

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA



**EVALUACIÓN DEL SISTEMA GAS COMBUSTIBLE PARA EL
SUMINISTRO DE GAS A LAS TURBO-BOMBAS DE PLANTA RESOR
DEL COMPLEJO JUSEPÍN-PDVSA, EN EL ESTADO MONAGAS**

Realizado por:

DAYANA CAROLINA RAMÍREZ CONTRERAS

TRABAJO DE GRADO PRESENTADO ANTE LA UNIVERSIDAD DE
ORIENTE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO QUÍMICO

Barcelona, marzo de 2010

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA



**EVALUACIÓN DEL SISTEMA GAS COMBUSTIBLE PARA EL
SUMINISTRO DE GAS A LAS TURBO-BOMBAS DE PLANTA RESOR
DEL COMPLEJO JUSEPÍN-PDVSA, EN EL ESTADO MONAGAS**

Asesores:

Ing. Quím. Hernán R. Raven C.(M.Sc.)
Asesor Académico

Ing. Indus. Luís Jiménez
Asesor Industrial

Barcelona, marzo de 2010

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA



**EVALUACIÓN DEL SISTEMA GAS COMBUSTIBLE PARA EL
SUMINISTRO DE GAS A LAS TURBO-BOMBAS DE PLANTA RESOR
DEL COMPLEJO JUSEPÍN-PDVSA, EN EL ESTADO MONAGAS**

JURADO CALIFICADOR:

Ing. Quím. Hernán R. Raven C (M.Sc.)

Asesor Académico

Ing. Quím. Arturo Rodulfo (M.Sc.)

Jurado Principal

Ing. Quím. Raúl Miranda

Jurado Principal

Barcelona, marzo de 2010

RESOLUCIÓN

De acuerdo con Artículo 41 del reglamento del Trabajo de Grado:

“Los Trabajos de Grado son de la exclusiva propiedad de la Universidad y sólo podrán ser utilizados a otros fines con el consentimiento del Consejo del Núcleo respectivo, quien lo participará al Consejo Universitario”

DEDICATORIA

A Dios por haber depositado en mí mucha salud y perseverancia para seguir adelante y poder lograr esta meta tan apreciada para mí.

A mi hermosa madre Teresa que sin duda alguna estuvo conmigo a cada instante dándome mucho amor para poder levantarme y seguir adelante; cuando en momentos tan difíciles pensaba que no lo lograría. Sin duda alguna fue la fuerza de amor más grande que pude haber tenido para lograr esto.

A mi gran padre Humberto por estar día y noche siempre a mi disposición para lo que yo necesitara, sin importarle lo que tenía que hacer para estar ahí conmigo siempre apoyándome.

A mi hermano Humberto que siempre me dio su protección y sobre todo un gran apoyo en muchos aspectos.

A mi hermana Carolina por ser mi figura a seguir, por ser mi orgullo desde que éramos niñas.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por ser mi fuente de luz y fuerza para lograr esto.

A mis padres y mis hermanos que siempre estuvieron conmigo de todas las formas. Sin ellos no habría ni comenzado esta meta.

A mis todos mis tíos por su apoyo incondicional cuando más lo necesite. Gracias por estar siempre a mi lado.

A María Gabriela Luces que más que mi amiga es mi hermana. Fuiste y eres parte de todos mis logros, ayudándome en todos los quehaceres del colegio desde que éramos niñas. Gracias María.

A la Prof. Jaquelin Balza por haberme ayudado y apoyado en el comienzo de mi carrera. Fue una bendición para mí y mi familia.

A mis grandes amigas Gisela, Adriana y Mayra las cuales me dieron grandes momentos de felicidad a lo largo de la carrera y que sin duda fueron también excelentes compañeras de estudios.

A mis queridos amigos Juan y Anderson que siempre me apoyaron para seguir adelante y alcanzar esta meta tan apreciada para mí. Gracias por estar siempre conmigo y por hacer que esta etapa de mi vida fuese alegre y divertida.

A mis amigos Gladys, Renier y Livinel que con su presencia conformamos un gran grupo de estudio el cual contaba de gran hermandad y perseverancia para lograr

cada unos de nuestras metas. Sin duda alguna los llevaré ahora y siempre en mi corazón.

A Melly por ser una gran amiga que siempre estuvo a mi lado en el transcurso de la carrera y sobre todo al final cuando pasé por momentos tan difíciles; gracias por haber sido mi ángel en esos momentos.

A la Sra. Carmen Aguilera y toda la familia Larez por haberme abierto las puertas de su casa para poder culminar la última etapa de mi carrera. Siempre estaré agradecida.

A todos mis amigos de carrera Andrés Arena, Daniel Zacarías, Victoria Greco, Carlos Marín, María José Rivas, Misnel Drobañota, Pedro Alcalá, Carlos Sánchez y Aibsel Mendoza por haberme llenado de alegría y bellos momentos esta faceta de mi vida.

Al Prof. Hernán Raven por haber sido más que mi tutor fue mi amigo. Gracias profesor por haber sido mi guía.

A Yeselín Carrillo, Héctor Matheus y Oliver Mota por haber sido tan lindos amigos en PDVSA y por haber estado sin duda alguna en todo momento difícil. Me brindaron mucha compañía y felicidad en la última etapa de mi carrera. Siempre recordaré todos nuestros momentos de amistad.

A Hailen Balbuena, Valentina Godoy, José Ángel Barrios, Sr. Luís Díaz, Javier Montilla, Sr. Héctor Guzmán, Leomar Salaz, Juan Mendoza y todo el personal existente en planta RESOR de instrumentación, mantenimiento mecánico, electricidad, tratamiento químico, operaciones y AITE por haber aportado su granito de arena para llevar a cabo mi trabajo de grado. Muchas gracias.

RESUMEN

El desarrollo del presente trabajo se basó en llevar a cabo la evaluación del sistema gas combustible de la planta RESOR; planta ubicada en el complejo Jusepín del estado Monagas, con la finalidad de poder indagar sobre los altos índices de paradas de los calentadores E-1520/E-1521, aspecto que perjudica el funcionamiento óptimo del sistema gas combustible, así como el proceso de planta RESOR. Todo esto realizando balances de masa y energía a las condiciones de diseño y operación, por medio del simulador de proceso Hysys, el cual arrojó valores de flujo másico, presión, temperatura y propiedades importantes del fluido de cada corriente de entrada y salida de cada uno de los equipos que componen el sistema gas combustible, dando como resultado que el sistema actualmente está trabajando por debajo de las condiciones de diseño. Además se estimó el poder calorífico del gas que sale de los calentadores, obteniéndose que el poder calorífico bruto es de 1.086,86 Btu/pcs y el poder calorífico neto de 982,49 Btu/pcs, esta pequeña diferencia entre el bruto y el neto indica que el combustible es eficiente para llevar a cabo la combustión por ser seco. Por otro lado se analizaron las causas por las cuales los calentadores presentan paradas, llegando a la conclusión de que se deben activar los lazos de control de las válvulas de los calentadores ya que se encuentran todas actualmente en posición manual y por último se propusieron opciones para el acondicionamiento del gas natural cuando algunos de los calentadores presente parada, siendo la más adecuada, la de buscar otra alternativa de suministro de gas combustible desde otra planta, que sea de igual forma propiedad de Petróleos de Venezuela, S.A.

CONTENIDO

RESOLUCIÓN	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTOS	vi
RESUMEN	viii
CONTENIDO	ix
LISTA DE ABREVIATURAS	xiii
LISTA DE TABLAS	xiv
LISTA DE FIGURAS	xv
CAPÍTULO I	17
INTRODUCCIÓN	17
1.1 Planteamiento del problema	17
1.2 Objetivos	19
1.2.1 Objetivo General	19
1.2.2 Objetivos Específicos	19
CAPÍTULO II	21
MARCO TEÓRICO	21
2.1 Antecedentes	21
2.2 Sistema gas combustible de planta RESOR	22
2.3 Filtro tipo separador	24
2.4 Calentador	25
2.4.1 Partes principales del calentador	25
2.4.1.1 Cabezal	26
2.4.1.2 Caja	26
2.4.1.3 Cámara de combustión	26
2.4.1.4 Cubierta	26

2.4.1.5 Chimenea	26
2.4.1.6 Mirillas de observación	27
2.4.1.7 Paso.....	27
2.4.1.8 Quemador	27
2.4.1.9 Serpentín.....	27
2.5 Gas natural.....	27
2.5.1 Proceso de acondicionamiento del gas natural	28
2.6 Turbina.....	29
2.6.1 Turbinas a gas.....	29
2.7 Combustión.....	30
2.7.1 Combustión de un combustible gaseoso.....	31
2.7.2 Características de la combustión de gases.....	32
2.8 Poder calorífico.....	32
2.8.1 Tipos de poder calorífico.....	33
2.9 Cromatografía de gases	33
2.10 Simulador de procesos.....	34
2.11 Balance de materia.....	35
2.11.1 Ecuación general de balance de masa.....	35
2.12 Balance de energía.....	36
2.12.1 Ecuación general del balance de energía.....	36
2.13 Primera ley de la termodinámica	37
2.14 Entalpía.....	38
2.15 Desviación estándar.....	39
CAPÍTULO III	41
DESARROLLO DEL PROYECTO	41
3.1 Realización de balances de masa y energía con las condiciones de diseño y posteriormente a las condiciones operacionales	41
3.1.1 Condiciones de diseño	45
3.1.1.1 Balance de masa a las condiciones de diseño	47

3.1.1.2	Balances de energía a las condiciones de diseño.....	48
3.1.2	Condiciones de operación.....	54
3.1.2.1	Balances de masa a las condiciones de operación.....	57
3.1.2.2	Balace de energía a las condiciones de operación.....	58
3.1.3	Estimación de la desviación estándar entre los resultados ofrecidos por los balances de masa y energía a las condiciones de diseño y a las de operación.....	62
3.2	Estimación del poder calorífico del gas combustible que se dirige a los quemadores de las turbinas	63
3.2.1	Poder calorífico bruto	66
3.2.2	Poder calorífico neto.....	67
3.3	Análisis de las causas por las cuales los calentadores están presentado paradas	69
3.3.1	Alta temperatura del agua.....	69
3.3.2	Bajo nivel del agua	70
3.3.3	Alta temperatura de chimenea	70
3.3.4	Pérdida de flama	71
3.3.5	Baja flama.....	71
3.4	Propuesta de opciones para el acondicionamiento del gas natural cuando algunos de los calentadores presentan una parada	72
	CAPÍTULO IV	73
	DISCUSIÓN DE RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMNEDACIONES.....	73
4.1	Realización de balances de masa y energía con las condiciones de diseño y posteriormente a las condiciones operacionales	73
4.2	Estimación del poder calorífico del gas combustible que se dirige a los quemadores de las turbinas	76
4.3	Análisis de las causas por las cuales los calentadores están presentado paradas	77

4.4 Propuesta de opciones para el acondicionamiento del gas natural cuando algunos de los calentadores presentan una parada	79
4.5 Conclusiones.....	80
4.6 Recomendaciones	81
BIBLIOGRAFÍA CITADA.....	83
ANEXOS.....	¡Error! Marcador no definido.
METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO	86

LISTA DE ABREVIATURAS

ABREVIATURA	SIGNIFICADO
MBAD:	Miles de barriles al día
MMPCD:	Millones de pie cúbicos al día
MMSCFD:	Millones estándar de pie cúbicos al día
PDVSA:	Petróleos de Venezuela, S.A
RESOR:	Recuperación Secundaria de Oriente
LABOCORR:	Laboratorio de corrosión
PCB:	Poder calorífico bruto
PCN:	Poder calorífico neto

LISTA DE TABLAS

	Página
Tabla 3.1. Parámetros que se introdujo en cada equipo proceso.	45
Tabla 3.2. Datos tomados del A.1 para llevar a cabo simulación a las condiciones de diseño.	46
Tabla 3.3. Composición del gas natural de ACOGAS.	46
Tabla 3.4. Flujo másico de cada corriente de proceso arrojado por el simulador a las condiciones de diseño.	47
Tabla 3.5. Datos introducidos en el simulador Hysys para llevar a cabo la simulación a las condiciones de operación.	55
Tabla 3.6. Iteraciones para determinar el flujo volumétrico de la corriente F18.	56
Tabla 3.7. Composición del gas natural de la corriente F18.	59
Tabla 3.8. Flujo másico de cada corriente de proceso arrojado por el simulador a las condiciones de operación.	59
Tabla 3.9. Cromatografía en base seca del gas de proceso a la salida de los calentadores.	63
Tabla 3.10. Poder calorífico bruto.	66
Tabla 3.11. Poder calorífico neto.	67
Tabla 4.1. Resultados de los balances de masa y energía a las condiciones de diseño y a las condiciones de operación con su respectiva desviación.	73
Tabla 4.2 Poder calorífico bruto y neto del gas combustible que se dirige a las cámaras de combustión de las turbinas de planta RESOR.	74
Tabla 4.3. Causa principal de las fallas presentadas en los calentadores E-1520/E-1521.	75

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 2.1. Diagrama del arreglo del depurador y los filtros del sistema gas combustible.	23
Figura 2.2. Diagrama del sistema de calentamiento del gas combustible.	23
Figura 2.3. Calentadores del sistema gas combustible.	24
Figura 2.4. Composición del gas natural.	27
Figura 2.5. Turbinas de gas simple.	28
Figura 3.1. Diagrama de bloque del sistema gas combustible.	38
Figura 3.2. Arreglo de equipos y corrientes de proceso en el simulador Hysys.	40
Figura 3.3. Propiedades de la corriente de gas que sale del calentador E-1520/E-1521 a las condiciones de diseño, donde se visualiza el C_p	50
Figura 3.4. Condiciones de la corriente de entrada a los calentadores E-1520/E-1521, donde se visualiza T_1 .	56
Figura 3.5. Condiciones de la corriente de entrada a los calentadores E-1520/E-1521, donde se visualiza T_2 .	56
Figura 3.6. Propiedades de la corriente de gas que sale del calentador E-1520/E-1521 a las condiciones de operación, donde se visualiza en C_p .	57
Figura A.1. Diagrama de flujo de proceso del sistema gas combustible no actualizado.	70

Figura A.2. Diagrama de flujo de proceso actualizado.	75
Figura A.3. Calores de combustión estándar a 60 °F y 14,7 psia.	78

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Planteamiento del problema

Petróleos de Venezuela, S.A (PDVSA) es la corporación estatal responsable del desarrollo de la industria de los hidrocarburos, así como también de planificar, coordinar, supervisar y controlar las actividades relacionadas con la exploración, la explotación, la refinación, el transporte y la comercialización de hidrocarburos y sus derivados tanto en Venezuela como en el extranjero. Todas estas actividades realizadas por PDVSA son llevadas a cabo gracias a la gestión de diversas gerencias. La Gerencia de Exploración y Producción cumple con la finalidad de incrementar la producción de crudo para cubrir la creciente demanda mundial.

Para incrementar la producción y explotación de crudo en el estado Monagas, específicamente los campos El Furrrial y Musipán, se diseñó en 1993 y se puso en funcionamiento Planta RESOR (Recuperación Secundaria Oriente) con el objetivo de mantener la presión del yacimiento, luego del levantamiento del crudo llevado a cabo de forma natural y reducir el riesgo de precipitación de asfáltenos, así como aumentar significativamente el recobro final de petróleo. Esta planta inyecta agua como mecanismo de recuperación secundaria mediante el mantenimiento de presión por sustitución de fluidos para detener la declinación de presión en los yacimientos productores de petróleo. Planta RESOR en el año de 1993 contaba con una capacidad de inyección de 400 mil barriles de aguas al día (MBAD). Al cabo tres años se amplió esta planta de inyección, por medio de la sustitución de cartuchos en la bomba de inyección de cada turbina, los nuevos cartuchos poseen un aumento del diámetro de los impulsores.

Para el año 2009, RESOR mantiene una capacidad de inyección de 560 mil barriles de agua al día (MBAD). El agua que se inyecta proviene de los pozos productores perforados en el yacimiento Las Piedras en el área adyacente al complejo Jusepín. El proceso de planta RESOR consiste en recibir agua, procesar el agua (desgasificación, tratamiento y estabilización) y finalmente la última e importante etapa la de inyección de agua, la cual implica cuatro turbo-bombas en donde el sistema de ignición en las turbinas es a gas natural. Este gas es suministrado y acondicionado por el sistema gas combustible, para controlar su punto de rocío y evitar la entrada de líquidos a los quemadores de las turbinas. Destacando que el gas acondicionado por el sistema combustible proviene de diferentes fuentes, en los que se encuentran Extracción Jusepín, Orocuál y Estación Principal de Jusepín.

El sistema gas combustible presenta diversos equipos: sistema de válvulas de regulación, filtros, depurador, calentadores y bombas para condensados, que son de suma importancia para acondicionar el gas. Para el año de 1993, este sistema de gas combustible contaba con un solo calentador y luego de la ampliación de RESOR en 1996, se le incorporó otro calentador, ya que se había aumentado la capacidad de inyección de cada turbo-bomba (de 100 mil barriles de aguas al día a 140 mil barriles de aguas al día) y por lo tanto necesitarían más gas combustible. Actualmente los calentadores de este sistema están presentando altos índices de paradas por problemas como alta temperatura de agua, bajo nivel de agua, alta temperatura de chimenea, pérdida de flama, baja flama; lo cual perjudica el proceso de inyección porque al salir de servicio algunos de estos dos calentadores quedaría uno sólo en servicio y éste no sería suficiente para acondicionar todo el gas combustibles que estas cuatro turbinas necesitarían, ya que el suministro para cada turbina es aproximadamente 2,89 millones de pies cúbicos (MMPCN), siendo de un total de 11,56 MMPCD para las cuatro turbo-bombas. Al salir de servicio uno de los calentadores, las turbo-bombas dejan de percibir 5,8 MMPCD, causando una disminución en la capacidad de inyección de cada turbo-bomba de 140 MBAD A 100 MBAD aproximadamente. Por

esta razón se pretende llevar a cabo una evaluación completa del sistema gas combustible con respecto al funcionamiento de operación actual y compararlo con el de diseño con la ayuda del simulador de proceso HYSYS, que proporcionará información útil para así analizar causas que provoquen las fallas de los calentadores así como optimizar la secuencia operacional del sistema gas combustible.

La importancia de evaluar este sistema de gas combustible, reside en que las fallas operacionales que este sistema presenta afecta el acondicionamiento del gas combustible que utiliza las turbinas, causando menos capacidad de inyección a los pozos productores de petróleo y por ende se ve afectada la recuperación secundaria de los yacimientos petrolíferos costándole a PDVSA y a Venezuela grandes cantidades de dinero.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Evaluar el sistema gas combustible para el suministro de gas a las Turbo-Bombas de planta RESOR del Complejo Jusepín-PDVSA, en el estado Monagas.

1.2.2 Objetivos Específicos

1. Realizar balances de masa y energía con las condiciones de diseño y posteriormente a las condiciones operacionales.

2. Estimar el poder calorífico del gas combustible que se dirige a los quemadores de las turbinas, conociendo la proporción y calores de combustión de los componentes individuales que conforman el gas natural.

3. Analizar las causas por las cuales los calentadores están presentando paradas.

4. Proponer opciones para el acondicionamiento del gas natural cuando algunos de los calentadores presente una parada.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

Luego de haber realizado una revisión bibliográfica se puede citar o hacer referencia de ciertos antecedentes correspondientes a otras investigaciones desarrolladas, que servirán como referencias para el desarrollo de este proyecto:

- Subero y Atay evaluaron las condiciones óptimas de alimentación del gas combustible a la Central Eléctrica CE-01. También realizaron la evaluación del escenario futuro de operación y diseñaron un sistema para realizar el proceso de acondicionamiento de la corriente de gas de entrada, de manera de garantizar que dicha corriente llegara a cada equipo a las condiciones requeridas. [1]

- Domínguez realizó un diseño preliminar de una planta de acondicionamiento de gas combustible para la planta compresora Güico propiedad de Petróleos de Venezuela, S.A y operada por Hanover Venezuela, C.A. Después de diseñar los equipos se estimó el costo total de la planta, resultando aceptable según los parámetros establecidos de la empresa. [2]

- Molero revisó el consumo energético de las refinerías Puerto la Cruz y El Chaure-PDVSA, considerando la cantidad de energía utilizada por los hornos, calderas y turbogeneradores a gas. Revisó el funcionamiento de los medidores de gas de dichos equipos, además le determinó su eficiencia térmica. También identificó los equipos que podían mejorar su consumo de gas combustible, con la finalidad del mejoramiento energético de las plantas de proceso.[3]

Los trabajos anteriores se diferencian a éste en el hecho de que aquí se evaluará un sistema que acondiciona gas natural, el cual es suministrado como combustible a turbinas que trabajan a gas. Todo esto mediante la realización de balances de masa y energía con las condiciones de diseño y de operación, estimación del poder calorífico del gas natural, análisis de las causas por las cuales los calentadores de dicho sistema presentan paradas y planteamientos de opciones para el acondicionamiento del gas natural, cuando algunos de los calentadores presentan parada, con la ayuda del simulador de proceso Hysys 3.1, así optimizando la secuencia operacional del sistema gas combustible.

2.2 Sistema gas combustible de planta RESOR

El sistema gas combustible se diseñó para cubrir los requerimientos de las turbinas. Este sistema tiene como función controlar la presión de suministro y el punto de rocío del gas de alimentación a las turbinas.

El gas proveniente de las fuentes se recibe a temperatura ambiente y a una presión en el rango de 1.000 psig a 1.300 psig.

El gas se expande desde la presión de entrada hasta una presión aproximada de 500 psig para alimentar el depurador V-1510. En el depurador se retiran los condensados producidos por la disminución de presión y temperatura. Los condensados retirados en el depurador se envían a Jusepín a través de la línea de condensados de extracción Jusepín.

El gas depurado, se pasa a una etapa de filtración, que consta de dos filtros separadores (S-1515/S-1516) que operan en paralelo para alimentar los calentadores de gas del sistema, figura 2.1.

Al gas filtrado se le aumenta su temperatura de 70 °F a 194 °F, en dos calentadores (E-1520/E-1521) basado en el fenómeno de transferencia de calor que ocurrirá entre el filtrado y agua de proceso, siendo esta agua calentada por un quemador que utiliza como combustible gas natural. Estos calentadores operan en paralelo y tienen como función evitar la formación de líquidos durante la segunda expansión del gas hasta la presión de succión de las turbinas alrededor de 200 psig (figura 2.2), completándose el acondicionamiento del gas combustible.

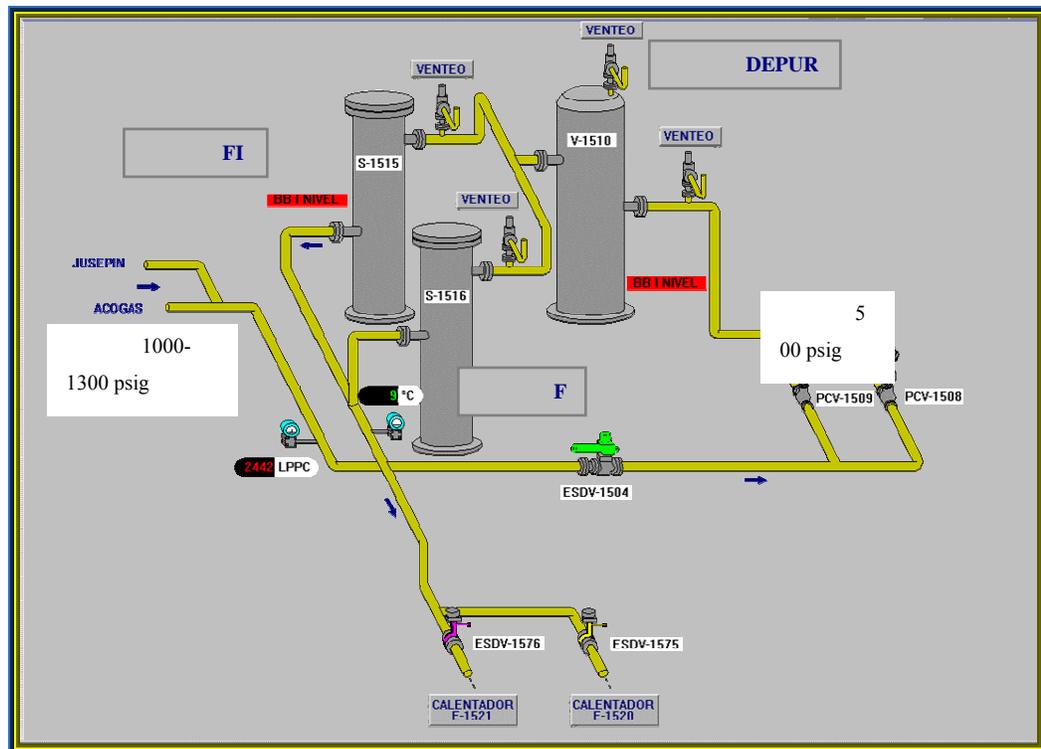


Figura 2.1. Diagrama del arreglo del depurador y los filtros del sistema gas combustible. (CENTINELA)

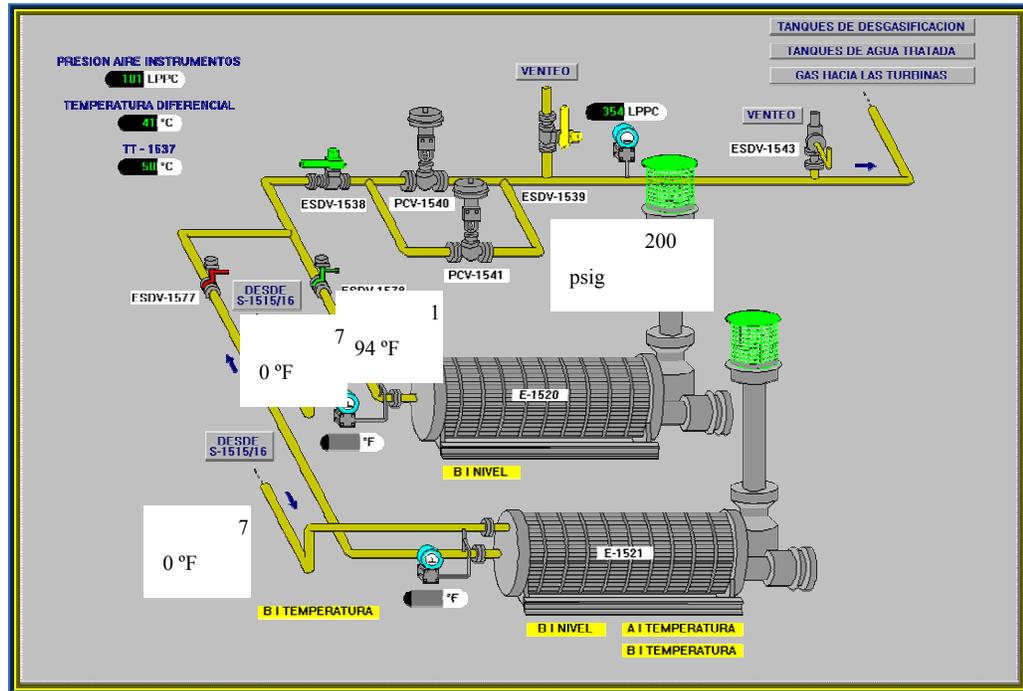


Figura 2.2. Diagrama del sistema de calentamiento del gas combustible. (CENTINELA)

2.3 Filtro tipo separador

Un filtro tipo separador es una unidad que, por lo general, tiene dos compartimentos, el primero de ellos contiene un filtro coalescente para la separación primaria del líquido que viene con el gas. A medida que el gas fluye a través de los elementos del filtro, las partículas pequeñas se van agrupando para formar gotas más grandes, las cuales son fácilmente empujadas por la presión del gas hacia el núcleo del filtro. De esta manera, el fluido pasa al segundo compartimento, en el cual se encuentra el extractor de niebla, que se encarga de remover el líquido remanente. La remoción puede ser aproximadamente el 100 % para las partículas mayores de 2 micrones y cerca de 98 % para las partículas entre 0,5 y 2 micrones. En ocasiones, este recipiente contiene un barril o una bota en la parte inferior para almacenar los líquidos. [4]

2.4 Calentador

Estos calentadores son intercambiadores de calor, llamados así porque en ellos es donde ocurre el fenómeno de transferencia de calor. Los intercambiadores de calor tipo indirecto, están constituidos por tubos y coraza en donde el gas que viene de los filtros entra por los tubos y el agua de proceso por la coraza. Esta agua es calentada por un quemador que a su vez utiliza como combustible gas natural. El agua de proceso ya calentada es la que le suministra energía (calor) al gas, para así llevar a cabo el acondicionamiento del gas en los calentadores, figura 2.3.



Figura 2.3. Calentadores del sistema gas combustibles.

2.4.1 Partes principales del calentador

Los calentadores tienen una gran diversidad de partes pero las principales que poseen son: cabezal, caja, cámara de combustión, cubierta, chimenea, mirillas de observación, paso, quemador y serpentín. [5]

2.4.1.1 Cabezal

Es la parte que conecta dos tubos en serpentín. Estrictamente hablando, es el cabezal removible tipo tapón donde se fijan los tubos bien sea enroscados o soldados. Comúnmente el cabezal se refiere a tubos doblados en forma de U.

2.4.1.2 Caja

Los quemadores y los tubos están encerrados en una caja, la cual consiste de una estructura de recubrimiento refractario y soporte de tubo.

2.4.1.3 Cámara de combustión

Es un término para describir la estructura que circunda los serpentines radiantes y dentro la cual se localizan los quemadores.

2.4.1.4 Cubierta

Es un revestimiento de acero el cual encierra la caja del horno y la hace hermética.

2.4.1.5 Chimenea

Es un ducto cilíndrico de acero, revestido el cual traslada el gas de escape a la atmosfera y provee el tiro necesario.

2.4.1.6 Mirillas de observación

Son puertas de observación ubicadas en diferentes puntos seleccionados del piso del horno y en las paredes del mismo, que permiten observar los tubos, soportes y quemadores del horno.

2.4.1.7 Paso

Es el serpentín que transporta el fluido de proceso desde la entrada hasta la salida del horno. El fluido total del proceso puede ser transportado a través del horno por uno o más serpentines.

2.4.1.8 Quemador

Es un dispositivo utilizado para mezclar al combustible y el aire para la combustión.

2.4.1.9 Serpentín

Es una serie de tubos rectos conectados por retorno de 180°, formando un paso a través del cual el fluido del proceso fluye y es calentado.

2.5 Gas natural

El gas natural extraído de los yacimientos, es un producto incoloro e inodoro, no tóxico y más ligero que el aire. Procede de la descomposición de los sedimentos de materia orgánica atrapada entre estratos rocosos y es una mezcla de hidrocarburos ligeros en la que el metano (CH_4) se encuentra en grandes proporciones,

acompañado de otros hidrocarburos y gases cuya concentración depende de la localización del yacimiento (figura 2.4). El gas natural es una fuente de energía eficaz, rentable y limpia, y por sus precios competitivos y su eficiencia como combustible, permite alcanzar considerables economías a sus utilizadores. [6]



Figura 2.4. Composición del gas natural. [7]

2.5.1 Proceso de acondicionamiento del gas natural

El gas natural, es sometido a varios procesos de acondicionamiento, para la eliminación de impurezas. Las impurezas más frecuentes que se encuentran en el gas natural son agua, dióxido de carbono, nitrógeno, compuestos de azufre y helio. El gas se debe deshidratar para evitar la formación de hidratos. El dióxido de carbono, algunos compuestos de azufre, el nitrógeno y el helio afectan la eficiencia del transporte por tuberías y la calidad de combustión de los hidrocarburos. El sulfuro de hidrógeno tiene propiedades tóxicas y corrosivas y es inaceptable en los productos comerciales. [8]

2.6 Turbina

Es un motor rotativo que convierte en energía mecánica la energía de una corriente de agua, vapor de agua o gas. El elemento básico de la turbina es la rueda o rotor, que cuenta con palas, hélices, cuchillas o cubos colocados alrededor de su circunferencia, de tal forma que el fluido en movimiento produce una fuerza tangencial que impulsa la rueda y la hace girar. Esta energía mecánica se pasa a través de un eje para otorgar el movimiento de una máquina, un compresor, un generador eléctrico o una hélice. [9]

2.6.1 Turbinas a gas

Una turbina de gas simple, está compuesta de tres secciones principales: un compresor, un quemador y una turbina de potencia. Las turbinas de gas operan en base en el principio del ciclo Brayton, en donde aire comprimido es mezclado con combustible y quemado bajo condiciones de presión constante (figura 2.5). El gas caliente producido por la combustión se le permite expandirse a través de la turbina y hacerla girar para llevar a cabo por completo su trabajo.

Una variación del sistema de turbina simple (Brayton) es el de añadir un regenerador, el cual es un intercambiador de calor que aprovecha la energía de los gases calientes de escape para precalentar el aire que entra a la cámara de combustión. Este ciclo normalmente es utilizado en turbinas que trabajan con bajas presiones.

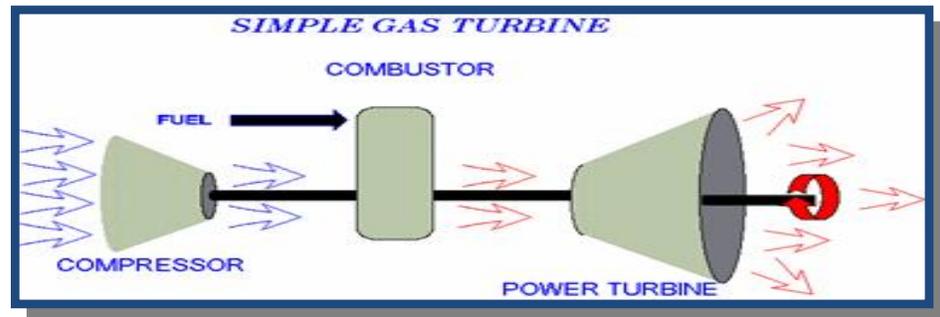


Figura 2.5. Turbinas de gas simple. [10]

Las turbinas de gas con altas presiones de trabajo pueden utilizar un interenfriador para enfriar el aire entre las etapas de compresión, permitiendo quemar más combustible y generar más potencia. El factor limitante para la cantidad de combustible utilizado es la temperatura de los gases calientes creados por la combustión, ya que existen restricciones a las temperaturas que pueden soportar los alabes de la turbina y otras partes de la misma.

Existen también turbinas de gas con varias etapas de combustión y expansión y otras con interenfriador y regenerador en el mismo ciclo. [10]

2.7 Combustión

El término combustión puede definirse como la oxidación rápida de un material combustible que genera una cantidad significativa de energía. Es un proceso donde se combina el oxidante y un combustible mediante una reacción que produce calor. Existen diversos combustibles y tipos de oxidantes; sin embargo, en los sistemas industriales el oxidante más común es el oxígeno del aire. [9]

Los tipos más frecuentes de combustible, son los materiales orgánicos que contienen carbono e hidrógeno. El producto de esas reacciones puede incluir monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), agua (H₂O) y cenizas.

Para iniciar la combustión de cualquier combustible, es necesario alcanzar una temperatura mínima, llamada temperatura de ignición o de inflamación. [11]

2.7.1 Combustión de un combustible gaseoso

En la combustión de un combustible gaseoso es sencillo deducir que la mezcla con el comburente se realiza de una manera fácil. El modo en que básicamente se realiza la combustión es igual que para un combustible sólido o líquido. Se sigue utilizando, en general, el aire como comburente, aunque a veces se usa el oxígeno. Es necesario en este caso el uso de quemadores, que es donde se va a producir la mezcla combustible comburente. La combustión es rápida, pero no instantánea. Es necesario un tiempo de mezcla para facilitar la reacción.

La combustión es, como se sabe, una reacción de oxidación. La llama es la fuente de esta reacción. En todo proceso de combustión hay tres condiciones que se deben cumplir:

1) Para que pueda iniciarse y propagarse la combustión, hace falta que simultáneamente el combustible y el comburente estén mezclados en cierta proporción y que la temperatura de la mezcla sea localmente superior a la temperatura de inflamación.

2) Para que la combustión se mantenga debe ocurrir que:

- Los productos originados en la combustión se evacúen a medida que se producen.

- La alimentación del comburente y del combustible sea tal que se cumplan las condiciones expuestas hasta ahora (1)

3) Para que la combustión se realice en buenas condiciones se debe cumplir que:

- El aire empleado en la combustión sea el correspondiente a una combustión completa sin exceso de aire.
- Debe haber una determinada turbulencia y un tiempo determinado. [12]

2.7.2 Características de la combustión de gases

- Temperatura de ignición. La temperatura de ignición es la mínima temperatura a la que puede iniciarse y propagarse la combustión en un punto de una mezcla aire- gas. El autoencendido de una mezcla aire-gas se produce sobre las temperaturas de 650-700°C.
- Límites de inflamabilidad. Se entienden éstos como los porcentajes de aire y gas que presentan una mezcla de ambos para que pueda iniciarse y propagarse la combustión de dicha mezcla, de manera correcta. Normalmente se expresa en porcentaje de gas combustible en la mezcla. Tanto el exceso del combustible como de comburentes son perjudiciales para la combustión, fuera de los límites de inflamabilidad.
- Velocidad de deflagración. Es la velocidad de propagación de una llama estable.[12]

2.8 Poder calorífico

El poder calorífico de un combustible es la cantidad de energía que genera, cuando una unidad de masa se quema completamente y los productos de combustión se enfrían, a 25 °C; éste corresponde al poder calorífico bruto. En realidad los gases

de combustión no se enfrían a esa temperatura y el vapor de agua producto de la reacción no llega a condensarse. En este caso se denomina poder calorífico neto. Esta es una de las propiedades a tomar en cuenta para la utilización eficiente del combustible. La densidad relativa es otra propiedad importante para determinar el volumen de una determinada masa de combustible para efectos de manejo, transporte y almacenamiento. [3]

2.8.1 Tipos de poder calorífico

Se recuerda que existen dos clases de poder calorífico:

- Poder calorífico superior o bruto, que es el que se libera al realizar la combustión de una unidad de volumen de gas.
- Poder calorífico inferior o neto, que es igual que el anterior, pero sin tener en cuenta el calor de condensación del agua producida en la combustión.

Las unidades del poder calorífico son kcal/m³; Btu/pe³; cal/l

La unidad de volumen puede ser:

Nm³: En condiciones normales: Volumen medido a P_N: 1 atm T_N: 0°C.

Sm³: En condiciones estándar: Volumen medido a P_S: 1 atm T_S: 15,6°C. [11]

2.9 Cromatografía de gases

La cromatografía de gases es una técnica en la que la muestra se volatiliza y se inyecta en la cabeza de una columna cromatográfica. La elución se produce por el flujo de una fase móvil de gas inerte. A diferencia de los otros tipos de cromatografía, la fase móvil no interacciona con las moléculas del analito; su función es la de transportar el analito a través de la columna. [13]

2.10 Simulador de procesos

Los simuladores de procesos son herramientas de cálculo para la realización de diversas aplicaciones en el campo de la ingeniería. Estos permiten realizar una evaluación confiable de diversos procesos, proporcionando información útil para el diseño conceptual. También es posible utilizar ésta valiosa herramienta para analizar y optimizar la secuencia operacional de los elementos que componen un proceso (diagramas de flujo), localizar restricciones (cuellos de botella) y predecir el comportamiento de plantas existentes sometidas a diversas condiciones de operación, proporcionando suficiente información para la planificación de una mejor operación.

En una simulación se requiere de toda información necesaria sobre el proceso, corrientes y equipos de la planta que se desee simular. Algunas veces se hace necesario planificar un muestreo de las corrientes más influyentes del proceso y elaborar un registro diario de los datos operacionales.

Aquí se debe tener especial atención en tratar de caracterizar correctamente las fracciones pesadas que estén presentes en las composiciones de alimentación y se debe preparar u obtener un diagrama de flujo del proceso a simular, el cual debe contener todos los equipos y corrientes que lo integren. En el caso de una evaluación, se debe cotejar este diagrama de flujo con la configuración actual de la planta, ya que de esto depende en gran parte que los resultados obtenidos por el simulador se ajusten lo mejor posible a lo que está sucediendo realmente en la planta. [14]

2.11 Balance de materia

El balance de materia se basa en el principio de conservación de la masa y no es más que la cuantificación de un material específico en un proceso previamente delimitado. Para realizar un balance de masa es necesario estar muy bien familiarizado con los siguientes términos:

- **Proceso:** es toda aquella acción, operación o tratamiento que causan cambios físicos y/o químicos en los materiales con el objetivo de obtener un producto.
- **Sistema:** es una parte o la totalidad de un proceso establecida para un análisis específico.
- **Límite del sistema:** son líneas que circunscriben alrededor del proceso a fin de delinear el sistema objeto de análisis.
- **Sistema abierto:** es aquel en que se transfiere material por la frontera del sistema, es decir, entra al sistema, sale del sistema o ambas cosas.
- **Sistema cerrado:** es aquel en el que no hay transferencia de materia durante el intervalo de tiempo de interés.
- **Estado estacionario:** es aquel en el cual los valores de las variables dentro del sistema no cambian con el tiempo.

2.11.1 Ecuación general de balance de masa

$$\text{Acumulación} = \text{Entrada} - \text{Salida} + \text{Generación} - \text{Consumo} \quad (\text{Ec. 2.1})$$

El término acumulación de la ecuación 2.1 se refiere a un cambio de masa o de moles dentro del sistema con respecto al tiempo. Los términos entrada y salida se refieren a la transferencia de masa a través de las fronteras del sistema. Los términos generación y consumo se aplican en los casos en los cuales el proceso involucre

reacciones químicas, en estos casos la generación representa el producto de la reacción y el término consumo representa la parte del reactivo que reaccionó para dar lugar a la formación del producto. [14]

2.12 Balance de energía

El balance de energía se basa en la ley de la conservación de la energía o también conocida como la primera ley de la termodinámica, que afirma que la energía no puede crearse ni destruirse, sólo se puede cambiar de una forma a otra, es por eso que los balance de energía se utilizan para justificar la energía que entra y sale de cada unidad de proceso, así como para determinar requerimientos energéticos totales. [14]

2.12.1 Ecuación general del balance de energía

La ecuación general del balance de energía se expresa de la siguiente forma:

$$\text{Entrada} + \text{Generación} + \text{Salida} - \text{Consumo} = \text{Acumulación} \quad (\text{Ec. 2.2})$$

Los términos anteriores se refieren a lo siguiente:

Entrada: energía que entra a través de las fronteras del sistema por unidad de tiempo.

Generación: energía generada o producida dentro del sistema por unidad de tiempo.

Salida: energía que sale a través de las fronteras del sistema por unidad de tiempo.

Consumo: energía consumida dentro del sistema por unidad de tiempo.

Acumulación: energía que se acumula dentro del sistema por unidad de tiempo.

2.13 Primera ley de la termodinámica

Esta ley también recibe el nombre de conservación de la energía. El balance de energía se enuncia como sigue:

“Un cambio de la energía total (cinética, potencial e interna) es igual al trabajo realizado en la masa de control más el calor transferido de dicha masa”. [15]

Lo enunciado por la primera ley de la termodinámica se expresa de la siguiente manera:

$$\Delta E = Q - W \quad (\text{Ec. 2.3})$$

El símbolo Δ significa cambio ΔE es la diferencia entre la energía al final del proceso y la energía al comienzo del mismo.

$$\Delta E = E_{\text{final}} - E_{\text{inicial}}$$

Para entender por completo la primera ley de la termodinámica se hace fundamental entender los términos de energía cinética, potencial, interna así como trabajo y calor, se explican a continuación:

- Energía cinética (E_K): aquella debida al movimiento traslacional del sistema como un todo en relación con determinado marco de referencia (por lo general la superficie terrestre) o a la rotación del sistema en torno a un eje.

- Energía potencial (E_p): la que se debe a la posición del sistema en un campo de potencial (gravitacional o electromagnético).

- Energía interna (U): toda la que posee un sistema además de sus energías cinética y potencial; por ejemplo, la debida al movimiento de las moléculas en relación al centro de la masa del sistema, al movimiento rotacional y vibracional, y a las interacciones electromagnéticas de las moléculas, y al movimiento e interacciones de los constituyentes atómicos y subatómicos de estas últimas. [14]

- Trabajo (W): cualquier cantidad de energía que fluye a través de las paredes del sistema durante un cambio de estado y que puede ser usada completamente para elevar un cuerpo en el medio exterior.

- Calor (Q): es la cantidad de energía que fluye a través de las paredes de un sistema, durante un cambio de estado, en virtud de una diferencia de temperatura entre el sistema y el medio exterior. [15]

Haciendo uso de los términos ya explicado anteriormente la ecuación 2.3 queda expresada de la siguiente manera:

$$\Delta U + \Delta E_K + \Delta E_p = Q - W \quad (\text{Ec. 2.4})$$

2.14 Entalpía

La entalpía de un sistema termodinámico es la suma de su energía interna más el producto de la presión por el volumen. Se representa por H .

$$H=U+PV$$

Al igual que ocurre con energía interna, y por idénticas razones, no es posible medir la entalpía de un sistema en un momento determinado, lo que por otra parte carece de importancia, pues lo que realmente interesa en la transformación termodinámica no es la entalpía inicial y final del sistema, sino la variación de dicha magnitud a lo largo del proceso. [16]

Cuando se toma por unidad de masa de la sustancia se llama entalpía específica y se define como:

$$\hat{H} = \hat{U} + P\hat{V}$$

2.15 Desviación estándar

Esta medida permite determinar el promedio aritmético de fluctuación de los datos respecto a su punto central o media. La desviación estándar da como resultado un valor numérico que representa el promedio de diferencia que hay entre los datos y la media. Para calcular la desviación estándar basta con hallar la raíz cuadrada de la varianza, por lo tanto su ecuación sería:

$$\alpha = \sqrt{V} \quad (\text{Ec. 2.5})$$

La varianza se determina mediante la ecuación 2.6, cuya ecuación se muestra a continuación:

$$V = \frac{X_1^2 + X_2^2 + \dots + X_n^2}{n} - \bar{X}^2 \quad (\text{Ec. 2.6})$$

Donde V representa la varianza, \bar{X} representa la media aritmética y n es el número de observaciones ó tamaño de la muestra. [17]

CAPÍTULO III

DESARROLLO DEL PROYECTO

3.1 Realización de balances de masa y energía con las condiciones de diseño y posteriormente a las condiciones operacionales

Los balances de masa y energía se realizaron en función del gas natural es decir un balance de masa total y no por cada componente del gas natural (metano, etano, propano, etc).

Antes de la realización de los balances de masa y energía con las condiciones de diseño y operación, se hace la visualización del diagrama de bloque del sistema gas combustible en la figura 3.1, para fijar los equipos en donde se realizaron dichos balances.

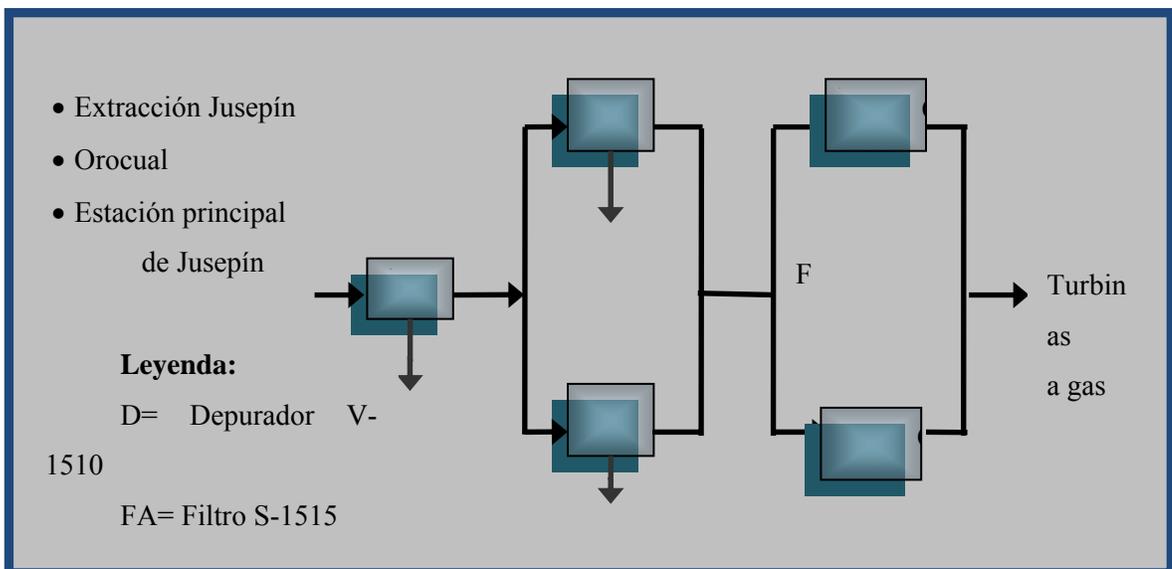


Figura 3.1. Diagrama de bloque del sistema gas combustible

Se tiene que destacar que para las condiciones de diseño sólo estaba como alimentación el gas que venía de ACOGAS (actualmente llamado Extracción Jusepín), pero para las condiciones actuales, es decir para las de operación si se encuentran los tres diferentes gases de alimentación que se visualizan en la figura 3.1. Todo esto incidiendo en el proceso, en el aspecto de que a las condiciones actuales se manejaría más flujo de gas natural que a las condiciones de diseño, todo esto relacionado con el hecho de que a las condiciones actuales se necesitaría más gas natural para acondicionar; y por esta razón la existencia de estas dos fuentes anexas (Orocual y estación principal de Jusepín) a la que ya existía (ACOGAS) a las condiciones de diseño.

Para poder desarrollar esta sección se utilizó el simulador de procesos Hysys 3.1, con la finalidad de poder obtener en cada una de las corrientes que conforman el sistema de gas combustible, los flujos másicos, ya que no se contaba con los datos suficientes para poder realizar los balances de masa por medio de ecuación general de balance de masa. Además de los flujos másicos, el simulador de proceso indicó temperatura y presión de cada corriente de proceso, así como propiedades importantes del fluido, como el calor específico (C_p).

El montaje de la simulación de proceso conllevó un conjunto de pasos, como se mencionan a continuación:

- Creación de un set de unidades. El primer caso en la construcción de un nuevo caso de simulación es elegir el conjunto de unidades con el que se prefiere trabajar. Se escogió trabajar el flujo másico en lb/h, el flujo volumétrico en MMPCD, la presión en psia y la temperatura en °F.

- Introducción de la composición molar del gas natural. A las condiciones de diseño la composición molar se pudo extraer del manual de operaciones de planta RESOR y a las condiciones de operación la composición molar del natural fue otorgado por LABOCORR, por medio de un estudio cromatográfico.
- Creación de un paquete de fluido. Este contiene los componentes y el método elegido para la predicción de las propiedades físicas-químicas. El método elegido fue el de Peng Robinson, ya que las ecuaciones de estados es una de las que predice correctamente el comportamiento del sistema en estudio.
- Instalar corrientes y equipos. Este paso constó de instalar todas las corrientes desde F1 hasta F22 (ver figura 3.2), así como los equipos implicados en el proceso, entre los cuales están el depurador V-1510, los filtros S-1515/S-1516, calentadores E-1520/E-1521, así como divisores (tee) y mezcladores (mixer) de corrientes de procesos. En la simulación se instaló tanto el depurador V-1510 como los filtros S-1515/S-1516 como un separador (separator), ya que tanto el depurador como los filtros tienen como objetivo principal separar del gas natural el líquido que él contenga; para el caso del calentador E-1520/E-1521 se instaló como un calentador (heater) y no como un intercambiador de calor (heat exchanger), ya que no se contaba con información suficiente. A continuación se visualiza el arreglo de los equipos y las corrientes de procesos en la simulación:

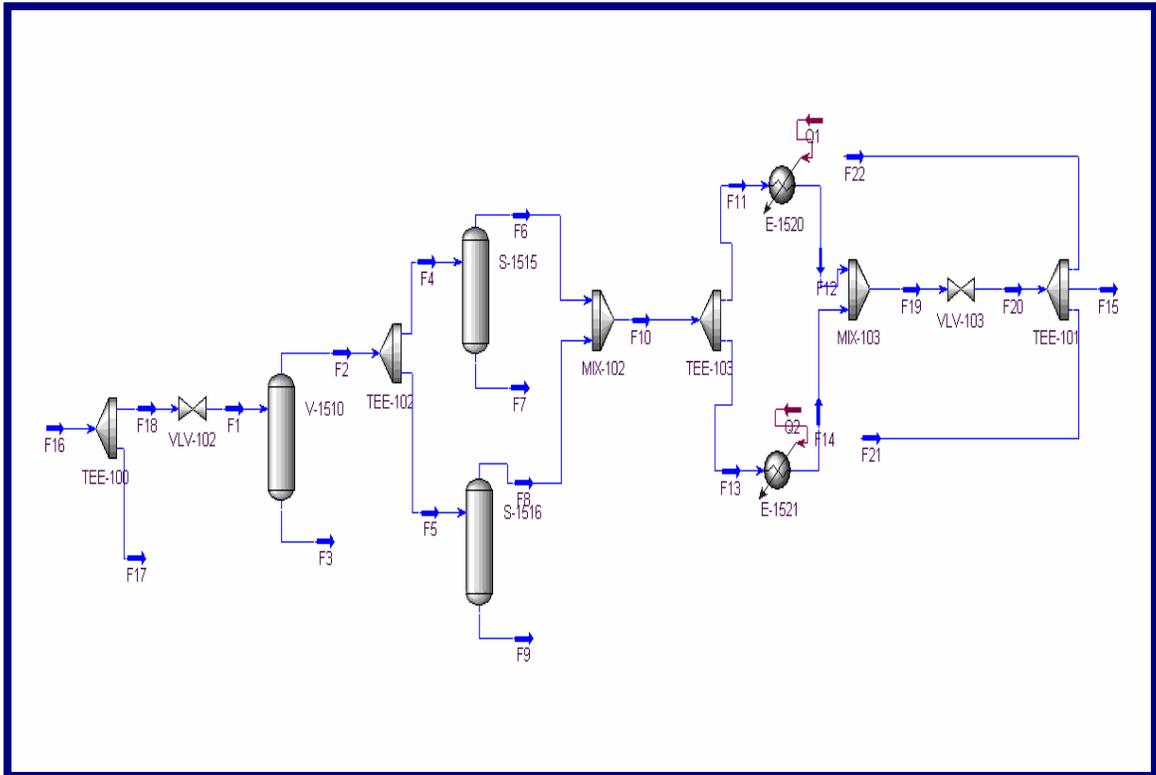


Figura 3.2. Arreglo de equipos y corrientes de proceso en el simulador Hysys.

- Introducir los parámetros de cada equipo. Aquí se introdujeron los parámetros de diseño de cada equipo instalado en la simulación de proceso. Se introdujo la mayor cantidad de datos posibles, otorgados por el manual de operación de planta RESOR y por lo que se observó en campo. En el caso de los divisores de corriente se les especificó en la división (splits), 0,5 y 0,5 de relación de flujo (flow ratios) para cada corriente, ya que se observó en campo que las tuberías de las cuales se derivan del divisor son tuberías de igual diámetro y poseen un arreglo simétrico. En la siguiente tabla se indica las parámetros que se introdujo en cada equipo:

Tabla 3.1. Parámetros que se introdujeron en cada equipo proceso.

Equipo	Especificación
E-1520 (Calentador E-1520)	Delta P igual a 14,5 psi Carga de calor (duty) de 1×10^6 Btu/h
E-1521 (Calentador E-1521)	Delta P igual a 14,5 psi Carga de calor (duty) de 1×10^6 Btu/h
TEE-102 (Divisor)	Relación de flujo se especificó 0,5 y 0,5 para la corriente F4 y F5.
TEE-103 (Divisor)	Relación de flujo se especificó 0,5 y 0,5 para la corriente F11 y F13.

- Introducción de condiciones en las corrientes de proceso. Para poder llevar a cabo la simulación de proceso se hizo necesario introducir en ciertas corrientes condiciones de proceso, como flujo, presión y temperatura.
- Revisión de los resultados del modelo de simulación. Se obtuvieron para cada una de las corrientes de proceso sus condiciones de trabajo (flujo másico, presión, temperatura, etc), así como propiedades del fluido (capacidad calorífica, densidad, etc).

3.1.1 Condiciones de diseño

Para realizar esta sección se usó el diagrama de flujo de proceso del sistema gas combustible no actualizado (ver A.1), el cual contaba con un solo calentador para ese momento. Para realizar la simulación de proceso se tomaron del diagrama de flujo de proceso mostrado en el anexo A.1 los siguientes datos:

Tabla 3.2. Datos tomados del diagrama de flujo de proceso mostrado en el anexo A.1 para llevar a cabo simulación a las condiciones de diseño.

Corriente	Datos
Entrada al sistema (F16)	<p>Temperatura= 120 °F</p> <p>Presión= 1.300 psia</p> <p>Flujo másico= 30.050 lb/h</p>
Entrada al depurador V-1510 (F1)	Presión= 549 psia
Salida de válvula VLV-103 (F20)	Presión= 227 psia
Gas de purga para ducto de venteo TV-1545 (F17)	Flujo másico= 149 lb/h
Entrada a quemadores al calentador E-1520 (F22)	Flujo másico= 161 lb/h
Entrada a quemadores al calentador E-1520 (F21)	Flujo másico= 161 lb/h

En la siguiente tabla se observa la composición del gas natural de la corriente F16 (gas que proviene de ACOGAS), que fue introducida en el simulador de proceso.

Tabla 3.3. Composición del gas natural de ACOGAS.

Componentes	% molar
Nitrógeno	0,24
CO₂	5,20
Metano	73,7
Etano	12,15

Tabla 3.3. Composición del gas natural de ACOGAS. (Continuación)

Componentes	% molar
Propano	6,01
I-Butano	0,80
N-Butano	1,31
I-Pentano	0,27
N-Pentano	0,21
Hexano	0,099
Heptano	0,007
Octanos	0,00

3.1.1.1 Balance de masa a las condiciones de diseño

Con los datos arrojados por la simulación fue que se realizó el diagrama de flujo de proceso actualizado (figura A.2), figura en el que se puede visualizar los flujos, temperatura, densidad y presión de todas las corrientes involucradas en todo el proceso.

En la siguiente tabla (tabla 3.4) se indican los flujos máxicos que arrojó la simulación para las corrientes de procesos desde F1 hasta F14, es decir las corrientes de entrada y salida de cada equipo proceso (depurador V1-510, filtros S-1515/S-1516 y los calentadores E-1520/E-1521), corrientes que se pueden observar en la figura 3.1.

Tabla 3.4. Flujo másico de cada corriente de proceso arrojado por el simulador a las condiciones de diseño.

Corriente de proceso	Flujo másico (lb/h)
F1	29.900
F2	29.620
F3	281,1

Tabla 3.4. Flujo másico de cada corriente de proceso arrojado por el simulador a las condiciones de diseño. (Continuación)

Corriente de proceso	Flujo másico (lb/h)
F4	14.810
F5	14.810
F6	14.810
F7	0
F8	14.810
F9	0
F10	29.620
F11	14.810
F12	14.810
F13	14.810
F14	14.810

3.1.1.2 Balances de energía a las condiciones de diseño

Para realizar los balances de energía se hizo uso de la ecuación general de balance de energía, que es la siguiente:

$$\text{Entrada} + \text{Generación} + \text{Salida} - \text{Consumo} = \text{Acumulación} \quad (\text{Ec. 3.1})$$

En todos los equipos del sistema gas combustible (depurador V- 1510, filtros S-1515/S-1516, calentadores E-1520/E-1521) se dan las siguientes condiciones:

- Proceso continuo.
- Sistema abierto.
- Estado estacionario.

En la ecuación 3.1 el término de acumulación es igual a cero debido a que los sistemas se encuentran en estado estacionario y de igual forma los términos generación y consumo debido a que la energía no puede crearse ni destruirse. Quedando la ecuación 3.1 de la siguiente manera:

$$\text{Entra} = \text{Sale} \quad (\text{Ec. 3.2})$$

En la ecuación 3.2 el término entrada significa la velocidad total de transporte de energías cinética, potencial e internas por todas las corrientes de entrada al proceso más la velocidad de transferencia de energía en la entrada en forma de calor y el término salida significa la velocidad total de transporte de energía por las corrientes de salida, más la velocidad de transferencia de energía hacia afuera en forma de trabajo. Haciendo referencia a la primera ley de la termodinámica lo que se plantea es lo siguiente:

$$Q + \sum_{\text{Corriente de entrada}} E_j = \sum_{\text{Corriente de salida}} E_j + W$$

$$\sum_{\text{Corriente de salida}} E_j - \sum_{\text{Corriente de entrada}} E_j = Q - W \quad (\text{Ec. 3.3})$$

Es importante mencionar que la ecuación anterior se trabaja en función de velocidades ya que se está trabajando en un proceso continuo es decir el fluido entra a sistema a una velocidad de flujo másico m (lb/h).

La velocidad total a la cual se transporta energía hacia dentro o fuera del sistema, se define de la siguiente manera:

$$\dot{E}_j = \dot{U}_j + \dot{E}_{kj} + \dot{E}_{pj} \quad (\text{Ec. 3.4})$$

En donde:

$$U_j = m_j \hat{U}_j \quad ; \quad E_{kj} = m_j \cdot u_j^2 / 2 \quad ; \quad E_{pj} = m_j \cdot g \cdot z_j$$

Sustituyendo lo anterior en la ecuación 3.4 queda:

$$E_j = m_j \left(\hat{U}_j + \frac{u_j^2}{2} + g \cdot z \right) \quad (\text{Ec. 3.5})$$

De la misma forma la velocidad neta de trabajo realizado por un sistema abierto sobre sus alrededores, posee una expresión, que es la siguiente:

$$W = W_s + W_{fl} \quad (\text{Ec. 3.6})$$

Donde:

W_s = Trabajo de flecha o velocidad de trabajo realizado por el fluido del proceso sobre alguna parte móvil del sistema (Btu/h)

W_{fl} = Trabajo de flujo o velocidad de trabajo realizado por el fluido en la salida del sistema, menos la velocidad de trabajo realizada sobre el fluido en la entrada del sistema (Btu/h)

$$W_{fl} = \sum_{\text{Corriente de salida}} P_j \cdot V_j - \sum_{\text{Corriente de entrada}} P_j \cdot V_j \quad (\text{Ec. 3.7})$$

Siendo:

$$V = m_j \cdot \hat{V}_j$$

Sustituyendo la ecuación 3.7 en la ecuación 3.6 se obtiene la ecuación 3.8, dicha ecuación expresa la velocidad neta de trabajo.

$$W = W_s + \sum_{\text{Corriente de salida}} m_j \cdot P_j \cdot \hat{V}_j - \sum_{\text{Corriente de entrada}} m_j \cdot P_j \cdot \hat{V}_j \quad (\text{Ec. 3.8})$$

Sustituyendo la ecuación 3.5 y la ecuación 3.8 en la ecuación 3.3 y colocando los términos $P\hat{V}$ en el lado izquierdo se obtiene:

$$\sum_{\text{Corriente de salida}} m_j \left(\hat{U}_j + P_j \cdot \hat{V}_j + \frac{u_j^2}{2} + g \cdot z_j \right) - \sum_{\text{Corriente de entrada}} m_j \left(\hat{U}_j + P_j \cdot \hat{V}_j + \frac{u_j^2}{2} + g \cdot z_j \right) = Q - W_s \quad (\text{Ec. 3.9})$$

Se sabe que:

$$\hat{H} = \hat{U} + P \cdot \hat{V}$$

Quedando entonces la ecuación 3.9 de la siguiente manera:

$$\sum_{\text{Corriente de salida}} m_j \left(\hat{H}_j + \frac{u_j^2}{2} + g \cdot z_j \right) - \sum_{\text{Corriente de entrada}} m_j \left(\hat{H}_j + \frac{u_j^2}{2} + g \cdot z_j \right) = Q - W_s \quad (\text{Ec. 3.10})$$

Se utilizara el símbolo Δ para denotar la salida total menos la entrada total, quedando la ecuación 3.10 de la siguiente manera:

$$\Delta H + \Delta E_k + \Delta E_p = Q + W_s \quad (\text{Ec. 3.11})$$

La ecuación anterior es la que se utilizará para realizar los balances de energía en los equipos del sistema gas combustible.

A. Balance de energía en el depurador V-1510 a las condiciones de diseño.

$$\Delta H + \Delta E_k + \Delta E_p = Q + W_s$$

Se asume lo siguiente:

- $\Delta E_k = 0$ (estado estacionario)
- $\Delta E_p = 0$ (suposición general ya que no se da desplazamiento a través de grandes altura)
- $W_s = 0$ (no hay partes móviles)
- $Q = 0$ (el proceso es adiabático)

Quedando la ecuación de balance de energía:

$$\Delta H = 0 \text{ Btu/h}$$

B. Balance de energía en filtros S-1515/S-1516 a las condiciones de diseño

Tanto para el filtro S-1515 como el filtro S-1516 se da las mismas condiciones del depurador V-1510, obteniéndose para ambos que:

$$\Delta H = 0 \text{ Btu/h}$$

C. Balance de energía en los calentadores E-1520/E-1521 a las condiciones de diseño

$$\Delta H + \Delta E_k + \Delta E_p = Q + W_s$$

Se asume lo siguiente:

- $\Delta E_k = 0$ (estado estacionario)
- $\Delta E_p = 0$ (suposición general ya que no se da desplazamiento a través de grandes altura)
- $W_s = 0$ (no hay partes móviles)

Quedando la ecuación de balance de energía:

$$\begin{aligned} \Delta H &= Q \\ Q &= m \cdot C_p \cdot (T_2 - T_1) \end{aligned} \quad (\text{Ec. 3.12})$$

Donde:

Q = calor absorbido (Btu/h)

m = flujo másico (lb/h)

C_p = calor específico (Btu/lb°F)

T_2 = temperatura de salida (°F)

T_1 = temperatura de entrada (°F)

$$Q = (14.810 \text{ lb/h})(0,5479 \text{ Btu/lb.}^\circ\text{F})(193,5 - 70)^\circ\text{F}$$

$$\Delta H = Q = 1.002.128,28 \text{ Btu/h}$$

Este ΔH es el mismo para el calentador E-1520 y el E-1521 ya que los dos poseen los mismo valores de m , C_p , T_2 y T_1 , debido a que los dos calentadores son iguales en forma y tipo. Los valores de T_2 , T_1 y m fueron tomados del diagrama flujo de proceso actualizado (figura A.2) y el C_p de la información que ofrece el simulador de proceso a las condiciones de diseño, como se observa en la siguiente figura (figura 3.3).

Molar Density [lbmole/ft3]	8.206e-002
Mass Density [lb/ft3]	1.838
Act. Volume Flow [barrel/day]	3.444e+004
Mass Enthalpy [Btu/lb]	-1796
Mass Entropy [Btu/lb-F]	1.775
Heat Capacity [Btu/lbmole-F]	12.27
Mass Heat Capacity [Btu/lb-F]	0.5479
Lower Heating Value [Btu/lbmole]	4.217e+005
Mass Lower Heating Value [Btu/lb]	1.882e+004
Phase Fraction [Vol. Basis]	<empty>
Phase Fraction [Mass Basis]	4.941e-324
Partial Pressure of CO2 [psia]	26.46

Figura 3.3. Propiedades de la corriente de gas que sale del calentador E-1520/E-1521 a las condiciones de diseño, donde se visualiza el C_p

3.1.2 Condiciones de operación

Para llevar a cabo esta sección se usó el simulador de procesos Hysys. Para realizar la simulación a las condiciones de operación se utilizó el flujo volumétrico de la corriente F15 (corriente a la salida del sistema gas combustible), el cual fue otorgado por el operador de campo de plata RESOR, también se contó con la presión

y temperatura de cada uno de las corrientes que implican el proceso; obtenidas por medio de medidores digitales y manómetros encontrados en campo.

Para poder llevar a cabo la simulación se hizo necesario realizar iteraciones con el flujo másico de la corriente F18 (ver figura 3.2), es decir se varió el flujo volumétrico de F18, hasta que el flujo volumétrico de la corriente F15 se acercara lo más posible a 12,02 MMPCD (valor otorgado por sala de control), pero antes de hacer estas iteraciones se montó toda la simulación (equipos, corrientes, composición de gas, etc).

En la tabla siguiente se observa los datos que se utilizaron para montar la simulación de proceso.

Tabla 3.5. Datos introducidos en el simulador Hysys para llevar a cabo la simulación a las condiciones de operación.

Corriente	Datos
Entrada al depurador V-1510 (F1)	Presión= 304,9 psia
Entrada de válvula VLV-102 (F18)	Temperatura= 93,20 °F Presión= 1.240 psia Flujo másico= 16,8 MMPCD
Entrada de válvula VLV-103 (F19)	Presión= 264,7 psia
Entrada a quemadores al calentador E-1520 (F21)	Flujo másico= 161 lb/h
Entrada a quemadores al calentador E-1520 (F22)	Presión= 161 psia

En la tabla 3.6 se visualiza las iteraciones realizadas con en el flujo volumétrico de la corriente F18 hasta que se acercara a los 12,02 MMPCD de la corriente F15.

Tabla 3.6. Iteraciones para determinar el flujo volumétrico de la corriente F18.

Iteraciones	Flujo volumétrico en F18	Flujo volumétrico en F15
1	18 MMPCD	17,84 MMPCD
2	17 MMPCD	16,84 MMPCD
3	14 MMPCD	13,84 MMPCD
4	12,2 MMPCD	12,04 MMPCD
5	10 MMPCD	9,84 MMPCD

En la iteración nº 4 fue la que más se acercó a 12,02 MMPCD (valor otorgado por sala de control), por lo tanto el flujo volumétrico que se utilizó en la corriente F18 en la simulación fue de 12,2 MMPCD, como ya se expuso en la tabla 3.6.

Para la corriente F21 y F22 se considero un flujo másico de 161 lb/h, tomado como valor diseño (ver A.1). Se hizo esta consideración ya que no hubo manera de determinar la cantidad de gas que se dirigía a los quemadores de los calentadores E-1520/E-1521.

En la siguiente tabla (tabla 3.7) se observa la composición del gas natural que fue introducida en el simulador para la corriente F18 (corriente de entrada de válvula VLV-102); esta composición fue determinada por medio de un estudio cromatográfico realizado por LACOCORR.

Tabla 3.7. Composición del gas natural de la corriente F18.

Componentes	% molar
Nitrógeno	0,166

Tabla 3.7. Composición del gas natural de la corriente F18. (Continuación)

Componentes	% molar
Metano	84,57
CO₂	3,744
Etano	9,060
Propano	1,554
I-Butano	0,189
N-Butano	0,308
I-Pentano	0,108
N-Pentano	0,094
Hexanos	0,118
Heptanos	0,058
Octanos	0,0027
Nonanos	0,006
Undecanos +	0,002

3.1.2.1 Balances de masa a las condiciones de operación

En la siguiente tabla (tabla 3.8) se indican los flujos másicos que arrojó la simulación para las corrientes de procesos desde F1 hasta F14, es decir las corrientes de entrada y salida de cada equipo proceso (depurador V1-510, filtros S-1515/S-1516 y los calentadores E-1520/E-1521), corrientes que se pueden observar en la figura 3.1.

Tabla 3.8. Flujo másico de cada corriente de proceso arrojado por el simulador a las condiciones de operación.

Corriente de proceso	Flujo másico (lb/h)
F1	25.870
F2	25.820

Tabla 3.8. Flujo másico de cada corriente de proceso arrojado por el simulador a las condiciones de operación. (Continuación)

Corriente de proceso	Flujo másico (lb/h)
F3	53.20
F4	12.910
F5	12.910
F6	12.910
F7	0
F8	12.910
F9	0
F10	25.820
F11	12.910
F12	12.910
F13	12.910
F14	12.910

3.1.2.2 Balance de energía a las condiciones de operación

Para realizar los balances de energía en esta sección se hizo uso de la ecuación 3.1, anteriormente deducida.

A. Balance de energía en el depurador V-1510 a las condiciones de operación

De acuerdo a la ecuación 3.11 y las condiciones asumidas en el depurador V-1510, ya planteadas en la sección 3.1.1.2, se tiene que:

$$\Delta H = 0 \text{ Btu/h}$$

B. Balance de energía en filtros S-1515/S-1516 a las condiciones de operación

Tanto para el filtro S-1515 como el filtro S-1516 se dan las mismas condiciones del depurador V-1510, por lo tanto empleando la ecuación 3.11 obtienen para ambos lo siguiente:

$$\Delta H = 0 \text{ Btu/h}$$

C. Balance de energía en el calentador E-1520/E-1521 a las condiciones de operación

Empleando la ecuación 3.12, se tiene que:

$$Q = (12.910 \text{ lb/h})(0,5395 \text{ Btu/lb.}^\circ \text{ F})(126,1 - (-4,827))^\circ \text{ F}$$

$$\Delta H = Q = 911.899,35 \text{ Btu/h}$$

Tanto para el calentador E-1520 como para el calentador E-1521 el valor del flujo másico (m) se obtuvo de la tabla 3.8 y el C_p , T_1 y T_2 fue tomado de la información que ofrece el simulador de proceso Hysys a las condiciones de operación, como se puede observar en la figura 3.4, figura 3.5 y la figura 3.6.

Stream Name	F11
Vapour / Phase Fraction	1.0000
Temperature [F]	-4.827
Pressure [psia]	304.9
Molar Flow [MMSCFD]	6.073
Mass Flow [lb/hr]	2.748e+004
Std Ideal Liq Vol Flow [barrel/day]	2609
Molar Enthalpy [Btu/lbmole]	-1.481e+005
Molar Entropy [Btu/lbmole-F]	34.62
Heat Flow [Btu/hr]	-9.878e+007
Liq Vol Flow @Std Cond [barrel/day]	2802
Fluid Package	Basis-2

Figura 3.4. Condiciones de la corriente de entrada a los calentadores E-1520/E-1521, donde se visualiza T_1 .

Worksheet		
Conditions	Stream Name	F12
Properties	Vapour / Phase Fraction	1.0000
Composition	Temperature [F]	126.1
K Value	Pressure [psia]	290.4
User Variables	Molar Flow [MMSCFD]	6.073
Notes	Mass Flow [lb/hr]	2.748e+004
Cost Parameters	Std Ideal Liq Vol Flow [barrel/day]	2609
	Molar Enthalpy [Btu/lbmole]	-1.466e+005
	Molar Entropy [Btu/lbmole-F]	37.61
	Heat Flow [Btu/hr]	-9.778e+007
	Liq Vol Flow @Std Cond [barrel/day]	2802
	Fluid Package	Basis-2

Worksheet Attachments Dynamics

OK

Delete Define from Other Stream... ← →

Figura 3.5. Condiciones de la corriente de salida a los calentadores E-1520/E-1521, donde se visualiza T_2 .

Worksheet		
Conditions	Stream Name	F12
Properties	Molecular Weight	19.28
Composition	Molar Density [lbmole/ft ³]	4.390e-002
K Value	Mass Density [lb/ft ³]	0.8466
User Variables	Act. Volume Flow [barrel/day]	6.518e+004
Notes	Mass Enthalpy [Btu/lb]	-1933
Cost Parameters	Mass Entropy [Btu/lb-F]	2.105
	Heat Capacity [Btu/lbmole-F]	10.40
	Mass Heat Capacity [Btu/lb-F]	0.5395
	Lower Heating Value [Btu/lbmole]	3.726e+005
	Mass Lower Heating Value [Btu/lb]	1.932e+004
	Phase Fraction [Vol. Basis]	<empty>

Property Correlation Controls

Preference Option: Active

Worksheet Attachments Dynamics

OK

Delete Define from Other Stream... ← →

Figura 3.6. Propiedades de la corriente de gas que sale del calentador E-1520/E-1521 a las condiciones de operación, donde se visualiza en C_p .

3.1.3 Estimación de la desviación estándar entre los resultados ofrecidos por los balances de masa y energía a las condiciones de diseño y a las de operación.

A continuación se expone una muestra de cálculo de los resultados ofrecidos en el capítulo IV en la tabla 4.1.

Teniendo F2 un flujo másico de 29.620 lb/h a las condiciones de diseño y 25.820 lb/h a las condiciones de operación, se le determinó la desviación estándar mediante la siguiente ecuación:

$$\alpha = \sqrt{V}$$

Para el cálculo de la desviación estándar se hace necesario previamente el cálculo de la varianza, que se obtiene por medio de la ecuación 2.6, como se muestra a continuación:

$$V = \frac{X_1^2 + X_2^2 + \dots + X_n^2}{n} - \bar{X}^2$$

Donde la media de la muestra (\bar{X}), se determina mediante la siguiente ecuación:

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2}{n}$$

$$\bar{X} = (29.620 + 25.820) / 2 = 27.720$$

Ya obtenida \bar{X} se determina la varianza a continuación:

$$V = \frac{29.620^2 + 25.820^2}{2} - 27.720^2 = 3.610.000$$

Por lo tanto se tiene que la desviación estándar es la siguiente:

$$S^2 = \sqrt{3.610.000} = 1.900$$

3.2 Estimación del poder calorífico del gas combustible que se dirige a los quemadores de las turbinas

La determinación del PCB y PCN se realizó por medio de la siguiente ecuación:

$$PC = \sum Y_i . Hc_i \quad (\text{Ec. 3.14})$$

Donde:

PC = poder calorífico (Btu/pie³)

Y_i = proporción de cada elemento individual (valor unidimensional)

Hc_i = calor de combustión (Btu/pie³)

Las fracciones molares del gas natural (tabla 3.9) fueron determinadas por medio de un estudio cromatográfico, tomando una muestra directamente en campo del gas natural a la salida de los calentadores que es el mismo gas que se suministra a las turbinas. Esta muestra fue llevada a LABOCORR para dicho estudio.

Tabla 3.9. Cromatografía en base seca del gas de proceso a la salida de los calentadores.

Petróleos de Venezuela, S.A.	
Coordinación operacional	
Extracción-LABOCCOR	
Requerido por: Luís Jiménez	
Lugar de muestreo: Patín de gas combustible	
RESOR	
Fecha de muestre: 19/01/09	
Fecha de análisis: 22/01/09	
Análisis cromatográfico	
Componentes	
Porcentaje molar	
NITROGENO	0,172
METANO	84,88

Tabla 3.9. Cromatografía en base seca del gas de proceso a la salida de los calentadores. (Continuación)

Petróleos de Venezuela, S.A.	
Coordinación operacional	
Extracción-LABOCCOR	
Requerido por: Luís Jiménez	
Lugar de muestreo: Patín de gas combustible	
RESOR	
Fecha de muestre: 19/01/09	
Fecha de análisis: 22/01/09	
Análisis cromatográfico	
Componentes	
Porcentaje molar	
CO ₂	3,671
ETANO	8,845
PROPANO	1,543
I-BUTANO	0,188
N-BUTANO	0,304
I-PENTANO	0,106
N-PENTANO	0,092
HEXANOS	0,110
HEPTANOS	0,052
OCTANOS	0,029
NONANOS	0,005
DECANOS	0,001
UNDECANOS +	0

Tabla 3.9. Cromatografía en base seca del gas de proceso a la salida de los calentadores. (Continuación)

GPM TOTAL	0,74
P.C. (Btu/pcs)	1.087
Grav.esp.a 60 °F	0,664
PM. Prom.a 60 ° F	19,24
Presión (psig)	250
Temperatura (° C)	49
Hora	11:00 a.m.

Los calores de combustión utilizados son los valores caloríficos estándar a 60 ° F y 14,7 psia de cada elemento existente en el publicado de las constantes físicas del manual de la GPSA, figura A.3. [18]

3.2.1 Poder calorífico bruto

El poder calorífico bruto es la expresión máxima que puede ofrecer una combustión con oxígeno y una chispa.

En la tabla 3.10 se presenta el poder calorífico bruto el cual fue obtenido por medio de la ecuación 3.14.

Tabla 3.10. Poder calorífico bruto.

Componente	Fracción molar Y_i	Valor bruto (60°F y 14,7 psia) H_{c_i} (Btu/pcs)	Poder calorífico H_c (Btu/pcs)
NITROGENO	0,00172	0	0
METANO	0,8488	1010	857,288
CO ₂	0,03671	0	0
ETANO	0,08845	1769,6	156,52112
PROPANO	0,01543	2516,1	38,823423
I-BUTANO	0,00188	3251,9	6,113572
N-BUTANO	0,00304	3262,3	9,917392
I-PENTANO	0,00106	4000,9	4,240954
N-PENTANO	0,00092	4008,9	3,688188
HEXANOS	0,0011	4755,9	5,23149
HEPTANOS	0,00052	5502,5	2,8613
OCTANOS	0,00029	6248,9	1,812181
NONANOS	0,00005	6996,5	0,349825
DECANOS	0,00001	1742,9	0,017429
TOTAL			1.086,864874

$$PC(\text{Bruto}) = 1.086,86 \text{ Btu/pcs}$$

3.2.2 Poder calorífico neto

El poder calorífico neto es la energía del gas que es realmente aprovechado por la combustión.

En la tabla 3.11 se presenta el poder calorífico neto el cual fue obtenido por medio de la ecuación 3.14.

Tabla 3.11. Poder calorífico neto.

Componente	Fracción molar Y_i	Valor neto (60°F y 14,7 psia) H_{c_i} (Btu/pcs)	Poder calorífico H_c (Btu/pcs)
NITROGENO	0,00172	0	0
METANO	0,8488	909,4	771,89872
CO ₂	0,03671	0	0
ETANO	0,08845	1.618,7	143,174015
PROPANO	0,01543	2.314,9	35,718907
I-BUTANO	0,00188	3.000,4	5,640752
N-BUTANO	0,00304	3.010,8	9,152832
I-PENTANO	0,00106	3.699	3,92094
N-PENTANO	0,00092	3.706,9	3,410348
HEXANOS	0,0011	4.403,8	4,84418
HEPTANOS	0,00052	5.100	2,652
OCTANOS	0,00029	5.796,1	1,680869
NONANOS	0,00005	6.493,2	0,32466
DECANOS	0,00001	7.189,6	0,071896
TOTAL			982,490119

$$PC(\text{Neto}) = 982,49 \text{ Btu/pcs}$$

El poder calorífico bruto está representado por la adición del poder calorífico neto más calor latente de vaporización del agua, y sus equivalentes en porcentajes son los siguientes:

- Poder calorífico bruto: 1.086,86 Btu/pcs = 100%
- Poder calorífico neto: 982,49 Btu/pcs = 90,53% del poder calorífico bruto
- Calor desprendido por la condensación del agua: PCB-PCN=104,37 Btu/pcs = 9,602% del poder calorífico bruto

3.3 Análisis de las causas por las cuales los calentadores están presentado paradas

En los calentadores E-1520 y E-1521 se presentan las siguientes fallas:

- Alta temperatura de agua.
- Bajo nivel de agua.
- Alta temperatura de chimenea.
- Pérdida de flama.
- Baja flama.

Es importante mencionar que las fallas anteriormente mencionadas están siempre relacionadas entre sí, es decir una tiene que ver con la otra.

3.3.1 Alta temperatura del agua

El sistema de llenado de agua se encuentra ejecutándose manualmente; el no poseer un control continuo para mantener el nivel de agua en los calentadores produce variaciones de elevación de temperatura por efecto del bajo nivel de agua en relación a la cantidad de gas que es quemado y de igual manera si se quema mas gas

del requerido también ocurre esta alta temperatura del agua. El hecho de que se esté quemando mas gas del requerido viene relacionado a la mala dosificación a la hora de realizar la mezcla gas-aire; esta mala dosificación ocurre debido a que las válvulas que regulan esta mezcla son manuales y solo el operador las manipula en el momento que ya está presente la falla.

3.3.2 Bajo nivel del agua

El sistema posee un sistema de alarma de bajo nivel, pero en la actualidad el mismo se encuentra fuera de servicio, operándose el lazo de control de manera manual es decir no se encuentra automatizado, observándose dicho nivel por medio de la mirillas de observación que posee el calentador en sus paredes. Esta falla se da en el calentador por bajo flujo de agua y por demasiado calor suministrado que hace que se evapore el agua muy rápidamente.

3.3.3 Alta temperatura de chimenea

La temperatura de chimenea aumenta, ya que el sistema se encuentra quemando mayor cantidad de gas combustible, es decir no se logra una dosificación adecuada para realizar la mezcla gas –aire, debido a que válvulas que regulan esta mezcla operan de manera manual, siendo manipuladas en todas las ocasiones por el operador de la planta en el momento que dicha falla se manifiesta. Estas altas temperatura de chimenea se obtienen tanto de los productos de la combustión llevadas a cabo en el quemador del calentador como por la alta evaporación del agua que está siendo calentada por el gas. Estas altas temperaturas producen altas presiones en el ducto de la chimenea incitándose a una atmósfera peligrosa.

3.3.4 Pérdida de flama

La flama o llama es signo visible de una reacción química, en este caso una combustión. La pérdida de flama en el quemador de los calentadores E-1520 y E-1521 se debe a que las válvulas que regulan el suministro tanto de gas combustible como aire son manuales y en ocasiones no suministran la proporción adecuada para que ocurra la combustión y por ende no se alcanza la temperatura de ignición, es decir al no alcanzarse dicha temperatura no ocurre la combustión y por lo tanto la pérdida visible de la flama. Dicha manipulación de las válvulas que regulan la mezcla gas-aire sólo se realiza en el momento que la falla se da y no como rutina diaria. Otra razón por la cual podría haber la pérdida de flama es porque el suministro del gas combustible no sea constante cosa que no es así; el gas natural que se le suministra al sistema gas combustible de las diferentes fuentes gas de alimentación son continuas y confiables, garantizando la confiabilidad del gas natural. El estudio cromatográfico indicó las altas proporciones de metano, así como un valor óptimo del poder calorífico que posee gas combustible.

3.3.5 Baja flama

La baja flama de la combustión llevada a cabo en el quemador de cada calentador (E-1520/E-1521) se debe a que en dicha combustión se encuentra el valor mínimo indispensable de combustible (gas combustible) o comburente (aire). Como ya fue mencionado anteriormente, todas las válvulas de este sistema son manuales y en ocasiones éstas no se encuentran calibradas, obteniéndose un baja flama, o en el peor de los casos la pérdida de la flama.

3.4 Propuesta de opciones para el acondicionamiento del gas natural cuando algunos de los calentadores presentan una parada

- Otra alternativa de suministro (desde otra planta).
- Otro calentador de mayor capacidad a los ya instalados. El instalar calentadores de mayor capacidad proporciona la facilidad de que saliendo de servicio alguno de los dos calentadores y quedando sólo uno, este sólo tendría la capacidad suficiente para acondicionar todo el gas combustible que necesitarían las cuatro turbinas.
- Envío y acondicionamiento del gas natural que no puede ser tratado en el sistema gas combustible de planta RESOR, hacia otra planta y que luego retorne el gas acondicionado hacia dicho sistema.
- Proporcionar una acción rápida y efectiva por parte del operador de la planta hacia la solución de la fallas que se den en el calentador que se este parando para así no tener que bajar la carga de inyección de agua de la turbinas.
- Poseer un tanque de almacenamiento de gas combustible, el cual almacene y mantenga las condiciones de presión y temperatura del gas combustible que requiere las turbinas. Dicho gas almacenado ya ha sido acondicionado previamente por el sistema gas combustible. Para determinar el tipo de tanque de almacenamiento específico a utilizar se debe realizar un estudio técnico. Este almacenamiento de gas combustible brinda al operador de campo un tiempo determinado para arreglar de manera rápida la falla que este sacando a uno de los calentadores de servicio, sin tener que interrumpir el proceso óptimo de planta RESOR.

CAPÍTULO IV

DISCUSIÓN DE RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este capítulo se presenta la discusión de los resultados obtenidos en el capítulo 3 (desarrollo del proyecto), obteniéndose así un análisis completo de cada objetivo desarrollado. Para desarrollar cada objetivo de este trabajo se requirió toda la información del sistema gas combustible de planta RESOR. Todo se desarrolló tanto por métodos cualitativos como por medio cuantitativos.

4.1 Realización de balances de masa y energía con las condiciones de diseño y posteriormente a las condiciones operacionales

Para una evaluación de cualquier sistema se hace necesario cuantificar lo que entra y sale tanto en masa como energía de cada unidad de proceso así como determinar requerimientos energéticos, todo esto lográndose por medio de balances de masa y energía.

De acuerdo a la tabla 4.1 los balances de masa realizados a las condiciones de operación, en el depurador V-1510 y los filtros S-1515/S-1516, muestran que el flujo másico que sale por el tope de cada equipo respectivo es menor que el indicado a las condiciones de diseño y lo mismo ocurre con el flujo másico que sale del los calentadores E-1520/E-1521, indicando que se está trabajando por debajo de las condiciones de diseño; es decir en la actualidad el sistema gas combustible si cumple con los requerimientos de diseño, pero es de suma importancia mencionar que en la tabla 4.1 también se refleja la desviación estándar entre los valores a las condiciones de diseño y a las condiciones de operación, obteniendo una desviación pequeña entre

dicho valores, indicando que se esta trabajando muy cerca de las condiciones de diseño.

Con respecto a los balances de energía, como se observa en la tabla 4.1, tanto para el depurador V-1510 y los filtros S-1515/S-1516 el cambio de entalpía es cero ($\Delta H = 0$) porque en estos equipos el flujo del gas combustible no libera ni absorbe calor de ningún otro fluido, es decir no se da ningún tipo de transferencia de calor, siendo con esto procesos isotérmicos. En los calentadores E-1520/E-1521 si ocurre el fenómeno de transferencia de calor entre el gas combustible y el agua de proceso. El calor o el cambio de entalpía determinado por medio del balance de energía, a las condiciones de operación fue de 911.899,35 Btu/h y a las condiciones de diseño fue de 1.002.128,28 Btu/h , indicando estos valores que:

- El signo positivo se debe a que el gas combustible absorbe calor de su entorno, para ser más específico del agua proceso, como es lo que se desea en los calentadores.
- A las condiciones de diseño se requiere mucho más calor para poder calentar el gas natural, todo esto relacionado al hecho que es directamente proporcional al flujo que se desea calentar; no es lo mismo calentar 14.810 lb/h (condición de diseño) que 12.910 lb/h de gas (condiciona de operación).

Tabla 4.1. Resultados de los balances de masa y energía a las condiciones de diseño y a las condiciones de operación con su respectiva desviación.

Equipo	Balance de masa (lb/h)		Desviación estándar	Balance de energía (Btu/h)		Desviación estándar
	Condición de diseño	Condición de operación		Condición de diseño	Condición de operación	
Depurador V-1510	F2=29.620	F2=25.820	1.900	$\Delta H = 0$	$\Delta H = 0$	0
Filtro S-1515	F6=14.810	F6=12.910	950	$\Delta H = 0$	$\Delta H = 0$	0
Filtro S-1516	F8=14.810	F8=12.910	950	$\Delta H = 0$	$\Delta H = 0$	0

Tabla 4.1. Resultados de los balances de masa y energía a las condiciones de diseño y a las condiciones de operación con su respectiva desviación. (Continuación)

Equipo	Balance de masa (lb/h)		Desviación estándar	Balance de energía (Btu/h)		Desviación estándar
	Condición de diseño	Condición de operación		Condición de diseño	Condición de operación	
Calentador E-1520	F11=14.810	F11=12.910	950	$\Delta H = 1.002.128,3$	$\Delta H = 911.899,35$	45.114,47
Calentador E-1520	F11=14.810	F11=12.910	950	$\Delta H = 1.002.128,3$	$\Delta H = 911.899,35$	45.114,47

4.2 Estimación del poder calorífico del gas combustible que se dirige a los quemadores de las turbinas

La propiedad más importante en un combustible es el poder calorífico. Se determinó el poder calorífico bruto y neto, visualizado en la tabla 4.2

Tabla 4.2 Poder calorífico bruto y neto del gas combustible que se dirige a las cámaras de combustión de las turbinas de planta RESOR.

PODER CALORIFICO	
Poder calorífico bruto (teórico)	1.086,86 Btu/pcs
Poder calorífico bruto (arrojado por cromatógrafo)	1.086,87 Btu/pcs
Poder calorífico neto (teórico)	982,9 Btu/pcs

El del poder calorífico bruto obtenido de manera teórico conjunto al ofrecido por LABOCORR, sirvieron para ser comparados y deducir que los cálculos realizados con la ecuación 3.14 se realizaron de manera correcta. Además esto certifica que el cromatógrafo se encontraba programado con los mismos valores de poder calorífico de cada uno de los componentes del gas mostrados en la tabla 3.10. El poder calorífico que se observa el en estudio cromatográfico es el bruto, es el cual es la expresión máxima que puede ofrecer una combustión.

El valor positivo del poder calorífico expresa que (ΔH) combustión es negativo y por lo tanto libera calor, aspecto que se busca en dicho combustible.

Obtenidos el poder calorífico bruto y neto se pudo determinar las diferencias entre ellas que fueron de un 9,602%, esta pequeña diferencia entre el poder calorífico

bruto y neto corresponde al calor de vaporización del agua a 1 atm y 298 K (condiciones estándar).

El poder calorífico de un combustible gaseoso que esté típicamente alrededor de 1.000 Btu/pié cúbico estándar indica que se trata de un gas seco. Como se puede observar en la tabla 4.2 el poder calorífico del gas combustible esta alrededor de 1000 Btu/pié cúbico estándar, indicando que es un gas eficiente para ser enviado a las turbinas por ser un gas seco, condición que favorece para que se de la combustión; lo mencionado también se puede confirmar en la cromatografía por el alto contenido de metano y etano que contiene el gas natural.

4.3 Análisis de las causas por las cuales los calentadores están presentado paradas

Con respecto a las fallas frecuente en los calentadores E-1520/E1521 se muestra en la siguiente tabla la causa principal de dichas fallas.

Tabla 4.3. Causa principal de las fallas presentadas en los calentadores E-1520/E-1521.

FALLA	CAUSA PRINCIPAL
Alta temperatura de agua	Sistema de válvulas manuales. El sistema de llenado de agua es manual, produciendo bajo nivel de agua en relación a la cantidad de gas quemado.

Tabla 4.3. Causa principal de las fallas presentadas en los calentadores E-1520/E-1521. (Continuación)

FALLA	CAUSA PRINCIPAL
Bajo nivel de agua	Sistema de válvulas manuales. Por poseer un flujo de agua bajo y por demasiado calor suministrado que hace que se evapore el agua muy rápidamente.
Alta temperatura de chimenea	Sistema de válvulas manuales. El gran exceso de gas que se está quemando produce muchos gases de combustión así como alta evaporación del agua que se calienta por el gas.
Perdida de flama	Sistema de válvulas manuales. No se le suministra la proporción adecuada de gas-aire para que se mantenga la combustión.
Baja flama	Sistema de válvulas manuales. En la combustión se encuentra el valor mínimo indispensable de combustible o comburente.

La tabla 4.3 indica que la causa principal de cada falla es la misma y que todo radica básicamente en que el sistema de válvulas en los calentadores se encuentra de manera manual, tanto para realizar la mezcla gas-aire como para el llenado de agua. Por lo tanto los operadores de planta deben estar constantemente en chequeo para que todo se encuentre regulado y no se den dichas fallas, cosa que es imposible ya que la planta cuenta con un solo operador en campo por cada turno y el cual debe supervisar todo los acontecimientos que ocurran en campo y no exclusivamente de los calentadores. Es por esta razón que para solucionar este problema se aconseja activar el sistema de alarma con el que cuenta cada calentador para poder ser visualizado en sala de control de planta RESOR así como trabajar en la actualidad con lazos de

control automatizados, garantizando menos frecuencia de estas fallas y por ende el paro de los calentadores del sistema de gas combustible.

4.4 Propuesta de opciones para el acondicionamiento del gas natural cuando algunos de los calentadores presentan una parada

Todas las opciones ya plateadas en la sección 3.4 son factibles pero se sabe que entre todas de ellas hay una que es la más adecuada. Es de suma importancia explicar las razones por las cuales cada opción deja de ser la más indicada como tal. A continuación se indica en más detalle las consideraciones tomadas en cuenta.

- El instalar calentadores de mayor capacidad y tanques de almacenamiento de gas de combustible representa una compra por parte de la empresa, aspecto que en ocasiones no es lo más viable porque esto representa un tiempo de espera que no se tiene determinado, ya que éste depende de otra gerencia de PDVSA. Recordando que para la compra de cualquier equipo se tiene que hacer previamente una planificación. Además esto implicaría una cantidad de dinero considerable que no se tenía el presupuesto de la planta.
- La opción de obtener por parte del operador una acción rápida y efectiva hacia la solución de la fallas que se den en el calentador que se esté parando es muy variable ya que se estaría contando con un tiempo de acción que no se podría cuantificar, por tratarse de un solo operador de campo el cual se tiene que hacer cargo de otros problemas operacionales que ocurran en la planta.
- El envío, acondicionamiento de gas natural hacia otra planta y luego el retorno de gas hacia el sistema gas combustible viene representado por 3 pasos (envío,

acondicionamiento y retorno) que requiere más tiempo del que sólo se contará de una vez con envío de gas hacia el sistema gas combustible.

Se considera que la más adecuada es el hecho de buscar otra alternativa de suministro de gas combustible, desde otra planta que sea propiedad de PDVSA. A una distancia aproximada de 500 metros de planta RESOR se encuentra una planta (propiedad de PDVSA), que podría suministrar gas natural acondicionado hacia planta RESOR, pero esta planta en algunas oportunidades si tiene excedente de gas como en otras oportunidades no, siendo esta información obtenida por conversación directa con el operador de planta de dicha planta. Sin embargo esto va allá de lo que se considere a simple vista, por lo tanto es importante que Petróleos de Venezuela realice un análisis minucioso de cada una de las opciones propuestas para tomar la más adecuada.

4.5 Conclusiones

- 1.** En la actualidad el sistema gas combustible está trabajando bajo las condiciones de diseño.
- 2.** Por diseño un solo calentador no es suficiente para acondicionar 25.820 lb/h de gas natural que se están manejando en la actualidad.
- 3.** Los filtros S-1515/S-1516 son innecesarios ya que el gas natural es seco y la poca cantidad de condensado que se produce por la disminución de presión, es retirado completamente en el depurador V-1510. Concluyendo esto ya que el flujo másico de la corriente de condensado para los filtros S-1515/S-1516 es cero.

4. El valor del poder calórico neto obtenido es de 982,49 Btu/pcs, el cual es el realmente utilizable en la combustión.

5. Todas las fallas que se presentan en los calentadores radica principalmente por poseer sistema de válvulas manuales.

6. El gas combustible en la actualidad cumple con las especificaciones exigidas por las turbinas en función de temperatura y presión.

7. La opción más adecuada para el acondicionamiento del gas natural cuando algunos de los calentadores presenta falla es la de buscar otra fuente de suministro, desde otra planta que sea de igual forma de PDVSA.

4.6 Recomendaciones

1. Que el departamento de instrumentación cuente con una diversidad de instrumentos de medición para flujos gaseosos y no limitarse a la placa de orificio, ya que por esto no se puede obtener en campo el flujo másico a la entrada del sistema gas combustible.

2. Se debe capacitar constantemente a todo el personal y no solo al personal de operación con respecto al funcionamiento de los equipos.

3. Implementar un flujómetro a la entrada de del sistema gas combustible con la finalidad de poder saber la cantidad de flujo de gas que se está trabajando ese día.

4. Hacerle de manera recurrente y consecutiva calibración a todos los equipos ya existentes en el sistema, como los manómetros y termómetros, con la finalidad que arroje al personal de la plata valores confiables.

5. Regular las válvulas gas-aire de los calentadores como rutina diaria y no solo en el momento que se presenta la falla de perdida o baja flama.

6. Poner de nuevo en funcionamiento los lazos de control que indican a sala de control todos los parámetros de operación del sistema gas combustible con la finalidad de tener un mayor control sobre sus variables de proceso sin estar en campo.

7. Hacer un estudio social, económico y ambiental a las propuestas planteadas para el acondicionamiento del gas natural cuando algunos de los calentadores presentan una parada para establecer la más adecuada.

8. Colocar en el sistema gas combustible válvulas automáticas.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

1. Subero D y Atay M., **“Evaluación de las condiciones óptimas de alimentación del gas combustible a la central eléctrica CE-01”**. Tesis de grado, Departamento de Ingeniería Química Universidad de Oriente, Núcleo de Anzoátegui (2007).
2. Domínguez, D., **“Diseño de una planta de acondicionamiento de gas combustible para una planta compresora de gas natural utilizando modelos de simulación en estado estacionario”**. Tesis de grado, Departamento de Ingeniería Química, Universidad de Oriente, Núcleo de Anzoátegui (2005).
3. Molero, A., **“Estudio del consumo de energía y gas combustible de hornos, calderas y turbogeneradores de las refinerías Puerto La Cruz y El Chaure, PDVSA”**. Tesis de grado, Departamento de Ingeniería Química, Universidad de Oriente, Núcleo de Anzoátegui (2001).
4. Martínez M., **“Ingeniería de gas, principios y aplicaciones”**. Diseño conceptual de separadores”. Editorial Ingenieros Consultores SRL (1970).
5. PDVSA., **“Calentadores de fuego indirecto”**. Manual de ingeniería de diseño. Vol. 6.
6. Rodríguez R., **“Hidrocarburos”**. www.monografia.com/trabajos10/gase/gase.shtml (2001).

7. Leyla Maritza Solano Guerrero., **“Composición del gas natural”**.
<http://www.monografias.com/trabajos58/gas-natural-peru/gas-natural-peru2.shtml>
(2008).
8. PDVSA., **“Gas natural, composición y usos”**. Programa de educación petrolera, Ediciones divulgativas, Venezuela (2000).
9. Tovar S y Gamboa S., **“Turbinas”**.
www.eby.gov.py/index.php?modulo=estatica&seleccion=obra&pagina=turbina
(2006).
10. Cárdenas G y González J., **“Turbinas de gas”**.
www.monografias.com/trabajos/turbinagas/turbinagas.shtml (1996).
11. INTEVEP **“Curso básico de combustión para ingenieros”**, Departamento de refinación, INTEVEP filial de PDVSA, Los Teques, Venezuela (2002).
12. Urdaneta R., **“Combustible gaseoso”**. Textos científicos.
<http://www.textoscientificos.com/energia/combustibles/gaseosos> (2006).
13. Hernández M., **“Cromatografía de gases”**. Wapedia.
http://wapedia.mobi/es/Cromatograf%C3%ADa_de_gases (2001).
14. Felder, R. y Rousseau, R. **“Principios elementales de los procesos químicos”**. Addison- Wesley, Wilmington, EEUU (1991).
15. Marcano D., Monografías de Química. **“Energía, entropía y dinámica química”**. Editorial Miró (1992).

16. Corpas, A y Aguirre, A., **“Autodidáctica océano color”**.Editorial Océano (1998).

17. Andrés G. Martínez., **“Medidas de dispersión”**.
<http://www.spssfree.com/spss/analisis2.html> (2007).

18. Gas Processors Suppliers Association. **“GPSA Engineering Data Book”**. 12th Edition (2004).

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y
ASCENSO**

TITULO	EVALUACIÓN DEL SISTEMA GAS COMBUSTIBLE PARA EL SUMISNISTRO DE GAS A LAS TURBO- BOMBAS DE PLANTA RESOR DEL COMPLEJO JUSEPÍN-PDVSA, EN EL ESTADO MONAGAS
SUBTITULO	

AUTOR (ES):

APELLIDOS Y NOMBRES	CDIGO CULAC / E MAIL
Ramírez C., Dayana C.	CVLAC: 17.223.366 E_MAIL: dayana_ramirez@hotmail.com

PALÁBRAS O FRASES CLAVES:

Evaluación

Gas

Turbo-Bomba

RESOR

Complejo Jusepín

Sistema gas combustible

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO

ÁREA	SUBÁREA
Ingeniería y Ciencias Aplicadas	INGENIERÍA QUÍMICA

RESUMEN (ABSTRACT):

El desarrollo del presente trabajo se basó en llevar a cabo la evaluación del sistema gas combustible de la planta RESOR, con la finalidad de poder indagar sobre los altos índices de paradas de los calentadores E-1520/E-1521, aspecto que perjudica el funcionamiento óptimo del sistema gas combustible. Todo esto realizando balances de masa y energía a las condiciones de diseño y operación, por medio del simulador de proceso Hysys, el cual arrojó valores de flujo másico, presión, temperatura y propiedades importantes del fluido de cada corriente de entrada y salida de cada uno de los equipos que componen el sistema gas combustible, dando como resultado que el sistema actualmente está trabajando por debajo de las condiciones de diseño. Además se estimó el poder calorífico del gas que sale de los calentadores, obteniéndose que el poder calorífico bruto es de 1.086,86 Btu/pcs y el poder calorífico neto de 982,49 Btu/pcs, esta pequeña diferencia entre el bruto y el neto indica que el combustible es eficiente para llevar a cabo la combustión por ser seco. Por otro lado se analizaron las causas por las cuales los calentadores presentan paradas, llegando a la conclusión de que se deben activar los lazos de control de las válvulas de los calentadores ya que se encuentran todas actualmente en posición manual y por último se propusieron opciones para el acondicionamiento del gas natural cuando algunos de los calentadores presente parada, siendo la más adecuada, la de buscar otra alternativa de suministro de gas combustible desde otra planta, que sea de igual forma propiedad de Petróleos de Venezuela, S.A.

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

CONTRIBUIDORES:

APELLIDOS Y NOMBRES	ROL / CÓDIGO CVLAC / E_MAIL				
HERNAN RAVEN	ROL	CA	AS X	TU	JU
	CVLAC:	4.136.007			
	E_MAIL	hravenc@hotmail.com			
	E_MAIL				
LUIS JIMÉNEZ	ROL	CA	AS	TU X	JU
	CVLAC:				
	E_MAIL				
	E_MAIL				
ARTURO RODULFO	ROL	CA	AS	TU	JU X
	CVLAC:	8.300.709			
	E_MAIL	rodulfo99@hotmail.com			
	E_MAIL				
RAÚL MIRANDA	ROL	CA	AS	TU	JU X
	CVLAC:	14.212.097			
	E_MAIL	rmiranda.udo@gmail.com			
	E_MAIL				

FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN:

AÑO	MES	DIA
2010	03	24

LENGUAJE:SPA

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

ARCHIVO (S):

NOMBRE DE ARCHIVO	TIPO MIME
TESIS. Sistema gas combustible.doc	Aplication / msword

CARACTERES EN LOS NOMBRES DE LOS ARCHIVOS: A B C D E F G H I J K
L M N O P Q R S T U V W X Y Z. a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v w x y z. 0
1 2 3 4 5 6 7 8 9.

ALCANCE

ESPACIAL: _____ (OPCIONAL)

TEMPORAL: _____ (OPCIONAL)

TÍTULO O GRADO ASOCIADO CON EL TRABAJO:

Ingeniero Químico

NIVEL ASOCIADO CON EL TRABAJO:

Pre – Grado

ÁREA DE ESTUDIO:

Departamento de Ingeniería Química

INSTITUCIÓN:

Universidad de Oriente – Núcleo de Anzoátegui

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

DERECHOS:

De acuerdo con el artículo 41 del reglamento de trabajos de grado de la Universidad de Oriente: “Los trabajos de grado son de la exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente, y solo podrán ser utilizados a otros fines, con el consentimiento de Consejo de Núcleo respectivo, quien deberá participar al Consejo Universitario, para su autorización”

Ramírez C., Dayana C.

AUTOR

Hernán R. Raven

TUTOR

Arturo Rodulfo

JURADO

Raúl Miranda

JURADO

Yraima Salas

POR LA SUBCOMISIÓN DE TESIS