

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUIMICA**



**“EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO
DE LA REFINERÍA PUERTO LA CRUZ”**

**Presentado por:
María de los Ángeles Pérez Amaricua**

**Trabajo de grado presentado ante la Universidad de Oriente
como requisito parcial para optar al título de:
INGENIERO QUIMICO**

Puerto La Cruz, Julio de 2013

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



**“EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO
DE LA REFINERÍA PUERTO LA CRUZ”**

ASESORES:

Prof. Yraima Salas
Tutor Académico

Ing. Giovanni Romero
Tutor Industrial

Puerto La Cruz, Julio de 2013

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



**“EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO
DE LA REFINERÍA PUERTO LA CRUZ”**

JURADO

**Prof. Yraima Salas
Tutor Académico**

**Prof. Alexis Cova
Jurado Principal**

**Prof. Fidelina Moncada
Jurado Principal**

Puerto La Cruz, Julio de 2013

RESOLUCIÓN

**De acuerdo con el artículo 41 del Reglamento de Trabajo de Grado de la
Universidad de Oriente:**

"Los Trabajos de Grado son propiedad exclusiva de la Universidad de Oriente, y solo podrán ser utilizados para otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien deberá participarlo previamente al Consejo Universitario, para su autorización".

DEDICATORIA

A Dios por su gran amor.

A mis padres Lorenzo Pérez y Elsa Amaricua. Sabiendo que no existirá una forma de agradecer una vida de sacrificio y esfuerzo, quiero que sientan que el objetivo logrado también es de ustedes y que la fuerza que me ayudo a conseguirlo fue su apoyo.

A mis hermanos Lorden, Lofran, Lorelsi y Adriana gracias por su confianza y respeto los quiero espero que esta meta les sirva como guía, ustedes si pueden.

Con amor y respeto.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por sobre todas las cosas por darme las fuerzas y sabiduría necesaria.

A mis padres por todo el apoyo brindado por haber estado ahí siempre. Lo logramos

A los profesores del departamento de Ingeniería Química, por haberme brindado sus conocimientos y su tiempo, mis conocimientos son gracias a ustedes.

A todas a mis amigos y compañeros de estudios con los que compartí toda la carrera, algunos al principio otros al final, estableciendo una gran amistad: Dora Ortiz, María Campos, Luis Tome, Rosangel Cabrera, Aligsa Ochoa, Marlyn, Ortegas, José Larez, Jesús Rodríguez, Ronny Fariñas, Angelys Gonzales, Marian Maitan y muchas mas.

A mis compañeros de pasantías por hacerme pasar ratos agradables.

A los operadores de la Refinería, al señor Daniel Carriòn por su ayuda.

A mi tutora académica Ing. Yraima Salas, gracias por ser mi tutora.

A la empresa Petróleos de Venezuela S.A., PDVSA, quien fue la que me permitió realizar mi tesis de grado en una de sus áreas, la Refinería Puerto

La Cruz donde adquirí experiencia profesional, lo que me fortalece como Ingeniero Químico.

A mi tutor Industrial Ing. Giovanni Romero y al Ing. Eduardo Sánchez tutor simbólico, agradezco sus ayudas y colaboración en la realización de mi tesis.

A mis tíos Pérez y tíos Amaricua gracias por su confianza.

A mi maestra-madrina durante los primeros 3 años de primaria Luisa Ávila por su inmenso amor y consejos.

A mi gran amiga-hermana simbólica-compañera de residencia Luisana Cermeño por sopórtame durante mi infancia, adolescencia y durante mi carrera, etc, etc, etc.

A la Sra. Alicia y al Sr. Pedro por abrir la puerta en su casa durante mi carrera.

A todos y cada una de las personas que colaboraron en la realización de esta tesis, muchas gracias.

TABLA DE CONTENIDO

RESOLUCIÓN	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTOS	vi
TABLA DE CONTENIDO	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
ÍNDICE DE TABLAS	xiv
INTRODUCCIÓN	xvi
RESUMEN	xviii
CAPÍTULO I: EL PROBLEMA	19
1.1 Presentación de la empresa	19
1.2 Planteamiento del problema	22
1.3 Objetivos	24
1.3.1 Objetivo general	24
1.3.2 Objetivos específicos	24
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	25
2.1 Antecedentes	25
2.2 Descripción del proceso del sistema de generación de aire comprimido	27
2.3 Aire comprimido	28
2.4 Elementos principales de un sistema de aire comprimido	29
2.4.1 Filtro de succión	29
2.4.2 Compresores	29
2.4.2.1 Compresores Centrífugo	30
2.4.2.2 Compresor de Tornillo	31
2.4.3 Secadores de aire	31

2.4.3.1 Por enfriamiento	32
2.4.3.2 Por absorción	33
2.4.3.3 Por adsorción	33
2.4.4 Receptores de aire.....	35
2.5 Válvula.....	35
2.6 Tipos de válvulas.....	35
2.6.1 Servicios de corte y pasos	35
2.6.2 Servicio de estrangulación.....	36
2.6.3 Prevención de flujo inverso.....	36
2.6.4 Neumáticas.....	37
2.6.5 Dispositivos para desahogo de presión	38
2.7 Tipos de diagramas de procesos	39
2.7.1 Diagrama de flujo de proceso.	39
2.7.2 Diagrama de tubería e instrumentación.	40
2.7.3 DTI del proceso.	40
2.7.4 DTI de servicios industriales y sistemas de efluentes.....	40
2.8 Balance de materia	40
2.8.1 Ecuación general de balance de materia.....	41
2.9 Simulador de procesos.....	42
2.9.1 Simulador de proceso Pipephase	42
CAPÍTULO III: DESARROLLO DEL TRABAJO	45
3.1 Diagnostico de las condiciones actuales de los equipos que conforman el sistema de generación de aire comprimido ubicado en la planta de servicios industriales de la Refinería Puerto la Cruz.....	45
3.1.1 Diagnostico de los compresores de aire GB-3/4 A/5/6/7/8 y 9.....	47
3.1.1.1 Comparación de la temperatura de salida de operación con la de diseño del compresor GB-3.....	52
3.1.2 Diagnostico de la unidad de secado D-5501	55

3.1.3 Diagnostico de los tambores receptores de aire AR- 8/9/12 y V-5501 A/B.....	57
3.2 Elaboracion del diagrama de flujo de proceso (PDF) general de distribución de aire comprimido de la Refinería Puerto La Cruz.....	59
3.2.1 Levantamiento de información de campo del sistema de aire comprimido de las unidades de destilación, conversión y estabilizadora de gasolina (U-051) y servicios industriales	59
3.2.2 Elaboración de los diagramas de flujo de procesos (DFP) del sistema de aire comprimido de las unidades de destilación, conversión, estabilizadora de gasolina (U-051) y servicios industriales	60
3.3 Cálculo del consumo de aire comprimido de las unidades de destilación, conversión, estabilizadora de gasolina (u-051) y servicios industriales de la Refinería Puerto La Cruz	60
3.4 Determinación por medio de simulación de procesos la colocación de los tambores receptores AR-8 y AR-9 a la entrada del cabezal de distribución de aire comprimido hacia las unidades de hidropcesos ...	64
3.4.1 Elaboración de la simulación	65
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	82
4.1 Diagnostico del estado actual de los equipos que conforman el sistema de generación de aire comprimido ubicado en servicios industriales de la Refinería Puerto La Cruz	82
4.2 Elaboración del diagrama de flujo de proceso general de distribución de aire comprimido de la Refinería Puerto La Cruz.....	93
4.3 Cálculo del consumo de aire comprimido de las unidades de destilación, conversión, estabilizadora de gasolina (u-051) y servicios industriales de la Refinería Puerto La Cruz	94

4.4 Determinación por medio de simulación de procesos la colocación de los tambores receptores AR-8 y AR-9 a la entrada del cabezal de distribución de aire comprimido hacia las unidades de hidrosistemas ...	96
4.5 Conclusiones.....	99
4.6 Recomendaciones.....	100
BIBLIOGRAFÍA.....	102
METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:	1

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Ubicación de Refinería Puerto La Cruz.....	22
Figura 2.1. Compresor centrífugo(Guillen, 1993).....	31
Figura 2.2. Secador por enfriamiento (Nayyar, 2006).	32
Figura 2.3. Secador por absorción (Nayyar, 2006).	33
Figura 2.4. Secador por adsorción (Nayyar,2006).	34
Figura 2.5. Actuador de una Válvula de Control (Perry,1992)	37
Figura 2.6 Tipos de nodos (capitulo II.pdf).....	43
Figura 2.7 Interconexión entre una fuente y un sumidero (capitulo II.pdf). ...	44
Figura 3.1 Equipos del sistema de generación de aire comprimido.	46
Figura 3.2 Condición actual del panel de la unidad compresora GB-3	55
Figura 3.3 Condición de la unidad secadora D-5501	55
Figura 3.4 Condiciones de la unidad de secado	57
Figura 3.5 Condiciones de los tambores receptores AR-8/9 /12 y V-5501 A	58
Figura 3.6 sistema de generación y distribución de aire a las diferentes unidades	61
Figura 3.7 Software pipephase	66
Figura 3.8 Software Pipephase, selección de tipo de simulación.	66
Figura 3.9 Software Pipephase, selección de tipo de fluido.....	67
Figura 3.10 Software Pipephase, selección de número de fases.	68
Figura 3.11 Software Pipephase, selección del sistema de unidades.	68
Figura 3.12 Software Pipephase, selección de los componentes con los que se va a trabajar.	69
Figura 3.13 Software Pipephase, descripción del proyecto a simular.....	69
Figura 3.14 Software Pipephase, características generales de la tubería. ...	70

Figura 3.15 Software Pipephase, selección del modelo termodinámico.	71
Figura 3.16 Software Pipephase, armado de la red.....	72
Figura 3.17 Sistema de generación de aire comprimido.....	73
Figura 3.18 Software pipephase, datos de la fuente.....	75
Figura 3.19 Software Pipephase, elementos de la red.	75
Figura 3.20 Software Pipephase, simulación de la red.....	76
Figura 3.21 Software Pipephase, resultado y chequeo de la red.....	76
Figura 4.1. Gráfica comparativa de la temperatura del aire comprimido a la salida del compresor GB-3.	85
Figura 4.2. Gráfica comparativa de la presión del aire comprimido a la salida del compresor GB-3.	86
Figura 4.3. Gráfica comparativa de la temperatura del aire comprimido a la salida del compresor GB-4A.	87
Figura 4.4. Gráfica comparativa de la presión del aire comprimido a la salida del compresor GB-4A.	88
Figura 4.5. Gráfica comparativa de la temperatura del aire comprimido a la salida del compresor GB-6.....	89
Figura 4.6. Gráfica comparativa de la presión del aire comprimido a la salida del compresor GB-6.	90
Figura 4.7 Gráfica comparativa de la temperatura del aire comprimido a la salida del compresor GB-9.	91
Figura 4.8 Gráfica comparativa de la presión del aire comprimido a la salida del compresor GB-9.	92
Figura 4.9. Consumo de aire de instrumento de cada una de las unidades.	95

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1 Estado actual de los principales equipos de generación de aire comprimido.	46
Tabla 3.2 Características de diseño de los compresores.	49
Tabla 3.2 característica de diseño de los compresores (continuación).....	50
Tabla 3.3 Inspección de la instrumentación de los compresores.....	50
Tabla 3.3 Inspección de la instrumentación de los compresores (continuación).	51
Tabla 3.4 Promedio, desviación estándar y desviación de los parámetros de operación de los compresores en servicio.....	54
Tabla 3.5 Datos de diseño de la unidad de secado D-5501.	56
Tabla 3.6 Datos de diseño de los tambores acumuladores AR-8/9 y 12	58
Tabla 3.7 Tipos de posicionadores según cada válvula con su diámetro correspondiente.	62
Tabla 3.7 Tipos de posicionadores según cada válvula con su diámetro correspondiente (continuación).....	63
Tabla 3.8 Datos principales para la simulación.....	65
Tabla 3.9. Tipo de accesorios con su diámetro y su respectiva longitud equivalente, longitud de tubería y la longitud total.	78
Tabla 3.9. Tipo de accesorios con su diámetro y su respectiva longitud equivalente, longitud de tubería y la longitud total (continuación).....	78
Tabla 3.10 Comparación de la caída de presión recomendada (de acuerdo con la distancia entre entrada- salida) con la caída de presión estimada por el simulador.....	80
Tabla 4.1. Condiciones actuales de los equipos principales del sistema de generación de aire.	82

Tabla 4.1. Condiciones actuales de los equipos principales del sistema de generación de aire (continuación).....	83
Tabla 4.2. Consumo de aire de instrumento de las unidades de destilación, conversión, estabilizadora de gasolina (U-051) y servicios industriales de la Refinería Puerto La Cruz.	95
Tabla 4.3 Comparación de la caída de presión recomendada (de acuerdo con la distancia entre entrada- salida) con la caída de presión estimada por el simulador.	97
Tabla 4.4. Velocidad máxima de aire comprimido arrojada por el simulador, comparada con la velocidad recomendada inferior a 8 m/s (26,2467 pie/s).....	98

INTRODUCCIÓN

El aire comprimido es una de las formas de energía más antiguas que conoce el hombre y aprovecha para reforzar sus recursos físicos. El resultado de aumentar la presión al aire atmosférico en un proceso de compresión, se conoce como aire comprimido. Este último contiene cierta cantidad de humedad, que puede ser mayor o menor según el país, la localidad, las condiciones climatológicas y las estaciones del año. La capacidad del aire para retener vapor de agua, está relacionada con la temperatura y la presión.

En la Refinería Puerto La Cruz el sistema de aire comprimido es esencial para el funcionamiento de aparatos neumáticos como por ejemplo las válvulas de control neumáticas encargadas de regular el proceso, cuya alimentación continua y adecuada de aire garantizará un exitoso y eficiente desempeño de los procesos involucrados en la producción, cualquier imprevisto o falla en éste produciría parada de planta; en consecuencia sea han reportado problemas en cuanto a las especificaciones (humedad del aire) y el déficit en cuanto a la cantidad de aire comprimido que se suministra hacia las unidades de hidropcesos, se realizara la evaluación de la factibilidad de la colocación de los tambores receptores AR-8 y AR-9, antes de la entrada al cabezal de aire comprimido que va hacia las unidades hidropcesos con el fin de mejorar la calidad de aire comprimido; para la realización de este objetivo se obtendrán las característica de los tambores de las hojas de datos y mediante visitas se levantara el isométrico se procederá ver la factibilidad por medio de simulación del proceso utilizando el programa de simulación Pipephase.

Por tales motivos es de suma importancia realizar periódicamente un diagnóstico del estado actual de los equipos que conforman el sistema de generación de aire comprimido ubicado en la unidad servicio industriales, la cual permitirá conocer el estado de operación de estos. Se realizara la actualización los balance de masa del el sistema de aire comprimido de las unidades de destilación, conversión, estabilizadora de gasolina (U-051) y servicios industriales por medio de visitas a campo se contarán los posicionadores de las diferentes unidades para de esta manera hacer un estimado del consumo (balance teórico) de dichas unidades.

En la Refinería resulta un poco difícil identificar los pasos y los flujos de los proceso del sistema de aire comprimido, por tal motivo se realizara el levantamiento de campo de los diagramas de flujo de proceso (DFP) del sistema de aire comprimido facilitando trabajos de ingeniería en dicho sistema y labores que comprenden desde estrategias operacionales hasta la inducción de nuevo personal.

RESUMEN

Este trabajo consistió en la evaluación del sistema de aire de comprimido de la Refinería Puerto La Cruz, debido a que en la empresa se han reportado problemas de distintas índoles inherentes a dicho sistema, como lo son: algunos equipos fuera de servicio, existencia de humedad en el aire en las diferentes unidades, entre otros. En el desarrollo del proyecto se llevo a cabo primeramente el diagnóstico de los equipos que integran el sistema de generación de aire comprimido, durante esta etapa se evidenció que la mayoría de los equipos se encontraban operando con poca eficiencia y confiabilidad generando condensado en las unidades de destilación, conversión y estabilizadora de gasolina U-051. Luego, se realizó el levantamiento y actualización los diagramas de flujo de proceso (DFP) del sistema de aire comprimido de cada una de las unidades, estos cuentan con información referente al aire comprimido, según el manual PDVSA N° L-TP-1.1. Posteriormente se realizó una estimación del consumo de aire de instrumento a partir de los tipos de posicionadores basándose en la norma de PDVSA N° SCIP-IG-I-03-I, resultando que el consumo de aire de instrumento es de 66,4060 MSCFH y el consumo de aire de servicio es de 179,716 MSCFH, esto incluyendo el 50% del consumo de aire comprimido de las unidades de hidroprocesos. Finalmente, se realizó la evaluación de la colocación de los tambores receptores de aire comprimido AR-8 y AR-9 a la entrada del cabezal de distribución de aire comprimido hacia las unidades de hidroprocesos mediante el simulador de procesos pipephase 9.1, resultando que para la colocación de los tambores el diámetro del cabezal principal de distribución de aire comprimido no es el recomendado, saliéndose en ciertos tramos de las especificaciones de caída de presión y velocidades críticas.

CAPÍTULO I: EL PROBLEMA

1.1 Presentación de la empresa

Petróleos de Venezuela S.A. (PDVSA), creada en 1975, es la corporación estatal de la República Bolivariana de Venezuela que se encarga de la exploración, producción, manufactura, transporte y mercadeo de los hidrocarburos, actuando bajo los lineamientos de los Planes de Desarrollo Nacional y de acuerdo a las políticas, directrices, planes y estrategias para el sector de los hidrocarburos, dictadas por el Ministerio del Poder Popular para la Energía y Petróleo.

A partir de Enero de 1998 la corporación PDVSA Petróleo y Gas adopta su actual estructura organizativa, dividiéndose en tres grandes empresas funcionales de negocios: PDVSA Exploración y Producción, PDVSA Manufactura y Mercadeo y PDVSA Servicios; responsables de ejecutar la actividad operativa referente a los hidrocarburos. La división de Manufactura y Mercadeo está a cargo de las actividades de refinación de crudos, así como de la manufactura de productos y gas natural, su comercialización y suministro para el mercado nacional e internacional, encontrándose dentro de esta división la refinería Puerto La Cruz.

La Refinería Puerto la Cruz (RPLC), instalada en 1950 por la Compañía Golf and Sinclair, pertenece en la actualidad a la división de Manufactura y Mercadeo de la empresa venezolana PDVSA Petróleo y Gas. Se encuentra ubicada en la costa nor-oriental del país, al este de la ciudad de Puerto La Cruz, en el estado Anzoátegui. Presenta facilidades de acceso desde el mar Caribe y está conectada por oleoductos con los campos de producción de Oriente.

La capacidad nominal de RPLC para procesar 200 Mil Barriles por Día (MBPD) de crudo y está constituida por unidades de destilación atmosférica, unidades de conversión, unidades de hidroprocesos, unidades de tratamiento y recuperación de azufre, servicios industriales y sistemas de distribución.

Dentro de las unidades de proceso están:

- ♦ Unidades de destilación atmosférica DA-1, DA-2 y DA-3.
- ♦ Unidades de conversión:
 - Unidad de craqueo catalítico en lecho fluidizado (FCC)
 - Unidad de alquilación
- ♦ Unidades de hidroprocesos:
 - Unidad hidrotratadora de nafta
 - Unidad de reformación CCR
 - Sistema de mechorrio
 - Unidad de despojamiento de aguas agrias
 - Unidad de recuperación de azufre
 - Unidad de tratamiento de gas de cola clauspol / incineración
 - Sistema de recuperación de condensado
 - Sistema de gas combustible
 - Unidad de hidrotratamiento de diesel
 - Unidad de amina
 - Sistema de agua de enfriamiento
 - Sistema de gas inerte
- ♦ Unidades estabilizadoras de gasolina:
 - U-051 y U-052

Las Unidades de tratamiento y recuperación de azufre son:

- ♦ Unidad de tratamiento de amina o sistema de tratamiento de gases (STG).

- ♦ Unidad despojadora de aguas agrias (DAA).
- ♦ Unidad recuperadora de azufre (URA).

Los servicios industriales están compuestos por:

- ♦ Sistema de agua potable
- ♦ Sistema de agua de enfriamiento
- ♦ Sistema de agua suavizada
- ♦ Sistema de generación de vapor
- ♦ Sistema de aire comprimido
- ♦ Sistema de generación eléctrica
- ♦ Sistema de tratamiento de aguas servidas
- ♦ Sistema de tratamiento de efluentes de procesos

La Refinería Puerto La Cruz tiene como finalidades principales: la producción de gasolina de motor, kerosén, diesel, y residuales para suplir la demanda del mercado interno de la región sur y nor-oriental del país; la valorización de los productos excedentes en el mercado de exportación; y el manejo y distribución del 90% de la producción de crudos del oriente del país hacia los mercados de exportación y otras filiales.

Por su ubicación estratégica, ver figura 1.1, la Refinería Puerto La Cruz cumple tres roles principales:

- ✓ Colocación de los productos excedentes en el mercado de exportación.
- ✓ Manejo y distribución de la producción de crudos del Oriente del país hacia los mercados de exportación y a las otras filiales (cabotaje) por medio del terminal marino.
- ✓ Suplir la demanda del mercado interno de la región sur-oriental del país.



Figura 1.1 Ubicación de Refinería Puerto La Cruz.

Fuente: Libro de Refinería – PDVSA 2006.

1.2 Planteamiento del problema

La unidad de servicios industriales específicamente el sistema de aire comprimido tiene instalado siete (07) compresores: GB-3, GB-4A, GB-5, GB-6, GB-7, GB-8, GB-9 y dos portátiles cuyo funcionamiento es comprimir el aire del ambiente hasta 100 psig y 100 °F, la producción total de aire comprimido es distribuida a las plantas de conversión (FCC, ALQ, STG, Merox y NEA), las destiladoras (DA-1 y DA-2), estabilizadora de gasolina U-051 y servicios industriales (Calderas, STEP y Osmosis), unidades de Hidroprocesos y el área de MCyP. Adicionalmente se tiene el consumo de aire del Laboratorio y los Talleres de Mantenimiento (central eléctrico e instrumentación).

En la Refinería Puerto La Cruz el sistema de aire comprimido es esencial para el funcionamiento de aparatos neumáticos como por ejemplo las válvulas de control neumáticas encargadas de regular el proceso, cuya alimentación continua y adecuada de aire garantizará el exitoso y eficiente desempeño de los procesos involucrados en la producción, cualquier imprevisto o falla en éste produciría parada de planta; en consecuencia sea han reportado problemas en cuanto a las especificaciones (humedad del aire) y el déficit en cuanto a la cantidad de aire comprimido que se suministra hacia las unidades de hidropcesos. Se realizará la evaluación de la factibilidad de la colocación de los tambores receptores AR-8 y AR-9, antes de la entrada al cabezal de aire comprimido que va hacia las unidades hidropcesos con el fin de mejorar la calidad de aire comprimido; para la realización de este objetivo se obtendrán las característica de los tambores de las hojas de datos y mediante visitas se levantara el isométrico se procederá ver la factibilidad por medio de simulación del proceso utilizando el programa de simulación Pipephase.

Por tales motivos es de suma importancia realizar periódicamente un diagnóstico del estado actual de los equipos que conforman el sistema de generación de aire comprimido ubicado en la unidad servicio industriales, la cual permitirá conocer el estado de operación de estos. Se realizara la actualización los balance de masa del el sistema de aire comprimido de las unidades de destilación, conversión, estabilizadora de gasolina (U-051) y servicios industriales por medio de visitas a campo se contarán los posicionadores de las diferentes unidades para de esta manera hacer un estimado del consumo de aire comprimido de dichas unidades.

En la Refinería resulta un poco difícil identificar los pasos y los flujos de los proceso del sistema de aire comprimido, por tal motivo se realizara el levantamiento de campo de los diagramas de flujo de proceso (DFP) del sistema de aire comprimido facilitando trabajos de ingeniería en dicho

sistema y labores que comprenden desde estrategias operacionales hasta la inducción de nuevo personal.

Con el fin de cubrir el alcance de este proyecto, se requiere recopilar información referente al sistema de aire comprimido de la refinería, por medio de visitas a las unidades de destilación, conversión, estabilizadora de gasolina U-051 y servicios industriales, así como también un seguimiento y revisión, en planta, de las líneas de aire comprimido asociadas a dichas unidades.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Evaluar el sistema de aire comprimido de las unidades de destilación, conversión, estabilizadora de gasolina (U-051) y servicios industriales de La Refinería de Puerto la Cruz.

1.3.2 Objetivos específicos

1. Diagnosticar el estado actual del sistema de generación de aire comprimido de la unidad de servicios industriales de la Refinería Puerto La Cruz.
2. Elaborar el diagrama de flujo de proceso general de distribución de aire comprimido de la Refinería Puerto La Cruz.
3. Realizar el consumo de aire comprimido de las unidades de destilación, conversión, estabilizadora de gasolina (U-051) y servicios industriales de la Refinería Puerto La Cruz.
4. Evaluar por medio de simulación de procesos la colocación de los tambores receptores AR-8 y AR-9 a la entrada del cabezal de distribución de aire comprimido hacia las unidades de hidropcesos

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

Ortiz (2011), realizó una “evaluación del sistema de aire de instrumento y de planta del mejorador de crudo Petroanzoategui”, el desarrollo del proyecto se llevo a cabo primeramente con la descripción de operación de todo el sistema, luego se diagnosticaron los equipos que integran la unidad 64. Ciertas variables del sistema de aire de instrumento y de planta fueron determinadas y evaluadas con ayuda del simulador de procesos HYSYS V. 3.2, finalmente con los resultados obtenidos se propusieron alternativas para el mejor funcionamiento del sistema que fueron seleccionadas a partir de la respectiva matriz tecno-económica. Durante el diagnostico se inspeccionaron los equipos, se monitorearon y midieron varias variables, determinándose que la mayoría de los equipos se encontraban en condiciones deterioradas, a causa de la falta de mantenimiento, también se comprobó que el aire a la salida del secador presentaba un punto de rocío elevado con respecto al de diseño. Por medio de la simulación se logro determinar la potencia y las eficiencias del compresor, así como la razón de transferencia de calor y formación de condensado en los intercambiadores de calor. Se plantearon dos alternativas, la primera de estas fue la reparación del sistema de secado y la segunda fue la selección de un nuevo sistema. La segunda alternativa fue la que obtuvo mayor puntuación en la matriz tecno- económica, por lo tanto fue la seleccionada.

Moya (2010), realizó el estudio “Determinación de los límites de operación segura en los equipos del sistema de generación de aire comprimido de la unidad de servicios industriales de la refinería San Roque”. Para la realización de este estudio se realizó una evaluación a través de

observación directa, comparación del funcionamiento del sistema con la información bibliográfica, simulación del sistema y entrevistas no estructuradas, a partir de la cual se detectaron fallas como contaminación de aceite en el aire de instrumento, deficiencias en el drenaje que poseen los equipos y alta humedad del aire de instrumento con presencia de condensado aguas abajo del sistema.

De acuerdo a esta evaluación, se propuso la instalación de un sistema de filtrado, mantenimiento y revisión de los equipos principales, así como la reactivación del secador auxiliar, para garantizar un aire de calidad libre de humedad y aceite, para un eficiente funcionamiento de los equipos que conforman el sistema de aire comprimido.

Hernández (2010), realizó el estudio “Diseño de un sistema de secado de aire comprimido del separador de cuarta etapa de la unidad FCC”; en el mencionado estudio determinó los niveles y concentraciones máximas (aceite, agua, sólidos) que debe poseer el aire comprimido que alimentará al proyecto RECA (Reducción de emisiones de catalizador a la atmósfera), dichas características se establecieron según la norma ISO 8573.1, escogiéndose un arreglo 1:2:1 (aceite, agua, sólidos) a partir de la norma antes mencionada. Para llevar a cabo este estudio, se realizó un balance de masa para determinar el flujo y caudal a la entrada del cabezal de aire y a la salida de la unidad de secado, además se definieron las condiciones de diseño mecánico de temperatura y presión, basado en las normas PDVSA, para realizar el estudio hidráulico de la unidad de secado y así obtener la caída de presión conveniente en dicha unidad; proponiendo 3 sistemas de secado de los cuales seleccionó un sistema de deshidratación con secador desecante regenerado por calentamiento interno.

Arvelaez (2008) realizó el estudio “Evaluación al sistema de aire comprimido ubicado en el Terminal Marino de la Refinería Puerto La Cruz”, para ello se realizó un diseño de investigación de campo, tipo diagnóstico y

de carácter evaluativo. A través de la observación directa, comparación del funcionamiento del sistema con la información bibliográfica y entrevistas no estructuradas, se detectaron fallas tales como el drenaje deficiente que posee el secador y la falta de drenaje en los acumuladores entre otras, las cuales causan la acumulación de condensado que al mezclarse con el lubricante forma una emulsión que daña los componentes internos de los winches instalados en los muelles 1,2 y 3 del mencionado Terminal.

Tovar, (2006) realizó un estudio del análisis energético del sistema de generación y distribución de aire comprimido de una cervecería. Determinó el consumo nominal de aire por área de producción lo que suministro un indicativo del consumo teórico de aire dependiendo del volumen de bebidas procesadas, luego se diseñaron e instalaron placas orificios, que permitió tener registro del consumo de aire por áreas y así tener un índice real del gasto de aire por volumen de bebidas procesadas, lo que al compararlo con el ideal muestra la deficiencia o desperdicio de esta energía por área de producción.

El siguiente proyecto que se propone se asemeja de los antecedentes expuesto en que han realizado balance de masa, diagramas de flujo de procesos de la generación de aire y estudio del estado actual de los equipos; la diferencia de este, esta en que se evaluara por medio de simulación de procesos la colocación de los tambores receptores AR-8 y AR-9 a la entrada del cabezal de distribución de aire comprimido hacia las unidades de hidroprocesos.

2.2 Descripción del proceso del sistema de generación de aire comprimido

La unidad de servicios industriales de Refinería Puerto la Cruz, tiene instalado nueve (09) compresores: GB-3, GB-4A, GB-5, GB-6, GB-7, GB-8, GB-9 y dos portátiles. La filosofía operacional consiste en mantener en

condiciones de operación normal cinco (05) de ellos, específicamente al GB-3/5/6 y el GB-4A/9 modulando para mantener la producción actual de aire comprimido, la cual se estima en 285,102 MSCFH, el resto como respaldo, no obstante, los compresores GB-5,GB-7 y GB-8 están fuera de servicio.

A la descarga de los compresores, el fluido es enviado a través de una línea de 6" a los tambores acumuladores V-5501A y V-5501B los cuales están provistos de trampas de condensados y tienen una capacidad de 2190 ft³ cada uno. Posterior a ello, el aire comprimido pasa a través del paquete secador de aire Ultrapac HED 6000 el cual consta de un pre y post - filtro con el objeto de eliminar partículas de suciedad y aceites así como humedad, y finalmente se distribuye hacia las diferentes plantas a través del cabezal que se extiende hasta los límites de batería de todas las Unidades de Refinería.

La producción total de aire comprimido es distribuida a las plantas de conversión (FCC, ALQ, STG, Merox y NEA), las destiladoras (DA-1, DA-2 y 051), servicios industriales (Calderas, STEP y Osmosis), unidades de Hidroprocesos y el área de MCyP. Adicionalmente se tiene el consumo de aire del Laboratorio y los Talleres de Mantenimiento (central, eléctrico e instrumentación).

2.3 Aire comprimido

El resultado de aumentar la presión al aire atmosférico en un proceso de compresión, se conoce como aire comprimido. Este último contiene cierta cantidad de humedad, que puede ser mayor o menor según el país, la localidad, las condiciones climatológicas y las estaciones del año. La capacidad del aire para retener vapor de agua, está relacionada con la temperatura y la presión (Royce, 1997).

El aire atmosférico siempre contiene humedad en forma de vapor de agua, dependiendo de la temperatura: a mayor temperatura, mayor capacidad de retener vapor de agua y viceversa. Otro punto de interés es

que esta capacidad para contener agua disminuye con la presión. Cuando entra aire atmosférico al compresor su capacidad para contener agua disminuye al ser comprimido, pero aumenta a causa de la subida de temperatura resultante de la energía empleada para reducir su volumen (Medina, 2010).

2.4 Elementos principales de un sistema de aire comprimido

Un sistema de aire comprimido está constituido por una serie de equipos y accesorios capaces de proporcionar el caudal necesario de aire bajo las condiciones de presión y temperatura, así como de calidad requeridas de acuerdo a las necesidades de cada industria.

Los elementos que constituyen un sistema de aire comprimido son: filtro de succión, compresores, secadores y tanques de almacenamiento. Los cuales se describen en las siguientes secciones.

2.4.1 Filtro de succión

Para asegurar el buen funcionamiento del compresor, este deberá llevar siempre un filtro de succión eficaz. Este dispositivo es utilizado para eliminar las impurezas del aire antes de la compresión con el fin de proteger al compresor. De otra forma, los abrasivos que hay en el aire llegarían a la unidad y podrían causar desgaste excesivo en los cilindros, anillos, pistón, cojinetes entre otros. Un buen filtro deberá cumplir los siguientes requisitos: gran eficacia de separación de impurezas, buena capacidad de acumulación, baja resistencia al flujo de aire, construcción robusta entre otros (Atlas Copco, 1990).

2.4.2 Compresores

Un compresor no es más que una máquina que eleva la presión de un gas, un vapor o una mezcla de gases y vapores. La presión del fluido se eleva

reduciendo el volumen específico del mismo durante su paso a través del compresor. Comparados con turbo suplantes y ventiladores centrífugo o de circulación axial, en cuanto a la presión de salida, los compresores se clasifican generalmente como maquinas de alta presión, mientras que los ventiladores y suplantes se consideran de baja presión.

Los compresores se emplean para aumentar la presión de una gran variedad de gases y vapores para un gran número de aplicaciones. Un caso común es el compresor de aire, que suministra aire a elevada presión para transporte, pintura, inflamamiento de neumáticos, limpieza, herramientas neumáticas (Proyectosfindecarrera, 2009)

El elemento central de una instalación de aire comprimido es el compresor. En el presente trabajo se hará referencia a los compresores centrífugos y de tornillo, por ser estos los existentes en el sistema de aire de instrumento y aire de servicio de la Refinería Puerto La Cruz.

2.4.2.1 Compresores Centrífugo

Los compresores centrífugos generan un cabezal de descarga por desarrollar altas velocidades del gas en un impulsor centrífugo (ver figura 2.1), convirtiendo una porción de esta velocidad en presión en el impulsor y completando la conversión en el pasaje del difusor, este modo de operación clasifica el equipo como un compresor “dinámico”. Los compresores centrífugos desarrollan la más alta velocidad en un plano perpendicular al eje, mientras que los compresores y ventiladores axiales, los cuales también pueden operar según el principio dinámico, desarrollan velocidad en la misma dirección del eje.

La cantidad de energía que un compresor es capaz de impartir a cada unidad de masa de gas es limitada por la velocidad periférica de los alabes del impulsor. De esta manera el compresor centrífugo tiene un máximo

cabezal de capacidad, siendo limitado por la velocidad giratoria del rotor, la cual a su vez es limitada por el esfuerzo permisible del impulsor.

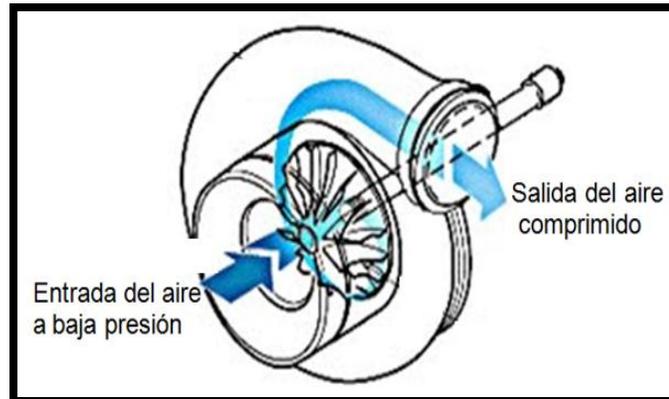


Figura 2.1. Compresor centrífugo(Guillen, 1993).

2.4.2.2 Compresor de Tornillo

El compresor de tornillo es un compresor de desplazamiento con pistones en un formato de tornillo. Las piezas principales del elemento de compresión de tornillo comprenden rotores machos y hembras que se mueven unos hacia otros mientras se reduce el volumen entre ellos y el alojamiento. La relación de presión de un tornillo depende de la longitud y perfil de dicho tornillo y de la forma del puerto de descarga.

El tornillo no está equipado con ninguna válvula y no existen fuerzas mecánicas para crear ningún desequilibrio. Por tanto, puede trabajar a altas velocidades de eje y combinar un gran caudal con unas dimensiones exteriores reducidas (Greene, 1992).

2.4.3 Secadores de aire

El aire comprimido contiene contaminantes que son perjudiciales para los instrumentos, como lo son el agua, los óxidos, el polvo y el aceite. Las partículas sólidas y el aceite pueden ser removidas por medio de la filtración.

Pero el agua usualmente permanece en forma de vapor, en consecuencia, es necesario reducirlo a la mínima cantidad posible por medio del uso de los secadores. Estos se utilizan para secar el aire comprimido bien sea mediante la condensación, por medio de agentes químicos o también con tamices moleculares.

Existen tres tipos de secadores de aire los cuales se describen a continuación:

2.4.3.1 Por enfriamiento

El principio que utiliza este tipo de secador es la condensación, es decir, la transformación del vapor a líquido. Esto ocurre cuando se baja la temperatura de la corriente de aire comprimido en un intercambiador de calor, donde se produce un punto de rocío más bajo. Este punto de rocío inferior reduce la capacidad del aire de retener la humedad. El proceso ocurre cuando el vapor de agua contenido en el aire comprimido se condensa en el serpentín, y luego drena por gravedad fuera de la unidad. El medio de enfriamiento puede ser agua, salmuera, o un refrigerante (Nayyar, 2006). El diagrama de un secador de aire refrigerado se muestra en la Figura. 2.2.

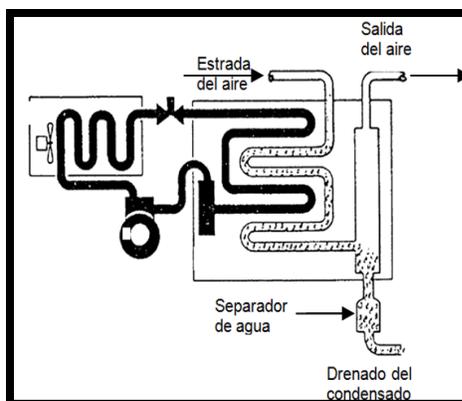


Figura 2.2. Secador por enfriamiento (Nayyar, 2006).

2.4.3.2 Por absorción

Los secadores por absorción o delicuescentes usan un medio sólido o líquido como material secante. El proceso de secado ocurre cuando la corriente de aire entra en contacto con el secante (que puede ser sales de sodio, calcio o potasio), este se disuelve en el agua reaccionando químicamente con ella para formar una mezcla que se va drenando. Debido a que ocurre una reacción química en el secado, con el tiempo el material secante se va consumiendo y debe ser sustituido. La ventaja de este tipo de secador es que no requiere de energía externa para su funcionamiento. Un secador por absorción se ilustra en la Figura 2.3 (Nayyar, 2006).

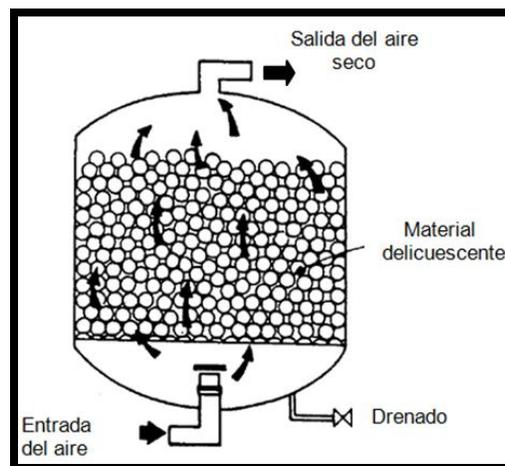


Figura 2.3. Secador por absorción (Nayyar, 2006).

2.4.3.3 Por adsorción

Los secadores por adsorción (ver Figura 2.4), también conocido como secadores desecantes, usan un material poroso no consumible, que hace que el vapor de agua se condense en una película muy fina sobre la superficie del material. Este material se llama desecante. No hay interacción química, y el proceso de adsorción es reversible. En los secadores de

adsorción se producen puntos de rocíos de $-100\text{ }^{\circ}\text{F}$ ($-73\text{ }^{\circ}\text{C}$). (Nayyar, 2006). Estos secadores consisten en dos torres llenas con químicos, tales como: gel de sílice, activado de alúmina, bronce silerizado o tamiz molecular, los cuales absorben y atraen las moléculas de agua en su superficie. En operación el aire comprimido es secado en una de las dos torres por un intervalo de tiempo programado, luego la función de secado es cambiada a la otra torre mientras la primera torre está siendo regenerada (Elliot, 1999).

Existen dos métodos de secado por adsorción: con calor y sin calor, que se diferencian, en cuanto a la forma como se regenera el desecante. En el primer método una vez concluido el secado del aire el material desecante es sometido a calentamiento y cuando la temperatura supera los 250°F (121°C) el desecante libera la humedad recuperando su capacidad de secado. El segundo método utiliza, aproximadamente el 15% de aire ya seco, el cual se hace circular por la torre donde terminó el secado para extraer del material la humedad, mientras que la otra está en funcionamiento. La regeneración devuelve al desecante su potencial original para adsorber humedad.(Elliot,1999). Los secadores por adsorción con regeneración sin calor son los existentes en la unidad de estudio.

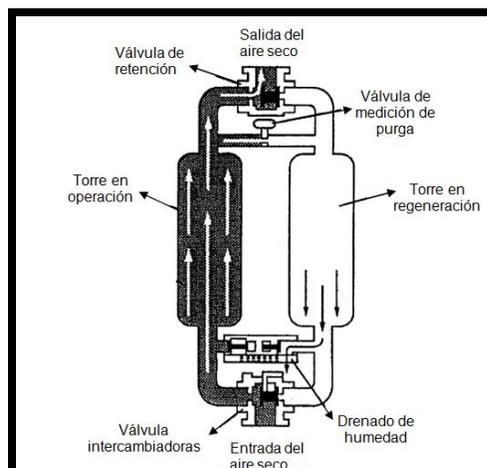


Figura 2.4. Secador por adsorción (Nayyar,2006).

2.4.4 Receptores de aire

Son depósitos por lo general cilíndricos, de chapa de acero provisto de diversos accesorios, tales como: válvula de seguridad y una llave de purga para evacuar los condensados. Cuando manejan grandes caudales suelen estar después del post-enfriador en posición vertical (Guillen, 1993). Estos están diseñados para cumplir las siguientes funciones:

- ✓ Almacenar aire
- ✓ Igualar las variaciones de presión (pulsaciones)
- ✓ Recoger el condensado residual

2.5 Válvula

Una válvula se puede definir como un aparato mecánico con el cual se puede iniciar, detener o regular la circulación (paso) de líquidos o gases mediante una pieza movable que abre, cierra u obstruye en forma parcial uno o más orificios o conductos (Grene, 1995).

2.6 Tipos de válvulas

Los tipos de válvulas se pueden clasificar según la función que desempeñan:

2.6.1 Servicios de corte y pasos

Válvulas de compuerta: Resistencia mínima al fluido de la tubería. Se utiliza totalmente abierta o cerrada. Accionamiento poco frecuente.

Válvulas de macho: Cierre hermético. Deben estar abiertas o cerradas del todo.

Válvulas de bola: No hay obstrucción al flujo. Se utilizan para líquidos viscosos y pasta aguadas, cierre positivo. Se utilizan totalmente cerradas o abiertas (Grene, 1995)

2.6.2 Servicio de estrangulación

Válvulas de globo: Son para uso poco frecuente. Cierre positivo. El asiento suele estar paralelo con el sentido del flujo; produce resistencia y caídas de presión consideradas.

Válvulas de mariposa: Su uso principal es para cierre y estrangulación de grandes volúmenes de gases y líquidos a baja presión. Su diseño de disco abierto, rectilíneo, evita cualquier acumulación de sólidos; la caída de presión es muy pequeña.

Válvulas de diafragma: La válvula no requiere empaquetadura en el vástago, porque el diafragma aísla los mecanismos de actuación de los flujos. Cuando se abre la válvula, se mueve el diafragma fuera del conducto de flujo, y cuando está cerrada, el diafragma produce un asentamiento hermético contra una zona de sumidero en el fondo del cuerpo (Grene, 1995)

2.6.3 Prevención de flujo inverso

Válvulas de retención (check): Impiden el paso del flujo inverso en las tuberías. Son de funcionamiento automático y se mantienen abiertas por la presión del flujo que circula. El cierre se logra mediante el peso del mecanismo de retención o por la contrapresión cuando se invierte el flujo. (Grene, 1995)

2.6.4 Neumáticas

Válvulas de control: Son el regulador básico en cualquier tipo de proceso donde se manejen corrientes de fluidos. Un grupo principal de válvulas de control, es semejante a la válvula de globo. Se emplea un actuador en lugar de un volante para mover el vástago y el macho para abrir y cerrar la válvula. Las válvulas de control constan básicamente de dos partes que son: la parte motriz o actuador y el cuerpo.

1. Actuador: El actuador también llamado accionador o motor, puede ser neumático, eléctrico o hidráulico, pero los más utilizados son los dos primeros, por ser las más sencillas y de rápida actuaciones. Aproximadamente el 90% de las válvulas utilizadas en la industria son accionadas neumáticamente. Los actuadores neumáticos constan básicamente de un diafragma, un vástago y un resorte tal como se muestra en la figura 2.5. Lo que se busca en un actuador de tipo neumático es que cada valor de la presión recibida por la válvula corresponda una posición determinada del vástago. Teniendo en cuenta que la gama usual de presión es de 3 a 15 psig.

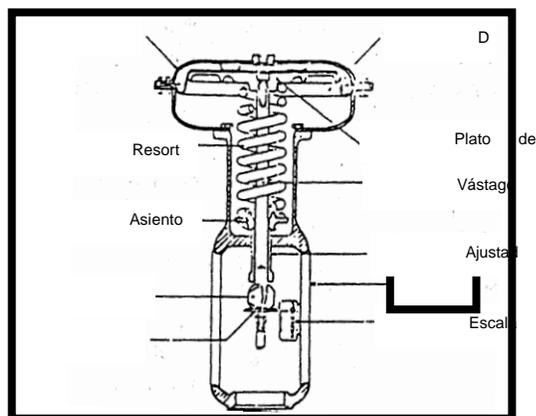


Figura 2.5. Actuador de una Válvula de Control (Perry,1992)

2. Cuerpo de la válvula: Éste esta provisto de un obturador o tapón, los asientos del mismo y una serie de accesorios. La unión entre la válvula y la tubería puede hacerse por medio de bridas soldadas o roscadas directamente a la misma. El tapón es el encargado de controlar la cantidad de fluido que pasa a través de la válvula y puede accionar en la dirección de su propio eje mediante un movimiento angular. Esta unido por medio de un vástago al actuador.

La seguridad de la instalación y del proceso son los factores que imponen una primera clasificación de tipos de válvulas de control: en caso de fallo del suministro de aire al diafragma, es conveniente a veces que quede interrumpido el flujo regulado; otras veces, al contrario, será preferible que la válvula quede completamente abierta. Se exige así, en el primer caso, una válvula que abra con aire (falla cerrada “FC” o acción inversa) y cierre automáticamente si se corta la presión. En el segundo caso, más corriente, la presión de aire cierra la válvula (falla abierta “FO” o acción directa) y ésta queda abierta sí falta totalmente la presión. Existen, pues, válvulas de acción inversa y de acción directa específicas y válvulas que, mediante el cambio de posición de algunos órganos, pueden trabajar de una u otra forma. (Perry, 1992)

2.6.5 Dispositivos para desahogo de presión

Válvula de seguridad: Son las válvulas utilizadas en servicio para vapores de calderas y suele tener las siguientes características: conexiones de entrada con bridas o extremos soldados, boquilla completa o semi-boquilla, resorte descubierto y palanca de elevación.

Válvula de desahogo: El desahogo se aplica a cualquier tipo de dispositivo para este fin, excepto discos de ruptura. En términos estrictos, se debe aplicar a una válvula diseñada para servicio con líquidos; casi todas son pequeñas y tienen roscas de tubo en las conexiones.

Válvula de desahogo de seguridad: La ASME define a estas válvulas, como un dispositivo de desahogo automático, accionado por presión, adecuado para uso como válvula de seguridad o válvula de desahogo, según su aplicación. La aplicación más grande de las válvulas de desahogo de seguridad es en los recipientes de presión sin fuego, para servicio con vapores o aire, en éste, es obligatoria la palanca de elevación (Perry, 1992)

2.7 Tipos de diagramas de procesos

Los tipos básicos de diagramas preparados son:

- ♦ Diagrama de Flujo de Proceso (DFP).
- ♦ Diagrama de Balance de Servicios Industriales (DSI).
- ♦ Diagrama de Sistemas de Efluentes (DSE).
- ♦ Diagrama de Tubería e Instrumentación (DTI)

2.7.1 Diagrama de flujo de proceso.

El diagrama de flujo de proceso es una representación esquemática del proceso, sus condiciones de operación normal y su control básico. Este también indica los efluentes (líquidos, gases o sólidos) emanados del proceso y su disposición. El diagrama incluye el balance de masa e información para el diseño y especificación de equipos, además sirve de guía para desarrollar el diagrama de tubería e instrumentación.

2.7.2 Diagrama de tubería e instrumentación.

El diagrama de tubería e instrumentación (DTI) muestra el proceso principal con los detalles mecánicos de equipos, tuberías y válvulas, así como también los lazos de control para garantizar una operación segura en la planta. Esta información sirve de guía para llevar a cabo las actividades de Ingeniería y construcción de la planta, por lo cual su preparación requiere de un alto grado de precisión y una completa información.

Los tipos de DTI preparados son:

- ♦ DTI del Proceso.
- ♦ DTI de Servicios Industriales y Sistemas de Efluentes.

2.7.3 DTI del proceso.

Este diagrama muestra todos los equipos, tuberías, instrumentos, sistemas de control y servicios necesarios para la operación segura de la planta.

2.7.4 DTI de servicios industriales y sistemas de efluentes.

El diagrama de servicios industriales y tratamientos de efluentes define los equipos, tubería, instrumentos, sistemas de control y otros elementos necesarios para el funcionamiento de los servicios industriales conjuntamente para las unidades de proceso, sistemas de tratamiento de efluentes y facilidades de disposición (PDVSA I-tp1-1, 2009)

2.8 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 familiarizado con los siguientes términos:

- Proceso. Es toda aquella acción, operación o tratamiento que causa 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 las 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 respecto al tiempo (Felder y Rousseau, 1991).

2.8.1 Ecuación general de balance de materia

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

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 de 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 que el proceso involucre reacciones químicas; en estos casos la generación representa el producto de la reacción y el consumo sería la parte del reactivo que reaccionó para dar lugar a la formación del producto. (Felder y Rousseau, 1991).

2.9 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 esta 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 la información clave sobre el proceso, corrientes y equipos de la planta que se debe 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 (Torres y Castro, 2002).

2.9.1 Simulador de proceso Pipephase

Este software es un simulador que permite trabajar con flujo en estado estacionario para redes de tuberías de una o varias fases, empleado para modelar rigurosamente sistemas de obtención y transporte de crudo y gas. Permite predecir presiones, temperaturas, composiciones y retención de líquidos de pozos, líneas de flujo y sistema de recolección y distribución. De este modo, puede facilitar la fase de diseño de un nuevo sistema, evaluar sistema existente y prevenir o resolver diversos problemas.

El programa combina la tecnología de simulación de flujo estándar para la industria petrolera, con una de las más amplias bases de datos existentes en el mercado sobre propiedades físicas, químicas y termodinámicas de componentes orgánicos e inorgánicos. El tipo de fluido que puede manejar incluye líquidos, gases, vapor y mezclas multifásicas de gas y líquido.

Pipephase utiliza un lenguaje similar al petrolero para definir los componentes de una simulación, para de esta manera facilitar la interrelación software – usuario. Dentro de la terminología comúnmente usada por Pipephase, se tiene:

✓ Nodo:

Es un punto dentro del sistema simulado en el cual podemos encontrar información referente a los accesorios que se encuentran en un lugar del sistema estudiado. A los elementos a los cuales se les denomina nodo dentro de los términos usados por Pipephase se encuentran las fuentes (source) las cuales representan una salida de fluido y por lo general constituyen el punto de inicio del sistema a estudiar, los sumideros (sink) los cuales representan la llegada del fluido y generalmente se identifican con el punto final del sistema a estudiar y por último las juntas (junction) las cuales representan un punto de mezcla o separación de fluido, tal como se muestra en la figura



Figura 2.6 Tipos de nodos (capitulo II.pdf).

✓ Líneas:

Las líneas en Pipephase al igual que en las aplicaciones petroleras representan la serie de accesorios que permiten transportar el fluido; entre ellos se encuentran los accesorios de flujo (tuberías), equipos (bombas, compresores, válvulas, estranguladores, etc), tal como se muestran en la figura

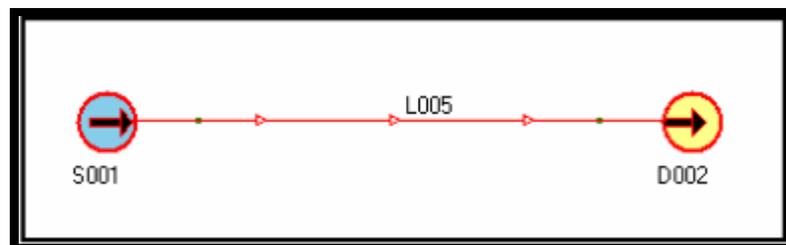


Figura 2.7 Interconexión entre una fuente y un sumidero (capitulo II.pdf).

CAPÍTULO III: DESARROLLO DEL TRABAJO

Este capítulo corresponde a la metodología que se utilizó en la realización del trabajo. Esta consistió en: revisión bibliográfica, diagnóstico del estado actual de los equipos que conforman el sistema de generación de aire comprimido ubicado en servicio industriales, elaboración del esquema general de distribución de aire comprimido de la Refinería Puerto La Cruz, estimación del consumo de aire comprimido de las unidades de destilación, conversión, estabilizadora de gasolina (U-051) y servicios industriales de La Refinería Puerto La Cruz y finalmente la evaluación de la colocación de los tambores receptores AR-8 y AR-9, antes de la entrada al cabezal de distribución de aire comprimido hacia las unidades de hidropcesos.

3.1 Diagnóstico de las condiciones actuales de los equipos que conforman el sistema de generación de aire comprimido ubicado en la planta de servicios industriales de la Refinería Puerto la Cruz

Para el desarrollo de esta etapa primeramente se investigaron las especificaciones técnicas de los equipos de la hoja de datos (Data sheet), esto se hizo con la finalidad de tener una visión general de sus características. De igual manera, se realizaron visitas de campo para determinar el estado físico en que se encontraban cada uno de los equipos que conforman la unidad del sistema de generación de aire comprimido (ver figura 3.1) y se monitorearon las variables operacionales de los equipos (presión, temperatura, entre otros). En la tabla 3.1 muestra el estado actual de los equipos principales que integran el sistema de generación de aire comprimido ubicado en la unidad de servicios industriales.

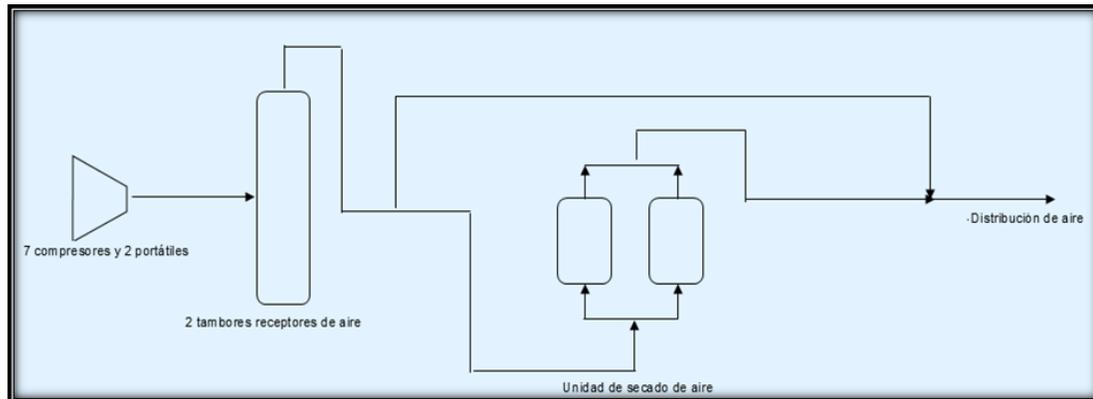


Figura 3.1 Equipos del sistema de generación de aire comprimido.

Tabla 3.1 Estado actual de los principales equipos de generación de aire comprimido.

Equipo	Tag	Estado actual	
Compresor de aire	GB-3	En servicio	
Compresor de aire	GB-4A	En servicio	
Compresor de aire	GB-5	Fuera de servicio	
Compresor de aire	GB-6	En servicio	
Compresor de aire	GB-7	Fuera de servicio	
Compresor de aire	GB-8	Fuera de servicio	
Compresor de aire	GB-9	En servicio	
Unidad de secado de aire	D-5501	En servicio	
Unidad de secado integrado	Separador	S/N-2	deteriorado
	Separador de aceite	FA-37	deteriorado
	Separador de	FA-38	deteriorado

por:	alúmina		
	Separador de aire	FA-39	deteriorado
	Separador de aire	FA-40	deteriorado
	Calentador de aire	EA-26	deteriorado
	Intercambiador de calor	EA-27	deteriorado
Tambores receptores de aire		AR-9/8/12	Fuera de servicio
Tambores receptores		V-5501	En servicio

3.1.1 Diagnostico de los compresores de aire GB-3/4 A/5/6/7/8 y 9

Los compresores GB-3/4A/5/6/7/8 y 9 son los que conforman el sistema de generación de aire comprimido. Succionan el aire de la atmósfera a 14,7 psi y lo comprimen a 100 psi, que son las condiciones de límite de batería de todas las unidades de proceso de la Refinería. Los compresores son todos unidades eléctricas y solo los compresores GB-5 y GB-8 son accionado por una turbina a vapor; donde el GB-5 está fuera de servicio por obsolescencia debido a que los repuestos no se encuentran disponibles en el mercado; mientras que el GB-8 no está en funcionamiento porque el sistema de accionamiento está en proceso de procura, lo cual genera incertidumbre en el sistema por no contar con más unidades a vapor como respaldo ante una falla eléctrica.

En la tabla 3.2 se muestran las características de diseño de las siete (7) unidades compresoras de aire, a dichas unidades se les realizó una inspección visual con la finalidad de determinar la instrumentación que poseían, precisando el estado actual en que se encontraban dichos instrumentos. Se determinó que en los compresores que están en servicio cuenta con la instrumentación para medir parámetros como lo son: presión y temperatura del agua de enfriamiento, temperatura y presión de aceite (entrada y salida del enfriador). También se observó, que el manómetro ubicado justo a la succión del compresor GB-3 no existía. La inspección de la instrumentación de los compresores se presenta en la Tabla 3.3

Adicionalmente a la inspección visual, también se llevo a cabo el monitoreo de ciertas variables para determinar las condiciones operacionales en que se encontraban los compresor en funcionamiento, El monitoreo fue realizado a partir del panel de control, durante un tiempo de dieciséis (16) días consecutivos, las variables se muestran en las tablas de anexos A, estas fueron comparadas con los datos de diseños de la tabla 3.2

Tabla 3.2 Características de diseño de los compresores.

Compresores	GB-3	GB-4A	GB-5	GB-6	GB-7	GB-8	GB-9
Marca	Atlas Copco	Fs-elliott	Ingersoll Rand	Ingersoll Rand	Atlas Copco	Fs-elliott	Fs-elliott
Capacidad MSFCH	65,22	90	78,9	79,5	79,68	90	90
Tipo	Tornillo	Centrífugo	Centrífugo	Centrífugo	Tornillo	Centrifugo	Centrífugo
Tipo de motor	Eléctrico	Eléctrico	Turbina a Vapor	Eléctrico	Eléctrico	Turbina a vapor	Eléctrico
Potencia del motor, Kw	285	298	375	300	224	336	298
Revoluciones, rpm	1800	3575	3600	3570	1785	3565	3575
Voltaje, v	440	2400	N/A	2300j	440	N/A	2400
Amperaje, Amps	445	844	N/A	70	350	N/A	844
Frecuencia, Hz	60	60	N/A	60	60	N/A	60
Medio de enfriamiento	agua	agua	agua	agua	agua	agua	agua
Nº de etapas	2	2	3	3	3	2	2
Marca del motor	Siemens	Reliance electric	Steam turbin	Siemens	General electric	Steam turbin	Reliance electric
Peso, Kg	3900	2087	3600	3600	3600	–	2087

Tabla 3.2 característica de diseño de los compresores (continuación).

Compresores	GB-3	GB-4A	GB-5	GB-6	GB-7	GB-8	GB-9
Presión de entrada, psia	14,4	14,5	14,4	14,4	14,7	14,5	14,5
Presión de descarga, psig	125	120	110	110	125	120	120
Temperatura , °F	95	95	95	95	90	95	95

N/A: No aplica

Tabla 3.3 Inspección de la instrumentación de los compresores.

Instrumentos	GB-3	GB-4A	GB-5	GB-6	GB-7	GB-8	GB-9
Termómetro a la salida del aire	NO	SI	NO	NO	NO	SI	SI
Termómetro a la salida del aire	NO	SI	NO	SI	NO	SI	SI
Termómetro a la entrada de aceite	–	S	NO	SI	NO	SI	SI

Tabla 3.3 Inspección de la instrumentación de los compresores (continuación).

Instrumentación	GB-3	GB-4A	GB-5	GB-6	GB-7	GB-8	GB-9
Termómetro a la entrada del agua	SI	SI	NO	SI	NO	SI	SI
Termómetro a la salida del agua	SI	SI	NO	SI	NO	SI	SI
Manómetro del aceite a la descarga de la bomba	-	SI	NO	SI	NO	SI	SI
Manómetro del aceite a la descarga del filtro de aceite	SI	SI	NO	NO	NO	SI	SI
Manómetro a la succión del aire la primera etapa	NO	SI	NO	SI	NO	SI	SI
Panel de control de las unidades(estado)	Dañado parcialmente	En Buen estado	Dañado totalmente	Dañado totalmente	Dañado totalmente	En buen estado	En buen estado

3.1.1.1 Comparación de la temperatura de salida de operación con la de diseño del compresor GB-3

Se cálculo el promedio de las temperaturas, utilizando los valores de las tablas de anexo A y aplicando la siguiente ecuación.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i = \frac{a_1 + a_2 + \dots + a_n}{n} \quad \text{Ec. (3.1)}$$

Donde:

\bar{x} = Valor promedio

a = Valores de las variables

n = Número de variables

Sustituyendo los valores en la ecuación 3.1:

$$\bar{x} = \left(\frac{190+190+190+195+188+190+195+\dots+180}{16} \right)$$

$$\bar{x} = 187,2500 \text{ } ^\circ\text{F}$$

Luego de realizar el promedio de cada una de las variables se procedió a realizar el cálculo para el resto de los compresores, tanto para la temperatura como para la presión de cada uno, los resultados se muestran en la tabla 3.4.

Para ver que tanto se alejan los valores de cada corrida con respecto al promedio se procedió a calcular la desviación estándar, por medio de la siguiente ecuación:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad \text{Ec. (3.2)}$$

Donde:

σ = Desviación estándar

N= Número de variables

\bar{x} = Valor promedio

x_i = Valores de las variables

Sustituyendo los valores de la temperatura a la salida del compresor GB-3 en la ecuación 3.2

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{16-1} (190 - 187,25)^2 + (190 - 187,25)^2 + (190 - 187,25)^2 + \dots + (180 - 187,25)^2}$$

$$\sigma = 5,4772^{\circ}F$$

De manera semejante se realizo para los demás parámetros del resto de los compresores, los resultados se muestran en la tabla 3.4

Una vez calculado el promedio de cada variable de operación se procedió a calcular la desviación (x) con respecto a las variables de diseño por medio de la siguiente ecuación:

$$X = \frac{\text{Diseño} - \text{Operación (promedio)}}{\text{Diseño}} \times 100 \quad \text{Ec (3.3)}$$

Sustituyendo los datos de temperatura de la tabla 3.2 y el promedio de la tabla 3.4 en la ecuación queda:

$$X = \frac{95^{\circ}F - 187^{\circ}F}{95^{\circ}F} \times 100$$

$$\bar{X} = 96,8421\%$$

Se hizo el mismo paso para las demás variable y compresores los resultados se muestran en la tabla 3.4

Tabla 3.4 Promedio, desviación estándar y desviación de los parámetros de operación de los compresores en servicio.

Compresor GB-3			
Condiciones operacionales	promedio	Desviación estándar	Desviación
Temperatura a la salida(°F)	187,2500	5,4772	96,8421
Presión de descarga (psig)	103,875	2,3909	17,6000
Compresor GB4-A			
Condiciones operacionales	Promedio	Desviación estándar	Desviación
Temperatura a la salida(°F)	90,4371	1,6693	5,2537
Presión de descarga (psig)	106,875	1,7464	10,9375
Compresor GB-6			
Condiciones operacionales	promedio	Desviación estándar	Desviación
Temperatura a la salida(°F)	94,875	3,2877	0,1315
Presión de descarga (psig)	110,125	1,8574	0,1136
GB-9			
Condiciones operacionales	Promedio	Desviación estándar	Desviación
Temperatura a la salida (°F)	88,8125	2,9033	6,5132
Presión de descarga (psig)	106	2,4766	11,6667

El panel de control del compresor GB-3 y GB-6 (ver figura 3.2) están parcialmente dañado, mientras que para el GB-4A/8/9 el panel de control correspondientes a estos están en buen estado.



Figura 3.2 Condición actual del panel de la unidad compresora GB-3

3.1.2 Diagnostico de la unidad de secado D-5501

La unidad de secado D-5501 es nueva en el sistema de generación de aire comprimido y se encuentra en servicio; la temperatura de rocío de trabajo a la salida es de un promedio de -9°C y una temperatura de rocío de diseño de 20°C , la cual se alejan en un 55%. En la figura 3.3 se observa la unidad de secado D-5501 del sistema de generación de aire comprimido y en la tabla 3.5 los datos de diseño.



Figura 3.3 Condición de la unidad secadora D-5501

Tabla 3.5 Datos de diseño de la unidad de secado D-5501.

DATOS DE DISEÑOS DE LA UNIDAD DE SECADO D-5501		
Modelo		ultrapac HED 6000
Flujo volumétrico (m³/h)		6000
Flujo de aire para regeneración (m³/h)		840
Flujo aire seco (m³/h)		4898,80
Pérdida de presión inicial (psi)		3.2
Medio		Aire comprimido/nitrógeno
Sobre presión de régimen de trabajo (Psig)	Mínimo	40
	Máximo	50
Presión de operación (bar)	Minino	4
	Máximo	10
Temperatura de operación (°C)	Mínimo	4
	Máxima	5
Temperatura del medio máxima (°F)		125
Temperatura ambiente (°F)	Mínima	40
	Máxima	122
Punto de recio de aire seco		-20
Contenido de humedad de aire seco (ppm)		880

La unidad de secado está integrada por: separador (S/N-2), separador de aceite (FA-37), separador de alúmina (FA-38), separador de aire (FA-39 y FA-40), calentador de aire (EA-26), intercambiador de calor (EA-27); todos estos equipos se encuentran fuera de servicio. En general, esta unidad de

secado se encuentra en deterioro. En la figura 3.4 se puede observar dicho grupo.



Figura 3.4 Condiciones de la unidad de secado

3.1.3 Diagnostico de los tambores receptores de aire AR- 8/9/12 y V-5501 A/B

Los tambores receptores AR- 8/9/ y 12, se encuentran en buen estado ver figura 3.5, pero están fuera de servicio debido a que se requirió mayor capacidad de almacenamiento de aire y se instalaron los tambores receptores V-5501 A/B, los datos de diseños de los tambores AR-8/9/12 se encuentran en la tabla 3.6.



**Figura 3.5 Condiciones de los tambores receptores
AR-8/9 /12 y V-5501 A**

Tabla 3.6 Datos de diseño de los tambores acumuladores AR-8/9 y 12

Tambores		AR -8	AR -9	AR -12
Temperatura (°F)	Típica	96	96	96
	Máxima	146	146	146
Presión (Psig)	Típica	90	90	90
	Máxima	125	125	125
	Rango normal	93,8-100,5	93,8-100,5	93,8-100,5
Flujo (mlbs/h)	Típica	13148	13148	13148
	Máxima	21938	21938	21938
	Rango normal	79775-17500	79775-17500	79775-17500
Nivel(pie)	Típico	6,39	6,39	9
	Máximo	10	10	12,5
	Rango normal	5,83-6,66	5,83-6,66	(1)

(1) No se dispone de instrumentación para de medir

3.2 Elaboración del diagrama de flujo de proceso (PDF) general de distribución de aire comprimido de la Refinería Puerto La Cruz

El esquema de distribución de aire comprimido de la refinería es un diagrama de bloque, donde se representan detalladamente todas las líneas asociadas al aire de instrumento y de servicio, que constituyen el sistema de aire comprimido de RPLC. Para ello se tomo en cuenta lo descrito en la norma “PDVSA L-TP 1.1, Preparación de diagramas de proceso” (ver anexo B). En este diagrama se representan equipos grandes como lo son los compresores, secadores, tambores receptores y válvulas asociadas a la red de distribución. Para el desarrollo de este diagrama se realizaron las siguientes actividades:

3.2.1 Levantamiento de información de campo del sistema de aire comprimido de las unidades de destilación, conversión y estabilizadora de gasolina (U-051) y servicios industriales

Primeramente, fue necesario obtener información en los informe de seguridad de proceso (ISP), manuales de operación y esquemas en la aplicación Aspen Process Explorer, acerca del sistema de generación de aire comprimido a que equipos se dirige y la filosofía operacional de este sistema.

Posteriormente, se procedió a recorrer en sitio las alineaciones de aire comprimido de instrumento y de servicio en las plantas de conversión (FCC, ALQ, STG, Merox y NEA), las unidades destiladoras (DA-1 y DA-2), estabilizadora de gasolina (U-051) y servicios industriales (Calderas, STEP y Osmosis), para elaborar los planos individuales de cada unidad de proceso. Como no se contaron con diagramas de flujo de proceso (DFP) referentes al sistema de aire comprimido, se elaboraron mediante la información actualizada y esquematizada de las líneas de aire de instrumento y de servicio de cada planta estudiada, tomando como apoyo DTI de las unidades de proceso.

3.2.2 Elaboración de los diagramas de flujo de procesos (DFP) del sistema de aire comprimido de las unidades de destilación, conversión, estabilizadora de gasolina (U-051) y servicios industriales

Los DFP del sistema de aire comprimido de las unidades de proceso contienen información acerca de los equipos asociados y válvulas de control, lo que facilita actividades de operación, control y contingencias. Ver figura 4.9 diagrama de flujo de proceso de distribución de aire comprimido de la Refinería Puerto La Cruz, el resto de los diagramas de cada unidad se encuentran en los anexos C.

3.3 Cálculo del consumo de aire comprimido de las unidades de destilación, conversión, estabilizadora de gasolina (u-051) y servicios industriales de la Refinería Puerto La Cruz

En vista que el sistema actual (ver figura 3.6) no cuenta con medidores de flujo en ninguna de las unidades de Refinería; para realizar los balances de masa de esta manera cuantificar el consumo de aire comprimido. Fue necesario recurrir a la norma de PDVSA N° SCIP-IG-I-03-I requerimiento de aire (ver anexo D) que expresa en ella la siguiente ecuación:

$$scfm = \sum_{i=1}^n \left(18 + \frac{\Delta P_i \times d_i}{70}\right) \times \left(\frac{d_i}{t_i}\right) + \sum_{i=1}^m \left(6 + \frac{\Delta P_i \times d_i}{220}\right) \times \left(\frac{d_i}{t_i}\right) + \sum_{i=1}^O (0,50)_i + \sum_{i=1}^P (0,75)_i + \sum_{i=1}^Q (3,00)_i + \sum_{i=1}^R (10,00)_i \quad \text{Ec. 3.4}$$

Donde:

n: válvula de compuerta.

m: válvula de globo.

O: cada instrumento.

P: posicionador de diafragma para válvula de control.

Q: posición por pistón.

R: purga o venteo.

ΔP : presión diferencial máxima en psi.

d: diámetro de la tubería.

t: tiempo requerido para mover válvula desde una posición extrema hasta otra en segundos.

Se procedió a elaborar una hoja de seguimiento operacional contando los tipos de posicionadores y tipos de válvulas con su respectivos diámetros existentes en el campo de las unidades de destilación atmosférica (DA-1 y DA-2), estabilizadora de gasolina (U-051), la unidad de craqueo catalítico fluidizado (FCC), la planta de alquilación, sistema de tratamiento de gas (STG), Merox, planta de neutralización de efluentes ácidos (NEA), calderas (sistema de generación de vapor), sistema de tratamientos de efluentes de proceso (STEP) y osmosis como se muestra en la tabla 3.7

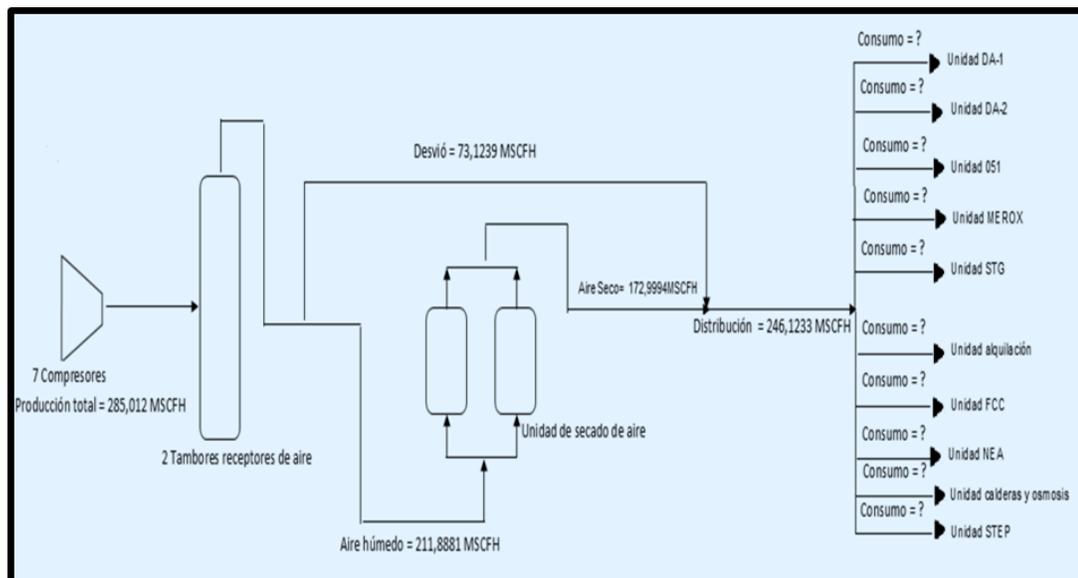


Figura 3.6 sistema de generación y distribución de aire a las diferentes unidades

Tabla 3.7 Tipos de posicionadores según cada válvula con su diámetro correspondiente.

Tipos de posicionadores	Tipo de válvula	Diámetro (pulg)	Cantidad
Unidad DA-1			
LESLIE	Compuerta	1/2	4
VALTEK	Compuerta	3/8	2
MASONEILAN	Compuerta	1/2	33
FILDVUE	Compuerta	1/2	8
FISCHER 3610j	Compuerta	1/2	8
			Total= 55
Unidad DA-2			
35821	Compuerta	1/2	21
VALTEK	Compuerta	1½	3
			Total =24
venteo			3
Unidad 051			
MASONEILAN	Compuerta	3/4	12
			Total =12
Venteo			5
Unidad MEROX			
MASONEILAN	Compuerta	1½	9
			Total = 9
Venteo			3
Unidad STG			
FIELDVE	Compuerta	1/2	10
ROSEMOUNT	Compuerta	1/2	3

			Total =13
Unidad alquilación			
35582-1	Compuerta	1/2	22
3582/ROSEMOUNT	Compuerta	3/4	6
FISHER 546/5456	Compuerta	3/4	5
3582	Compuerta	3/4	2
VALTEK LOGI-1000	Compuerta	1/2	12
MASONEILAN 9000	Compuerta	1	4
Desconocidos	Compuerta	1/2	32
I/P PROSEMOUT	Compuerta	1	9
FIELVUE	Compuerta	1/2	13
			Total =105
venteo			8

Tabla 3.7 Tipos de posicionadores según cada válvula con su diámetro correspondiente (continuación).

Tipos de posicionadores	Tipo de válvula	Diámetro (pulg)	Cantidad
Unidad FCC			
35821	Compuerta	4	1
MASONEILAN 9000	Compuerta	3	20
FISHER 3600	Compuerta	1	5
LESLIE80 MASONEILAN	Compuerta	4	2
I/P MASONEILAN	Compuerta	4	14
FIELDVUE	Compuerta	2	10
NE729440	Compuerta	1	2
GLOCON P61-1S.EP-LF	Compuerta	2	1
I/P PROSEMOUNT	Compuerta	1	1

			Total=60
Venteo			2
Unidad NEA			
FIELDVUE	Compuerta	1/2	5
			Total =5
Unidad calderas y osmosis			
MASONEILAN	Compuerta	4	15
FOXBORO	Compuerta	2	13
FISHER 3610j	Compuerta	1 ½	15
			Total =43
Venteo			4
Unidad STEP			
MASONEILAN	Compuerta	1 ½	25
			Total =25
Venteo			3

3.4 Determinación por medio de simulación de procesos la colocación de los tambores receptores AR-8 y AR-9 a la entrada del cabezal de distribución de aire comprimido hacia las unidades de hidropcesos

Debido a la déficit de aire que se presenta el las unidades de hidropcesos es necesario colocar unos tambores receptores de aire AR-8 y AR-9 que permiten almacenar aire y recoger el condensado residual. Para la evaluación de la colocación de los tambores receptores AR-8 y AR-9 a la entrada del cabezal de distribución de aire comprimido hacia las unidades de hidropcesos se realizó con el paquete de simulación Pipephase 9.1, con el cual se determinó la caída presión y esta fue comparada con lo expresado en la norma de calculo hidráulico de tubería L-TP 1.5 (ver anexo E), en ella se encontró que para tuberías que manejan flujo de gases (aire en este caso),

específicamente líneas dentro del límite de batería, la caída de presión recomendada de 0,5 psi/100 pies de tubería.

Para realizar la simulación, se contó con los isométricos (ver anexo F) que representan el recorrido que hace la tubería que lleva el suministro de aire al cabezal principal hacia las unidades de hidrosistemas; estos datos se introdujeron en el simulador para hacer el modelo que permitió determinar la caída de presión de la tubería y velocidad crítica. A continuación se muestra la tabla 3.8, donde se observan algunas características que tendrá la tubería.

Tabla 3.8 Datos principales para la simulación.

Condiciones de diseño	Presión (psia)	Temperatura (°F)	Flujo volumétrico (MM ft³/hr)
Salida del paquete de secador(1)	100	101,60	0,173
Salida de los tambores receptores(2)	101,526	95	0,0731
Distribución (3)	100	110	0,2461

3.4.1 Elaboración de la simulación

El software Pipephase trabaja como se muestra en las siguientes figuras:

Al abrir el programa se selecciona crear una corrida nueva, se le da nombre y se guarda (ver figura 3.7).

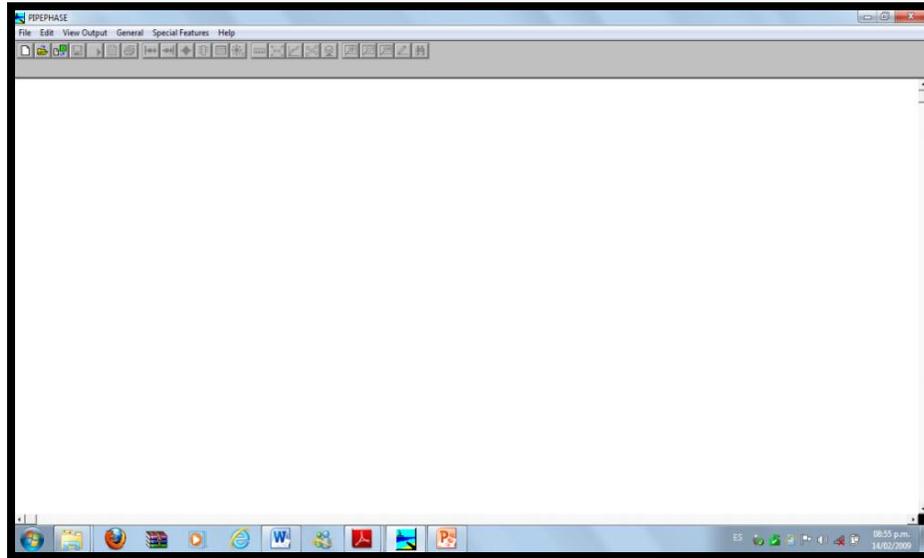


Figura 3.7 Software pipephase

Fuente: Elaboración propia

1) Se selecciona el tipo de simulación (ver figura 3.8), para el caso en estudio se seleccionó network model, ya que permite simular un fluido multifasico partiendo de algunas propiedades de los fluidos que componen la mezcla.

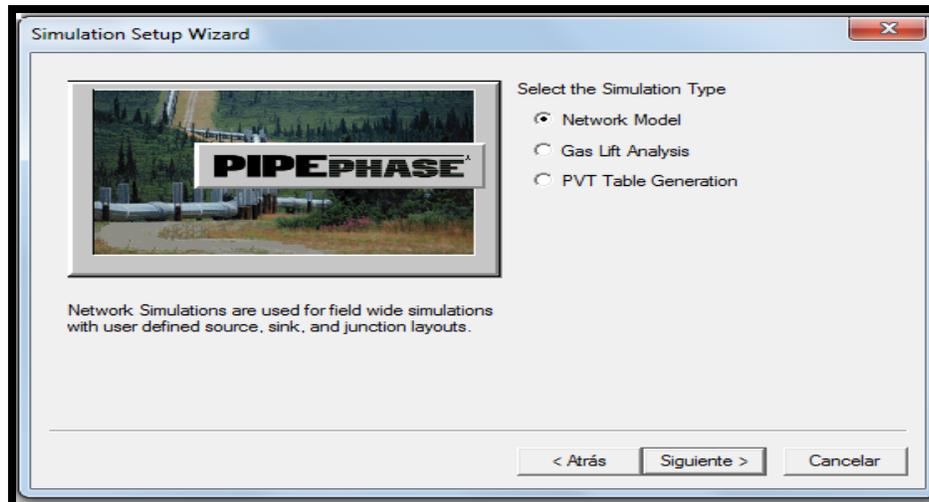


Figura 3.8 Software Pipephase, selección de tipo de simulación.

Fuente: Elaboración propia

2) Se selecciona el tipo de fluido (ver figura 3.9), en este caso se selecciona composicional, ya que las propiedades termodinámica y de transporte del fluido se predicen a partir de las propiedades de sus componentes puros (aire, agua).

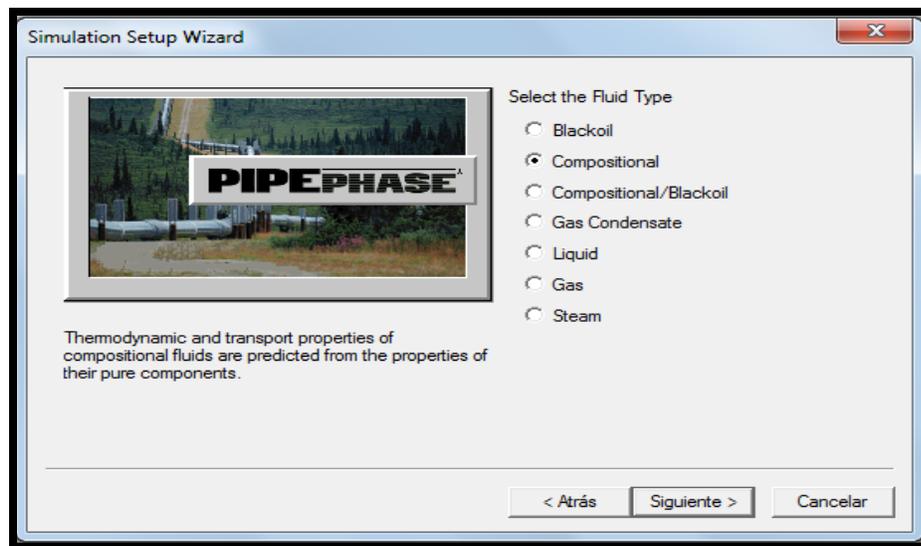


Figura 3.9 Software Pipephase, selección de tipo de fluido

Fuente: Elaboración propia

3) Se selecciona el número de fase composicional (ver figura 3.10), se seleccionó múltiple fase.

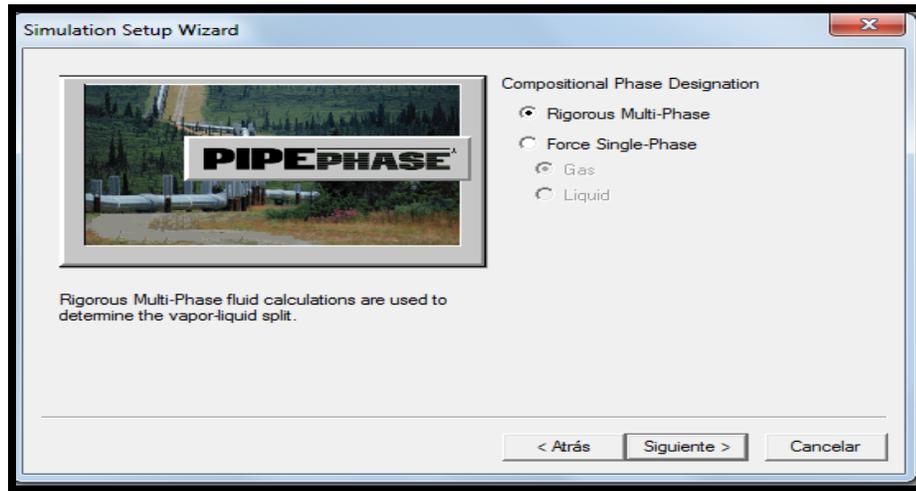


Figura 3.10 Software Pipephase, selección de número de fases.

Fuente: Elaboración propia

4) Se escoge el sistema de unidades a trabajar (ver figura 3.11), se escogió el sistema english por ser este el más utilizado en la industria.

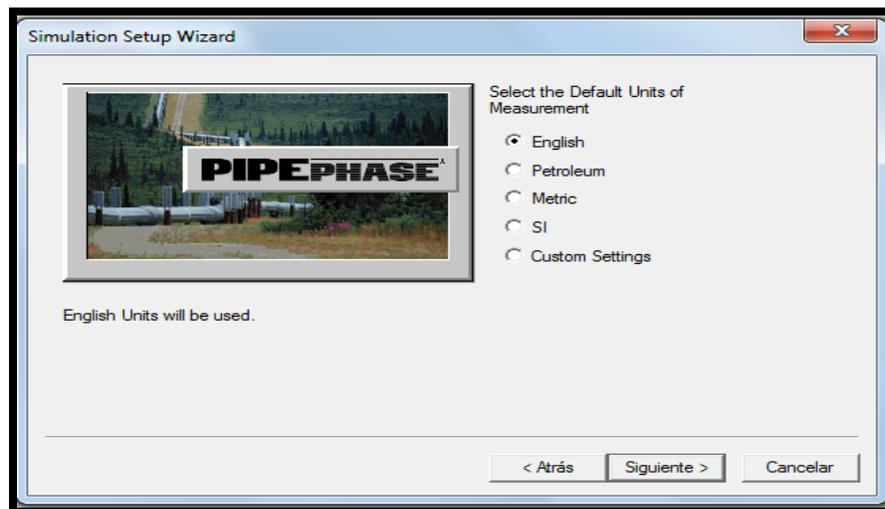


Figura 3.11 Software Pipephase, selección del sistema de unidades.

Fuente: Elaboración propia

5) Se seleccionan los componentes con los que se va a trabajar (ver figura 3.12), en este caso aire y agua.

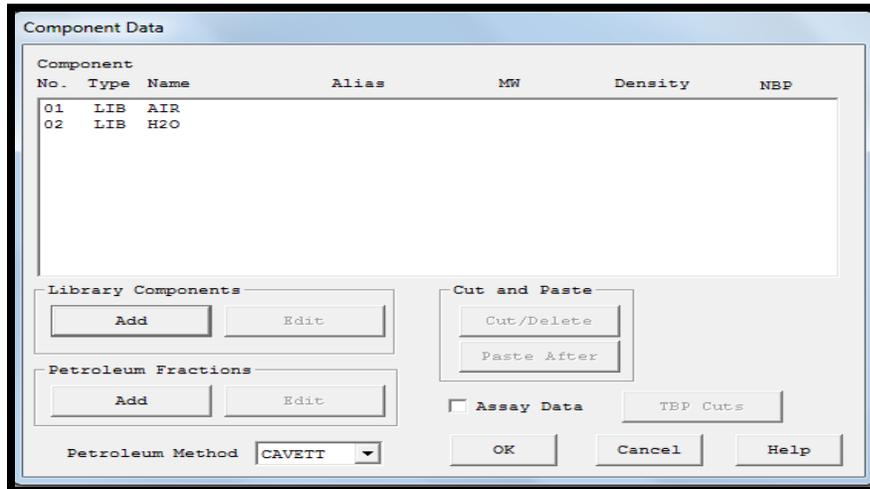


Figura 3.12 Software Pipephase, selección de los componentes con los que se va a trabajar.

Fuente: Elaboración propia

6) Se selecciona el comando general y luego descripción de la simulación en donde se coloca el nombre del proyecto, problema, uso, sitio, fecha y descripción (ver figura 3.13).

Figura 3.13 Software Pipephase, descripción del proyecto a simular

Fuente: Elaboración propia

7) También en general se selecciona out put para seleccionar el sistema de unidades de los resultados.

8) En el comando general y luego método de cálculo se puede cambiar el número de iteraciones y la tolerancia de la presión en que se quiere trabajar, en este caso se utilizo un máximo de 20 iteraciones y 5 de tolerancia.

9) Se escogió trabajar con un coeficiente de rugosidad absoluto de 0.0018 pies ya que este corresponde a tuberías de acero al carbono (ver figura 3.14).

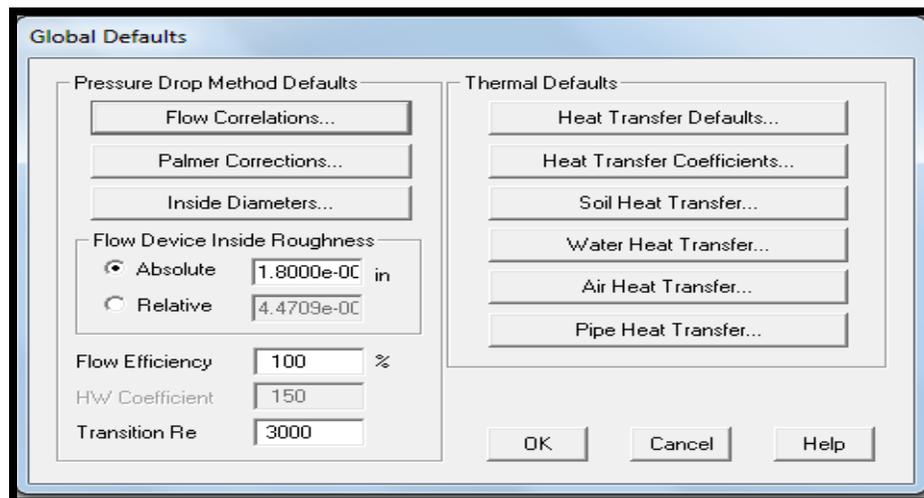


Figura 3.14 Software Pipephase, características generales de la tubería.

Fuente: Elaboración propia

10) Se selecciona del método termodinámico (ver figura 3.15)

La selección del método termodinámico es uno de los puntos principales que se tomaron en cuenta el momento de realizar la simulación, debido a que es la herramienta que ofrece los modelos matemáticos usados por el simulador para realizar los cálculos y de esta forma obtener los resultados; como en este trabajo se está trabajando con aire comprimido se utilizó la ecuación de estado de Peng-Robinson por el amplio rango de trabajo que va desde

sistemas a temperaturas criogénicas y bajas presiones hasta temperaturas y presiones elevadas, además es la mejor ecuación cubica para los parámetros propuesto y ser el más comúnmente usado para sistemas de gases y aire.

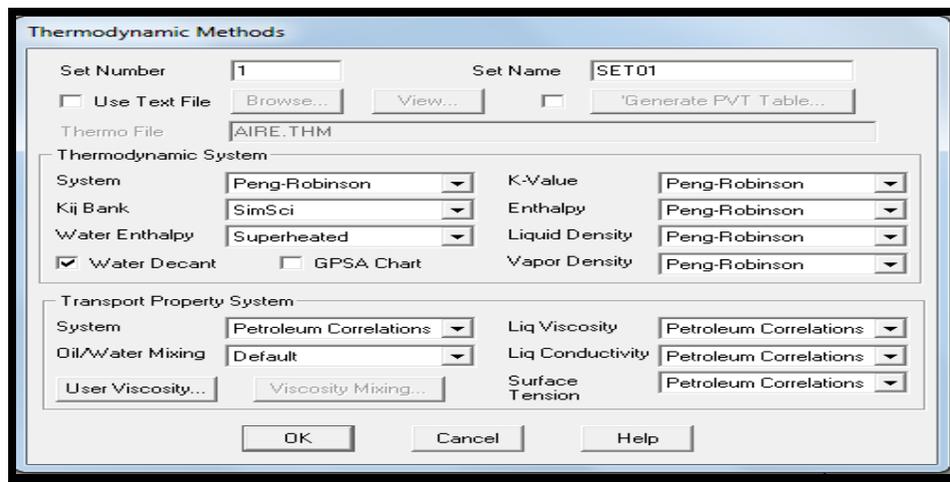


Figura 3.15 Software Pipephase, selección del modelo termodinámico.

Fuente: elaboración propia.

11) Se creó la red uniendo las fuentes (salida de los secadores y parte del flujo de aire que no entra al secador que viene de los tambores) por medio de nodo a los diferentes sumideros (ramales de distribución) tal como se muestra en la figura 3.16.

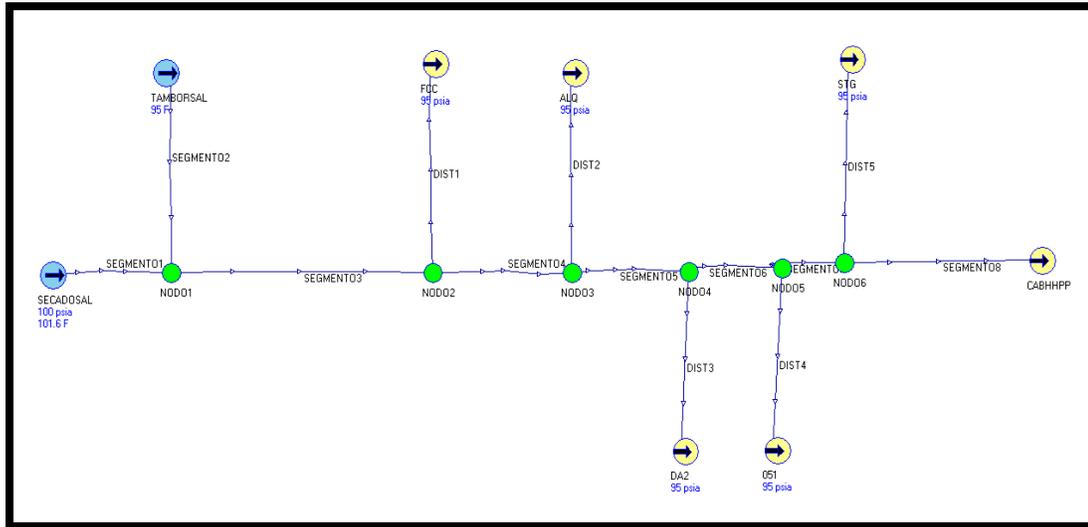


Figura 3.16 Software Pipephase, armado de la red.

Fuente: Elaboración propia

Para las fuentes se necesitaron los flujos volumétricos tanto de los compresores (producción total de 285,012 MSCFH), como del paquete de secador (volumen de regeneración de alúmina de 29,6644 MSCFH, volumen de aire seco a la salida del secador de 172,9994 MSCFH), para una producción de 246,233 MSCFH se obtuvieron de los datos de diseño. A partir del círculo rojo como se muestra en la figura 3.17, que es el inicio de la simulación, se seleccionó ese punto por mayor facilidad, ya se cuentan con todos los datos necesarios o de fácil calcular.

Con la ecuación de los gases ideales se calcularon los moles de aire seco en el punto (3) de la figura 3.17.

$$P \times V = n \times R \times T \quad (\text{Ec. 3.5})$$

Sustituyendo los datos de la tabla 3.8 en la ecuación 3.5 queda:

$$n_{A.S} = \frac{101,5261 \text{ psia} \times 172999,44 \frac{\text{pies}}{\text{h}}}{1545, 2 \frac{\text{pies} \times \text{lb}}{\text{°R} \times \text{LBMOL}} \times 554,67 \text{ °R}} = 20,4929 \frac{\text{lbmol}}{\text{h}}$$

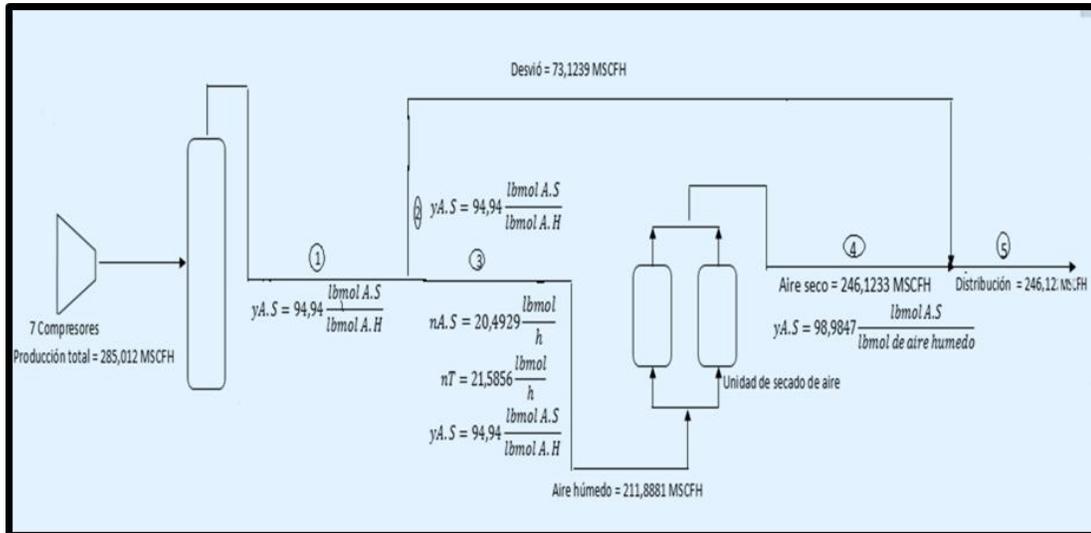


Figura 3.17 Sistema de generación de aire comprimido.

Luego se calcularon los moles totales en el punto (3) sustituyendo los datos en la ecuación 3.5:

$$n_T = \frac{101,5261 \text{ psia} \times 172999,44 \frac{\text{pies}}{\text{h}}}{1545, 2 \frac{\text{pies} \times \text{lb}}{\text{°R} \times \text{LBMOL}} \times 554,67 \text{ °R}} = 21,5856 \frac{\text{lbmol}}{\text{h}}$$

Una vez calculado los moles de aire seco y los moles totales en el punto (3), se procedió a calcular el porcentaje molar de aire seco en el punto (3), que es igual para el punto (1) y (2) de la siguiente manera:

$$y_{A.S} = \frac{n_{A.S}}{n_T} \times 100 = \frac{20,4929 \frac{\text{lbmol A.S}}{\text{h}}}{21,5856 \frac{\text{lbmol H}}{\text{h}}} \times 100 = 94,94 \frac{\text{lbmol A.S}}{\text{lbmol H}}$$

En el punto (4) para calcular el porcentaje molar del aire se asume que el aire esta saturado con vapor de agua entonces la presión parcial de éste es igual a la presión de vapor a esta temperatura, se busco en los anexos G a la temperatura de $101,60^{\circ}\text{F} = 38,6667^{\circ}\text{C}$, se itero ya que no se encontraba directamente la presión a esta temperatura resultando una presión de vapor correspondiente de $52,508\text{mmHg}$, utilizando la ecuación de Raoult se calculo el porcentaje molar de la siguiente manera:

$$y_{H_2O} = \frac{p_{H_2O}}{p_T} \times 100 = \frac{52,508 \text{ mmHg}}{5171,5264 \text{ mmHg}} \times 100 = 1,0153 \frac{\text{lbmol agua}}{\text{lbmol aire humedo}}$$

De manera que el porcentaje molar de aire seco da:

$$y_{A.S} = 100 - 1,0153 \frac{\text{lbmol agua}}{\text{lbmol aire humedo}} = 98,9847 \frac{\text{lbmol A.S}}{\text{lbmol de aire humedo}}$$

12) Una vez calculadas las fracciones de aire seco (y.A.S) se procedio a dar valores a las fuentes, sumideros y nodos de: presión, caudal, composiciones y temperatura.

13) En este caso se fijo la presión y se estimó el caudal en las fuentes (salida de los secadores y parte del flujo de aire que no entra al secador que viene de los tambores, ver figura 3.18); se fijó el caudal y se estimó la presión en los sumideros (ramales de distribución) para así determinar la presión en cada nodo que permite estimar la caída de presión, ver figura 3.18; se utilizo una temperatura ambiente de 90°F en los nodos.

Figura 3.18 Software pipephase, datos de la fuente.

Fuente: elaboración propia.

14) Luego se introducen los elementos de la red (ver figura 3.19), tales como tubería con sus respectivos diámetros, válvulas, codos, reducciones, entre otros, del isométrico del anexo F.

	Device Name	Data Entry Window	On?	Length (ft)	Elevation Change (ft)	MWD (ft)	Depth (ft)
0	NODE	Junction					
1	P041	Pipe	✓	171.59			
2	B028	Bend	✓				
3	P042	Pipe	✓	1.31	1.31		
4	V004	Valve	✓				
5	P068	Pipe	✓	0.98	0.98		
6	B030	Bend	✓				
7	P044	Pipe	✓	7.22			
8	B031	Bend	✓				
9	P045	Pipe	✓	16.08			

Figura 3.19 Software Pipephase, elementos de la red.

Fuente: Elaboración propia

15) Luego se realiza la corrida (ver figura 3.20).

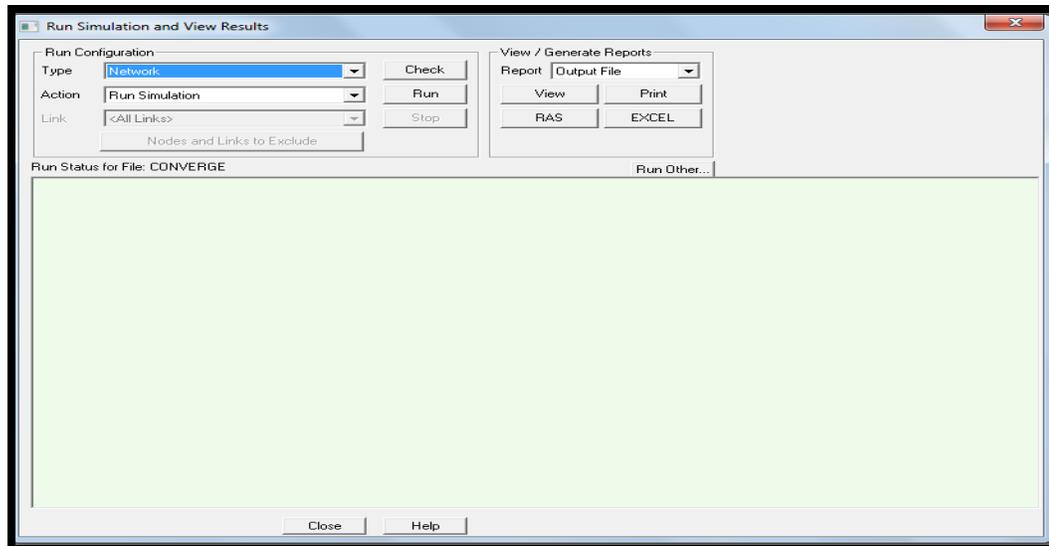


Figura 3.20 Software Pipephase, simulación de la red.

Fuente: Elaboración propia

14) Se chequean los errores si los hay, si no los hay se chequean los resultado (ver figura 3.21).

SEPARATOR 5002 AT 89.9 DEG F AND 91.3 PSIA

----- HOLE FRACTION -----			
COMPONENT	FEED	FLUID REMAINING	FLUID REMOVED
AIR	0.982807	0.992323	0.000000
H2O	0.016943	0.007677	1.000000

PHASE	MIXED	UNPH	LIQUID
TOTAL, 10**3 LB/HR	0.79	0.78	4.687E-3
WT PCT TOTAL LIQUID	0.59	0.00	100.00
ENTHALPY BTU/LB	4.30	3.90	58.31
MOLECULAR WEIGHT	28.81	28.92	18.00

UNPHR PHASE			
GAS MH FT3/HR	0.0017	0.0017	0.0000
DENSITY LB/FT3	0.45	0.45	0.00
VISCOSITY CP	1.050E-4	1.050E-4	0.000
ENTHALPY BTU/LB	3.90	3.90	0.00
MOLECULAR WEIGHT	28.92	28.92	0.00

LIQUID PHASE			
LIQUID FT3/HR	1.00	0.00	1.78
DENSITY LB/FT3	62.85	0.00	62.85
VISCOSITY CP	0.761	0.000	0.761
ENTHALPY BTU/LB	58.31	0.00	58.31
MOLECULAR WEIGHT	18.00	0.00	18.00

*** ERROR *** PRESSURE TRANSVERSE STEP 1 DID NOT CONVERGE (TOL=1P 25)			
FAILED IN LINK SEGA IN PRT7 STEP 1			
TOTAL FLUID VELOCITY = 5.0636 F/S			

Figura 3.21 Software Pipephase, resultado y chequeo de la red.

Fuente: Elaboración propia

Los resultados de presión son analizados de acuerdo a lo establecido en la norma de cálculo hidráulico de tubería L-TP 1.5, el cual dice que la caída de presión recomendada es de 0,5 psi/100 pies de tubería (ver anexo E) y para realizar dicho análisis se determina la caída de presión recomendada según los pies de tubería y accesorios que haya entre entradas-salidas, comparándose estos con la caída de presión estimada por el simulador donde esta tiene que ser menor o igual que la caída de presión recomendada para que cumpla con establecido en la norma, para esto se procedió a determinar la caída de presión recomendada para el tramo 1:

Para obtener la longitud total, se suma la equivalente a la longitud de tubería

$$L_o = L + LE \quad (\text{Ec. 3.6})$$

Donde:

L_o (pie): longitud total en cada tramo

L (pie): longitud de tubería

LE (pie): Longitud equivalente (longitud equivalente para los accesorios se tomaron directamente de la tabla 1 de la norma de calculo hidráulico de tubería L-TP 1.5 (ver anexo E) con el diámetro y el tipo de accesorio).

En el tramo 1 hay una longitud de tubería de 4,9212 pies y un codo de 90° de radio largo, el cual le corresponde una LE de 8,6 pie entonces:

$$L_o = 4,9212 \text{ pies} + 8,6 \text{ pies} = 13,5212 \text{ pies}$$

Para los demás tramos se realiza el mismo procedimiento, los resultados se encuentran plasmados en la tabla 3.9

Tabla 3.9. Tipo de accesorios con su diámetro y su respectiva longitud equivalente, longitud de tubería y la longitud total.

Líneas	Accesorios	Diámetro (pulg)	LE (pie) de cada accesorio	L (pie)	Lo(pie)
Segmento1	1 codo de 90° radio largo	6	8,6	4,9212	13,5212
Segmento2	6 codos de 90° radio largo	6	8,6	64,6426	116,2426
Segmento3	13 codos de 90° radio largo	6	8,6	343,4984	455,2984
Segmento4	4 codos de 90° radio largo	6	8,6	176,5042	210,9042
Segmento5	6 codos de 90° radio largo	6	8,6	189,2531	240,8531

Tabla 3.9. Tipo de accesorios con su diámetro y su respectiva longitud equivalente, longitud de tubería y la longitud total (continuación).

Líneas	Accesorios	Diámetro (pulg)	LE (pie) de cada accesorio	L (pie)	Lo(pie)
Segmento6	2 codos de 90° radio	6	8,6	176,5096	193,7096

	largo				
Segmento7	2 codos de 90° radio largo	6	8,6	43,6362	60,8362
Segmento8	14 codos de 90° radio largo	6	8,6	978,9474	1.115,8474
	3 válvulas de compuerta	6	5,5		
Distribución 1	0	-	-	39,3700	39,37000
Distribucion 2	2 codos de 90° radio largo	6	8,6	218,3463	235,5463
Distribucion 3	1 codo de 90° radio largo	2	3,1	13,1233	20,0833
	1 contracción	0,3333	3,86		
Distribucion 4	1 codos de 90° radio largo	2	3,1	52,4894	59,4494
	1 contracción	0,3333	3,86		
Distribucion 5	1 codo de 90° radio largo				
	1 contracción	1,5	4,8		
	1 válvula de compuerta	3	4,6		

Después de haber calculado la longitud total de tubería en cada tramo procedió a calcular la caída de presión recomendada (ΔP_{rec}) según la norma PDVSA LTP 1.5, desglosando la expresión queda:

$$\Delta P_{rec} = \frac{0,5psi \times Lo(pie)}{100pie} \quad (\text{Ec. 3.7})$$

Se introdujo el valor de longitud de tubería total para el tramo 1

$$\Delta P_{rec} = \frac{0,5psi \times 13,5212pie}{100pie} = 0,0676 \text{ Psi}$$

De manera análoga se determina la caída de presión recomendada para el resto de la entrada y salidas los resultados se reportan en la tabla 3.10

Tabla 3.10 Comparación de la caída de presión recomendada (de acuerdo con la distancia entre entrada- salida) con la caída de presión estimada por el simulador.

Líneas	Entradas/salidas	Lo entre entradas/salidas (pie)	Caída de presión recomendada (psia)	*Caída de presión (psig)
Segmento1	Secador. sal	13,5212	0,0676	0,0497
	Nodo1			
Segmento2	Tambor. sal	116,2426	0,5812	1,5757
	Nodo 1			
Segmento3	Nodo 1	416,6087	2,2765	1,9226
	Nodo 2			
Segmento4	Nodo 2	38,6897	1,0545	0,5659

	Nodo 3			
Segmento5	Nodo 3	210,9042	1,2042	0,0156
	Nodo 4			
Segmento6	Nodo 4	240,8531	0,9685	0,0052
	Nodo 5			
Segmento7	Nodo 5	193,7096	0,3042	0,0017
	Nodo 6			
Segmento8	Nodo 6	60,8362	5,5792	6,9753
	HPPP			
Distribucion 1	Nodo3	39,37	0,1968	3,0278
	FCC			
Distribucion 2	Nodo4	235,5463	1,1777	2,4619
	Alq			
Distribucion 3	Nodo5	20,0833	0,1004	2,4462
	DA-2			
Distribucion 4	Nodo6	59,4494	0,2972	2,4410
	051			
Distribucion 5	Nodo7	158,7485	0,7937	2,4393
	STG			

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En el presente capítulo se presentan los resultados obtenidos después de haber realizado la evaluación del sistema de aire comprimido de la Refinería Puerto La Cruz, así como sus análisis respectivos.

4.1 Diagnostico del estado actual de los equipos que conforman el sistema de generación de aire comprimido ubicado en servicios industriales de la Refinería Puerto La Cruz

En la tabla 4.1 se presenta de forma resumida las condiciones actuales de los equipos que integran el sistema de generación aire ubicado en servicios industriales de la Refinería Puerto La Cruz.

Tabla 4.1. Condiciones actuales de los equipos principales del sistema de generación de aire.

Equipo	Tag	Estado actual	Observaciones
Compresor de aire	GB-3	En servicio	Falta de cierta instrumentación y panel de control dañado.
Compresor de aire	GB-4A	En servicio	En buenas condiciones.
Compresor de aire	GB-5	Fuera de servicio	Obsoleto.
Compresor de aire	GB-6	En servicio	Falta de cierta instrumentación y

			panel de control dañado.
Compresor de aire	GB-7	Fuera de servicio	Falta de cierta instrumentación, panel de control dañado, se encuentra en mantenimiento correctivo, repuestos en proceso de procura
Compresor de aire	GB-8	Fuera de servicio	Sistema de accionamiento turbina a vapor en proceso de procura.

Tabla 4.1. Condiciones actuales de los equipos principales del sistema de generación de aire (continuación).

Equipo	Tag	Estado actual	Observaciones
Compresores de aire	GB-9	En servicio	En buenas condiciones
Unidad de secado de aire	D-5501	En servicio	En buenas condiciones
Unidad de secado integrado por:	S/N-2	Fuera de servicio	Deteriorado
	FA-37	Fuera de servicio	Deteriorado
	FA-38	Fuera de servicio	Deteriorado
	FA-39	Fuera de servicio	Deteriorado
	FA-40	Fuera de servicio	Deteriorado
	EA-26	Fuera de servicio	Deteriorado
	EA-27	Fuera de servicio	Deteriorado

Tambores receptores de aire	AR-9/8/12	Fuera de servicio	En buenas condiciones, sacados del sistema por pequeña capacidad.
Tambores receptores	V-5501	En servicio	En buenas condiciones.

En general el sistema de generación de aire comprimido ubicado en la unidad de servicios industriales, se encuentra operando, a pesar de que los compresores en servicios GB-3 y GB-6 les falta cierta instrumentación y tiene el panel de control dañado, sin embargo no cuentan con compresores en servicios accionados a vapor, que a la hora de una falla eléctrica puedan utilizarse como respaldo; esto es sumamente grave, por cuanto si dejaran de funcionar los compresores accionado por motor eléctrico se paralizaría el sistema de generación de aire comprimido.

El análisis anterior conlleva a inferir que es urgente hacer la adquisición de la turbina a vapor para accionar el compresor GB-8, e iniciar su operación, para que el proceso opere con confiabilidad.

Una vez recolectadas las condiciones operacionales, se procedió a hacer una comparación con los datos de diseño a fin de detectar los problemas operacionales, realizando una serie de gráficas que permitan hacer la comparación. Los datos para construir las gráficas, fueron tomados de los anexos A para las condiciones operacionales, la tabla 3.2 para las condiciones de diseño y la tabla 3.4 para el valor promedio de cada una de las condiciones operacionales.

Temperatura del aire comprimido a la salida del compresor GB-3

En la figura 4.1 se muestra una gráfica comparativa utilizando los valores referentes a la temperatura del aire comprimido a la salida del compresor GB-3.

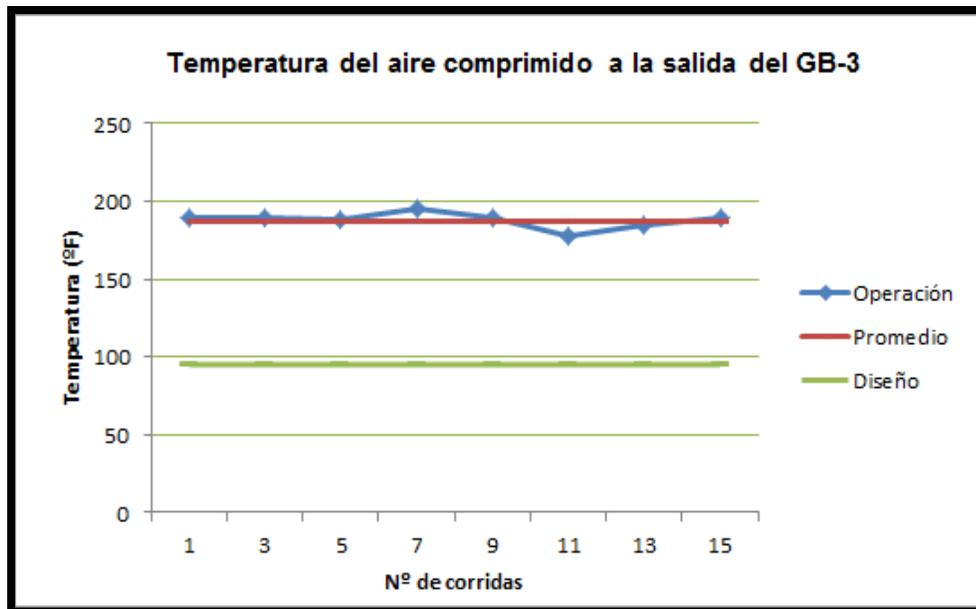


Figura 4.1. Gráfica comparativa de la temperatura del aire comprimido a la salida del compresor GB-3.

Se observa que la temperatura de operación no sufre grandes cambios con una desviación estándar de 5,4772; la temperatura de diseño que debe ser al menos 10°C (18°F) superior a la temperatura de operación máxima pero en ningún caso debe ser inferior que la máxima temperatura en casos de emergencia, como falla de servicios, bloqueo de operación, falla de Instrumentos, etc; según lo expresado en la norma de PDVSA MDP_01_DP_01 “temperatura y presión de diseño”; este compresor opera por encima de la temperatura de diseño en un 96,8421%, lo que genera disparos por altas temperaturas, daños de a las empaaduras y sellos del equipo,

Presión del aire comprimido a la salida del compresor GB-3

En la figura 4.2 se muestra una gráfica comparativa utilizando los valores referentes a la presión del aire comprimido a la salida del compresor GB-3

La presión se observa que se mantiene en un intervalo bastante fijo con una desviación de 2,3907 y operando por de bajo de la presión de diseño con una desviación de 17,6%, a pesar de esto genera cierta pérdida de confiabilidad y eficiencia del equipo, ya que lo establecido en la norma de PDVSA MDP_01_DP_01 “temperatura y presión de diseño”; es que la presión de diseño sea 10% más de la presión máxima de operación.

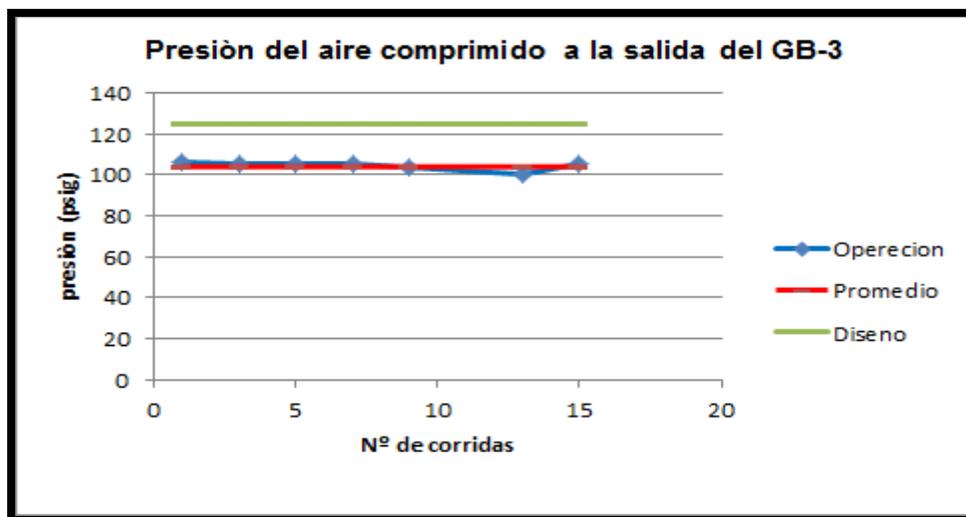


Figura 4.2. Gráfica comparativa de la presión del aire comprimido a la salida del compresor GB-3.

Temperatura del aire comprimido a la salida del compresor GB-4A

En la figura 4.3 se muestra una gráfica comparativa utilizando los valores referentes a la temperatura del aire comprimido a la salida del compresor GB-4A.



Figura 4.3. Gráfica comparativa de la temperatura del aire comprimido a la salida del compresor GB-4A.

La temperatura del aire comprimido a la salida del compresor GB-4A tiene una desviación estándar de 1,6693 operando con una desviación de 5,2537% respecto a la temperatura de diseño con la temperatura de operación, en un rango poco aceptable de operación lo que permite una baja confiabilidad y eficiencia en el equipo.

Presión del aire comprimido a la salida del compresor GB-4A

En la figura 4.4 se muestra una gráfica comparativa utilizando los valores referentes a la presión del aire comprimido a la salida del compresor GB-4A.

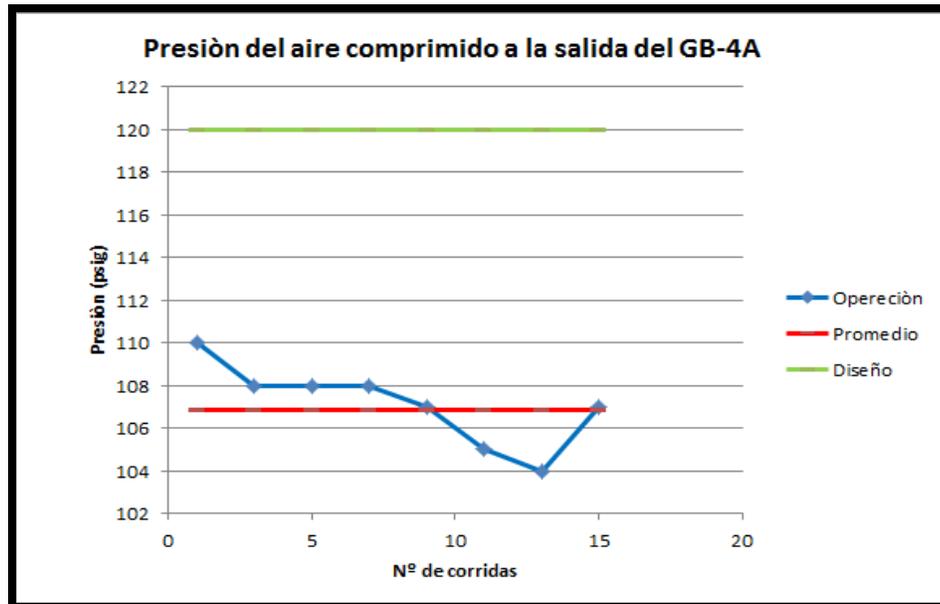


Figura 4.4. Gráfica comparativa de la presión del aire comprimido a la salida del compresor GB-4A.

La presión del aire comprimido a la salida del compresor GB-4A como se observa en la figura 4.4, tiene una desviación estándar de 1,7464 y con un promedio inferior a la presión de diseño con una desviación de 10,9375%; este compresor opera con un régimen de funcionamiento estable según lo expresado en la norma de presión y temperatura de diseño, lo que genera confiabilidad y eficiencia del equipo.

Temperatura del aire comprimido a la salida del compresor GB-6

En la figura 4.5 se muestra una gráfica comparativa utilizando los valores referentes a la temperatura del aire comprimido a la salida del compresor GB-6.

La temperatura de operación no se mantiene fija con una desviación de 3,2838, y con un promedio justo a la temperatura de diseño lo que hace que tenga una desviación de 0,1316%, según la norma lo recomendable es que

la temperatura de operación sea menos de 180°F lo que genera cierta una pérdida de confiabilidad y eficiencia en el equipo.

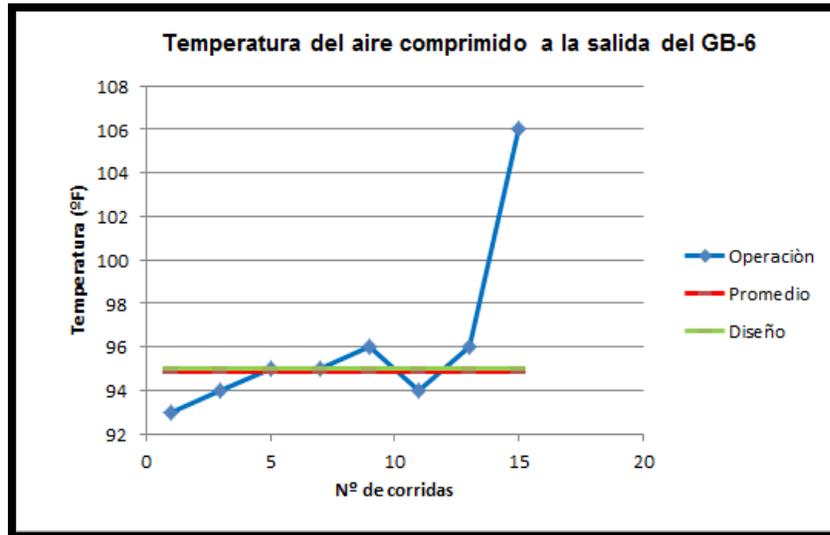


Figura 4.5. Gráfica comparativa de la temperatura del aire comprimido a la salida del compresor GB-6.

Presión del aire comprimido a la salida del compresor GB-6

En la figura 4.6 se muestra una gráfica comparativa utilizando los valores referentes a la presión del aire comprimido a la salida del compresor GB-6.

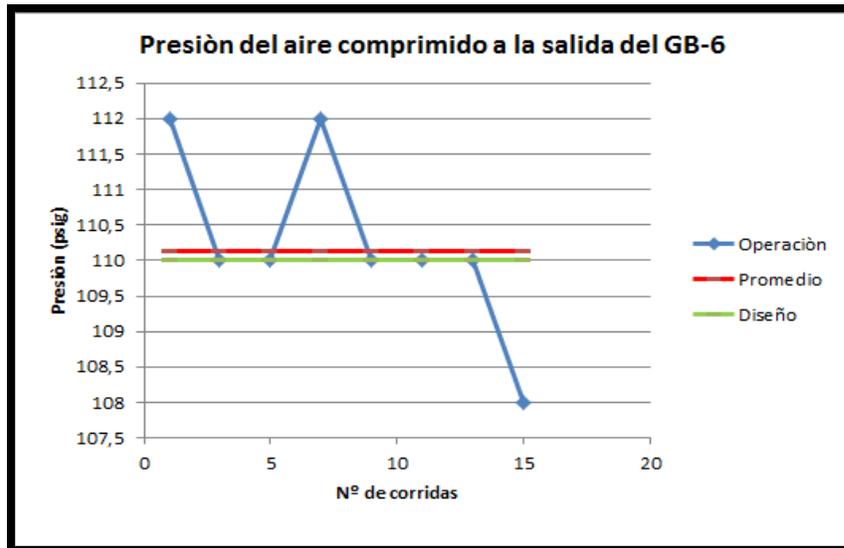


Figura 4.6. Gráfica comparativa de la presión del aire comprimido a la salida del compresor GB-6.

La presión no mantiene un valor fijo con una desviación de 1,8574 y opera por encima a la presión de diseño lo que genera pérdida de confiabilidad y eficiencia del equipo, con una desviación de operación con respecto a la de diseño de 0,1136%.

Temperatura del aire comprimido a la salida del compresor GB-9

En la figura 4.7 se muestra una gráfica comparativa utilizando los valores referentes a la temperatura del aire comprimido a la salida del compresor GB-9.

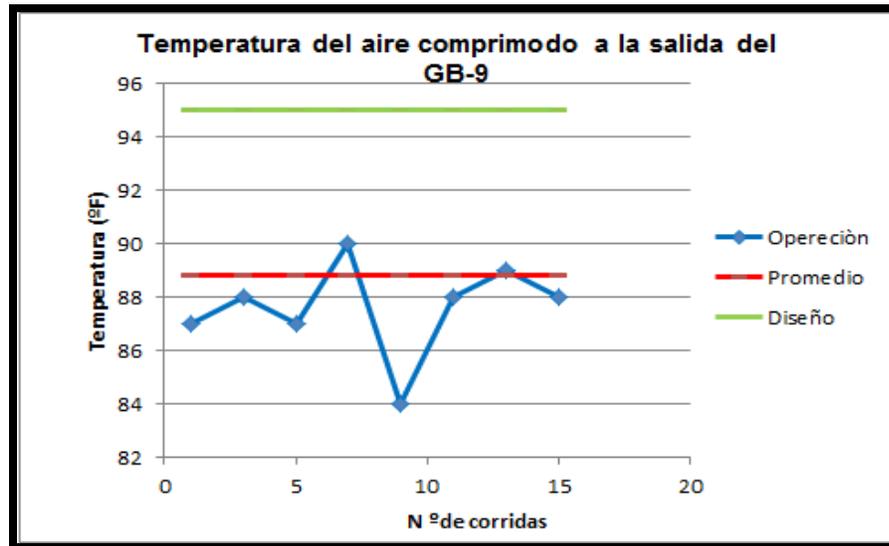


Figura 4.7 Gráfica comparativa de la temperatura del aire comprimido a la salida del compresor GB-9.

Se observa que la temperatura no se mantiene en un valor fijo con una desviación de 2,9033 opera a un promedio inferior a la temperatura de diseño desviándose de esta en un 6,5132% a pesar de esto la temperatura de operación no cumple con lo recomendado que es menos 18°F a la temperatura de diseño, lo que permite poca confiabilidad y eficiencia en el equipo.

Presión del aire comprimido a la salida del compresor GB-9

En la figura 4.8 se muestra una gráfica comparativa utilizando los valores referentes a la presión del aire comprimido a la salida del compresor GB-9.

Se puede observar que presión de operación no mantiene un valor fijo con una desviación de 2,4766, con un promedio por debajo de la presión de diseño con una desviación de 11,6667%, pero con una presión de diseño no superior de 110% de la presión de operación que es lo establecido en la norma, lo que indica poca confiabilidad y eficiencia en el equipo.

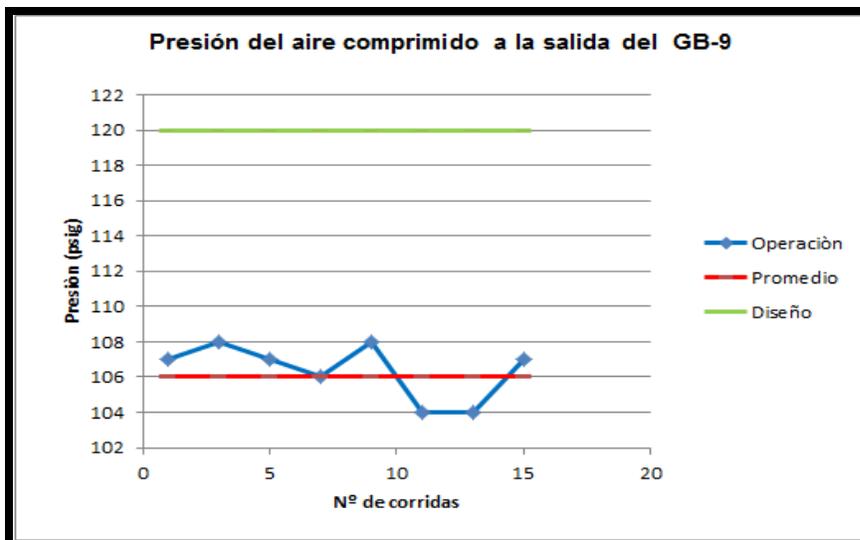


Figura 4.8 Gráfica comparativa de la presión del aire comprimido a la salida del compresor GB-9.

Se puede observar que presión de operación no mantiene un valor fijo con una desviación de 2,4766, con un promedio por debajo de la presión de diseño con una desviación de 11,6667%, lo que indica poca confiabilidad y eficiencia en el equipo, ya que lo expresado en la norma es que la presión de diseño es 10% más de la presión de operación máxima.

Con respecto a las unidades de secado se encuentra una sola en servicio, la unidad D-5501, lo que conduce a una baja flexibilidad operacional ante cualquier eventualidad y/o mantenimiento del equipo, esta unidad se encuentra en buenas condiciones, pero a pesar de esto, sea reportado que en las instalaciones mas alejadas de la planta generadora de aire comprimido se presentan problemas operacionales por la presencia de condensado en el aire comprimido, específicamente las unidades de hidroprocesos; mientras que la otra unidad de secado se encuentra integrada

por: FA-37/38/39/40 y EA-26/27 se encuentra en total deterioro por lo que se sugiere retirarla del área.

Por otro lado los tambores acumuladores AR-8/9/12 con una capacidad de 327 ft³ cada uno; se encuentran en buenas condiciones pero están fuera de servicio por no contar con suficiente capacidad de almacenamiento, estos fueron sustituidos recientemente por el tambor acumulador V-5501 con una capacidad de 2190 ft³, el cual hay que hacerle mantenimiento periódicamente especialmente a las tuberías y a la válvula de drenado del tambor receptor, para evitar que se acumule condensado.

El sistema de generación de aire comprimido se encuentra cumpliendo sus servicios pero con poca confiabilidad y eficiencia debido a que los compresores GB-3 y GB-6 se encuentran operando con temperaturas y presiones superiores a las de diseño, a pesar de esto en el tiempo de estudio no se reportaron ningunas fallas o paradas por parte de estos equipos mientras que los compresores GB-4A y GB-9 operan a temperatura y presión en un rango aceptable, por su parte la unidad de secado a pesar de ser un equipo nuevo no cumple con las especificaciones de diseño lo que genera presencia de condensado del aire comprimido.

4.2 Elaboración del diagrama de flujo de proceso general de distribución de aire comprimido de la Refinería Puerto La Cruz

La realización de todos los diagramas de flujo de proceso elaborados en esta etapa y el esquema general del sistema de generación de aire comprimido representan una descripción real y actualizada de lo que es el sistema de aire comprimido de la Refinería Puerto La Cruz. En el diagrama general se encuentran reflejados los compresores, el tambor receptor (en servicio), el paquete de secador (en servicio), las tuberías y accesorios necesarios para unir la configuración del sistema de generación de aire comprimido también muestran las redes de distribución a las diferentes plantas. En los anexos C,

se muestra el diagrama de flujo de proceso de distribución de aire comprimido.

Se realizaron los diagramas de flujo de proceso (ver anexo C) detallados de cada plantas, se partió del esquema general de generación y distribución de aire comprimido; en cada diagrama se muestran los equipos y válvulas asociadas al sistema de cada una de las plantas. Esta actualización del diagrama general de generación y los de cada planta asociada a las líneas de aire comprimido garantizara comodidad y rapidez a la hora de elaborar estrategias operacionales, así como también la comprensión del consumo de aire comprimido en cada planta y la del sistema de la generación o producción de aire comprimido.

4.3 Cálculo del consumo de aire comprimido de las unidades de destilación, conversión, estabilizadora de gasolina (u-051) y servicios industriales de la Refinería Puerto La Cruz

Con los datos de la tabla 3.7 se estimo el consumo de aire de instrumento que entra a cada unidades (ver figura 4.9), utilizando la ecuación 3.4 según corresponda cada termino, considerando una caída de presión máxima de 14,5 psi y un tiempo mínimo para mover la válvula desde una posición extrema hasta otra de 10 segundo, los resultados e encuentran reportado en la tabla 4.2.

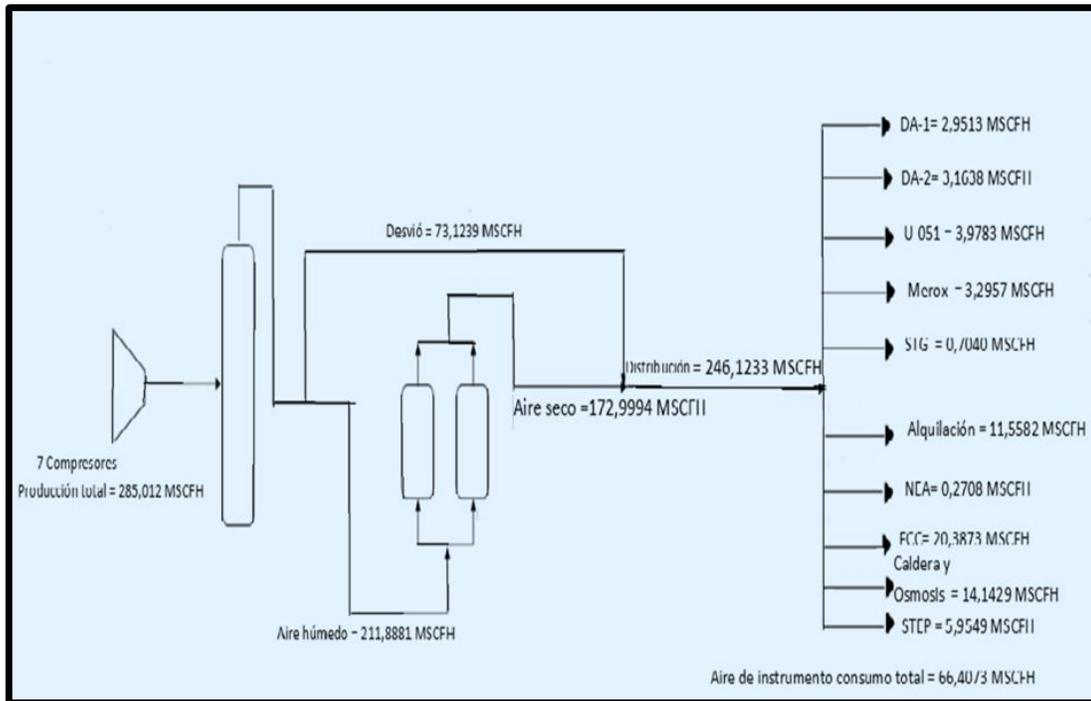


Figura 4.9. Consumo de aire de instrumento de cada una de las unidades.

Tabla 4.2. Consumo de aire de instrumento de las unidades de destilación, conversión, estabilizadora de gasolina (U-051) y servicios industriales de la Refinería Puerto La Cruz.

Unidades		Consumos aire de instrumento (scfm)
Destilación	DA-1	49,19
	DA-2	52,7292
Estabilizadora de gasolina	051	66,3044
Conversión	Merox	54,9291
	STG	11,7337
	Alquilería	192,6376
	NEA	4,513

	FCC	339,7955
Servicios industriales	Calderas y osmosis	235,7158
	STEP	99,2478
		Total:1.106,7661
		Total :66,4060 MSCFH

Empleado la ecuación 2.1 para balances de materia y se sabe que no hay reacción química queda:

$$\text{Entra} = \text{Sale}$$

Considerando que los compresores en servicio producen 285,012 MSCFH según la ecuación este término es la materia que entra al sistema mientras que el término que sale según la ecuación el consumo de aire de instrumento es de 66,4060 MSCFH más el consumo de aire de servicio que no se sabe, pero se puede obtener despejando de la ecuación:

$$\text{consumo de aire de servicio} = 285,012\text{MSCFH} - 66,4060\text{MSCFH} = 218,06\text{MSCFH}$$

Es importante decir que el consumo de aire de servicio es un estimado que el 50% de ese aire esta incluido el consumo de aire comprimido de las unidades de hidropcesos.

4.4 Determinación por medio de simulación de procesos la colocación de los tambores receptores AR-8 y AR-9 a la entrada del cabezal de distribución de aire comprimido hacia las unidades de hidropcesos

Seguindo las recomendaciones de la norma de PDVSA de calculo hidráulico de tubería L-TP 1.5 dice que la caída de presión recomendada es de 0,5 psi/100 pies de tubería, los resultado de tabla 4.3 obtenido por el simulador Pipephase son comparados con dicha norma analizando cada tramo de tubería se puede observar que sobrepasan los valores recomendados las líneas (segmento 8, distribución1, distribucion2, distribucion3, distribucion4, distribucion5)

Tabla 4.3 Comparación de la caída de presión recomendada (de acuerdo con la distancia entre entrada- salida) con la caída de presión estimada por el simulador.

Líneas	Entradas/salidas	Lo entre entradas/salidas (pie)	Caída de presión recomendada (psia)	*Caída de presión (psig)
Segmento1	Secador. sal	13,5212	0,0676	0,0497
	Nodo1			
Segmento2	Tambor. sal	116,2426	0,5812	1,5757
	Nodo 1			
Segmento3	Nodo 1	416,6087	2,2765	1,9226
	Nodo 2			
Segmento4	Nodo 2	38,6897	1,0545	0,5659
	Nodo 3			
Segmento5	Nodo 3	210,9042	1,2042	0,0156
	Nodo 4			
Segmento6	Nodo 4	240,8531	0,9685	0,0052
	Nodo 5			
Segmento7	Nodo 5	193,7096	0,3042	0,0017
	Nodo 6			
Segmento8	Nodo 6	60,8362	5,5792	6,9753
	HHP			
Distribucion1	Nodo3	39,37	0,1968	3,0278
	FCC			
Distribucion2	Nodo4	235,5463	1,1777	2,4619
	Alquilación			
Distribucion3	Nodo5	20,0833	0,1004	2,4462
	DA-2			
Distribucion4	Nodo6	59,4494	0,2972	2,4410
	051			
Distribucion5	Nodo7	158,7485	0,7937	2,4393
	STG			

Para los resultados de velocidades mostrados en la tabla 4.4 comparado con los establecido por Blanch la velocidad debe ser inferior a la velocidad crítica 8 m/s, sobrepasando esta velocidad las líneas (segmento1,segmento3, segmento4 y distribución1) esto indica que el diámetro de la tubería no es el recomendado lo que ocasionará con el tiempo posibles problemas de erosión, vibración o ruido en la tubería.

Tabla 4.4. Velocidad máxima de aire comprimido arrojada por el simulador, comparada con la velocidad recomendada inferior a 8 m/s (26,2467 pie/s).

Líneas	Entradas/salidas	Velocidad del aire comprimido (pie/s)
Segmento1	Secador. sal	37,8972
	Nodo1	
Segmento2	Tambor. sal	13,0824
	Nodo 1	
Segmento3	Nodo 1	51,0713
	Nodo 2	
Segmento4	Nodo 2	51,5410
	Nodo 3	
Segmento5	Nodo 3	19,1624
	Nodo 4	
Segmento6	Nodo 4	6,7030
	Nodo 5	
Segmento7	Nodo 5	4,5831
	Nodo 6	
Segmento8	Nodo 6	4,196
	Nodo7	
Segmento9	Nodo 7	1,4082
	HHPP	
Distribucion1	Nodo3	73,8739
	FCC	
Distribucion2	Nodo4	12,4894
	Alquilación	
Distribucion3	Nodo5	12,8235
	DA-2	
Distribucion4	Nodo6	2,4356
	051	
Distribucion5	Nodo7	9,2893
	STG	

4.5 Conclusiones

Al realizar el análisis de los resultados obtenidos en la presente investigación, respecto al sistema de generación de aire comprimido de la Refinería Puerto La Cruz, se concluye que:

1. El sistema de generación de aire comprimido actualmente se encuentra en funcionamiento, pero operando con poca eficiencia y confiabilidad generando condensado en las unidades de destilación, conversión y estabilizadora de gasolina U-051.
2. El sistema no cuenta con unidades compresoras accionada por turbinas a vapor.
3. Los diagramas de flujo de proceso (DFP) del sistema de aire comprimido de las unidades de destilación, conversión y estabilizadora de gasolina U-051 se encuentran actualizados y cuentan con información referente al aire comprimido, según el manual PDVSA N° L-TP-1.1.
4. El sistema de generación de aire comprimido produce un total de 246,1233 MSCFH, para un consumo de aire de instrumento es de 66,4060 MSCFH y el consumo de aire de servicio es de 179,716 MSCFH, este ultimo valor incluye el 50% del consumo de aire de las unidades de hidroprocesos.
5. Este balance permitió cuantificar el aire comprimido que entra a cada una de las unidades y un mejor seguimiento de la operación de estas.
6. Para la colocación de los tambores el diámetro de la tubería principal existen, no es el recomendado, saliéndose en ciertos tramos de las

especificaciones la caída de presión y velocidades críticas lo que ocasiona con el tiempo problemas de erosión, vibración o ruido en la tubería.

7. El aire de instrumento y de servicio llega a las diferentes unidades con las mismas especificaciones, porque estos se empalman o unen en una misma tubería en los límites de batería de la unidad de servicios industriales.

4.6 Recomendaciones

Se recomienda a la empresa, una vez finalizada la evaluación de sistema de aire comprimido:

1. Mantenimiento preventivo de las unidades del sistema de generación de aire comprimido, para de esta manera optimizar su funcionamiento y con ello eliminar eficientemente la humedad.
2. Adquirir unidades compresoras accionadas por turbinas a vapor de esta manera evitar para de planta antes cualquier falla eléctrica.
3. Colocar a la salida del paquete de secador en servicios industriales un medidor de humedad, para de esta forma monitorear la variable y conocer el tiempo óptimo de remplazo del material secante.
4. Separar el cabezal principal de aire de instrumento del aire de servicio, debido a que están en un mismo cabezal esto trae como consecuencia un exceso de humedad y condensado en las líneas de proceso.
5. Instalar medidores de flujo en cada una de las unidades de la refinería para cuantificar con exactitud el consumo de aire de instrumento y de servicio.

6. Se comprobó con el simulador pipephase que la caída de presión y velocidad crítica menor generada es con un diámetro de 5,5 pulg para evitar con el tiempo problemas de erosión, vibración o ruido en la tubería.

BIBLIOGRAFÍA

Arvalaez, S. “*Evaluación del sistema de aire comprimido del terminal marino de la Refinería Puerto La Cruz.PDVSA*”. Tesis de Grado, Departamento de Ingeniería Química, Universidad de Oriente Puerto la Cruz. Venezuela (2008).

ATLAS COPCO, “*Aire comprimido y sus aplicaciones en la industria*”. Departamento de Comunicaciones. Venezuela. 3ª Edición, (1990).

Aspen technology. 17 de Octubre del 2012. Disponible en: [\(1998\)](http://www.aspentech.com/pro-servicios/index.aspx).

Blanch, F. “*Curs de Pneumática*”, [en línea]. Disponible: <http://www.eupm.upc.es/%7emmt/assig-5.htm>.

Capitulo II.pdf. 15 de Febrero del 2012. Disponible en: http://biblioteca.unet.edu.ve/db/alexandr/db/bcunet/edocs/TEUNET/2007/pregrado/Mecanica/JaimesO_MaordyA/Capitulo2.pdf.

Cermeño, J. “*Estadística aplicada y diseño de experimentos*”. Fondo editorial UDO Anzoátegui. Segunda edición. Venezuela.

Elliot PAP PLUS® “*Compresor/technical manual*”. Prepare for VEHOP José, Venezuela S.A “Volúmenes 1, 2,3., Elliot®. (1999).

Felder, R y Rousseau r. "*Principios elementales de los procesos químicos*". Addison-Wesley, Wilmington, Delaware, EUA.(1991).

Greene, R. "*Compresores selección, uso y mantenimiento*". Editorial Mc Graw-Hill. México. (1992).

Greene, R. "*Válvulas selección, uso y mantenimiento*". Editorial Mc Graw-Hill. México. (1995).

Guillen, A. "*Introducción a la Neumática*". Editorial Marcambo Boix. España.(1993).

Hernández, J. "*Diseño de un sistema de secado de aire comprimido del separador de cuarta etapa de la unidad FCC*". Tesis de Grado, Departamento de Ingeniería Química, Universidad de Oriente Puerto la Cruz. Venezuela (2010).

Medina, L. y Cardozo, M. "*Estudio de la flexibilidad operacional en el sistemas se aire para instrumento de la planta de fraccionamiento José en PDVSA-GAS*". Tesis de grado de la Universidad, de Oriente Puerto La Cruz. (2010).

Moya, E. "*Determinación de los limites de operación segura en los equipos del sistema de generación de aire comprimido de la unidad de servicios industriales de la Refinería San Roque*". Tesis de Grado, Departamento de Ingeniería Química, Universidad de Oriente Puerto la Cruz. Venezuela (2010).

Nayyar, M. "*Piping Handbook*". Septima Edicion. Mc Graw-Hill. (2006)

Ortiz, D. *“Evaluación del sistema de aire de instrumento y de planta del mejorador de crudo Petroanzoategui”*. Tesis de grado, Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad de Oriente Puerto la Cruz. Venezuela (2011).

PDVSA I-tp1-1, *“Preparación de diagramas de proceso”*. Venezuela. (2009).

PDVSA SCIP-IG-I-03-I, *“Calculo de requerimiento de aire”*. Venezuela. (1999).

PDVSA L-TP 1.5, *“Calculo hidráulico de tuberías”*. Venezuela. (1994).

Perry, R. *“Manual del Ingeniero Químico”*. Sexta edición en español. Editorial Mc Graw- Hill, México. (1992)

Proyectos fin de carrera. *“Clasificación y tipos de compresores industriales”*.
20 de septiembre 2012. Disponibles en: [http:
www.proyectosfindecarrera.com/tipos-compresores.htm](http://www.proyectosfindecarrera.com/tipos-compresores.htm).

Royce, N. *“Compresores selection and sizing”*. Second Edition. Gulf Publishing Company. Texas. (1997).

Silva, H. *“Balance de materia y energía”*. Primera edición. Venezuela: Techcolor Graphics, CA. (2007).

Torres, R. y Castro, J. *“Análisis de simulación de procesos de refinación de petróleo”*. Dirección de publicaciones, Instituto Politécnico Nacional. México. (2002).

Tovar, M. "*Análisis energético del sistema de generación y distribución de aire comprimido de una cervecería*", Tesis de Grado, Departamento de Ingeniería Mecánica, UDO, Puerto La Cruz, (2006).

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

TÍTULO	EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO DE LA REFINERÍA PUERTO LA CRUZ
SUBTÍTULO	

AUTOR (ES):

APELLIDOS Y NOMBRES	CÓDIGO CULAC / E MAIL
Pérez A., María de los A.	CVLAC: 19.983.004 E MAIL: <u>edmary1989@hotmail.com</u>
	CVLAC: E MAIL:
	CVLAC: E MAIL:
	CVLAC: E MAIL:

PALÁBRAS O FRASES CLAVES:

aire comprimido, simulación pipephase, diagramas de flujo de procesos, compresores, secadores, sistema de generación de aire

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

ÁREA	SUBÁREA
Ingeniería y Ciencias Aplicadas	
	Ingeniería Química

RESUMEN (ABSTRACT):

Este trabajo consistió en la evaluación del sistema de aire de comprimido de la Refinería Puerto La Cruz, debido a que en la empresa se han reportado problemas de distintas índoles inherentes a dicho sistema. En el proyecto se llevo a cabo primeramente el diagnóstico de los equipos que integran el sistema de generación de aire comprimido, durante esta etapa se evidenció que la mayoría de los equipos se encontraban operando con poca eficiencia y confiabilidad generando condensado en las unidades de destilación, conversión y estabilizadora de gasolina U-051. Luego, se realizó el levantamiento y actualización los diagramas de flujo de proceso (DFP) del sistema de aire comprimido de cada una de las unidades, estos cuentan con información referente al aire comprimido, según el manual PDVSA N° L-TP-1.1. Posteriormente se realizó una estimación del consumo de aire de instrumento a partir de los tipos de posicionadores basándose en la norma de PDVSA N° SCIP-IG-I-03-I, resultando que el consumo de aire de instrumento es de 66,4060 MSCFH y el consumo de aire de servicio es de 179,716 MSCFH, esto incluyendo el 50% del consumo de aire comprimido de las unidades de hidropcesos. Finalmente, se realizó la evaluación de la colocación de los tambores receptores de aire comprimido AR-8 y AR-9 a la entrada del cabezal de distribución de aire comprimido mediante el simulador de procesos pipephase 9.1, resultando que para la colocación de los tambores el diámetro del cabezal principal de distribución de aire comprimido no es el recomendado, saliéndose en ciertos tramos de las especificaciones de caída de presión y velocidades críticas.

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

APELLIDOS Y NOMBRES	ROL / CÓDIGO CVLAC / E_MAIL				
	ROL	CA	AS	TU X	JU
Salas Yraima	CVLAC:	8.478.649			
	E_MAIL	yrasal57@hotmail.com			
	E_MAIL				
	ROL	CA	AS	TU	JU X
Moncada Fidelina	CVLAC:	13.366.691			
	E_MAIL	fidelinam@gmail.com			
	E_MAIL				
	ROL	CA	AS	TU	JU X
Cova Alexis	CVLAC:	11.905.328			
	E_MAIL	alexiscovab@gmail.com			
	E_MAIL				
	ROL	CA	AS	TU	JU X

FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN:

2013	07	04
AÑO	MES	DÍA

LENGUAJE. SPA**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**

ARCHIVO (S):

NOMBRE DE ARCHIVO	TIPO MIME
Evaluación aire comprimido.doc	MS - Word 2003

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:

PREGRADO

ÁREA DE ESTUDIO:

DEPARTAMENTO DE QUÍMICA

INSTITUCIÓN:

UNIVERSIDAD DE ORIENTE, NÚCLEO ANZOÁTEGUI



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
CONSEJO UNIVERSITARIO
RECTORADO

CU N° 0975

Cumaná, 04 AGO 2009

Ciudadano
Prof. JESÚS MARTÍNEZ YÉPEZ
Vicerrector Académico
Universidad de Oriente
Su Despacho

Estimado Profesor Martínez:

Cumplo en notificarle que el Consejo Universitario, en Reunión Ordinaria celebrada en Centro de Convenciones de Cantaura, los días 28 y 29 de julio de 2009, conoció el punto de agenda "SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN PARA PUBLICAR TODA LA PRODUCCIÓN INTELECTUAL DE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UDO, SEGÚN VRAC N° 696/2009".

Leído el oficio SIBI - 139/2009 de fecha 09-07-2009, suscrita por el Dr. Abul K. Bashirullah, Director de Bibliotecas, este Cuerpo Colegiado decidió, por unanimidad, autorizar la publicación de toda la producción intelectual de la Universidad de Oriente en el Repositorio en cuestión.

UNIVERSIDAD DE ORIENTE	
SISTEMA DE BIBLIOTECA	
RECIBIDO POR	<i>Mazley</i>
FECHA	5/8/09
HORA	5:30

hago a usted a los fines consiguientes.

Cordialmente,

Juan A. Bolanos Cuveto
JUAN A. BOLANOS CUVETO
Secretario



C.C.: Rectora, Vicerrectora Administrativa, Decanos de los Núcleos, Coordinador General de Administración, Director de Personal, Dirección de Finanzas, Dirección de Presupuesto, Contraloría Interna, Consultoría Jurídica, Director de Bibliotecas, Dirección de Publicaciones, Dirección de Computación, Coordinación de Teleinformática, Coordinación General de Postgrado.

JABC/YGC/maruja

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

De acuerdo al Artículo 41 del Reglamento de Trabajos de Grado:

“LOS TRABAJOS DE GRADO SON DE EXCLUSIVA PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD Y SÓLO PODRÁN SER UTILIZADOS EN OTROS FINES CON EL CONSENTIMIENTO DEL CONSEJO DE NÚCLEO RESPECTIVO, QUIÉN LO PARTICIPARÁ AL CONSEJO UNIVERSITARIO”

AUTOR

María de los Ángeles Pérez Amaricua

TUTOR

Yraima Salas

JURADO

Fidelina Moncada

JURADO

Alexis Cova

POR LA SUBCOMISION DE TESIS

Yraima Salas