} * k_G}{d_i} * 12 \quad (3.17)$$

¹² INCROPERA, F; Fundamentos de Transferencia de Calor; 1999; pag 455.

¹³ KUONG, J; Applied Nomography, 1968; pag. 7.

3.4.2.6. Coeficiente de radiación

Se debe a la temperatura del gas con la que se encuentra a la salida del quemador. Para su cálculo se determina la cantidad de calor transferido por radiación:

$$q_G = q_r + q_c \quad (3.18)$$

Donde:

q_G = Cantidad de calor total del gas

q_r = cantidad de calor que transmite el gas por radiación

q_c = Cantidad de calor que transmite el gas por convección

La transferencia de calor por radiación se calcula utilizando la siguiente fórmula⁽¹⁴⁾:

$$q_R = h_R * A_R * (T_{Gi} - T_{ald}) \quad (3.19)$$

Donde:

h_r = Coeficiente de radiación, (Btu/h ft² °F)

A_r = Área de transferencia por radiación, (ft²)

T_{Gi} = Temperatura inicial de los gases de combustión, (°F)

T_{ald} = Temperatura de los alrededores, (°F)

3.4.3. TUBO DE FUEGO

El tubo de fuego es el elemento más importante del calentador debido a que tiene que soportar temperaturas altas, a su vez tiene que transferir la mayor cantidad de calor del gas hacia el agua.

¹⁴ INCROPERA, F; Fundamentos de Transferencia de calor; 1999; pag. 10.

3.4.3.1. Material

El acero al carbono es el material más utilizado en la fabricación de tubería para calentadores, sin embargo este material se debe usar solo cuando la oxidación o corrosión no es muy severa. El uso frecuente de este material es por su costo relativamente bajo comparado con aceros inoxidable, buen rendimiento y fácil manera de soldar.

Las aleaciones de acero que se usan cuando se tiene temperaturas elevadas como en este caso, generalmente contienen molibdeno, cromo o sílice. Se agrega molibdeno para dar al acero mayor resistencia, el cromo elimina la grafitización (formación de grafito en hojuelas), y producir una mejor resistencia a la oxidación. El silicio es agregado para proporcionar una mejor resistencia a la oxidación.

El material a usarse es acero inoxidable debido a la composición química del agua y la elevada temperatura a la que estará sometido, pues el tubo de fuego recibe la mayor cantidad de calor. En el Anexo N° 12 se tiene una tabla con propiedades de los aceros inoxidables.

3.4.4. DIFERENCIA DE TEMPERATURAS

Para los cálculos del coeficiente global de transferencia de calor, se utiliza la diferencia media logarítmica de temperaturas ⁽¹⁵⁾ que es:

$$\Delta T_{ML} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln \frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}} \quad (3.20)$$

Donde:

ΔT_2 y ΔT_1 son las diferencias de temperaturas entre los fluidos fríos y calientes.

Para el contraflujo se tiene:

$$\Delta T_1 = T_{Gi} - T_{Wo} \quad (3.21)$$

¹⁵ INCROPERA, F; Fundamentos de Transferencia de Calor; 1999; pag. 592.

$$\Delta T_2 = T_{Go} - T_{Wi} \quad (3.22)$$

Donde:

T_{Gi} = Temperatura del gas a la entrada

T_{Go} = Temperatura del gas a la salida

T_{Wi} = Temperatura del agua a la entrada

T_{Wo} = Temperatura del agua a la salida

Al ser un calentador de coraza y tubo en U se utiliza un factor de corrección, F que se encuentra en el nomograma del Anexo N° 13 y se determina en base a las siguientes relaciones ⁽¹⁶⁾:

$$R = \frac{T_{Wi} - T_{Wo}}{T_{Go} - T_{Gi}} \quad (3.23)$$

$$P = \frac{T_{Go} - T_{Gi}}{T_{Wi} - T_{Gi}} \quad (3.24)$$

3.4.4.1. Temperatura adiabática de llama

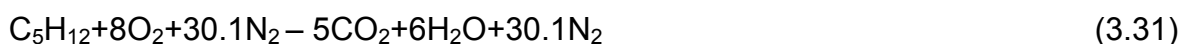
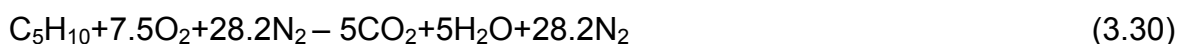
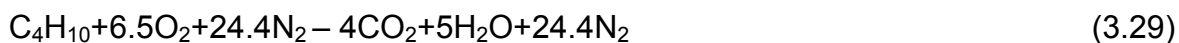
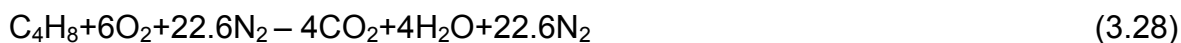
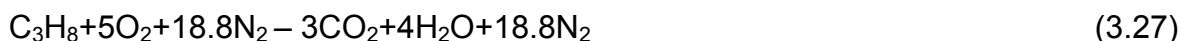
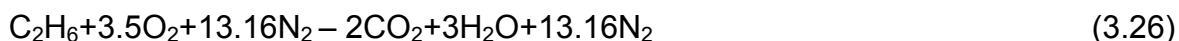
Para establecer la temperatura inicial del gas se usa el 40% de la temperatura adiabática de llama, para ello se empieza con el análisis cromatográfico que determina la composición del gas.

Se plantea las ecuaciones estequiométricas de combustión para determinar la relación aire – combustible, flujo másico de gas, temperatura de rocío y luego la temperatura adiabática de llama.

En este caso se tiene las siguientes ecuaciones de combustión para cada uno de los gases:



¹⁶ TEMA;1988; pag. 112.



Se igualan las entalpías tanto de los productos como de los reactantes para obtener la temperatura adiabática de llama.

$$H_P = H_R \quad (3.32)$$

3.5. EJEMPLO DE CÁLCULO

El procedimiento consiste en determinar la capacidad del quemador con base a la capacidad de producción de la estación. Se dimensiona el equipo, tomando en cuenta las restricciones impuestas y los datos iniciales como son: diámetro de la coraza, diámetro del cuerpo y longitud del mismo. Se debe empezar con dimensiones basadas en el flujo másico de agua que maneja la estación.

Se inicia con el cálculo del coeficiente global de transferencia de calor, posterior a ello se comprueba si los valores dimensionales asumidos son los correctos.

A continuación se indica la secuencia a seguir para dimensionar un calentador de agua para el sistema de lavado de petróleo; se utilizan los datos de la Estación Central del Área Sacha.

3.5.1. DATOS

- *Producción de petróleo y agua:* Los datos se los toman del forecast de la estación. El Anexo N° 14 presenta los forecast de las áreas de Petroproducción.

$$Q_o = 11349 \text{ bpd}$$

$$Q_w = 2259 \text{ bpd}$$

- *Propiedades del petróleo:* La propiedad del petróleo importante para el análisis de transferencia de calor es el °API, ya que con él se establece la gravedad específica. Este valor se lo obtiene en el Departamento de Producción de cada estación. El Anexo N° 15 presenta un análisis físico químico del petróleo del Área Shushufindi, este formato es típico para todas las estaciones y es tomado como punto referencia.

$$^{\circ}\text{API} = 27.2$$

- *Propiedades del gas:* Todos los datos concernientes al gas se encuentran en el análisis cromatográfico siendo el más importante el poder calórico neto.

$$\text{P.C.N.} = 1457.511 \text{ Btu/scf}$$

3.5.2. CAPACIDAD DEL QUEMADOR

Para calcular la cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura del crudo en el tanque de lavado, se utiliza la ecuación 3.1.

El crudo con un °API de 27.2 tiene una gravedad específica, S.G. del 0,89162.

Con la gravedad específica del crudo y la Figura N° 3.1 se determina la temperatura óptima para el lavado de petróleo, que para este caso es de 116°F; mientras que la temperatura actual del tanque es de 95°F

Entonces la energía requerida es:

$$q = 2.5 \text{ MMBtu/h}$$

Esta cantidad de calor es la misma que debe proporcionar el gas natural al agua en el intercambiador de calor, por lo tanto este valor es la capacidad del quemador.

Para el intercambiador de calor se requiere un quemador de mas de 2.5 MMBtu/h, en el Anexo N° 16 se encuentra la hoja técnica de un calentador que cumple con estos requerimientos.

3.5.3. DIMENSIONAMIENTO

Con los parámetros de diseño y las consideraciones indicadas en la sección anterior se procede a dimensionar el nuevo tipo de calentador para ello se empieza los cálculos con los siguientes valores:

- Diámetro de la coraza = 76"
- Diámetro del tubo interno = 24"
- Longitud de la coraza = 16'

Estos valores también están relacionados con las dimensiones de las planchas y los tubos que se encuentran en el mercado y con la capacidad de rolado y doblado que tiene el taller de Proyectos Especiales de Petroproducción.

3.5.3.1. Restricciones

Para que estas consideraciones iniciales se puedan utilizar, sus valores se restringen con los siguientes criterios:

3.5.3.1.1 Velocidad de erosión

Es la velocidad máxima a la que puede fluir el agua en la coraza sin que erosione el material de la misma, se calcula con la siguiente fórmula ⁽¹⁷⁾:

$$V_e = \frac{100}{\sqrt{\rho_w}} \quad (3.33)$$

Donde:

V_e = Velocidad de erosión máxima para el agua (ft/s)

¹⁷ ARNOLD, K; Surface Production Operating; 1986; pag. 277.

ρ_w = Densidad del agua (lbm/ft³)

Para el agua, la velocidad de erosión tiene un valor de $V_e = 12.89$ ft/s.

La velocidad del agua en la coraza se calcula con:

$$V_e = 6.498 * 10^{-5} * \frac{Q_w}{A_w} \quad (3.34)$$

Y;

Q_w = Caudal de agua en la coraza, (bpd)

A_w = Área transversal de la coraza, (ft²)

El área, A_w , utiliza el diámetro hidráulico debido que es una sección anular:

$$A_w = \pi \frac{d_H^2}{4} \quad (3.35)$$

3.5.3.1.2. Caída de presión en la coraza

El valor máximo permitido es igual al 1% de la presión del sistema. Se calcula con de la siguiente fórmula ⁽¹⁸⁾:

$$\Delta P = 11.5 * 10^{-6} * \frac{f * L * Q_w^2 * \gamma_w}{d_H^5} \quad (3.36)$$

Donde:

ΔP = Caída de presión, (psi)

L = Longitud de la coraza, (ft)

Q_w = Caudal de agua, (bpd)

γ_w = Gravedad específica para el agua

¹⁸ ARNOLD, K; Surface Production Operating; 1986; pag. 232.

d_H = Diámetro hidráulico

f = Factor de fricción de Moody

El factor de fricción de Moody se calcula con las siguientes fórmulas ⁽¹⁹⁾:

Si Re_D es menor que 2×10^4 se utiliza:

$$f = 0.316 * R_{eD}^{-1/4} \quad (3.37)$$

Si Re_D es mayor que 2×10^4 se utiliza:

$$f = 0.184 * R_{eD}^{-1/5}$$

3.5.3.1.3 Esbeltez del calentador

Tiene que ver con las dimensiones físicas del calentador, para recipientes horizontales grandes existen limitantes, para ello se utiliza el siguiente criterio ⁽²⁰⁾:

$$2.5 < \frac{L}{d_e} < 4 \quad (3.38)$$

Donde:

L = Longitud de la coraza del calentador, (ft)

d_e = Diámetro de la coraza, (ft)

Con los valores indicados en 3.5.3, se obtiene la siguiente tabla:

Tabla 3.3. Valores de las restricciones impuestas.

Velocidad de erosión	0,034	ft/s
Caída de presión	2*10E-06	psi
Esbeltez	2,53	

¹⁹ INCROPERA, F; Fundamentos de Transferencia de Calor; 1999; pag. 424.

²⁰ MARTINEZ, M; Diseño Conceptual de Separadores; pag. 72.

3.5.3.2. Coeficiente global de Transferencia de Calor

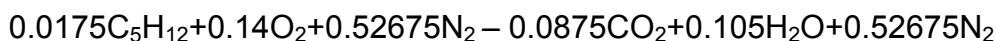
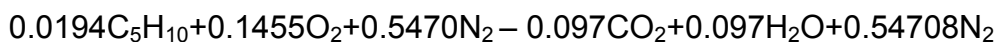
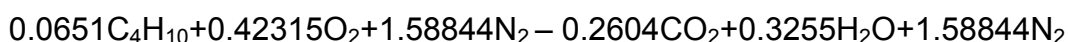
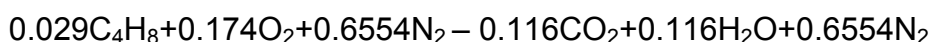
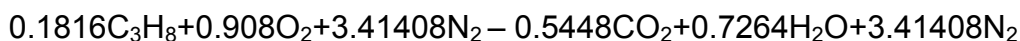
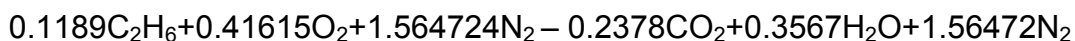
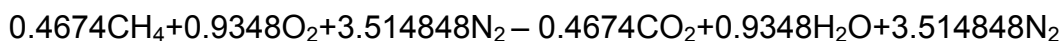
Debido a que los valores asumidos en 3.5.3, restricciones impuestas, se encuentran dentro de los límites aceptables, se procede con el cálculo de coeficiente global de transferencia de calor con la ecuación 3.3.

3.5.3.3. Temperaturas

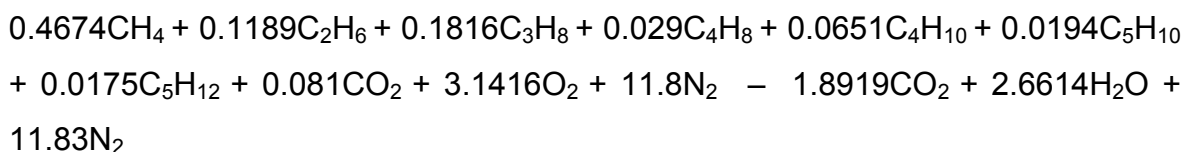
Para determinar la temperatura media logarítmica se empieza por establecer las temperaturas tanto del gas como del agua.

3.5.3.3.1. Temperatura inicial del gas

Con el análisis cromatográfico se establece el porcentaje molar de cada componente del gas, para luego plantear las ecuaciones de combustión que son las siguientes:



La ecuación total de combustión es:



Con base a la ecuación 3.32, tomando en cuenta que la entalpía es igual al número de moles por la entalpía de formación para cada componente, ya sea los productos o reactantes, se tiene:

$$H_R = 0.4674h_{fCH_4}^- + 0.1189h_{fC_2H_6}^- + 0.1816h_{fC_3H_8}^- + 0.029h_{fC_4H_8}^- + 0.0651h_{fC_4H_{10}}^- + 0.0194h_{fC_5H_{10}}^- + 0.0175h_{fC_5H_{12}}^- + 0.081h_{fCO_2}^-$$

Con los valores de entalpía de formación para hidrocarburos, se tiene que:

$$H_R = 0.4674*(-32210) + 0.1189*(-36420) + 0.1816*(-44680) + 0.029*(-56612) + 0.0651*(-53660) + 0.0194*(-66454) + 0.0175*(-62998) + 0.081*(-169300)$$

Por lo tanto la entalpía para los reactantes es:

$$H_R = -48\,739.2 \text{ Btu/lbmol}$$

Mientras que para los productos se tiene que:

$$H_p = 1.8919(-169300 + h_{T-4027}^-)_{CO_2} + 2.6614(-104040 + h_{T-4258}^-)_{H_2O} + 11.83(h_{T-3729.5}^-)_{N_2}$$

$$H_p = 1.8919h_{TCO_2}^- + 2.6614h_{TH_2O}^- + 11.83(h_{TN_2}^- - 327918.29 - 288224.29 - 44119.98)$$

Para determinar la temperatura a la que se encuentran los gases producto de la combustión se utiliza las tablas termodinámicas de productos y se itera:

- Con una temperatura de 3 020 R, se obtiene un valor de -200 984 Btu/lbmol.
- Con una temperatura de 2 500 R, se obtiene un valor de -281 104 Btu/lbmol.

El valor de la temperatura adiabática de llama se obtiene extrapolando cuando la entalpía es cero. Dando un valor de:

$$T_{ad} = 3864.76 \text{ °F}$$

Con el criterio de que la temperatura inicial del gas, es decir, la temperatura de diseño sea del 40% de la temperatura adiabática, se tiene:

$$T_{Gi} = 1546 \text{ } ^\circ\text{F}$$

3.5.3.3.2. *Temperatura de salida del gas*

La temperatura de salida de los gases esta limitada por el punto de rocío, debido a que el agua condensada de los productos de combustión, frecuentemente tienen gases disueltos y pueden ser muy corrosivos.

La temperatura de rocío se determina con el porcentaje de agua en los gases producto de la combustión, que en este caso es de 16.2% que al multiplicar por la presión a la que salen los gases que es la ambiental se tiene la presión de rocío y mediante tablas termodinámicas, se obtiene la temperatura de rocío que para este caso es la de saturación y es igual a 130 °F

La transferencia de calor se torna difícil y costosa después de que los gases han descendido a 400 °F.

Para fines de cálculos se asume que la temperatura con la cual saldrán los gases del calentador es de 400 °F.

3.5.3.3.3. *Temperatura de entrada del agua*

Esta temperatura es con la cual el agua saldría del Tanque de lavado cuando se encuentre con la temperatura óptima para el lavado de petróleo y es igual a 116 °F.

3.5.3.3.4. *Temperatura de salida del agua*

Para la temperatura de salida del agua del calentador y con la que ingresara al tanque de lavado se asume un caudal de agua de formación inicial o de diseño, para fines de cálculo se empezara con un flujo másico de 2259 bpd que es la producción de agua actual. Despejando la ecuación 2.1, se tiene que:

$$T_{Wo} = T_{Wi} + \frac{q_w}{c_{pw} * \dot{m}_w}$$

Reemplazando valores se tiene que la temperatura de salida del agua es 194 °F. Esta temperatura es demasiado alta y ocasionará la evaporación de los hidrocarburos livianos. Con el fin de eliminar este inconveniente se aumenta el caudal de agua hasta un valor adecuado y que la estación pueda manejar; un valor que puede manejar la estación es 6000 bpd, se prueba este valor y se tiene que la temperatura con la cual saldrá el agua del calentador es de 145 °F, este valor es aceptable y no produce pérdidas de hidrocarburos livianos.

En resumen se tienen los siguientes valores:

- Temperatura inicial del gas, (T_{Gi}): 1546 °F.
- Temperatura del gas a la salida, (T_{Go}): 400 °F
- Temperatura del agua a la entrada, (T_{Wi}): 116 °F
- Temperatura del agua a la salida, (T_{Wo}): 145 °F

Con estos valores y la ecuación 3.20, se obtiene una diferencia media logarítmica de temperaturas de 686 °F.

Con los datos y valores obtenidos, de la ecuación 3.3, se despeja U y se calcula el coeficiente global de transferencia de calor que es: 11,4 Btu/h.

3.5.3.4. Comprobación

Para comprobar si los valores considerados de diámetros de la coraza y del tubo de fuego así como la longitud son los adecuados; se procede a calcular el coeficiente global de transferencia de calor con la ecuación 3.4, y se compara con el resultado obtenido en 3.5.3.2. Si los valores no son iguales se cambia los datos; se empieza por cambiar la longitud manteniendo constantes el diámetro del cuerpo y el diámetro del tubo de fuego, y se vuelve a calcular hasta que los dos valores de coeficientes de transferencia de calor, U , sean iguales.

3.5.3.4.1. Resistencias térmicas

Se inicia la comprobación determinando las resistencias térmicas por impurezas (hollín y escalas), dentro y sobre la tubería para ello se utilizan las Tablas 3.1 y 3.2, de allí se obtiene:

$$r_o = 0.002 \text{ (h ft}^2 \text{ }^\circ\text{F/ Btu)}$$

$$r_i = 0.005 \text{ (h ft}^2 \text{ }^\circ\text{F/ Btu)}$$

Para la resistencia debido al espesor del tubo de fuego se utiliza la ecuación 3.5, previo a ello se calcula el espesor del tubo de fuego con la ecuación 3.6, en este caso se tiene:

$$t = 0.31 \text{ (in)}$$

$$r_w = 0.002 \text{ (h ft}^2 \text{ }^\circ\text{F/ Btu)}$$

Para este cálculo se utiliza la Tabla de Propiedades de Materiales – Acero Inoxidable⁽²¹⁾ y la Tabla de Conductividad Térmica de Materiales⁽²²⁾.

3.5.3.4.2. Propiedades Termo físicas

Se determinan con las temperaturas promedio que son:

- $T_{Wp} = 131 \text{ }^\circ\text{F}$
- $T_{Gp} = 973 \text{ }^\circ\text{F}$

Con estos valores se establecen las propiedades termo físicas, que para el agua se obtienen de la Tabla de Propiedades Termo físicas para el agua saturada⁽²³⁾:

- Viscosidad, μ_w : 0,4993 cp
- Número de Prandtl: 3,24
- Densidad, ρ_w : 60,72916 lbm/ft³

²¹ MEGYESY, E; Manual de recipientes a presión: 1998; pag. 160.

²² TEMA; 1988; pag 185.

²³ INCROPERA, F; Fundamentos de Transferencia de Calor; Tabla A – 6; 1999; pag. 846.

- Conductividad térmica, κ_W : 0.37 Btu/h ft °F

Para los gases producto de la combustión se utilizan las propiedades del nitrógeno por que este elemento se encuentra en mayor cantidad y se obtiene de la Tabla de propiedades termo físicas para gases a presión atmosférica ⁽²⁴⁾:

- Viscosidad, μ_G : 0,0307 cp
- Número de Prandtl: 0,710
- Conductividad térmica, κ_G : 0,035 Btu/h ft °F
- Calor específico, c_{pG} : 0,277 Btu/lbm °F

3.5.3.4.3. Coeficiente de convección externo

Primero se determina el número de Reynolds con la ecuación 3.8; si es turbulento se procede a calcular el número de Nusselt con la ecuación 3.13. para luego calcular el coeficiente de convección externo con la ecuación 3.14

- $Re_{dW} = 39\,526,77$
- $N_{uW} = 175$
- $h_o = 27,75$ (Btu/h ft² °F)

3.5.3.4.4. Coeficiente de convección interno

Se procede de igual forma que el caso anterior. Para el número de Reynolds se utiliza la ecuación 3.15, se utiliza el flujo másico de los gases producto de la combustión, que se calcula con la relación aire combustible y el flujo másico del gas natural.

La relación aire combustible se obtiene con la siguiente ecuación:

$$\frac{A}{C} = \frac{(\%O_2 + \%N_2) * PM_{aire}}{PM_{combustible}}$$

²⁴ INCROPERA, F; Fundamentos de transferencia de calor; Tabla A – 4; 1999; pag. 842.

De la ecuación total de combustión se obtiene los porcentajes de oxígeno y nitrógeno que son 3,1416 y 11,80 respectivamente. El peso molecular del aire es de 28,96 mientras que el peso molecular del combustible es 31,33.

$$A/C = 13.8 \text{ lbmaire/lbmcombustible}$$

El flujo másico del gas natural se obtiene con la ecuación de estado de los gases.

$$\dot{m}_{\text{gasnatural}} = 411,63 \text{ lbmcombustible/h}$$

Para calcular el flujo másico total de los gases producto de la combustión se suma el flujo másico del gas natural y el flujo másico del aire.

$$\dot{m}_G = \dot{m}_{\text{gasnatural}} + \dot{m}_{\text{AIRE}}$$

$$\dot{m}_G = \dot{m}_{\text{gasnatural}} (1 + A / C)$$

Por lo que se tiene:

$$\dot{m}_G = 6\,097 \text{ lbm/h}$$

Con los cálculos anteriores se obtiene los siguientes resultados:

- $Re_{dG} = 52\,168,88$
- $Nu_G = 119,2$
- $h_{iG} = 2,09 \text{ (Btu/h ft}^2 \text{ °F)}$

3.5.3.4.5. Convección por radiación del gas

Primero se calcula la cantidad de calor transferido por radiación con la ecuación 3.18.

Despejando la ecuación 3.19, tomando en cuenta que la longitud donde ocurre la radiación es la mitad de la longitud del tubo de fuego (tubo en U), es decir, la longitud de la coraza y suponiendo una temperatura de los alrededores,

(temperatura de la pared interna del tubo de fuego, igual a 900 °F) para evitar que el tubo tenga problemas de recalentamiento ya que la temperatura máxima de trabajo para el acero inoxidable 304 es de 900 °F.

$$h_r = 22 \text{ (Btu/h ft}^2 \text{ °F)}$$

3.5.3.4.6. Coeficiente global de transferencia de calor

Como comprobación se utiliza la ecuación 3.4, el resultado es:

$$U = 9,3 \text{ Btu/h}$$

Al compara con el resultado obtenido en 3.5.3.2 de 11,4 Btu/h existe una diferencia de 2,10 Btu/h, la diferencia es del 18% por lo que las dimensiones iniciales no son las adecuadas.

Como es un proceso iterativo se cambia la longitud del calentador manteniendo constantes el diámetro del cuerpo y del tubo de fuego.

En la Tabla N° 3.4 se encuentran el valor del coeficiente U y su comprobación.

Tabla 3.4. Coeficiente U en función de la longitud del calentador.

Longitud del calentador	U	U (comprobación)	Diferencia	%
16'	11,9	9,3	2,10	18
20'	9,2	8	1,20	13
24'	7,6	7,1	0,5	7

De la tabla anterior se concluye que las dimensiones del intercambiador de calor son:

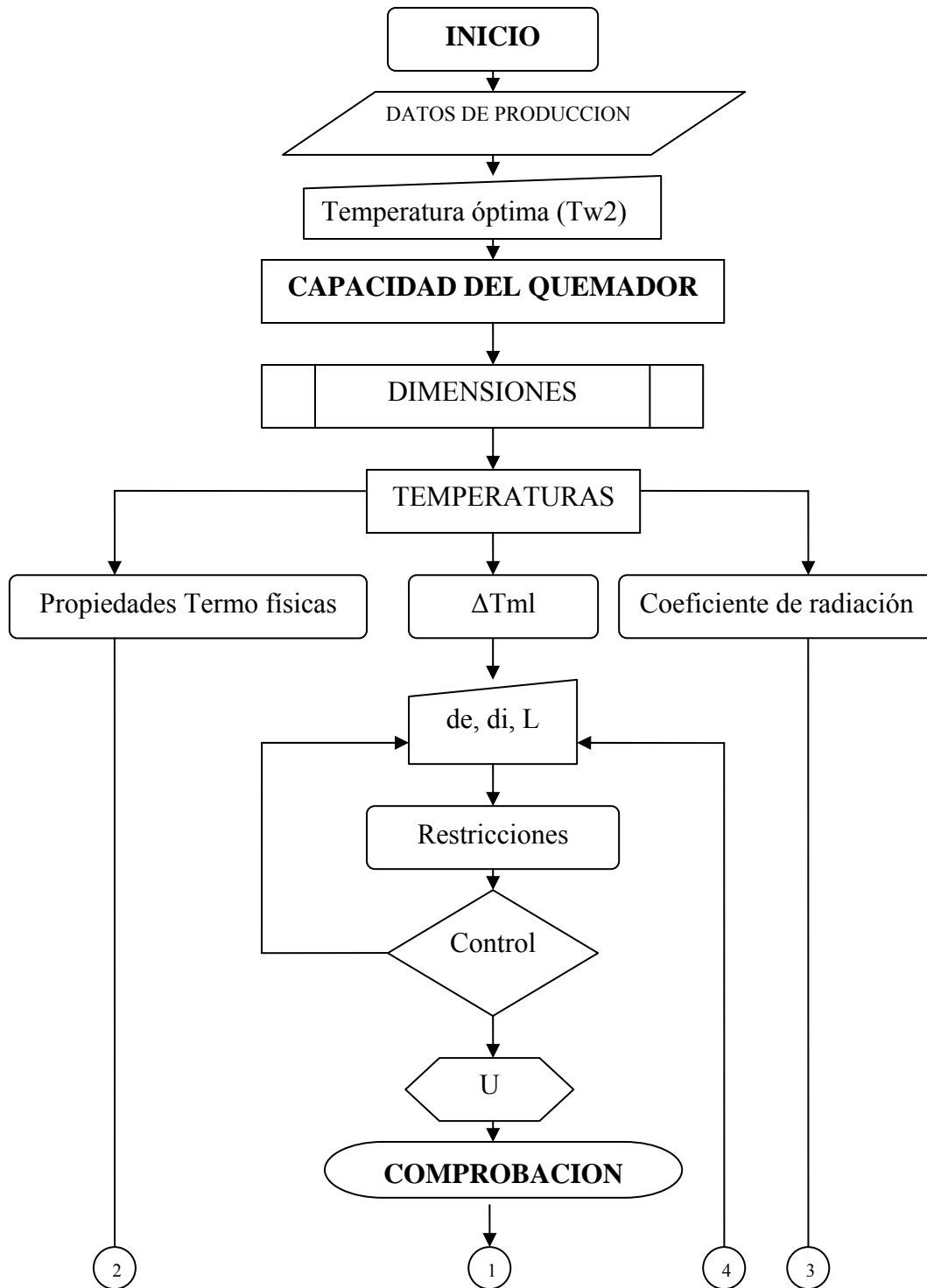
- Diámetro del cuerpo = 76"
- Diámetro del tubo de fuego = 24 "
- Longitud del calentador = 24'

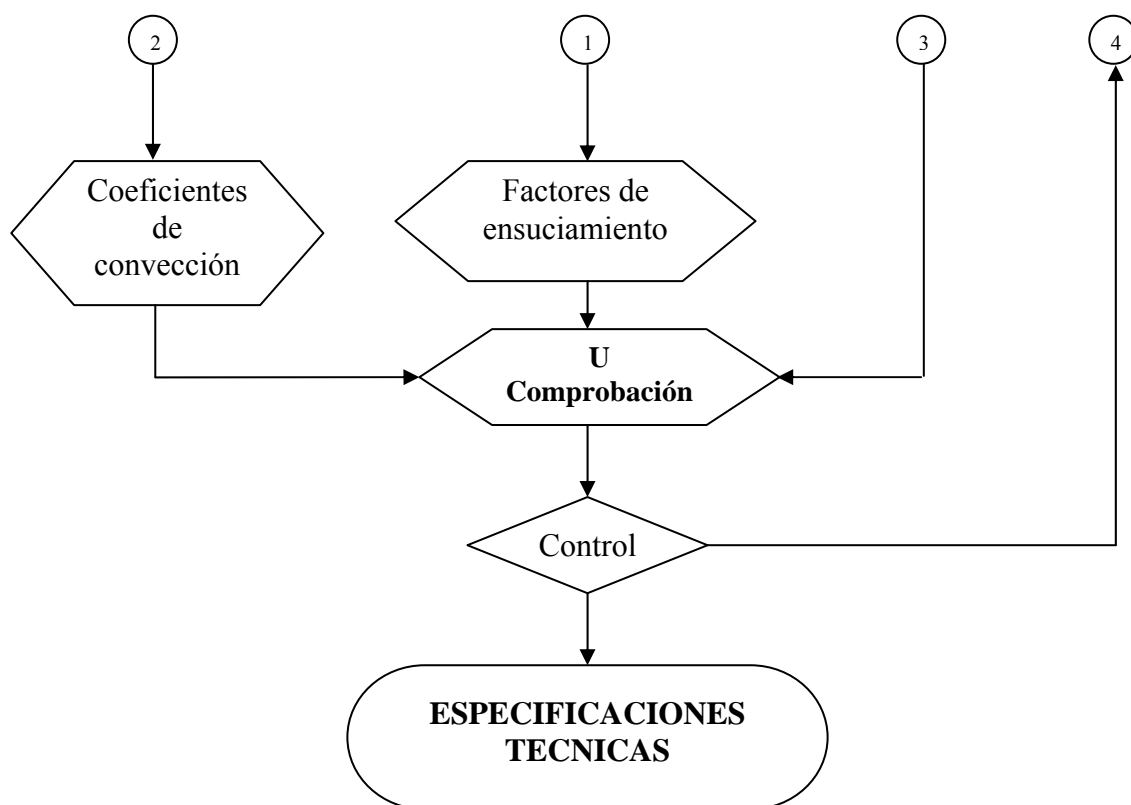
3.6. ELABORACIÓN DE HOJA DE CÁLCULO

Para el diseño de los calentadores se utiliza una hoja electrónica de cálculo, esta herramienta esta elaborada utilizando el software Excel.

3.6.1. DIAGRAMA DE FLUJO

A continuación se presenta el diagrama de flujo que inicia con el ingreso de datos en la hoja electrónica e indica la secuencia de cálculo de cada uno de los parámetros necesarios para dimensionar el calentador, según lo establecido en los párrafos anteriores de este capítulo.





3.6.2. GUIA DE USO

Para el correcto uso de esta hoja electrónica a continuación se explica su forma de funcionamiento.

Esta hoja esta elaborada en Excel pero utiliza macros de Visual Basic por lo que la seguridad debe estar en nivel bajo. Para acceder a seguridad se va a Herramientas/macros/seguridad.

Primero se necesita ingresar la estación donde se ubicara el calentador, esto se lo realiza en la hoja llamada "CALCULOS", en el cuadro de lista "UBICACION"

En esta hoja se ingresan los datos necesarios para empezar con los cálculos, estos son:

- Producción de petróleo
- Producción de agua
- Gravedad °API
- Temperatura actual en el tanque de lavado

- Presión de operación
- Caudal de agua en el calentador

También requiere datos de la cromatografía para ello se inserta todos los datos que requiere la hoja "CROMATOGRAFIA". Para acceder a esta hoja se debe dar clic derecho sobre el nombre de la hoja "CALCULOS", luego en el cuadro de dialogo que aparece a continuación se da clic izquierdo sobre "Ver código" y en la sección "Propiedades" se selecciona "Visible" la opción "0"

Para empezar con los cálculos se requiere que se ingresen datos iniciales de diámetro del cuerpo, diámetro del tubo de fuego y longitud del calentador.

Para ingresar estos datos se debe tener en cuenta que el diámetro del tubo de fuego va ha estar sujeto al diámetro de la boquilla del quemador y como máximo la mitad el diámetro del cuerpo menos 30 pulgadas.

Para el diámetro del cuerpo se toma en cuenta que las planchas de acero inoxidable, a ser baroladas, que se encuentran en el mercado son de 4' x 8'. La Tabla N° 3.5 tiene los valores de diámetros según el número de planchas a usarse con el fin de evitar desperdicios y tomando en cuenta que se barolan del lado mas largo

Tabla N° 3.5. Diámetros con planchas disponibles en el mercado

Número de planchas	Diámetro
1	31
2	61
3	92
4	122

También se puede tener diámetros con la unión de planchas enteras y planchas cortadas a la mitad.

Para la longitud del cuerpo se debe tomar consideraciones similares a las anteriores.

A continuación se encuentran los valores para las restricciones tomadas en 3.5.3.1, a lado del valor se encuentra una casilla de estado donde aparece "OK" si esta dentro de los límites o "No cumple". Dependiendo de esto se vuelve a cambiar los datos iniciales de diámetros y longitud.

En la parte "CALCULOS" de la hoja con el mismo nombre se encuentra todos los cálculos realizados para llegar a determinar el coeficiente global de transferencia de calor y su comprobación.

CAPITULO IV

4. ELABORACION DE PLANOS Y COSTO DEL INTERCAMBIADOR

Este capítulo enfoca la elaboración de planos correspondiente a la ingeniería básica, esto incluye la codificación de cada una de las partes a construirse y la elaboración de planos de procesos, de conjunto y de taller de la coraza o cuerpo y del tubo de fuego.

La segunda parte gira en torno a los costos que conlleva la construcción de un equipo con estas características y dimensiones.

4.1. ELABORACIÓN DE PLANOS

Para una posterior elaboración de los planos correspondientes a la ingeniería de detalle, que deberán elaborarse al momento de construir los intercambiadores, se procede con los planos de la ingeniería básica que son:

- De procesos,
- Mecánicos

Para este caso se realiza un plano de proceso en el cual se indica la interconexión entre el calentador, la bomba, el tanque de lavado y los demás elementos que se necesita para la puesta en funcionamiento tales como válvulas, filtros, controladores de nivel, etc. Así pues, el plano de proceso indica la localización del equipo y está relacionado con el arreglo espacial, tiene una influencia vital en la eficiencia y utilidad del proceso. Las buenas prácticas de distribución consiguen un balance económico de los requerimientos de seguridad, construcción, mantenimiento, operación, futuras expansiones y las variables de proceso como flujo por gravedad o altura positiva de succión de bombas.

Los planos mecánicos se centran en el proceso constructivo para dichos elementos.

Se tiene un plano de conjunto donde esta la interconexión de cada elemento del calentador con las medidas de montaje y dos planos de taller que son de la coraza y del tubo de fuego.

Cada plano de taller consta de una lista de materiales e indica el proceso de construcción para dichos elementos.

4.1.1. CODIFICACION

Con el fin de ordenar todo el proyecto se procede a codificar los planos.

Para los planos de procesos se usara la siguiente codificación:

100 – 01 – CASLP – 2144 – 01

Los tres primeros dígitos corresponden al orden del proyecto; los dos dígitos siguientes se refiere a que es un plano de proceso, las letras a continuación son las iniciales del proyecto, los cuatro dígitos a continuación son el código de la Escuela Politécnica Nacional asignado al proyecto de tesis y los dos últimos dígitos corresponden al orden del plano dentro del conjunto de planos de procesos.

Para los planos mecánicos se utiliza la siguiente codificación:

100 – 02 – CASLP – 2144 – 01

Los tres primeros dígitos corresponden al orden del proyecto; los dos dígitos siguientes se refiere a que es un plano mecánico de conjunto; las iniciales son del proyecto, los cuatro dígitos a continuación son el código de la Escuela Politécnica Nacional asignado al proyecto de tesis y los dos últimos dígitos corresponden al orden del plano dentro del conjunto de planos de procesos.

4.1.2. PLANO DE PROCESO

En el Anexo N° 17 se encuentra el plano N° 100 – 01 – CASLP – 2144 – 01 que es el proceso para el sistema de calentamiento de agua para el lavado de petróleo.

De este plano se obtiene los elementos que constituyen el sistema y son:

1. Calentador de agua de formación
2. Bomba para la recirculación de agua de formación
3. Tanque para el lavado de petróleo (wash tank)
4. Quemador de gas natural
5. Línea de recirculación de agua de formación
6. Línea de circulación de gas natural
7. Bota de gas

En este plano se encuentra el sentido de flujo para el agua de formación que recircula en el calentador, el gas natural; además de la presión y temperatura en las líneas de flujo.

Las líneas de flujo existentes son:

- Agua de formación caliente, va del calentador al wash tank
- Agua de formación fría, va del wash tank al calentador
- Gas proveniente del scrubber al quemador

De manera didáctica y siguiendo normas internacionales de representación se dibuja estas líneas con colores para su fácil ubicación.

Al ser un plano de proceso no contiene medidas ni distancias y tampoco se encuentra a escala; su implantación es mas bien visual tratando de resaltar cada uno de los componentes para ello se ubica dichos elementos en forma isométrica.

4.1.3. PLANOS MECANICOS

En el Anexo N° 18 se encuentra el plano N° 100 – 02 – CASLP – 2144 – 01 que corresponde al conjunto del calentador prototipo.

Este plano contiene los elementos del calentador, las medidas de montaje para cuando se proceda a la instalación del mismo así como también el listado de materiales.

Las partes que debe tener un calentador para su correcto funcionamiento se detallan a continuación

4.1.3.1. Quemador

Es el elemento encargado de combustionar el gas natural para calentar el agua. Para este caso se reemplazará los quemadores artesanales por uno industrial, ver Anexo N° 16, se tendrá ciertos cuidados en su montaje, deben ser colocados de tal manera que no causen puntos calientes en las paredes del recipiente

La mala localización de los quemadores crea puntos calientes en la pared del recipiente, lo cual puede resultar en una corrosión mayor en el área comprendida entre el quemador y el tubo de fuego y la pared. Un buen diseño evita los puntos calientes colocando el calentador en una posición central.

4.1.3.2. Coraza o cuerpo

Es el recipiente que contiene el tubo de fuego, en el Anexo N° 19 se encuentra el plano del cuerpo o coraza, dicho elemento se construye en acero inoxidable tipo 304, con planchas que posteriormente se rolarán y soldarán.

Para determinar la cantidad de material que se requiere para la construcción del cuerpo del calentador se procede a calcular el área del elemento, en base al diámetro externo que es de 76 pulgadas y una longitud de 24 pies, se tiene que es de 21 888 plg². Las planchas de acero inoxidable que se encuentra en el mercado son de 4' x 8' con un área de 4 608 plg², por lo que se necesita 5 planchas.

La cabeza del extremo contrario al quemador será de tipo elipsoidal, mientras que la unión entre el tubo de fuego, quemador y coraza será de tipo brida soldada.

En este elemento se insertarán otros más como los accesorios, registros, escalera, refuerzos, soportes, guías, etc.

4.1.3.2.1. Registros

Debido al diámetro de la coraza la Norma ASME Sección VIII recomienda construir un registro para hombre de mínimo 16 pulgadas de diámetro, pero como en este caso se tiene agua con tendencia incrustante se necesita que una persona ingrese al recipiente a limpiarlo por medios mecánicos, por ello se consideran dos registros de 20 pulgadas cada uno.

Estos registros incluirán una brida ciega como tapa y un pescante, cada uno, para retirarlo.

4.1.3.2.2. Boquillas

Son para la interconexión con las líneas de entrada y salida de agua de formación. Debido al caudal de 6000 bpd estas entradas serán de 6 pulgadas de diámetro cada una.

4.1.3.2.3. Soportes y guías

Los soportes son los elementos estructurales donde se asentará el tubo de fuego, dichos elementos se construirán con perfiles de acero estructural A - 36, preparadas superficialmente con chorro de arena y pintadas según el sistema SSPC – PS ⁽¹⁾ número 6.01 que es para superficies de acero expuestas a agua fresca o salada y preparación de la superficie SSPC – SP 6 – 63 que es limpieza comercial con chorro a presión (sand blasting).

Las guías son para direccionar el flujo de agua dentro del cuerpo, también actúan como bafles y aletas aunque su función primordial no es esa.

4.1.3.2.4. Accesorios

Para medir el nivel de agua así como la temperatura del agua y del tubo de fuego, se insertarán estos medidores en weldolets o threadolets, que se soldarán a la coraza.

¹ MEGYESY, E; Manual de recipientes a presión: 1998; Pág. 220.

También se tendrá que contar con válvulas ya sea de alivio, purga, o de control

4.1.3.2.5. Elementos de seguridad

Debido a la altura del calentador se contará con una escalera y en la parte superior con una plataforma para la colocación de herramientas mientras se realiza las revisiones periódicas o de mantenimiento.

4.1.3.3. Tubo de fuego

Es el elemento que se acopla entre el quemador y la coraza, tiene una forma de U, por este elemento circularán los gases producto de la combustión del gas natural.

Se acopla con el quemador mediante una placa y con la coraza mediante una brida y va asentada en los soportes.

En el Anexo N° 20 se encuentra el plano de este elemento.

4.1.3.4. Chimenea

Es por donde salen los gases producto de la combustión, se acopla al tubo de fuego mediante una placa soldada.

4.1.3.5. Silletas

Son los elementos donde se sostiene el calentador, se construirán dos silletas y una placa de desgaste. Estas silletas serán fijadas sobre bases de hormigón de 210 kgf/cm².

4.2. COSTO DEL INTERCAMBIADOR

A continuación se detalla el costo que tiene la construcción e instalación de un equipo para calentar agua de formación. Para ello se especifica los tipos de costos que intervienen en la obra.

4.2.1. COSTOS DIRECTOS

Son todos aquellos producidos en los gastos en mano de obra, materiales, equipo y transporte, efectuados para la ejecución del trabajo.

4.2.1.1 Costos de mano de obra

Para la construcción, montaje e instalación de este equipo se requiere de ingenieros mecánicos, eléctricos e instrumentación a demás de técnicos y ayudantes. En la Tabla N° 4.1 se detallan los costos de mano de obra que se necesitará.

Tabla N° 4.1. Costos de mano de obra.

DESCRIPCION	UND	CANT	COSTO UNT	COSTO TOTAL
Ing. Mecánico	UND	30	45	1 350
Ing. Eléctrico	UND	15	45	675
Soldador ASME	UND	15	40	600
Ayudante de soldador	UND	15	11	165
Soldador no calificado	UND	20	16	320
Electricista	UND	20	17	340
Ayudante de electricista	UND	15	11	165
Instrumentista	UND	10	18	180
Supervisor de obra	UND	30	40	1 200
TOTAL (USD)				4 995

4.2.1.2. Costos de materiales

En la Tabla N° 4.2 se detallan los materiales necesarios para la construcción del calentador.

Tabla N° 4.2. Listado de materiales y costos

DESCRIPCION	UND	CANT	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
ACERO				
Angulo A-36, 200 x 38 x 4 mm	UND	10,00	4,77	47,7
Manhole	KG	242,00	2,60	629,2
Estructura: Perfil W	KG	297,30	2,30	683,79
Láminas de cuerpo y tapa de 4' x 8'	UND	10	700	7000
Planchas galvalumen	M2	6,50	9,75	63,37
TUBERIA Y FITTINGS				
Brida 6" rfw, A-105 b 16.5, ANSI 150.	UND	2,00	47,37	94,74
Brida 2", rfw, A-105, b16,5, ANSI 150	UND	1,00	17,76	17,76
Codo 2"x90°, lr, A 234 wpb, sch. 40	UND	1,00	8,56	8,56
Conector 1" od a conector cga-580, 316 ss., air liquide, AGA o similar	UND	4,00	81	324
Empaque espiro metálico 2", ANSI 150.	UND	2,00	3,84	7,68
Empaque espiro metálico 6", ANSI 150	UND	2,00	7,83	15,66
Espárragos, ASTM a193-b, 3.1/4" x 5/8" con 2 tuercas	UND	144,00	5,115	736,56
Perno "u", 1"x 1/4", con 2 arandelas y 2 Tuercas galvanizado.	UND	4,00	7,695	30,78
Tubería api-5l smls 6", sch. 40	M	2,00	39,48	78,96
Tubería api-5l smls 2", sch. 40.	M	2,00	19,35	38,70
Válvula de bola acero al carbono, 2", rf, ANSI 150. astm A216 wcb, mfg: john valve, modelo jv-2fc	UND	1,00	330,54	330,54
VALVULAS Y ELEMENTOS DE CONTROL				
Indicador de presión, 1/2" npt macho, 4-1/2" dial, rango: 0-60 psi, conexión inferior, mfg: wika, p/n: 9834753 o similar	UND	1,00	133,95	133,95
Válvula reguladora de presión, 1", npt, mfg: victor, UNIWELD o similar	UND	1,00	715,5	715,5
Válvula solenoide 3 vías 1" od, npt-f ss 316., mfg: ASCO p/n: 8211d89 o similar	UND	1,00	331,5	331,5

DESCRIPCION	UND	CANT	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
Sensor de temperatura	UND	1,00	676	676
Switch de nivel	UND	1,00	760,5	760,5
Válvula de seguridad	UND	1,00	2340	2340
Indicador de temperatura	UND	1,00	156	156
Indicador de Presión	UND	1,00	175,5	175,5
EQUIPOS ADICIONALES				
Quemador Dual	UND	1,00	50000	50000
Bomba para recirculación de agua	UND	1,00	20000	20000

TOTAL (USD)	85396,96
--------------------	-----------------

4.2.1.3. Equipo y transporte

Para el montaje del equipo en el sitio a ser utilizado se requiere de una grúa, en lo referente al transporte, es necesaria la movilización de los equipos y materia prima desde Quito al Distrito Amazónico. Estos costos se indican en la Tabla N° 4.3.

Tabla N° 4.3. Costo de alquiler de equipo y transporte

DESCRIPCION	UND	CANT	COSTO UNT	COSTO TOTAL
Grúa 40 Ton	DIA	4	168	672
Herramienta básica	DIA	30	12	360
Transporte de materiales	VIAJE	2	1000	2000
TOTAL (USD)				3032

4.2.1.4. Costos directos totales

Es la sumatoria de los costos directos de mano de obra, materiales, equipos y transporte. Los costos directos totales se indican en la Tabla N° 4.4.

Tabla N° 4.4. Costos directos

DESCRIPCION	COSTO (USD)
Mano de obra	4 995
Materiales	85396,96
Equipos y transporte	3032
TOTAL	88428,96

4.2.2. COSTOS INDIRECTOS

Al ser Petroproducción quien corre con los gastos administrativos y técnicos, estos gastos no se suman al costo del intercambiador.

Los gastos en obras y por imprevistos se pueden cuantificar como un porcentaje de los costos directos, en este caso se considera el 20 %

4.2.3. COSTO DEL EQUIPO

El costo total del equipo es la suma de los costos directos y los costos indirectos. El valor total del equipo es de USD 110 000,00; este precio puede variar dependiendo de la variación en el precio del acero.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- El agua de formación analizada presenta tendencia incrustante, esto quiere decir que tiende a formar depósitos ya sea de elementos calcáreos, a demás de parafinas que contiene.
- Para la implementación de sistemas de calentadores en las estaciones de Petroproducción se tendría que analizar el tipo de crudo, la temperatura en el Wash tank y de allí se determina si esa estación necesita o no un calentador.
- La baja efectividad de los calentadores existentes es por que el calor se pierde a los alrededores debido al espesor del tubo de fuego y porque este no esta cerrado en el lado del quemador.
- En los intercambiadores de calor con fuego directo gran parte del calor se transfiere por radiación debido a la alta temperatura del gas.
- Una característica del diseño de intercambiadores de calor es el procedimiento de especificar las dimensiones para luego calcular la transferencia de calor y perdida de presión para posterior a ello verificar lo asumido; de ser así se aceptan los datos iniciales sino se los cambia hasta obtener una solución satisfactoria.
- El material para el tubo de fuego y la coraza se lo selecciona en base a los requerimientos que tiene que soportar: altas temperaturas y corrosión.
- Los datos iniciales de diámetros y longitud es debido a la cantidad de agua que tiene que calentar el equipo.
- Los elementos que contiene el calentador de agua se los diseña y dimensiona siguiendo las especificaciones del sistema de lavado de petróleo y con normas internacionales.
- El costo del nuevo intercambiador depende básicamente de los materiales del cuerpo del calentador y del quemador.
- Para el buen funcionamiento del calentador se tendría que realizar las conexiones de instrumentación y eléctricas así como de los elementos de seguridad.

5.2. RECOMENDACIONES

- El seguir utilizando intercambiadores de calor de tubos concéntricos no es recomendable debido a los problemas que presenta:
 - Baja efectividad: La efectividad de los calentadores no supera el 60%.
 - Vida útil baja: A los seis meses la efectividad disminuye a la mitad, después de un año llega al 5% y no se puede seguir utilizándolos porque se taponan y/o se rompen.
 - Dificultad para su reparación: Si se rompen, se los vuelve a soldar esto cambia las propiedades del material, cristaliza el acero volviéndolo frágil y como consecuencia de ello disminuye su resistencia a la tensión haciéndolo no apto para soportar los esfuerzos que tiene que soportar debido a los gradientes de temperaturas.

- Con la caracterización físico - química del agua se obtiene la tendencia de la misma. Para que en los futuros calentadores se inyecte el químico adecuado para tratar esta agua y evitar el deterioro del equipo.
- Del análisis cromatográfico se desprende que el gas natural de algunas estaciones no es apto para utilizarlo como combustible (alto contenido de CO₂, bajo poder calórico) y en dichas estaciones no es recomendable utilizar calentadores.
- Si se requiere seguir construyendo calentadores con el mismo diseño artesanal, se tendría que realizar mejoras tales como uso el de cabezas torisféricas en lugar de las tapas actuales (boca de pescado) que se sueldan.
- Para resolver el problema de los esfuerzos térmicos se tendría que utilizar ranuras en las placas de las silletas en vez de los agujeros actuales de los pernos, esto da una mayor movilidad y permite a la tubería externa dilatarse.
- Si bien el costo inicial es de +/- \$110 000. USD, comparado con el costo de 4 calentadores artesanales, +/- \$ 6 000 USD por cada uno, a los que se reemplazará (que deben repararse continuamente, ser reemplazados por: taponamientos, deformaciones del tubo de fuego, fatiga de material soldado sucesivamente, etc.), se justifica la inversión por las facilidades del nuevo

diseño para efectuar el mantenimiento. Antes de una reparación mayor se estima en 7 años su operación.

- El sitio por donde se tendría que ingresar el agua caliente, en el wash tank es junto a la descarga de la bota de gas, por donde ingresa el volumen total de líquido a calentarse y debido a que el incremento de temperatura mejorará la acción del químico demulsificante.
- Para precautelar el nuevo equipo: quemador, chimenea, elementos de instrumentación y conexiones eléctricas, se recomienda colocar el calentador bajo cubierta (techo de galvalumen). Esto reducirá también las pérdidas de calor por convección entre el cuerpo y el medio ambiente en caso de lluvias.
- A futuro se tendría que completar el presente proyecto de tesis con la ingeniería de detalle, es decir, con la construcción del equipo.

BIBLIOGRAFIA

AMERICAN METER COMPANY; Manual E-2 de constantes de medidores de orificio (orifice meter constants); 1958

ARNOLD, K.; Surface Production Operating; Volumen I; Gulf Company Publishing; 2ª Edición; Houston; 1986.

ASHRAE; Systems and Equipments Handbook (SI); Quinta edición; USA; 1981.

CENGEL, Yunus - BOLES, Michael; Termodinámica; McGraw-Hill; México; 2000.

COMITÉ DE LA AMERICAN GAS ASSOCIATION GAS MEASUREMENT, Informe N° 3; Manual de medición del gas natural por orificio (orifice metering); 1968.

DIRECCION NACIONAL DE HIDROCARBUROS; Reglamento de operaciones hidrocarburíferas. Acuerdo Ministerial No. 389. RO/ 671 de 26 de Septiembre del 2002.

GÓMEZ, J; Apuntes de Clase "Manejo de la Producción en la Superficie". Facultad de Ingeniería - UNAM 1984.

GONZALEZ, Julio; Flujo multifásico y monofásico en redes de tubería.

INCROPERA, Frank - DEWITT, David; Fundamentos de Transferencia de Calor; Prentice Hall; 4ª Edición; México, 1999

KUONG, Javier; Applied Nomography; Gulf Publishing Company; Houston Texas, 1968.

LANFRANCHI, Edalfo; Seminario taller explotación, transporte, almacenamiento y mejoramiento de crudos pesados.

MARTÍNEZ, Marcias; Diseño conceptual de separadores; Ingenieros y consultores, SRL; Maracaibo.

MEGYESY, Eugene; Manual de Recipientes a presión; Editorial Limusa; 4ª Edición; México; 1998.

PATTON, Charles; Applied Water Technology; Campbell Petroleum Series; U.S.A; 1995.

TUBULAR EXCHANGER MANUFACTURERS ASSOCIATION; Standard of the tubular exchanger manufacturers association; 7º edición; New York; 1988.

INDICE DE ANEXOS

- N° 1 Plano del Wash tank de la estación Sacha central
- N° 2 Hoja técnica de demulsificante de Baker Petrolite
- N° 3 Análisis físico-químico del agua
- N° 4 Cromatografía de gases
- N° 5 Hoja técnica de tuberías API 5L
- N° 6 Catálogo de válvulas de control marca AMOT
- N° 7 Mediciones de campo
- N° 8 Manual termómetro infrarrojo marca Cole Parmer
- N° 9 Balance de Gas
- N° 10 Manual y curvas de las bombas marca DURCO
- N° 11 Eficiencia de juntas
- N° 12 Propiedades de los aceros inoxidable
- N° 13 Factor de corrección para un intercambiador de flujo cruzado y tubo en U
- N° 14 Forecast
- N° 15 Análisis físico-químico de petróleo de Shushufindi
- N° 16 Catalogo de quemador marca POWER FLAME
- N° 17 Plano de proceso
- N° 18 Plano de conjunto
- N° 19 Plano del cuerpo o coraza
- N° 20 Plano del tubo de fuego

ANEXO N° 1
PLANO DEL WASH TANK DE LA ESTACIÓN SACHA CENTRAL

ANEXO N° 2

HOJA TÉCNICA DE DEMULSIFICANTE DE BAKER PETROLITE

ANEXO N° 3
ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DEL AGUA



**PETROPRODUCCION
INGENIERÍA DE PETRÓLEOS**

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO AGUA DE FORMACION

LUGAR DEL MUESTREO:

TK DE LAVADO LAGO NORTE

FECHA DEL MUESTREO:

10/ENERO/2005

FECHA DEL ANALISIS :

10/ENERO/2005

PARÁMETROS	UNIDADES	ESTACION LAGO NORTE
TEMPERATURA	°C	33
PH	-	6,4
HIERRO	Ppm	7,12
TURBIDEZ	NTU	136
ALCALINIDAD TOTAL	ppm CaCO ₃	1300
ALCALINIDAD BICARBONATOS	ppm HCO ₃	1586
DUREZA TOTAL	ppm CaCO ₃	4000
DUREZA CALCICA	ppm CaCO ₃	2666,6
DUREZA MAGNESICA	ppm CaCO ₃	1333,3
CALCIO	Ca ⁺⁺	1066,64
MAGNESIO	Mg ⁺⁺	319,99
CONDUCTIVIDAD	Umhos	2033,3
CLORUROS	ppm Cl	8616,66
SULFATOS	ppm SO ₄ ⁼	42,5
COLOR APARENTE	ALPHA	250
COLOR VERDADERO	ALPHA	12
SABOR		INOBJETABLE
OLOR		HIDROCARBUROS
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	SST	20
SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES	SDT	120
CLORURO DE SODIO	ppm NaCl	14217,5
pHs (SATURACION)		6,14
TENDENCIA DEL AGUA		INCRUSTANTE

Lcdo.: Leopoldo Simisterra

ANALISIS FISICO QUIMICO DEL AGUA
CAMPO LIBERTADOR ESTE
NOVIEMBRE

FECHA	LOCACION	pH	T, °C	CLORUROS	ALCALINIDAD	DUREZA TOTAL	DUREZA CALCICA	DUREZA MAGNESICA	HIERRO 2+	SULFATOS	RESIDUAL DE INHIBIDOR DE ESCALA	P. CABEZA	TURBIEDAD	ACEITE EN AGUA	OXIGENO DISUELTO	H2S
			° C	mg/l Cl ⁻	mg/l CaCO ₃	mg/l CaCO ₃	mg/l CaCO ₃	mg/l CaCO ₃	mg/l Fe ²⁺	mg/l SO ₄ ²⁻	ppm INHIB.	Psi	NTU	.ppm	.ppb	.ppm
CUYABENO																
SUCCION CUYABENO																
octubre 10, 2005		6,2	68									1500			40	0,5
20/10/2005		6,7	68	11500	1240	1970	1820	150	5	265	19,95	1200	271	583,68	40	0,3
noviembre 7, 2005		6,5	70	11200	1190	2440	1800	640	8,5	200						
PROMEDIOS		6,466667	68,66667	11350	1215	2205	1810	395	6,75	232,5	19,95	1350	271	583,68	40	0,3
CUY 05																
octubre 10, 2005		6,1	68									1240			40	3
20/10/2005		6,7	66	10900	1170	1920	1770	150	4,5	205	17,95	1020	221	14,74	40	0,7
noviembre 7, 2005		6,4	66	11000	1270	2440	1800	640	4,5	200						
PROMEDIOS		6,4	66,66667	10950	1220	2180	1785	395	4,5	202,5	17,95	1130	221	14,74	40	1,85
CUY 05																
octubre 10, 2005		5,9	67									1250			40	5
20/10/2005		6,8	66	10950	1000	1970	1780	190	5,75	190	17	1040	2340	724,74	40	0,3
noviembre 7, 2005		6,4	66	10900	1240	2590	1800	790	4,25	200						
PROMEDIOS		6,366667	66,33333	10925	1120	2280	1790	490	5	195	17	1145	2340	724,74	40	2,65
SANSAHUARI																
Succion SSH																
octubre 10, 2005		6,5	55									770			100	0,5
20/10/2005		6,9	50	9550	1240	2320	1910	410	3,85	265	24,4	740	232	225,79	80	1
PROMEDIOS		6,7	52,5	9550	1240	2320	1910	410	3,85	265	24,4	755	232	225,79	90	1
SSH 01																
octubre 10, 2005		6,5	48									650			100	0,5
20/10/2005		6,9	48	9700	1280	2250	1910	340	4	250	21,6	700	325	54,47	80	2
PROMEDIOS		6,7	48	9700	1280	2250	1910	340	4	250	21,6	675	325	54,47	90	2
VHR																
SUCCION																
octubre 10, 2005		6,7	69									1100			100	0,7
20/10/2005		6,8	69	12450	1220	2920	2570	350	4,6	350	43,85	1100	216	82,37	80	1,5
noviembre 7, 2005		6,7	69	2610	110	2880	2180	700	6,5	375						
PROMEDIOS		6,7	69	7530	665	2900	2375	525	5,55	362,5	43,85	1100	216	82,37	90	1,5
VHR 10																
octubre 10, 2005		6,8	60									1020			100	0,5
20/10/2005		6,9	60	12650	1190	2890	2570	320	3,3	350	33,6	1000	160	51,58	80	3
noviembre 7, 2005		6,7	59	2410	1120	2880	2250	630	10,25	425						
PROMEDIOS		6,8	59,666667	7530	1155	2885	2410	475	6,775	387,5	33,6	1010	160	51,58	90	1,75

ANEXO N° 4
CROMATOGRAFÍA DE GASES



PETROPRODUCCION

**LABORATORIO DE CORROSIÓN LAGO AGRIO
CROMATOGRAFIA DE GASES DEL DISTRITO AMAZONICO
MUESTRA TOMADA SALIDA DE SEPARADORES**

2005

AREA	PRES.	TEMP	PORCENTAJE MOLAR										Sp.Gr	G.P.M.	PESO	T.S.C.	P.S.C.	P.C.N.	N° OCT	Z	Ug	Cg	Bg
	(Psi)	(°F)	CO2	N2	C1	C2	C3	IC4	NC4	IC5	NC5	MOLEC			G.R.	Psi a.	Btu/scf	calcul	adimen	cp.	1/psi	ft3/scf	
SHUSHUFINDI	SUROESTE	44,7	116	15,99	2,10	35,01	11,09	21,07	3,54	7,77	1,83	1,6	1,206	10,637	34,905	527,825	702,063	1452,838	86,649	0,984	0,0097	0,02274	0,3586
	SUR	43,7	124	10,48	1,57	62,49	9,641	9,09	1,53	3,74	0,68	0,32	0,902	4,711	26,118	440,949	697,290	1148,120	99,364	0,991	0,0109	0,0231	0,3748
	CENTRAL	38,7	104	13,32	2,32	40,69	11,76	19,15	2,87	6,74	1,64	1,51	1,135	9,465	32,869	508,951	694,804	1409,367	90,477	0,986	0,0097	0,02620	0,4067
	NORTE	38,7	106	16,53	1,95	29,88	10,09	21,47	3,82	10,48	2,91	2,87	1,298	12,546	37,587	552,493	696,143	1576,299	84,317	0,983	0,0092	0,02630	0,4066
	AGUARICO	32,7	88	11,98	1,93	36,41	12,99	21,72	3,38	8,11	1,84	1,64	1,185	10,889	34,316	526,902	686,352	1518,645	91,54	0,0986	0,0092	0,03103	0,4674
AUCA	SUR	38,7	98	5,58	3,94	60,07	8,52	12,66	2,72	4,27	1,21	1,03	0,933	6,525	27,013	448,088	667,534	1270,262	101,139	0,990	0,0103	0,02610	0,4038
	CENTRAL	39,7	100	5,73	4,25	59,9	8,82	12,41	2,51	4,13	1,26	0,99	0,930	6,347	26,922	446,478	668,284	1257,629	100,684	0,990	0,0103	0,02545	0,3950
	CULEBRA	NO SE CUENTA CON LAS FACILIDADES PARA TOMA DE MUESTRA																					
	YULEBRA	34,7	112	5,10	2,0	52,67	12,58	16,90	3,52	5,05	1,35	0,83	1,003	8,175	29,034	477,526	666,518	1412,126	101,942	0,990	0,0103	0,02912	0,4616
	YUCA	44,7	125	6,38	2,98	56,08	9,08	14,78	3,36	5,07	1,42	0,85	0,981	7,58	28,417	464,833	669,696	1336,533	100,388	0,989	0,0106	0,02262	0,3661
	CONONACO	38,7	112	6,93	9,41	68,84	5,05	4,81	1,23	1,66	1,15	0,92	0,813	2,999	23,54	394,318	671,497	982,453	96,644	0,994	0,0110	0,02600	0,4156
LAGO	NORTE	39,7	98	23,92	2,43	37,65	11,09	15,16	2,21	5,30	1,18	1,06	1,148	7,369	33,241	503,088	743,362	1181,626	79,662	0,987	0,0095	0,02551	0,3926
	CENTRAL	40,7	95	18,02	1,63	40,19	11,54	16,64	2,49	6,45	1,59	1,45	1,140	8,520	33,03	507,553	717,228	1318,921	86,507	0,986	0,0095	0,02493	0,3803
GUANTA		49,7	94	6,95	2,08	49,44	13,17	17,41	2,54	5,74	1,39	1,28	1,034	8,390	29,940	485,614	673,48	1413,64	99,128	0,983	0,0098	0,02050	0,3101
SACHA	CENTRAL	44,7	82	8,1	2,01	46,74	11,89	18,16	2,9	6,51	1,94	1,75	1,082	67,414	31,331	497,515	674,126	1457,511	97,149	0,983	0,0094	0,02277	0,3371
	SUR	58,7	76	9,01	2,88	49,34	10,81	16,68	2,68	5,79	1,51	1,30	1,044	44,55	30,235	483,111	679,322	1368,533	96,224	0,979	0,0095	0,01741	0,2528
	NORTE 1	36,7	98	14,8	2,49	46,73	10,38	14,61	2,57	5,28	1,59	1,55	1,074	130,051	31,092	486,899	704,403	1283,479	90,313	0,989	0,0098	0,02756	0,4504
	NORTE 2	34,7	100	4,7	1,33	45,71	13,33	20,44	3,24	7,64	1,91	1,70	1,095	144,994	31,713	507,386	659,356	1565,508	100,858	0,987	0,0097	0,02921	0,4504
PUCUNA		42,7	90	14,74	2,09	39,05	10,42	19,12	2,99	8,08	1,81	1,70	1,169	10,049	33,858	517,163	698,033	1429,357	88,712	0,983	0,0093	0,02383	0,3582
LIBERTADOR	ATACAPI	38,7	96	28,43	1,21	28,24	10,61	17,15	2,51	7,41	2,08	2,36	1,281	9,477	37,095	540,141	755,649	1288,409	73,604	0,985	0,0091	0,02624	0,4002
	PICHINCHA	39,7	80	19,37	1,83	35,16	11,61	17,23	2,85	7,76	2,15	2,04	1,207	9,630	34,948	524,757	717,962	1380,815	83,501	0,983	0,009	0,02562	0,3784
	PARAHUACO																						
	SECOYA	58,7	110	25,86	2,30	38,17	10,02	16,99	1,78	4,52	1,14	0,88	1,174	7,257	34,000	505,114	748,673	1176,195	76,467	0,982	0,0097	0,0173	0,2699
	SHUARA	54,7	90	50,87	1,56	21,16	7,18	11,15	1,79	4,25	1,05	0,99	1,322	5,727	38,272	531,141	856,214	823,967	50,537	0,981	0,0089	0,0186	0,2792
	SANSAHUARI	36,7	114	49,81	1,77	15,38	5,39	13,57	3,09	6,85	2,21	1,93	1,424	8,399	41,246	559,264	841,021	993,547	49,356	0,987	0,0090	0,0276	0,4367
	SHUSHUQUI	38,7	98	9,32	2,45	41,74	12,96	19,65	2,9	7,33	2,06	1,59	1,126	9,98	32,615	94,412	677,050	1487,067	94,412	0,985	0,0096	0,02623	0,4109
	CUYABENO	39,7	120	38,75	2,1	19,38	6,90	16,53	3,62	7,87	2,47	2,38	1,391	9,964	40,284	558,836	791,733	1195,808	60,489	0,986	0,0092	0,02556	0,4073
	FRONTERA	46,70	140	46,36	1,60	17,06	5,62	14,11	3,48	9,31	3,02	3,44	1,444	10,292	41,827	569,874	803,529	1196,748	56,362	0,984	0,0094	0,02177	0,3576
	TETETE	36,7	178	81,90	0,97	3,50	0,95	3,12	1,36	3,65	2,23	2,32	1,544	4,105	44,732	564,708	980,824	438,630	16,202	0,991	0,0098	0,02749	0,4875
	VHR	39,7	118	28,35	12,07	20,46	6,77	17,11	3,72	7,82	1,95	1,75	1,315	9,722	38,089	522,115	733,993	1175,864	61,414	0,987	0,0094	0,02552	0,4066

ANEXO N° 5
HOJA TÉCNICA DE TUBERÍAS API 5L

ANEXO N° 6
CATÁLOGO DE VÁLVULAS DE CONTROL MARCA AMOT

AMOT CONTROLS

Quality and reliability for over 50 years



2180C
Ductile Iron
2180D
Cast Steel

OPERATION

The 2180 Series pilot operated 2 way gas valves upon operation shut off the gas supply and vent the downstream pipe ensuring rapid gas evacuation from critical areas.

FEATURES

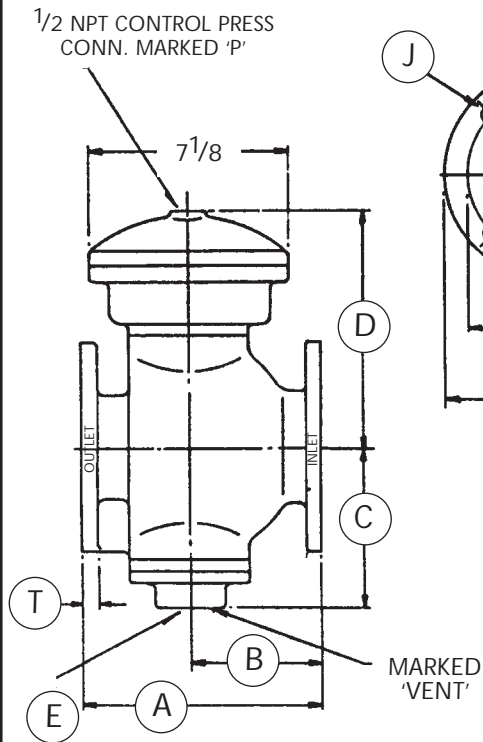
- Compact Design
- No adjustments required
- Replaceable rubber valve seats
- Large capacity double seated valve
- Large vent port

APPLICATIONS

- Gas shut off valve
- Gas engine fuel shut off valve
- Gas turbine fuel shut off valve
- Air starting valve

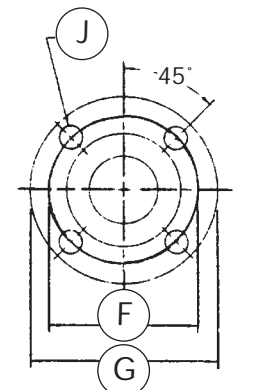
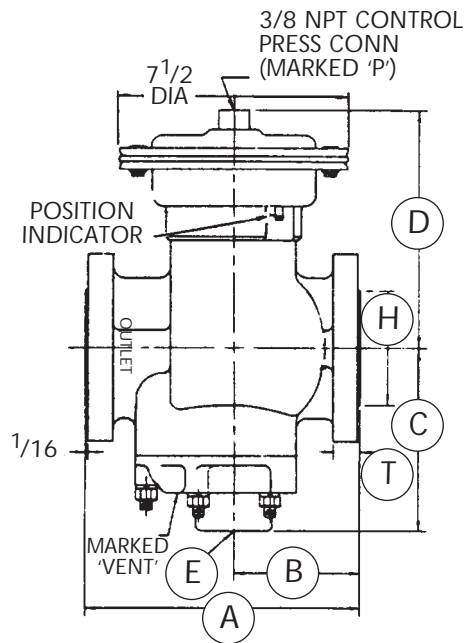
DIMENSIONS

2180C

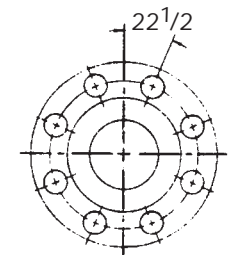


STD ASA 125ø FLANGE

2180D



ASA 150 PSI FLANGE



ASA 300 PSI FLANGE

The Valve Inlet to Outlet ports are open when the position indicator is extended.

MODEL NO		2180C2	2180C3
VALVE SIZE		2"	3"
FACE TO FACE	A	194 (7-5/8)	219 (8-5/8)
CL TO INLET	B	98 (3-7/8)	117 (4-5/8)
DEPTH	C	159 (6-1/4)	194 (7-5/8)
HEIGHT	D	200 (7-7/8)	213 (8-3/8)
VENT SIZE	E	1 NPT	1-1/2 NPT
BOLT CIRCLE	F	121 (4-3/4)	152 (6)
FLANGE DIAMETER	G	152 (6)	191 (7-1/2)
DIA. OF HOLES	J	19 (3/4)	19 (3/4)
NO. OF HOLES		4	4
MIN. THICKNESS	T	16 (5/8)	19 (3/4)

Dimensions in millimetres

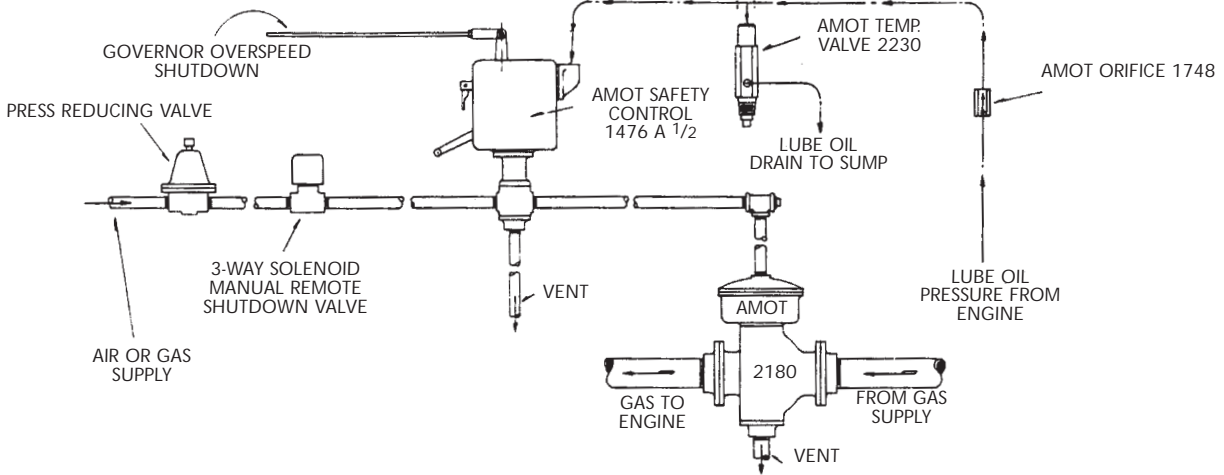
Inches in ()

MODEL No.		2180D2	2180D3	2180D5	2180D6
VALVE SIZE		2"	2"	3"	3"
ANSI FLANGE		150 psi	300 psi	150 psi	300 psi
FACE TO FACE	A	225 (8-7/8)	225 (8-7/8)	273(10-3/4)	273(10-3/4)
CL TO INLET	B	105 (4-1/8)	105 (4-1/8)	127 (5)	127 (5)
DEPTH	C	152 (6)	152 (6)	187 (7-3/8)	187 (7-3/8)
HEIGHT	D	191 (7-1/2)	191 (7-1/2)	203 (8)	203 (8)
VENT SIZE E	E	1 NPT	1 NPT	1-1/2 NPT	1-1/2 NPT
BOLT CIRCLE	F	121 (4-3/4)	127 (5)	153 (6)	168 (6-5/8)
FLANGE DIAMETER	G	153 (6)	165 (6-1/2)	191 (7-1/2)	210 (8-1/4)
FACE DIAMETER	H	92 (3-5/8)	92 (3-5/8)	127 (5)	127 (5)
DIA. OF HOLES	J	19 (3/4)	19 (3/4)	19 (3/4)	22 (7/8)
NO. OF HOLES		4	8	4	8
MIN. THICKNESS	T	22 (7/8)	22 (7/8)	28.5(1-1/8)	28.5(1-1/8)

Dimensions in millimetres

Inches in ()

TYPICAL PIPING DIAGRAM



This system will shut down the engine by closing off the gas supply in the event of high water jacket temperature or low oil pressure. Other sensors may be added for overspeed, bearing temperature, compressor interstage pressure, exhaust temperature, crankcase pressure, water pump differential pressure, vibration, and a variety of other parameters.

MODEL CODE SYSTEM

MODEL 2180C 001 - ()

CODE NO.	SIZE	DYNAMIC SEALS	FINISH
001	2"	Buna N	Standard
007	2"	Buna N	Gulfproofed
010	2"	Viton	Gulfproofed
013	2"	Viton	Standard
021	3"	Buna N	Standard
024	3"	Viton	Standard
027	3"	Buna N	Gulfproofed
030	3"	Viton	Gulfproofed

SPECIAL REQUIREMENTS
(MTO) Made to Order

MODEL 2180D 3 1 A - ()

TABLE A BODY			TABLE B THREAD & FINISH			TABLE C SEAL MATERIAL	
Code No.	Flange	Size	Code No.	Threads	Finish	Code No.	Material
2	150 psi	2"	1	NPT	Standard	A	Buna N
3	300 psi	2"	2	NPT	Gulfproofed	B	Viton
5	150 psi	3"					
6	300 psi	3"					

SPECIAL REQUIREMENTS
(MTO) Made to Order

This sheet is distributed for information purposes only. It is not to be construed as becoming part of any contractual or warranty obligations of Amot Controls Limited, unless expressly so stated in a sales contract. Amot Controls Limited reserves the right to make product design changes at any time without notice.

ANEXO N° 7
MEDICIONES DE CAMPO

DATOS DE CAMPO

UBICACIÓN		TEMPERATURA DE AGUA		TEMPERATURA DE GASES		TUBO EXTERNO		TUBO INTERNO		AGUA	LONGITUD		GAS
CAMPO	ESTACION	IN (°F)	OUT (°F)	IN (°F)	OUT (°F)	ϕ (")	CEDULA	ϕ (")	CEDULA	CAUDAL (GPM)	CALENTADOR (m)	DEL CALENTADOR AL WT (m)	MPCD
Lago Agrio	Central	97,4	102,1	700	630	26	Std	14	120	100	6,30	50,00	60
	Norte	89	98,8	900	489	26	Std	14	120	50	9,40	130,00	30
	Guanta	87,8	90,7	900	635	26	Std	14	120	50	6,20	57,40	60
Sacha	Central	97,6	106,4	941	785	26	Std	14	120	150	6,40	62,00	32,25
		104,5	107,3	949	520	26	Std	14	120	150	8,50	62,00	32,25
		98,7	106	903	618	26	Std	14	120	150	6,35	62,00	32,25
		107,5	111	942	530	26	Std	14	120	150	6,40	62,00	32,25
	Norte 1	109,8	116,7	834	492	26	Std	14	120	50	8,74	62,00	125
		120,5	141	720	520	26	Std	12	120	50	8,22	62,00	125
	Norte 2	108,7	114	925	610	26	Std	12	120	50	8,30	104,00	20
		116	125	930	620	26	Std	14	120	50	8,33	104,00	25
	Sur	102	108	830	636	26	Std	12	120	50	7,92	56,00	23,5
		110	122,5	910	800	26	Std	12	120	50	6,30	56,00	23,5
		103,8	114	920	809	26	Std	14	120	50	7,16	56,00	23,5
		111	135	940	710	26	Std	14	120	50	7,05	56,00	23,5
	Pucuna	97,6	99,7	948	547	26	Std	14	120	50	8,90	8,95	23,5
103,2		107,8	930	700	26	Std	14	120	50	8,90	8,95	23,5	
Auca	Sur	103,8	113,7	980	685	10	Std			50	4,30	110,00	56
		108,1	112,1	605	411	26	Std	14	120	50	6,50	110,00	56
	Central	92,6	106	807	720	10	Std			50	6,70	76,50	48
Shushufindi	Aguarico	99,3	100,6	900	456	26	Std	12	120	50	5,91	53,00	150
		97,2	113,5	890	489	26	Std	12	120	50	6,12	53,00	150

El material del tubo externo y del tubo interno es de acero al carbono API 5L

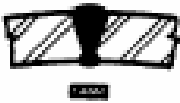
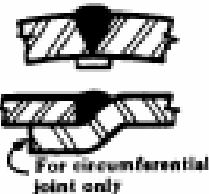

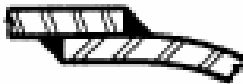


ANEXO N° 8
MANUAL TERMÓMETRO INFRARROJO

ANEXO N° 9
BALANCE DE GAS

ANEXO N° 10
MANUAL Y CURVAS DE LAS BOMBAS MARCA DURCO

ANEXO N° 11
EFICIENCIA DE JUNTAS

TYPES OF WELDED JOINTS

TYPES CODE UW-12		JOINT EFFICIENCY, E When the Joint:			
		a. Fully Radio- graphed	b. Spot Examined	c. Not Examined	
1		<p>Butt joints as attained by double-welding or by other means which will obtain the same quality of deposited weld metal on the inside and outside weld surface.</p> <p>Backing strip if used shall be removed after completion of weld.</p>	1.00	0.85	0.70
2		<p>Single-welded butt joint with backing strip which remains in place after welding</p>	0.90	0.80	0.65
3		<p>Single-welded butt joint without use of backing strip</p>	—	—	0.60
4		<p>Double-full fillet lap joint</p>	—	—	0.55
5		<p>Single-full fillet lap joint with plug welds</p>	—	—	0.50
6		<p>Single full fillet lap joint without plug welds</p>	—	—	0.45

ANEXO N° 12
PROPIEDADES DE LOS ACEROS INOXIDABLES

PROPIEDADES DE LOS MATERIALES - ACERO INOXIDABLE

P-No. 8 Grupo No. 1

COMPOSICION NOMINAL, 18 Cr - 8 Ni		TABLA 1				TABLA 3			
		Producto	No. de Espec.	Grado	Notas	Producto	No. de Espec.	Grado	Notas
Cedencia min. 30 000 lb/pulg ² Tension min. 75 000 lb/pulg ²	Placa	SA-240	304	2 3	COMPOSICION NOMINAL, 16 Cr - 12 Ni - 2Mo. Cedencia min. 30 000 lb/pulg ² Tension min. 75 000 lb/pulg ²	Placa	SA-240	316	2 3
	Tubo s/c	SA-213	TP304	2		Placa	SA-240	317	2 3
	Tubo s/c	SA-213	TP304H	—		Tubo s/c	SA-213	TP316	2
	Tubo s/c	SA-312	TP304	2		Tubo s/c	SA-213	TP316H	—
	Tubo s/c	SA-312	TP304H	—		Tubo s/c	SA-312	TP316	2
	Tubo s/c	SA-376	TP304	2		Tubo s/c	SA-312	TP316H	—
	Tubo s/c	SA-376	TP304H	—		Tubo s/c	SA-312	317	2
	Tubo vaciado	SA-452	TP304H	—		Tubo s/c	SA-376	TP316	2
	Forj.	SA-182	F304	2		Tubo s/c	SA-376	TP316H	—
	Forj.	SA-182	F304H	—		Tubo vaciado	SA-452	TP316H	—
	Barra	SA-479	304	2 3 5		Forj.	SA-182	F316	2
						Forj.	SA-182	F316H	—
						Barra	SA-479	316	2 3 5

COMPOSICION NOMINAL, 18 Cr - 8 Ni		TABLA 2				TABLA 4			
		Producto	No. de Espec.	Grado	Notas	Producto	No. de Espec.	Grado	Notas
Cedencia 25 000 Tension 70 000	Placa	SA-240	304L	—	COMPOSICION NOMINAL, 16 Cr - 12 Ni - 2Mo. Cedencia 25 000 Tension 70 000	Placa	SA-240	316L	—
	Tubo s/c	SA-213	TP304L	—		Tubo s/c	SA-213	TP316L	—
	Tubo s/c	SA-312	TP304L	—		Tubo s/c	SA-312	TP316L	—
	Forj.	SA-182	F304L	—		Forj.	SA-182	F316L	4
	Barra	SA-479	304L	5		Barra	SA-479	316L	5

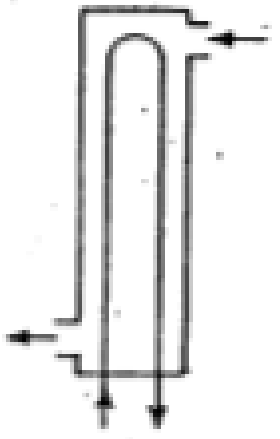
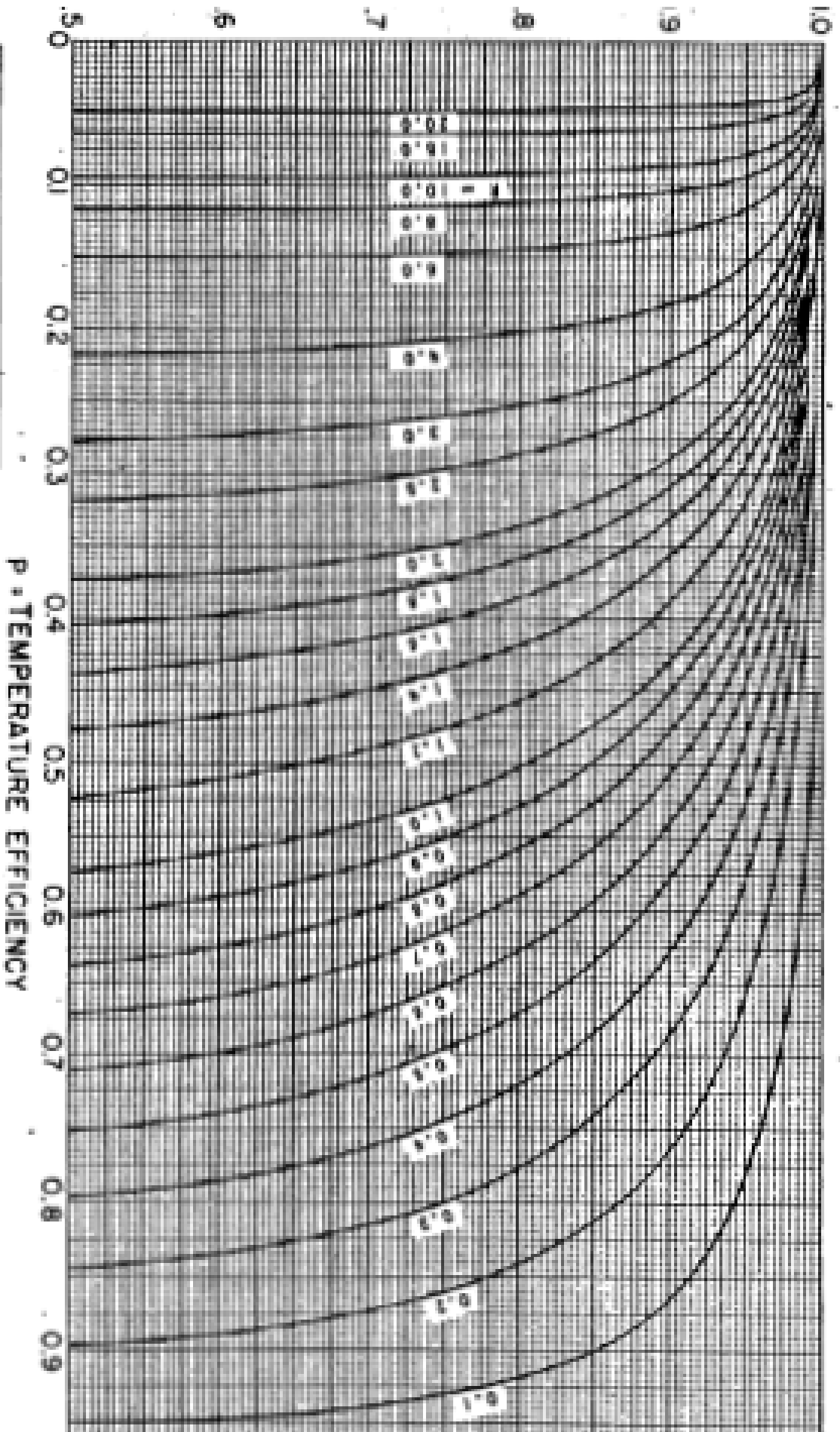
VALORES MAXIMOS DE ESFUERZO PERMITIDO, 1 000 lb/pulg²

MATERIA- LEN DE LA TABLA	PARA TEMPERATURAS DEL METAL NO MAYORES DE, GRADOS F												NOTAS
	-20-100	200	300	400	500	600	650	700	750	800	850	900	
1	18.8	17.8	16.6	16.2	15.9	15.9	15.9	15.9	15.5	15.2	14.9	14.7	1
	18.8	15.7	14.1	12.9	12.1	11.4	11.2	11.1	10.8	10.6	10.4	10.2	
2	15.7	15.7	15.3	14.7	14.4	14.0	13.7	13.5	13.3	13.0	—	—	1
	15.7	13.4	12.0	11.0	10.3	9.7	9.5	9.4	9.2	9.1	—	—	
3	18.8	18.8	18.4	18.1	18.0	17.0	16.7	16.3	16.1	15.9	15.7	15.5	1
	18.8	16.2	14.6	13.4	12.5	11.8	11.6	11.3	11.2	11.0	10.9	10.8	
4	15.7	15.7	15.7	15.5	14.4	13.5	13.2	12.9	12.6	12.4	12.1	12.1	1
	15.7	13.3	11.9	10.8	10.0	9.4	9.2	9.0	8.8	8.6	8.4	—	
MATERIA- LEN DE LA TABLA	PARA TEMPERATURAS DEL METAL NO MAYORES DE, GRADOS F												NOTAS
	950	1000	1050	1100	1150	1200	1250	1300	1350	1400	1450	1500	
1	14.4	13.8	12.2	9.8	7.7	6.1	4.7	3.7	2.9	2.3	1.8	1.4	1
	10.0	9.8	9.5	8.9	7.7	6.1	4.7	3.7	2.9	2.3	1.8	1.4	
3	15.4	15.3	14.5	12.4	9.8	7.4	5.5	4.1	3.1	2.3	1.7	1.3	1
	10.7	10.6	10.5	10.3	9.3	7.4	5.5	4.1	3.1	2.3	1.7	1.2	

NOTAS:

1. Estos valores de esfuerzo mayores exceden en 2/3, pero no exceden del 90% de la resistencia a la cedencia a tal temperatura. El uso de estos valores puede producir cambios dimensionales debidos a la deformación permanente. No se recomiendan estos valores de esfuerzo para bridas ni juntas empacadas ni en otras aplicaciones en las que una deformación ligera pueda ocasionar fuga o mal funcionamiento.
2. A temperaturas superiores a 100°F, estos valores de esfuerzo se aplican solamente cuando se tiene 0.04% de carbono o más.
3. Para temperaturas superiores a 100°F, estos valores de esfuerzo pueden usarse sólo si el material se trata térmicamente, calentándolo a una temperatura mínima de 1 900°F y enfriándolo rápidamente en agua o por algún otro medio.
4. Resistencia mínima especificada a tensión. 65.0 lb/pulg².
5. El uso de tablas de presión externa para el material en forma de barra de medidas estándares se permite únicamente para anillos aleadores.

ANEXO N° 13
FACTOR DE CORRECCIÓN PARA UN INTERCAMBIADOR DE FLUJO
CRUZADO Y TUBO EN U



LMTD CORRECTION FACTOR
1 SHELL PASS EVEN NUMBER OF TUBE PASSES

$$P = \frac{T_2 - T_1}{T_1 - t_1}$$

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

ANEXO N° 14
FORECAST

ANEXO N° 15
ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE PETRÓLEO DE SHUSHUFINDI

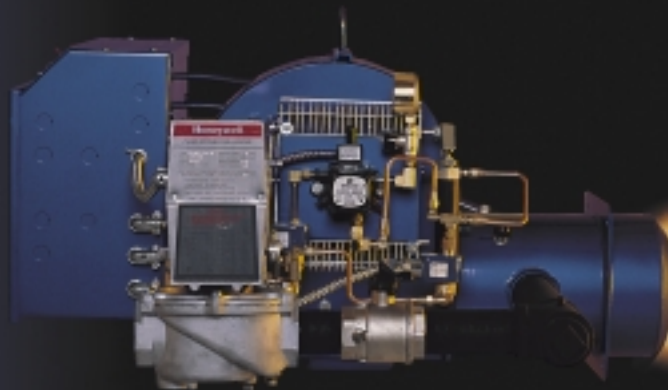
ANEXO N° 16
CATALOGO DE QUEMADOR MARCA POWER FLAME

MODEL CGO
MODEL CGO HTD
FORCED DRAFT
BURNERS

GAS
LIGHT OIL

98,000 -
19,100,000
BTU/HR.

Power Flame® Type C



Power Flame's Versatile High Performance Gas-Light Oil Burner

The Power Flame Model CGO dual fuel burner presents optimum state-of-the-art design for maximum combustion efficiency and operating dependability. These packaged combustion systems will fire all types of gaseous fuels, as well as #2 or similar distillate liquid fuels. The Model CGO HTD (High Turndown) will fire natural gas at turndowns up to 10 to 1. The flame retention firing head incorporates a single nozzle pressure atomizing assembly for liquid fuels and a nozzle mix multiport combustor for gaseous fuels. The

stable performance in both positive or negative combustion chambers. Operating system adjustments have been minimized to provide trouble-free start up and operation.

The Model CGO provides efficient combustion without the aid of refractory or other costly flame support devices. Options include the premix and low gas pressure firing heads for limited size combustion chamber configurations or low gas pressure conditions. Modular design produces added flexibility for a wide range of optional features. All Power Flame packaged combustion systems are factory fire-tested.

Alpha System™ LED indicators, switches and operator annunciator. (Optional additional 6-light board shown on right.)

Adjustable Premix Firing Head

Produces optimum fuel-air mixture within the premix combustion zone*

Circular Furnace Opening

No special cutting of combustion chamber front plate

Low Gas Pressure Firing Head

Added flexibility of application for low gas pressure conditions*

Characterized Fuel Metering

Varicam® provides adjustable and accurately repeatable fuel-air ratios throughout the firing range*

Total Access Panel

Swing out, easily removable top and front panels give total access to state-of-the-art, compact DIN rail mounted components

unique *air sandwich* firing head design produces full range



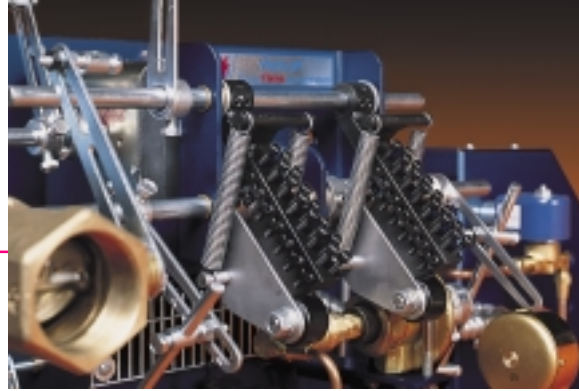
*Optional

Graphic Burner Management System

Director® graphic annunciation of critical burner functions*

PowerFlame

The Power to Manage Energy



The optional Varicam® has 14 adjustable set-points to maintain optimum fuel/air ratios from low to high fire settings.

STANDARD EQUIPMENT

- Alpha System™ LED indicators (power, demand, main fuel, FSG alarm, customer selectable) & control switch
- Pressure regulators, pilot and main gas cocks
- Oil valve, nozzle assembly, manual fuel selector switch
- Air safety switch & leakage test cock
- Gas electric pilot and gas ignition transformer

ADDED FEATURES

X-Standard O-Optional NA-Not Available

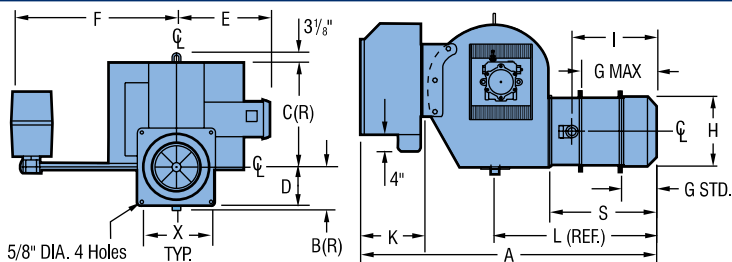
- Flame Safeguard with UV and prepurge with interrupted pilot
- On-Off diaphragm gas valve with fixed air control manual adjustment
- Low-Hi-Off motorized gas valve with automatic air control
- Low-Hi-Low motorized gas valve with automatic air control
- Modulation with automatic air control
- Integral 2 stage fuel unit (C1, C2 single stage)
- Remote mounted 2 stage fuel unit (single stage for C6-C8)
- Dual gas(B) and dual oil safety valves
- High and Low gas pressure switches
- Direct spark ignition (oil)
- Low fire oil start with automatic air control
- Man/Auto switch - manual potentiometer - modulation only

- Ⓐ Postpurge standard on C2-GO-20B and all C3 to C8 models
- Conforms to UL 296 and UL 795

C1-GO-10 C1-GO-12 C2-GO-15	C2-GO-20A	C2-GO-20B	C3-GO-20 C3-GO-25 C3-GO-25B	C4-GO-25	C4-GO-30 C5-GO-30(B) C6-GO-30	C7-GO-30 C8-GO-30
X	X	ⒶX	ⒶX	ⒶX	ⒶX	ⒶX
X	NA	NA	NA	NA	NA	NA
O	X	X	X	X	NA	NA
O	O	O	O	O	NA	NA
O	O	O	O	O	X	X
X	X	X	X	X	NA	NA
O	O	O	O	O	X	X
X	X	X	X	X	X	X
O	O	X	X	X	X	X
O	O	O	O	O	O	O
O	X	X	X	X	X	X
X	X	X	X	X	X	X

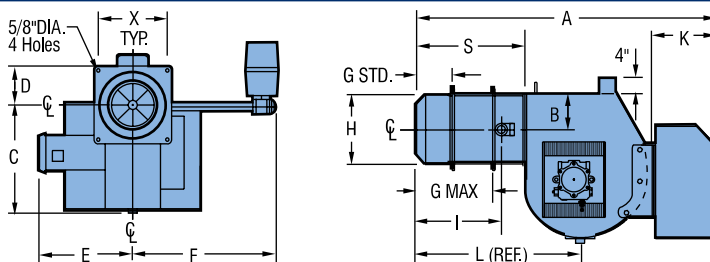
- Ⓑ 5,000 MBH and below may be replaced by one (1) proof of closure valve; above 5,000 MBH one (1) of the safety valves will include proof of closure feature.

MODEL CR (For low centerline applications)



Add 3/8" to "H" for size of opening in boiler front plate

MODEL C



Add 3/8" to "H" for size of opening in boiler front plate

DIMENSIONS (Inches) Standard Models.

- * This dimension may be increased. Consult factory.
- ** This dimension depicts space required to accommodate a standard gas train.

Burner Model	A	B	B(R)	C	C(R)	D	E	F**	G Std.	G *Max.	H	I	K	L	S	X	CAPACITY ¹			Blower Motor H.P. (3450 RPM)	Std. Gas Train (In.)	Pressure Pump Suction (GPH)	Gas Pressure Required (In. W.C.) ²
																	#2 Oil GPH	Natural Gas/MBH Max.	Nominal Boiler H.P. Max.				
C1-GO-10	34 1/8	3 13/16	5 9/16	14 1/2	14 1/2	4 5/8	12 1/4	20	3 1/4	4 3/4	7 1/4	7 3/8	10 1/4	17 1/8	12 5/8	7 1/4	7.0	980	23.5	1/3	1	††19	5.6
C1-GO-12	34 1/8	3 13/16	5 9/16	14 1/2	14 1/2	4 5/8	12 1/4	20	3 1/4	4 3/4	7 1/4	7 3/8	10 1/4	17 1/8	12 5/8	7 1/4	9.7	1,360	32.3	1/2	1 1/4	††19	5.3
C2-GO-15	39 1/8	4 1/2	6 1/8	14 7/8	14	5 1/4	14	20	4	6 3/4	8 3/4	8 1/2	10 1/4	18 7/8	13 3/8	8 1/2	15.7	2,200	52.3	3/4	1 1/2	††70	5.2
C2-GO-20A	39 1/8	4 1/2	6 1/8	14 7/8	14	5 1/4	14	20	4	6 3/4	8 3/4	8 1/2	10 1/4	18 7/8	13 3/8	8 1/2	17.5	2,500	60.0	1	2	70	4.8
C2-GO-20B	39 1/8	4 1/2	6 1/8	14 7/8	14	5 1/4	14	20	4	6 3/4	8 3/4	8 1/2	10 1/4	18 7/8	13 3/8	8 1/2	22.0	3,080	73.5	1	2	70	4.8
C3-GO-20	44	5 1/4	7	16 5/8	15 1/4	6	16	22 3/8	4 1/2	8	10 1/8	11 1/2	10 1/4	22	15 1/2	10	30.0	4,200	100.0	2	2	105	7.6
C3-GO-25	44	5 1/4	7	16 5/8	15 1/4	6	16	22 3/8	4 1/2	8	10 1/8	11 1/2	10 1/4	22	15 1/2	10	33.7	4,718	112.0	2	2 1/2	105	7.0
C3-GO-25B	44	5 1/4	7	16 5/8	15 1/4	6	16	22 3/8	4 1/2	8	10 1/8	11 1/2	10 1/4	22	15 1/2	10	37.5	5,250	125.0	3	2 1/2	135	7.2
C4-GO-25	50	6 1/4	7 5/16	18 7/8	17 11/16	7	18 1/2	28	6	9	12 1/8	14 1/4	10 1/4	26 5/8	19 1/8	12	45.0	6,300	150.0	5	2 1/2	135	8.0
C4-GO-30	50	6 1/4	7 5/16	18 7/8	17 11/16	7	18 1/2	28	6	9	12 1/8	14 1/4	10 1/4	26 5/8	19 1/8	12	56.0	7,840	190.0	5	3	†135	12.1
C5-GO-30(B)	50	6 1/4	7 5/16	18 7/8	17 11/16	7	18 1/2	26 1/2	6	9	12 1/8	14 1/4	10 1/4	26 5/8	19 1/8	12	75.0	10,500	250.0	7 1/2	3	†250	19.9, 17.8
C6-GO-30	49 7/8	6 1/4	7 5/16	18 7/8	17 11/16	7 3/4	19 7/8	26 1/2	5	11 3/4	13 5/8	14 1/8	10 1/4	26 1/2	19	13 1/2	101.5	14,215	340.0	10	3	†250	26.5
C7-GO-30	51 11/16	8 1/8	10 1/8	24 5/16	22 3/8	8 3/4	18	21 13/16	4 7/8	11 1/4	15 5/8	13 7/8	9 1/8	26 1/2	19	13 1/2	121.4	17,000	404.0	15	3	235	40.0
C7-GO-30B	51 11/16	8 1/8	10 1/8	24 5/16	22 3/8	8 3/4	18	21 13/16	4 7/8	11 1/4	15 5/8	13 7/8	9 1/8	26 1/2	19	13 1/2	126.4	17,700	421.0	20	3	235	45.0
C8-GO-30	56 9/16	8 1/8	10 1/8	27 7/8	27 5/8	8 3/4	20	24 3/8	3 1/4	9 5/8	15 5/8	12 1/4	9 1/8	24 7/8	17 5/16	13 1/2	136.4	19,100	454.0	15	3	235	50.0

RATINGS & SPECIFICATIONS

- Capacities listed are based on 0.20" W.C. positive pressure, except for C5-GO-30B, which is rated for 250 BHP at +1.2" W.C. Derate capacities approximately 5% for each +0.50" W.C. combustion chamber pressure. For C7/C8 derate see capacity curves.
 - At inlet to main manual shutoff cock to obtain P/F certified ratings with standard U.L. gas train. Optional gas trains and combustion heads available for lower pressures.
- † Remote Pump Set with 200 (208) or 230/460/3/60 motor, 3450 RPM - 3/4 HP - C4; 1750 RPM - 1 HP - C5, C6; 1750 RPM - 1-1/2 HP - C7, C8.
- †† For On-Off and modulating firing modes only. Refer to C Manual for capacities on other modes.



PowerFlame Incorporated

2001 South 21st Street Phone 620-421-0480
Parsons, KS 67357 Fax 620-421-0948

Web Site: <http://www.powerflame.com>

E-Mail: csd@powerflame.com

Copyright © Power Flame Incorporated 2005 Printed in U.S.A.

ANEXO N° 17
PLANO DE PROCESO

CALENTADOR DE AGUA

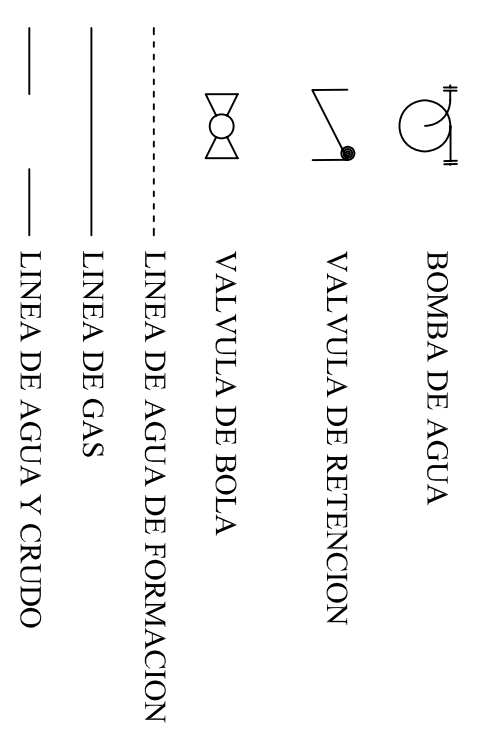
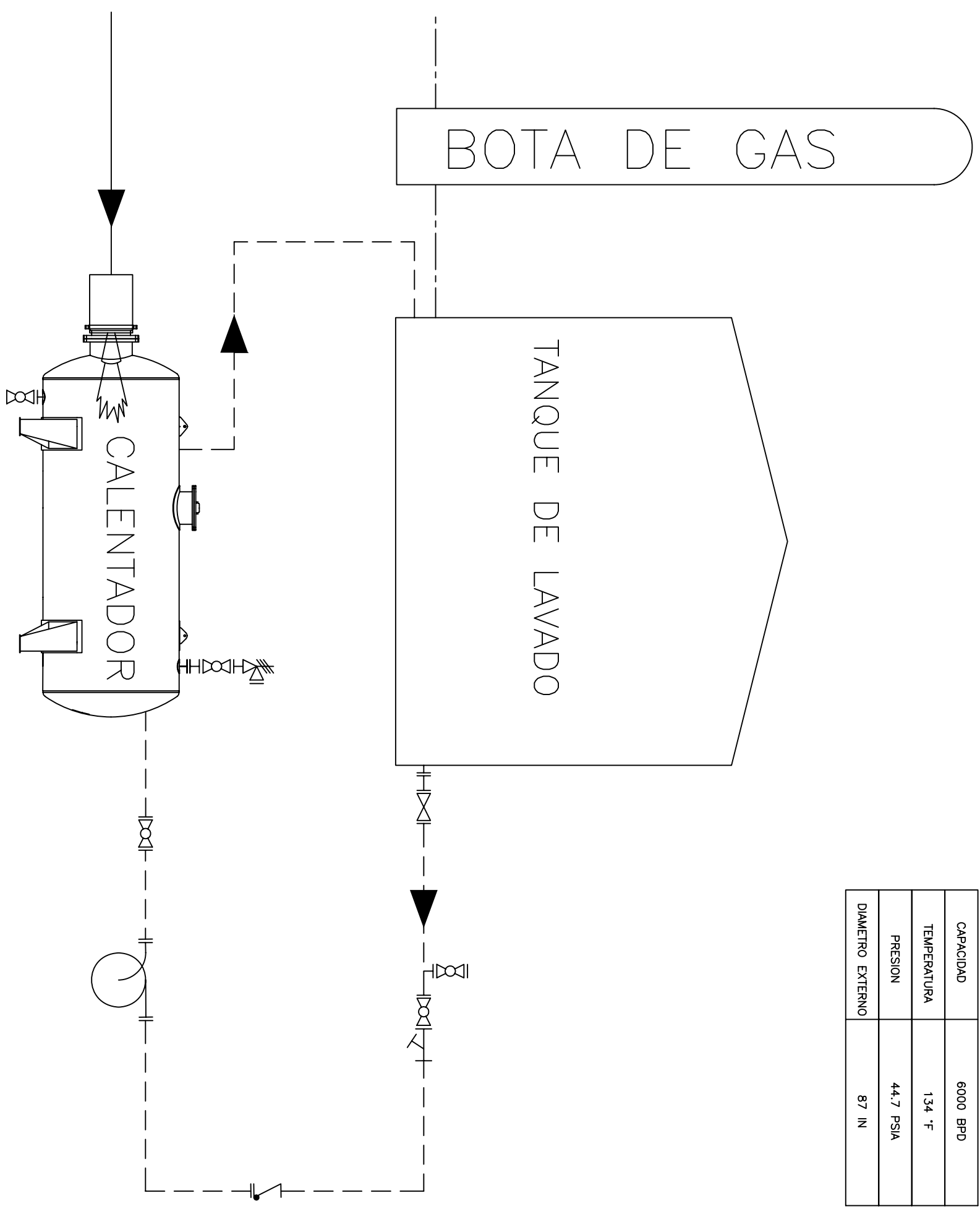
CAPACIDAD	6000 BPD
TEMPERATURA	134 °F
PRESION	44.7 PSIA
DIAMETRO EXTERNO	87 IN

QUEMADOR

CAPACIDAD	2.5 MMBtu/h
TEMPERATURA	1741 °F
CONSUMO	41 MPCD

BOMBA DE AGUA

MARCA	DURCO
CAPACIDAD	6000 BPD
TEMPERATURA	100 °F
PRESION	60 PSIA



NOTAS GENERALES

PLANOS REFERENCIALES
100-02-CASLP-2144-01

ESPACIO PARA SELLO
PETROPRODUCCION

DIBUJO EMITIDO

<input checked="" type="checkbox"/> PRELIMINAR	<input type="checkbox"/> PARA CONSTRUCCION
<input type="checkbox"/> PARA REVISION	<input type="checkbox"/> PARA APROBACION
<input type="checkbox"/> PARA USUARIO	<input type="checkbox"/> PARA INFORMACION
<input type="checkbox"/> REVISADO	

REV	FECHA	DESCRIPCION REVISION	DI	REVISOR	APROBADO	LIBRACION
A	22/07/08	PARA APROBACION	F.P.	J.L.	A.P.	SACHA CENTRAL
0						
1						
2						

PROYECTO: CALENTADORES DE AGUA

ESCUOLA: SACHA CENTRAL

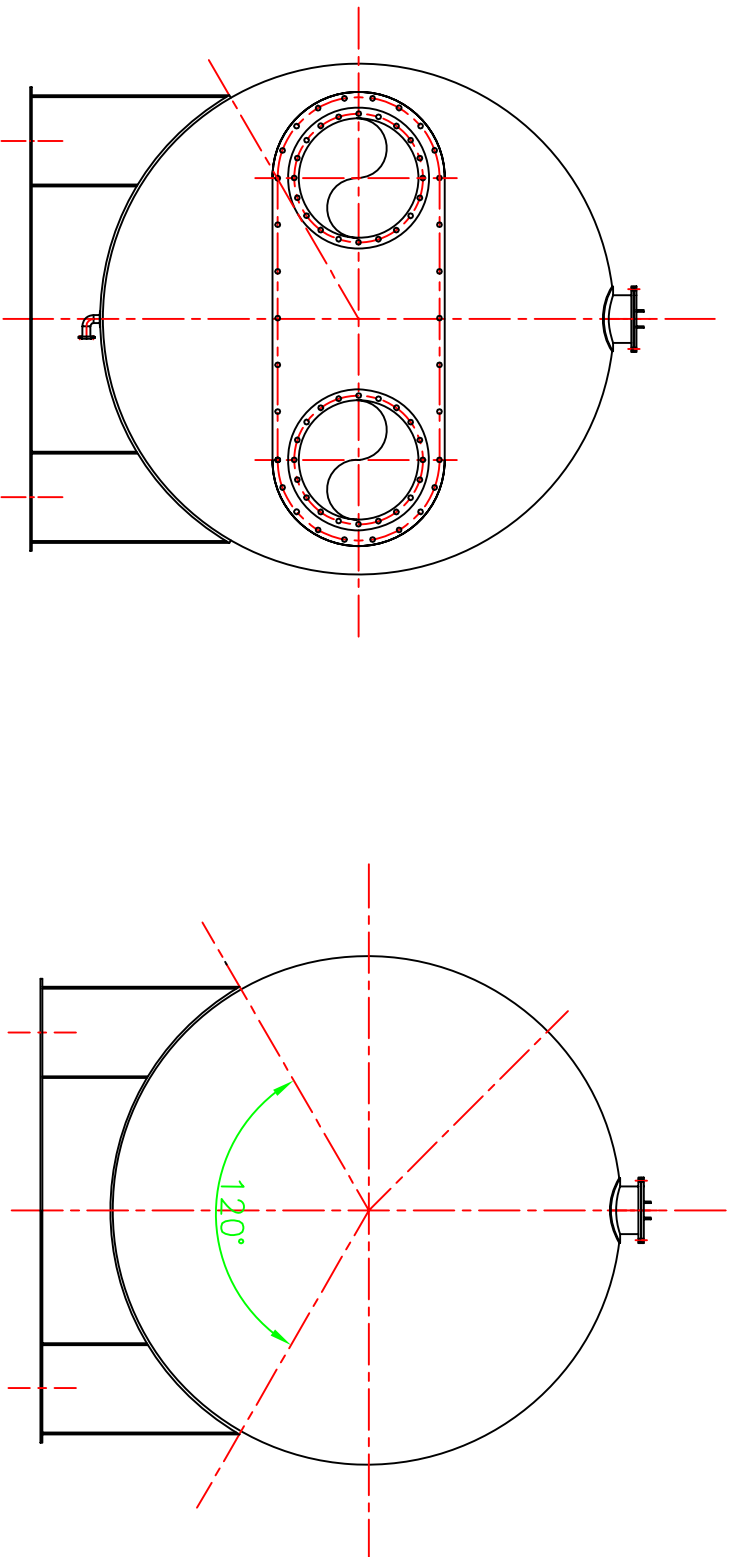
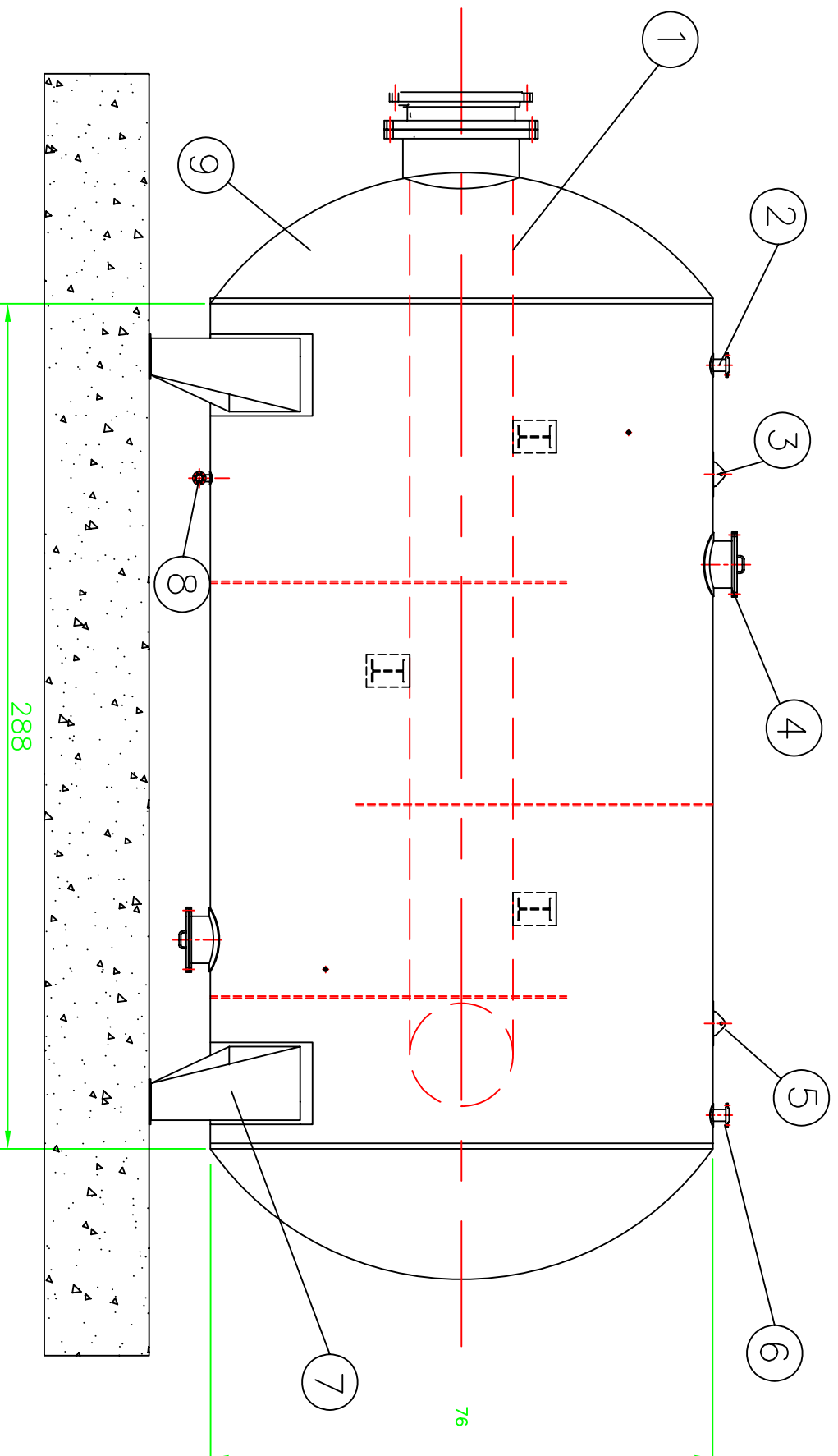
PLANO No.: 100-01-CASLP-2144-01

REV: 1

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
CARRERA DE INGENIERIA MECANICA

PLANO DE PROCESO

ANEXO N° 18
PLANO DE CONJUNTO



DATOS DE DISEÑO	
CONDICIONES:	
CODIGO	ASME VIII ED92
NOMBRE DEL FLUIDO	AGUA
PRESION DE OPERACION	44.7 PSIA
TEMPER. DE OPERACION	67 PSIA
PRESION DE DISEÑO	134 °F
TEMPERATURA DISEÑO	67 PSI
PRUEBA PRES. HIDROS.	N.A.
PRUEBA PRES. NEUM.	N.A.
RELEVADO ESFUERZOS	N.A.
RADIOGRAFIA CUERPO	TOTAL
EFICIENCIA DE JUNTA	1
TIPO DE JUNTA	1 (A TOPE)
RADIOGRAFIA CABEZAS	N.A.
EFICIENCIA JUNTA	1
TIPO DE JUNTA	1 (A TOPE)
TOLERANCIA CORROSION	N.A.
CAPACIDAD	6000 BRD

REV	FECHA	DESCRIPCION	DIB	RENO	APROB	LIBRACION
A	22/07/06	PARA APROBACION	P.P.	J.L.	A.P.	SACHA CENTRAL
0						
1						
2						

POSICION	ZONA	DESCRIPCION	CANTIDAD	MATERIAL	NOTA
9	E4	CABEZAS	2	ACERO INOXIDABLE	100-02-CASLP-2144-10
8	E5	PURGA	1	ACERO AL CARBONO	100-02-CASLP-2144-09
7	D9	SILETA	2	A - 36	100-02-CASLP-2144-08
6	B9	ENTRADA AGUA	1	ACERO	100-02-CASLP-2144-07
5	B9	ORILLAS	2	ACERO	100-02-CASLP-2144-06
4	B7	MANHOLE	1	ACERO	100-02-CASLP-2144-05
3	C8	CUERPO	1	ACERO INOXIDABLE	100-02-CASLP-2144-04
2	C6	SALIDA AGUA	1	ACERO	100-02-CASLP-2144-03
1	C5	TUBO DE FUEGO	1	ACERO INOXIDABLE	100-02-CASLP-2144-02

NOTAS GENERALES

PLANOS REFERENCIALES
100-02-CASLP-2144-01

ESPACIO PARA SELLO
PETROPRODUCCION

1. Todas las dimensiones estan en pulgadas

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
CARRERA DE INGENIERIA MECANICA

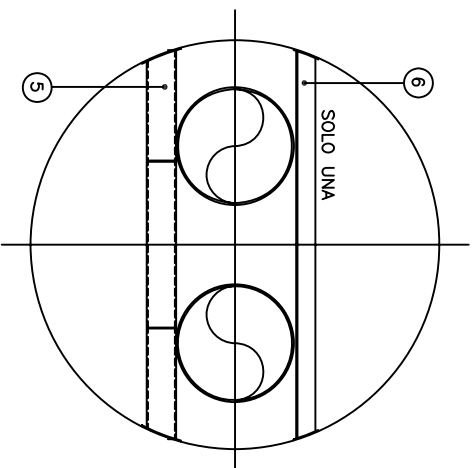
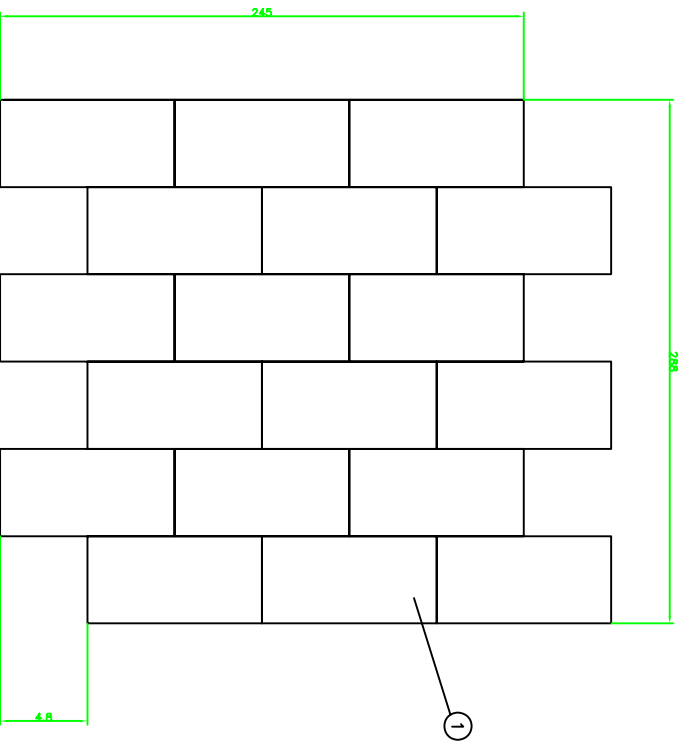
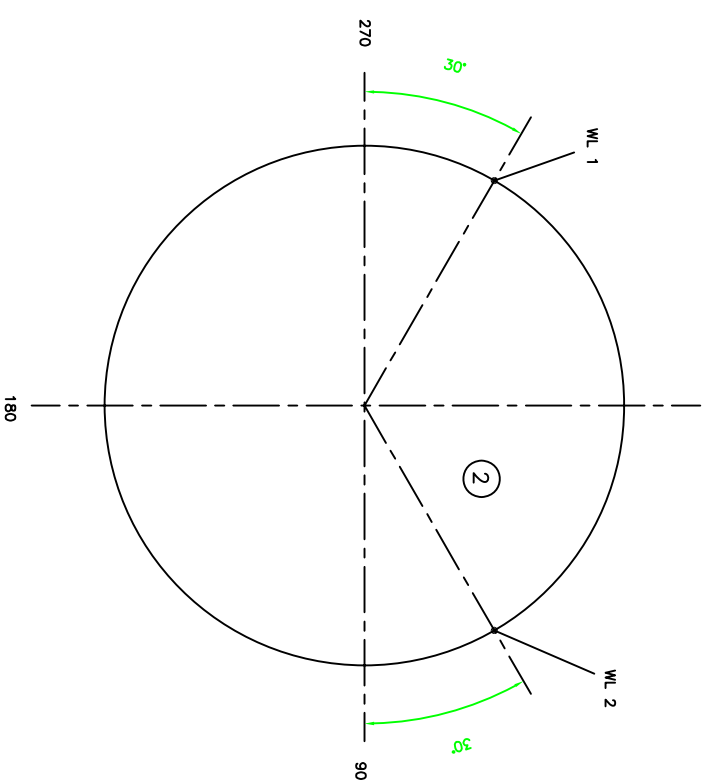
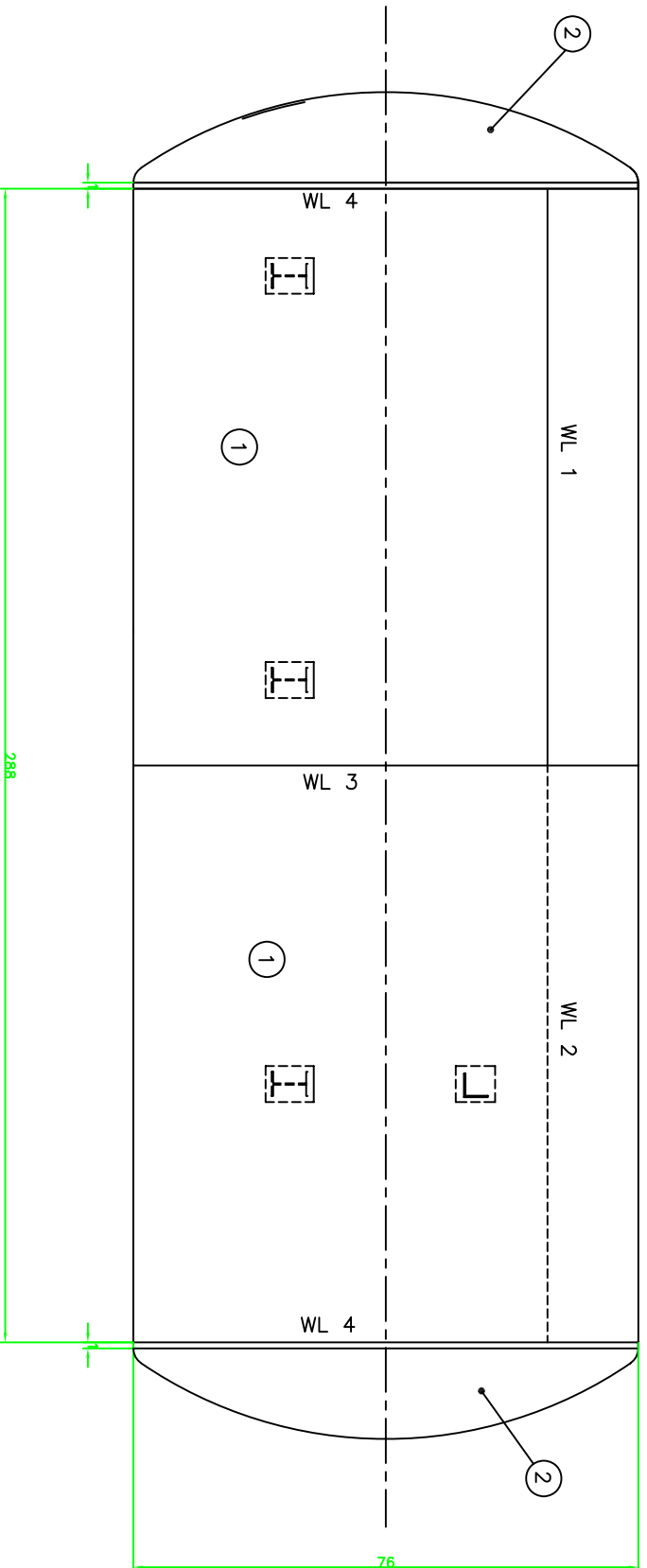
CALENTADORES DE AGUA

CALENTADOR

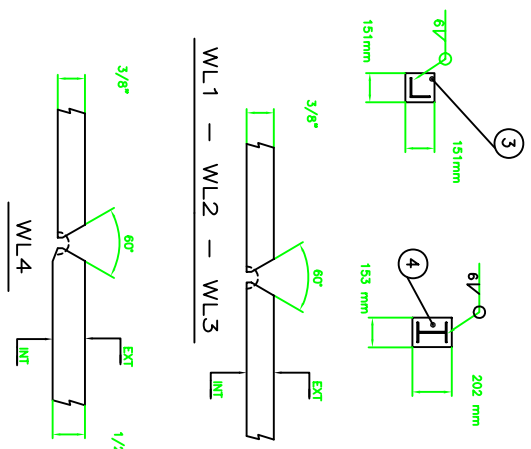
REVISION	FECHA	DESCRIPCION	DIB	RENO	APROB	LIBRACION
0						
1						
2						

REVISION	FECHA	DESCRIPCION	DIB	RENO	APROB	LIBRACION
0						
1						
2						

ANEXO N° 19
PLANO DEL CUERPO O CORAZA



DETALLE DE SOPORTES



POSICION	ZONA	DESCRIPCION	CANTIDAD	MATERIAL	PESO
6	H10	L 4" x 1/4" x 2006	1	A285 C	20.3
5	E11	W 4" x 1/4" x 2014	3	A285 C	91.8
4	E9	PL 1/4" x 153 x 202	6	A285 C	9.2
3	E8	PL 1/4" x 151 x 151	2	A285 C	2.3
2	C4	PL 1/4" x 4' x 8'	2	304	
1	C1	PL 1/2" x 4' x 8'	14	304	860.4

DESARROLLO DEL CUERPO

NOTAS GENERALES

1. Todas las dimensiones estan en pulgadas, excepto en donde se indique lo contrario

PLANOS REFERENCIALES
100-02-CASLP-2144-01

ESPACIO PARA SELLO
PETROPRODUCCION

DIBUJO EMITIDO

PRELIMINAR
 PARA REVISION
 PARA DISEÑO
 PARA CONSTRUCCION
 PARA APROBACION
 PARA INFORMACION
 REVISADO

REV	FECHA	DESCRIPCION	DIB	REVISOR	APROBADO
A	22/07/06	PARA APROBACION	F.P.	J.L.	A.P.
0					
1					
2					

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
 CARRERA DE INGENIERIA MECANICA
 PROYECTO: CALENTADORES DE AGUA
 LIBRACION: SACHA CENTRAL
 ESCALA: 1/2" = 1'-0"

ANEXO N° 20
PLANO DEL TUBO DE FUEGO

