

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



**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 REFINERA
SAN ROQUE**

Realizado Por:
Edgar Leonardo Moya Cuartas

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

INGENIERO QUIMICO

Puerto la Cruz, julio de 2010

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



**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 REFINERA
SAN ROQUE**

ASESORES

Ing. Quím. Hernán Raven (M. Sc.)
Asesor académico

Ing. Quím. Joel Silva
Aesor industrial

Puerto la Cruz, julio de 2010

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



**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 REFINERA
SAN ROQUE**

JURADO

Ing. Quím. Hernán Raven (M. Sc.)

Asesor académico

Ing. Quím. Alexis Cova

Jurado principal

Ing. Quím. Yraima Salas

Jurado principal

Puerto la Cruz, julio de 2010

RESOLUCIÓN

De acuerdo al artículo 41 del reglamento de trabajos de grado

“Los trabajos de grado son de exclusiva propiedad de la universidad de oriente y sólo podrá ser usado para otros fines con el consentimiento del consejo de núcleo respectivo, quien deberá participarlo previamente al consejo universitario, para su autorización”

DEDICATORIA

A mis padres Cecilia de Moya, Edgar Moya.

...Cuando subes una montaña tu mirada se centra en lo que será tu cumbre, es largo el trayecto cuando te decides a cumplir un sueño, es valiente decidirse a cumplirlo; tu camino no será fácil, pero en el trayecto, puedes tropezar lo que te lleva que te detengas y aprecies el paisaje. No importa el cuanto tardes, vale la pena detenerse si tan solo una foto del momento se grave en tu memoria, que conozcas personas en el camino que luego te acompañen, que sobran las risas y te des cuenta que cuando llegues al punto más alto, estas lleno de más sueños y de recuerdos que marcaron tu vida...

“La felicidad se completa en la cumbre pero se va formando en el camino”

AGRADECIMIENTOS

- Primeramente a mis padres por todo el apoyo brindado desde mis inicios para lograr esta importante meta en mi vida.
- A mis tíos Teresa y Ramiro por ser como unos segundos padres en mi vida, y brindarme las facilidades y detalles que no estaban al alcance de los míos. A toda mi familia mis tíos y los primos.
- A mi novia Ana Gomes y toda su familia, por ser un apoyo incondicional en buenas y malas, por todo lo aprendido a lo largo del camino, su dedicación y esfuerzo para conseguir este objetivo.
- A los grandes compañeros con lo que batalle durante toda la carrera, algunos al principio otros al final, Daniel Atay y Jessica Rodríguez, si no es por ustedes no termino la carrera, gracias este trabajo sencillamente es de ustedes, León amigo compañero desde pre-escolar, Zacarías y Navas, ustedes fueron ejemplo a seguir, Oscar y Sergio compañeros y amigos con los que siempre conté, al igual que muchos mas como Arenas, Orozco, Mary Ynes, entre otros. Gracias a todos.
- A mis grandes amigos Miguel Rodríguez y Francisco Belisario, más que amigos hermanos que nunca tuve, gracias por todo y ahí seguimos en la universidad de la vida.
- Al grupo de pasantías, las chicas del tráiler, en especial Lisa y el popular Mopa, excelente equipo de trabajo, siempre prestando apoyo y colaboración, les debo miles. A mis tutores Joel Silva, Deysi Bolívar, el personal de la refinería San Roque quienes sacaban un poco de su tiempo para prestarme su asesoría; en especial al señor Rogelio Rodríguez, quien fuera como un segundo padre para mí, por todas sus enseñanzas y gran apoyo ofrecido en todo momento. Shner gracias compadre por alumbrarme el camino cuando me encontraba en cero.
- A la familia Almeida por estar siempre pendientes de mi, María Gabriela gracias por tu apoyo y a tu mami por ayudarme a conseguir esta oportunidad.

- Por último y no menos importante a toda la familia CEMDERO, por todos esos caminos recorridos, por formarme como persona, por compartir juntos una misma pasión. Amílcar, Pedro, Javier, los hermanos Renaud y Farías, los queridos gochos Federico y Naira, al odiado Cesar, y demás compañeros. Ustedes son y serán parte de mi vida. El cielo es el límite.

RESUMEN

Debido a las prácticas de seguridad implementadas por la gerencia de seguridad de los procesos (GSP), se han venido realizando evaluaciones dentro de las distintas plantas de la refinería San Roque con la finalidad de determinar los límites de operación de los equipos. Esto ha sido necesario ya que los equipos se han deteriorado físicamente con el paso del tiempo y en ocasiones operan por encima de su capacidad de diseño. En la refinería San Roque existen instrumentos que requieren una alta calidad de aire comprimido para el funcionamiento de éstos entre ellos principalmente válvulas de control neumáticas, las cuales por ser sensibles requieren un aire totalmente seco y libre de aceite. Por tal motivo se realizó una evaluación a través de la observación directa, comparación del funcionamiento del sistema con la información bibliográfica, simulación del sistema y entrevistas no estructuradas. Se detectaron fallas tales como contaminación de aceite en el aire de instrumento, deficiencias en el drenaje que poseen los equipos, alta humedad del aire de instrumentos con presencia de condensado aguas abajo del mismo. Por lo que se propone a la empresa instalar un sistema de filtrado eficiente, mantenimiento y revisión de los equipos principales, así como la reactivación del secador auxiliar, para de esta manera garantizar un aire de calidad libre de humedad y aceite, y una operación dentro de los límites de seguridad y diseño implantadas por la empresa.

TABLA DE CONTENIDO

RESOLUCIÓN.....	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTOS.....	vi
RESUMEN.....	viii
TABLA DE CONTENIDO.....	ix
INDICE DE TABLAS.....	xiv
INDICE DE FIGURAS.....	xv
CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Ubicación geográfica y generalidades de la refinería.....	1
1.2. Planteamiento del problema.....	3
1.3 Objetivos.....	5
1.3.1. Objetivo General.....	5
1.3.2. Objetivos Específicos.....	5
CAPITULO II.....	6
MARCO TEORICO.....	6
2.1 Antecedentes.....	6
2.2. Descripción del proceso.....	7
2.2.1. Planta de crudo.....	8
2.2.2. Planta de parafina.....	17
2.2.3. Planta de servicios industriales.....	27
2.2.3.1. Sistema de agua suministro y tratamiento de agua.....	27

2.2.3.2. Sistema de gas natural	29
2.2.3.3. Sistema de aire comprimido	30
2.2.3.4. Generación de vapor	33
2.3. Gerencia de la seguridad de los procesos (GSP)	34
2.3.1. Los límites de operación máximo y mínimo	35
2.3.2. Rango de operación	36
2.3.3. Consecuencias de desviación (CD)	36
2.4. Definiciones generales usadas en las tablas LOCD.....	37
2.4.1 Temperatura de operación máxima	37
2.4.2. Temperatura de operación mínima	38
2.4.3. Temperatura de diseño.....	39
2.4.4. Presión de operación máxima.....	39
2.4.5. Presión de operación mínima.....	39
2.4.6. Presión de diseño	39
2.4.7. Aire comprimido.....	40
2.4.8. Calidad del aire comprimido	40
2.5 Calidad del aire según norma ISO 8573.1	42
2.6. Compresor.....	43
2.7. Secadores	45
2.7.1. Secado por absorción.....	45
2.7.2. Secado por adsorción	45
2.7.3. Secado por enfriamiento	46
2.8. Acumuladores	47
2.9. Filtros.....	47
2.9.1. Filtros de partículas.....	48

2.9.2. Filtros coalescentes.....	48
2.9.3. Filtros de vapores.....	49
2.10. Válvulas.....	49
2.10.1. Servicio de corte y paso.....	49
2.10.2. Servicio de estrangulación.....	50
2.10.3. Prevención de flujo inverso.....	50
2.10.4. Neumáticas.....	50
2.10.5. Dispositivos para desahogo de presión.....	52
2.11. Simulador de procesos PRO II.....	52
CAPITULO III.....	54
MARCO METODOLOGICO.....	54
3.1. Actualización de los diagramas de procesos e instrumentación asociados al sistema de generación de aire comprimido.....	54
3.2. Realización balance de materia y energía del sistema de generación de aire comprimido con los datos operacionales y de diseño.....	55
3.2.1. Elaboración de la hoja de trabajo.....	55
3.2.2. Chequeo del sistema de unidades de medición.....	59
3.2.3. Definición de componentes.....	59
3.2.4. Selección del método termodinámico.....	59
3.2.5. Definición de las corrientes de proceso.....	60
3.2.6. Definición de las condiciones del proceso.....	61
3.2.7. Corrida de la simulación y revisión de los resultados.....	62
3.3. Determinación de las desviaciones de las variables de operación actual de los equipos del sistema de generación de aire comprimido en comparación con las especificaciones de diseño.....	62

3.3.1. Compresores	62
3.3.2. Secador	63
3.3.3. Sistema de filtrado	64
3.3.4. Acumuladores	64
3.4. Propuestas de las soluciones a las desviaciones encontradas que puedan garantizar el funcionamiento adecuado de los equipos desde el punto de vista de proceso y seguridad.....	64
3.5. Muestra de cálculo	65
3.5.1. Calculo de la composición del aire de entrada	65
3.5.1.1. Determinación de la humedad absoluta.....	66
3.5.1.2. Determinación del flujo másico (m ^o)	66
3.5.1.3. Calculo del flujo de aire seco.....	68
3.5.2. Calculo de la presión inter-etapa	72
3.5.3. Calculo de la eficiencia de los sistemas.....	73
CAPÍTULO IV	75
ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	75
4.1. Actualización de los diagramas de procesos e instrumentación asociados al sistema de generación de aire comprimido.....	75
4.2. Realización de balance de materia y energía del sistema de generación de aire comprimido con los datos operacionales y de diseño.....	76
4.2.1. Validación de diseño del compresor Atlas Copco ZT-55.....	76
4.2.2. Validación de compresor Sullair 7500	78
4.2.3. Validación del secador frigorífico Atlas Copco FD-300	79
4.2.4. Simulación de los sistemas de generación de aire de instrumento y de aire de servicios a condiciones de diseño	81

4.2.5. Simulación de los sistemas de generación de aire de instrumento y de aire de servicios a condiciones de operación.....	82
4.3. Desviaciones de las variables de operación actual de los equipos del sistema de generación de aire comprimido en comparación con las especificaciones de diseño	85
4.3.1. Compresores	85
4.3.2. Secadores	86
4.3.3. Sistema de filtrado	87
4.3.4. Acumuladores	88
4.4. Modificaciones propuestas al sistema actual.....	88
4.4.1. Sistema de filtrado	89
4.2.2. Secadores	90
4.2.2. Sistema de monitoreo	92
CONCLUSIONES.....	94
RECOMENDACIONES.....	96
BIBLIOGRAFIA	98

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Limites de operación segura y consecuencia de las desviaciones.....	38
Tabla 2.2. Calidad del aire comprimido según norma ISO 8573.1 [9]	42
Tabla 2.3. Usos del aire comprimido según su clase [4].....	43
Tabla 3.1. Condiciones de diseño y operación actual de los sistemas de aire de instrumentos y servicios respectivamente de la refinería San Roque	61
Tabla 3.2. Características principales de los compresores evaluados	63
Tabla 3.3. Características principales del secador Atlas Copco FD-300	63
Tabla 3.4. Composición de alimentación del sistema de aire para instrumentos y servicios de la refinería San Roque	70
Tabla 4.1. Resultados de simulación de diseño para el compresor Atlas Copco ZT-55	77
Tabla 4.2. Resultados de la simulación de diseño para el compresor Sullair 7500.....	79
Tabla 4.3. Resultados de las simulación de diseño para el secador Atlas Copco FD-300.....	80
Tabla 4.4. Resultados de eficiencia de los sistemas bajo condiciones de operación y diseño ..	84
Tabla 4.5. Resultados de eficiencia en equipos a condiciones de operación	84

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Ubicación geográfica de la refinería San Roque.....	1
Figura 2.1. Diagrama de proceso de la refinería San Roque	8
Figura 2.2. Diagrama de proceso de la planta de crudo y vacío.....	17
Figura 2.3. Sistema de cristalización/filtración	24
Figura 2.4. Sistema de despojamiento/percolación	27
Figura 2.5. Diagrama de bloques del proceso de generación de aire de instrumento (1) y diagrama de bloques del proceso de generación de aire de servicio (2).....	31
Figura 2.6. Diagrama de proceso de compresor Atlas Copco ZT 55	32
Figura 2.7. Diagrama de proceso de secador Atlas Copco FD 300.....	32
Figura 2.8. Tipos de filtros para aire comprimido [15]	48
Figura 3.1 Hojas de trabajo para los sistemas de generación de aire comprimido para instrumentos (A) y generación de aire para servicios (B) respectivamente	56
Figura 3.2. Hoja de trabajo para el compresor Atlas Copco ZT55.....	57
Figura 3.3. Hoja de trabajo para secador Atlas Copco FD-300.....	57
Figura 3.4. Hoja de trabajo para el compresor Sullair 7500.....	58
Figura 3.5. Carta psicométrica en sistema ingles [18].....	71
Figura 4.1. Resultados de las propiedades de las corrientes involucradas en el sistema de generación de aire de instrumento a condiciones de diseño	81
Figura 4.2. Resultados de las propiedades de las corrientes involucradas en el sistema de aire de servicios a condiciones de diseño	82
Figura 4.3. Resultados de las propiedades de las corrientes involucradas en el sistema de generación de aire de instrumento a condiciones de operación.....	83
Figura 4.4. Resultados de las propiedades de las corrientes involucradas en el sistema de generación de aire de servicios.....	83
Figura 4.1 Muestras de aceite alrededor del compresor	90
Figura 4.2 Antiguo sistema de secado	91
Figura 4.3. Hoja de monitoreo del aire de instrumentos por medio del programa Aspen Process Explorer	93

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Ubicación geográfica y generalidades de la refinería

La refinería San Roque, adscrita a la refinería Puerto la Cruz, está ubicada en las cercanías de la ciudad de Anaco (a unos 34 km) y entre las poblaciones de Santa Ana (a unos 5 km) y Aragua de Barcelona (a unos 31 km), al sur del estado Anzoátegui, está diseñada para procesar crudos paranínicos livianos procedentes en su mayor parte de áreas de producción del distrito Anaco y de Táchata, próxima a la población de Urica. En la figura 1.1 se muestra la ubicación geográfica de la refinería San Roque.



Fuente: www.maps.google.com

Figura 1.1 Ubicación geográfica de la refinería San Roque

Las operaciones en la refinería San Roque están orientadas a la producción y suministro de parafinas industriales al mercado nacional. Esta refinería entró en operación el 23 de septiembre del año 1952, bajo el nombre de *Phillips Petroleum de Venezuela* con una capacidad de procesamiento de 2.000 BPD de crudos parafinosos livianos y una producción aproximada de 50 ton/d de parafina terminada. En la actualidad es el único centro productor de parafina en el país con una carga actual de 5.700 BDP de crudo parafinosos con gravedad entre 40 y 41,8° API y un contenido de parafinas entre 7,5 y 9 % en peso.

Se entiende por cera parafínica (parafina o cera) una sustancia untuosa de brillo relativo y que funde fácilmente: Existen varios tipos de ceras, dependiendo de su origen, como ceras animales, vegetales y minerales, entre éstas últimas se encuentran las que se obtienen del petróleo.

Muchos de los crudos al ser destilados producen un corte de rango de ebullición de 650°F – 1.000 °F que consiste en una mezcla de aceite y cera, para la separación y purificación de esta mezcla se usa el proceso de desaceitado, en el cual las parafinas de alto peso molecular se cristalizan, cuando se enfría la fracción de hidrocarburo en la cual ellas están contenidas, y luego son separadas por filtración.

La refinería está conformada por la plantas de crudo y vacío, y por la plantas de parafinas, además de la planta de servicios industriales que garantizan su operación.

La carga de crudo previamente calentada en el tren de precalentamiento, es alimentada a la unidad de destilación atmosférica (TA-1), donde se obtienen los cortes de gasolina, nafta, diesel liviano, diesel mediano, gasoil, destilado liviano y residuo. Parte de la gasolina y el diesel liviano son utilizados para abastecer las necesidades de combustible de la zona, mientras la nafta es requerida en el proceso de producción de la parafina como agente de dilución y para el lavado de equipos. El destilado liviano obtenido en la unidad atmosférica tiene un rango de ebullición de 550-870°F y un punto de derretimiento de 108-114°F, y el

destilado pesado producido en la unidad de vacío tiene un rango de ebullición de 600-950°F y un punto de derretimiento de 117-124°F. Con destilados dentro de estos rangos se asegura una buena calidad de dichos cortes y en consecuencia, la operación de la planta de parafina será de fácil manejo y se podrá cumplir con el objetivo principal, el cual es la separación de la parafina del aceite pesado y la purificación de la misma.

El fondo atmosférico se procesa en la unidad de destilación al vacío para obtener los cortes de destilado pesado y fondo de vacío. Los productos de estas destilaciones, que no son utilizados, se mezclan y se regresan como crudo reconstituido hacia el patio de tanques de Anaco.

Los destilados livianos y pesados son almacenados y constituyen la materia prima de la planta de parafina, en la cual se cumplen las etapas de cristalización, filtración, denudación (recuperación de solvente) y percolación (purificación).

La planta de servicios es clave para el desarrollo de las actividades operacionales de la refinería, por la importancia de los servicios que ella proporciona, como son: generación de vapor, sistema de aire comprimido, sistema de agua contra incendios, planta de tratamiento de agua, sistema de agua de enfriamiento, laboratorio, almacenaje y despacho de productos.

1.2. Planteamiento del problema

Las operaciones de la refinería San Roque están orientadas al proceso de crudos parafínicos livianos procedentes en su mayor parte de las áreas de producción del distrito Anaco, para la manufactura de la parafina de uso industrial y otros subproductos aptos para ser usados como combustible en la zona.

Debido a las guías dictadas por la gerencia de seguridad de los procesos (GSP), la cual tiene como objetivo fundamental poner en práctica operaciones que regulen el funcionamiento seguro de las distintas actividades ejecutadas dentro de PDVSA, ha sido necesario realizar una evaluación dentro de las distintas plantas de la refinería con la finalidad de determinar los límites de operación segura (LOS) dentro de las instalaciones del proceso, ya que los equipos

se han deteriorado físicamente con el paso del tiempo y en ocasiones se utilizan por encima de su capacidad de diseño. A partir de esta problemática, la GSP ha determinado que se debe establecer un rango seguro de trabajo para prevenir la ocurrencia de accidentes severos, mayores y catastróficos, al operar de una forma segura y confiable que permita reducir el número de paradas no programadas, los costos de mantenimiento y evitar problemas en aquellos equipos considerados críticos en el proceso.

En investigaciones previas dentro de la refinería se realizó este tipo de evaluación en la planta de parafinas y en la planta de crudos, por lo que para efectos de la presente investigación se estudió la unidad de servicios industriales, específicamente el sistema de generación de aire comprimido.

La evaluación fue posible mediante el análisis del comportamiento de los equipos que están involucrados en el sistema de generación de aire comprimido. Se realizó un seguimiento de las condiciones de operación actual de los equipos en un intervalo de tiempo determinado, y una comparación con sus condiciones de diseño, además de la simulación de los equipos principales de la unidad en ambas situaciones de procesamiento, y así se establecieron diversas alternativas o soluciones a las distintas desviaciones que se encontraron. Adicionalmente se actualizaron los diagramas de servicios industriales según las modificaciones encontradas.

Esta evaluación permitió establecer las bases para la realización de un manual de información de seguridad de los procesos (ISP) para así adiestrar al personal de operaciones, mantenimiento, ingeniería y contratistas que laboren en las instalaciones de la unidad de servicios industriales y controlar los riesgos asociados a dicha unidad.

1.3 Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Determinar los límites de operación segura del sistema de generación de aire comprimido de la unidad de servicios industriales de la refinería San Roque.

1.3.2. Objetivos Específicos

- 1.** Actualizar los diagramas de procesos e instrumentación asociados al sistema de generación de aire comprimido.
- 2.** Realizar balance de masa y energía del sistema de generación de aire comprimido con los datos operacionales y de diseño.
- 3.** Determinar desviaciones de las variables de operación actual de los equipos del sistema de generación de aire comprimido en comparación con las especificaciones de diseño.
- 4.** Proponer soluciones a las posibles desviaciones encontradas que garanticen el funcionamiento adecuado de los equipos desde el punto de vista de proceso y seguridad.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1 Antecedentes

Dentro de la estructura organizativa de PDVSA, se encuentra la gerencia de seguridad de los procesos (GSP) creada en 1995, la cual tiene como función la aplicación de prácticas gerenciales que mitiguen escapes accidentales de sustancias peligrosas por fallas en los procedimientos o equipos. Para lograr su propósito utiliza, entre otros elementos, la información de seguridad de los procesos (ISP) conformada por un conjunto de documentos técnicos referentes a la tecnología, el diseño de los equipos y los riesgos de los materiales o sustancias peligrosas empleadas en los procesos, la cual es indispensable tener actualizada y disponible en cada instalación para la implantación efectiva de la GSP, además de ser utilizada como respaldo al efectuar los análisis de riesgos de procesos, para así establecer los lineamientos que deben regir a una planta, instalación o unidad con la finalidad de que éstas operen sin que represente un riesgo a los procesos industriales y a las personas que laboran en ella. [1] Desde el año 2000 se han venido implementando dichos manuales ISP en la refinería Puerto la Cruz por lo que la refinería San Roque se ve en la necesidad de implementar también los manuales en las distintas plantas que lo conforman.

En 2003 Salazar [2] basada en los lineamientos de la GSP evaluó el comportamiento operativo de los equipos en la planta de crudo de la refinería San Roque, validando el diseño original de la planta, determinando los equipos que se encontraban fuera de especificación de diseño el cual resultó ser del 20% tales como las bombas B-1-02, B-3, B-8 y B-14A, así como los intercambiadores IC-9, IC-9A, IC-13 e IC-13A. Estableció soluciones a los equipos que se encontraban laborando fuera del rango de operación así como la factibilidad económica de estas soluciones propuestas, en bases a toda esa información elaboró el ISP de la planta de crudo de la refinería San Roque.

Luego Jiménez en 2006. [3] dio continuidad al trabajo realizado por Salazar. [2] y basada en su trabajo evaluó el comportamiento operativo de los equipos de la planta de parafinas de la refinería San Roque concluyendo que un 11,8 % de los equipos estudiados se encontraron operando fuera de los límites establecidos siendo las bombas los que mayor problema presentaron. Los intercambiadores de calor IP-4A e IP-4B se encontraron operando por encima de su capacidad de diseño en cuanto al flujo, con un porcentaje de desviación de 37,01 y 43,15 % respectivamente, además el tren de filtración N° 2 es más eficiente que el de la planta N° 1. De igual forma recogió suficiente información para elaborar el ISP de la planta de parafinas de la refinería San Roque.

Arveláez en 2008. [4] evaluó el sistema de aire comprimido del terminal marítimo de Puerto la Cruz-PDVSA. Determinando fallas importantes a nivel de diseño y operación en dicho sistema.

En el presente trabajo se evaluará el comportamiento operativo de los equipos de la unidad de servicios industriales de la refinería San Roque, se le dará continuidad a los mismos estudios de Salazar [2] y Jiménez [3] pero aplicado en otra planta diferente (Unidad de Servicios Industriales) específicamente el sistema de generación de aire comprimido, basado en la evaluación de Arveláez [4], con la finalidad de complementar la evaluación de otros equipos de la refinería y la elaboración del correspondiente manual ISP de este sistema.

2.2. Descripción del proceso

La refinería San Roque está constituida básicamente por la planta de crudo y vacío, planta de parafinas y la planta de servicios industriales. En la figura 2.1. se muestra un diagrama de proceso de la refinería San Roque.

Antes de entrar a la unidad atmosférica el crudo pasa por un sistema de precalentamiento formado por los intercambiadores de calor IC-1-01, IC-1-02A/B/C, IC-7A/7B, IC-8, IC-9/9A, IC-13/13A.

El crudo con una temperatura aproximada de 112°F y una presión de 460 psig entra en paralelo a los intercambiadores IC-7A/7B y se calienta hasta 140°F con la corriente de diesel mediano que va a almacenaje/reflujo y que se enfría hasta 170°F. Luego el crudo entra al intercambiador IC-8 donde se calienta hasta una temperatura aproximada de 200°F con la corriente de gasoil que se enfría hasta 197°F aproximadamente. A continuación el crudo pasa a intercambiar calor con la corriente de diesel liviano en el IC-1-01, aumentando su temperatura a 230°F y enfriando el diesel liviano hasta 340°F. Seguidamente pasa al conjunto de intercambiadores IC-1-02A/B/C e intercambia calor con la corriente de destilado pesado calentándose hasta 290°F.

Finalmente, el crudo entra en paralelo a los intercambiadores IC-9/9A (destilado liviano a planta de parafina), e IC-13/13A (residuo de vacío a almacenaje), en los cuales logra alcanzar una temperatura de salida entre 350°F y 360°F (355°F promedio) aproximadamente.

Al salir el crudo del tren de precalentamiento, entra en paralelo a los hornos HC-1A/B lo cual permite elevar la temperatura hasta 420°F como mínimo. El crudo precalentado es enviado al tambor pre-flash (PF-1) donde a la presión de 60 psig y 432°F se separan la fracción líquida de la fracción de vapor producida en el tren de precalentamiento. La fracción de vapor es alimentada bajo control de presión directamente a la zona de alimentación de la torre TA-1 (altura del plato N°20) y la fracción líquida es bombeada por la bomba B-1-01 (B-1-01A respaldo) bajo control del nivel hacia el horno de crudo HC-2 donde es parcialmente vaporizada, donde alcanza la temperatura de transferencia, en el orden de 710°F y finalmente es alimentada a la torre sobre la bandeja o placa N°5.

La TA-1 es una columna que consta de 46 platos o bandejas en orden ascendente. Las primeras cuatro tienen orificios perforados y el resto son bandejas con casquetes de burbujeo

fijados sobre chimeneas, por las cuales pasan los vapores que ascienden de una a otra bandeja. Como cualquier otra torre de fraccionamiento, la temperatura de tope (230°F) es menor que la del fondo (650°F), esto se logra mediante los reflujos superiores e intermedios. El propósito de ello es separar los hidrocarburos más livianos de los pesados en función de sus diferentes puntos de ebullición.

La composición de los vapores que ascienden en la torre es una mezcla de diversos hidrocarburos, los cuales condensan a diferentes temperaturas. Las fracciones más livianas se evaporan a una temperatura más baja que las fracciones pesadas. Los componentes que poseen un punto de ebullición muy alto se mantienen en estado líquido y caen al fondo de la torre.

El diseño de las bandejas de burbujeo de esta torre es de tal forma que se mantiene un nivel constante de líquido en cada una de ellas, mediante un vertedero a la bandeja inferior. De esta manera, se logra un mejor contacto entre los vapores que ascienden y el líquido que baja. En el caso de que el líquido condensado en una bandeja no sea retirado de la torre, la bandeja rebosa y el líquido cae al plato inferior.

En dicha torre se encuentra instalado en la bandeja N°6 un separador de gota, el cual evita la expansión del producto pesado (crudo reducido) hacia las bandejas superiores, lo cual ocasionaría contaminación de la producción.

En la parte superior de la torre TA-1, por encima de la bandeja N°46, salen a una temperatura de 230°F, las fracciones livianas del crudo.

Como se mencionó anteriormente, en la TA-1 se producen los cortes de gasolina, nafta, diesel liviano, diesel mediano, destilado liviano y residuo atmosférico. Los cortes de gasolina, diesel liviano y diesel medio son enviados al tanque de crudo reconstituido y los cortes de nafta y destilado liviano son procesados a la planta de parafinas, mientras que el residuo atmosférico se alimenta a la TV-1.

El corte de gasolina se recupera por el tope de la TA-1. Es enfriado y condensado en los intercambiadores de calor IC-1A/B (Fin-Fan o enfriadores con aire.), los cuales constan de dos ventiladores eléctricos que funcionan a dos velocidades cada uno (lento y rápido.). Los vapores ligeramente fríos (140°F), entran en paralelo a los condensadores IC-2A/B (condensadores de gasolina) en los cuales se enfría con agua proveniente de la torre de enfriamiento N°1, hasta alcanzar una temperatura de condensación parcial aproximada de 115°F. El producto ya condensado entra al acumulador AC-1 (acumulador de gasolina.), donde los vapores que no logran condensarse pasan a través de un medidor el cual permite registrar el volumen de gas no condensado. Seguidamente, el flujo de gas pasa a través de una válvula de control, la cual permite salir el volumen de gas para mantener una presión constante de 8 lbs/in² (psig) en el acumulador y de 15 psig en el tope de la unidad atmosférica. Los gases livianos provenientes tanto de la unidad atmosférica como del sistema de recuperación de nafta que no logran condensarse se unen y automáticamente se descargan hacia el mechurrio, por el sistema de alivio, donde éstos se queman.

Del tambor AC-1 (acumulador de gasolina) y a una temperatura de 110°F, aproximadamente, succionan las bombas B-7A/B (gasolina a almacenaje y reflujo al tope de la torre.). La bomba B-7A ó B, tiene instalada en su línea de descarga una placa de que permite registrar la producción a almacenaje. La producción se mantiene aproximadamente en 1680 BPD mediante el control de nivel de líquido existente en el acumulador. Este control acciona una válvula de nivel automática que permite pasar la cantidad de flujo adecuada de acuerdo al nivel existente en el acumulador.

La temperatura del tope de la unidad TA-1 es controlada por medio de la variación del reflujo de gasolina, mediante la acción de la válvula de control instalada en la línea de descarga de la bomba B-7A/B. El reflujo de gasolina suministrado a la torre es registrado y varía entre 3.000 a 3.600 BPD, dependiendo en todo momento de la temperatura existente en el acumulador AC-1 y de la temperatura del tope de la torre.

Los vapores de nafta en la TA-1 son condensados por encima de la bandeja N°37 y retirados de la torre a la altura de los platos 37, 40 y 42. La existencia de estas tres salidas tiene por objetivo controlar la especificación de los productos.

Si la nafta se retirara de la bandeja N°42, arrastraría más partículas livianas de gasolina, causando que el punto de ebullición bajara; si se usara la bandeja N°37, arrastraría partículas de diesel liviano, generando elevación del punto de ebullición. Generalmente se usa la línea de salida de nafta al despojador TD-1 (parte superior) de la bandeja N°42, saliendo a una temperatura aproximada de 320°F. El despojador se encuentra relleno de armaduras llamadas monturas Berl. Del fondo de la torre despojadora pasa al enfriador IC-3 (enfriador de nafta) succionado por la bomba B-5 (nafta a almacenaje) y descarga a almacenaje, previo enfriamiento en el enfriador IC-4 (enfriador de nafta), los vapores de hidrocarburos más livianos que la nafta salen a través del tope de la torre despojadora y vuelven a la TA-1, a la altura de la bandeja N°43.

El diesel liviano se obtiene por extracción lateral de las bandejas N°29/30 y 32. El producto es retirado regularmente de la torre atmosférica hacia el intercambiador IC-1-01 y al despojador TD-1 (parte inferior) por la bandeja N° 32, en un rango de temperatura de 445-450°F. Este último, al igual que el despojador de nafta, se encuentra relleno de monturas tipo Berl, la fuente de despojamiento es vapor saturado a 190 psig y 383°F. El suministro de éste es de aproximadamente 70 lb/hr. Tanto los vapores livianos de hidrocarburos, como el vapor de agua, retornan a la torre TA-1 a la altura de la bandeja N°33. Del fondo de la torre TD-1 el diesel pasa a través del intercambiador IC-5 (enfriador de Diesel Liviano) donde se enfría hasta 209°F succionado por las bombas B-3 (Diesel Liviano a almacenaje) y B-4 (respaldo de B-3 y B-5) pasa al intercambiador IC-6 (Diesel Liviano a almacenaje) donde se enfría hasta 101°F aproximadamente. La fracción de diesel liviano al intercambiador IC-1-01, se enfría hasta 340° F, aproximadamente, y retorna a la torre a la altura del plato N°34. Este reflujo es bombeado a través de la bomba, B-1-02 (B-1-02A respaldo.) y varia alrededor de los 1800 BPD. Dependiendo de la temperatura existente en el plato el operador puede ajustar el caudal de reflujo variando el punto de ajuste del controlador.

El siguiente corte corresponde al diesel medio que luego de ser extraído de las bandejas N° 23, 25 y 27 de la torre TA-1, pasa al despojador de diesel mediano-destilado liviano TD-2 (parte superior) el cual se encuentra relleno de monturas tipo Berl, el producto normalmente se obtiene de la placa N°23 a una temperatura de 554°F. A diferencia del despojador TD-1, se le inyecta vapor sobrecalentado a 550 °F y 165 psi proveniente del horno HC-3. El producto de tope de la torre despojadora es retornado a la unidad atmosférica a la bandeja N° 27. El producto de fondo fluye por gravedad a través de los intercambiadores IC-7A/7B, colocados en serie, donde intercambia calor con crudo cargado al proceso, lográndose enfriar el diesel hasta la temperatura aproximada de 170°F. La bomba B-9 succiona el diesel mediano de los intercambiadores y lo descarga a los tanques 23 y 24, teniendo como bomba auxiliar a la B-10.

De la unidad atmosférica, a la altura de la bandeja N° 15 se obtiene el gasoil, el cual fluye al acumulador AC-2 a una temperatura de 610 °F. Del fondo del acumulador continúa por gravedad al intercambiador IC-8, donde le transfiere calor al crudo y se enfría hasta aproximadamente 197°F. Seguidamente es succionado por la bomba B-11 (B-11A/B auxiliares) y descargado a través del intercambiador IC-15, en el cual se enfría hasta 190°F previa mezcla con el residuo de vacío. Los vapores que salen del acumulador AC-2 retornan a la TA-1 a la altura de la bandeja N° 18.

Además de los productos mencionados anteriormente de la unidad atmosférica se obtiene el destilado parafinoso liviano, el cual se extrae lateralmente de la torre por las bandejas N° 7/9 y 11. Actualmente se retira del plato N° 11 un corte con un 42% en peso de contenido de parafina, a una temperatura de 665°F y pasa al despojador TD-2 (parte inferior). El medio de despojamiento usado es vapor sobrecalentado proveniente del horno HC-3, los vapores producto del despojamiento regresan a la torre TA-1 a la altura de la bandeja N° 12. Del fondo del despojador TD-2 succionan las bombas B-8 y B-8A en paralelo (B-8B auxiliar), descargando al intercambiador IC-9, luego continúa fluyendo a través de dos enfriadores con agua (IC-10A/10 en serie) alcanzando temperaturas de 125 °F. El producto normalmente es

cargado a la planta de parafina y el remanente es almacenado posteriormente en los tanques 19 ó 20.

El despojador de residuo TD-3 es considerado parte integral de la unidad atmosférica. Esta constituido básicamente por un total de cinco bandejas. El flujo de residuo de la unidad atmosférica (TA-1) es a la altura de la bandeja N°5. La fuente de despojamiento es vapor sobrecalentado, la inyección se efectúa considerando que el residuo contiene productos livianos que han de recargar los eyectores de la unidad de vacío. El ajuste o control del vapor al despojador debe ser riguroso, ya que la presencia de demasiado vapor levantaría parte del residuo y contaminaría la producción de destilado liviano, como también recargaría a la torre atmosférica y la falta del mismo causará problemas en la unidad de vacío.

El residuo separado fluirá desde el fondo del separador de residuo hasta el fondo de la torre atmosférica, al nivel del plato N°1, luego es bombeado por la bomba B-6 (B-6B auxiliar) como carga a la unidad de vacío, previamente calentado en el horno HC-3.

Antes del horno HC-3 se le inyecta vapor sobrecalentado a 550°F y 165psi, con el fin de incrementar la velocidad para evitar la formación de carbón en los tubos del horno. La temperatura del residuo atmosférico a la entrada del horno es de 650°F y es aumentada y controlada entre 715 y 720°F. El vapor que se sobrecalienta en el Horno HC-3, es vapor producido en los generadores de vapor en la Planta de servicios, este vapor de 383°F y es calentado entre 500-550°F.

La unidad de vacío (TV-1) consta de dos lechos empacados, un plato de retiro (identificado como plato N°14 y localizado entre los dos lechos), y un plato identificado como el N°6, ubicado en el fondo del último lecho. Cada lecho dispone de distribuidores de líquido, platos de soporte e indicadores de diferencial de presión. Los distribuidores de líquido permiten una mejor distribución de líquido y un mejor contacto líquido-vapor a lo largo del lecho empacado. Caídas de presión máximas de 3 pulg de Hg serán indicadores del ensuciamiento de los mismos. Altas caídas de presión disminuyen la eficiencia del sistema y desmejoran el fraccionamiento de productos. Al fondo de la sección principal de la torre, se

encuentra la columna de separación, en la cual existen cinco bandejas tipo tamiz numeradas del 1 al 5. La torre en total tiene 7 bandejas tipo tamiz.

La alimentación, proveniente del horno HC-3, a una temperatura entre 715-720°F entra en el fondo de la sección principal, por debajo del plato N°6. Por el fondo de la columna de separación se inyecta vapor sobrecalentado para ayudar la separación del destilado pesado.

En la zona de expansión se encuentra el plato N°6 y el lecho empacado inferior, a través de los cuales deben pasar los vapores conjuntamente con los aceites vaporizados, separándose el producto relativamente más pesado del destilado portador de parafina. Del plato de retiro N°14 se obtiene el destilado pesado a una temperatura alrededor de 570°F con un contenido en parafinas de aproximadamente 42%, el cual es succionado por las bombas B-14B y B-14 (B-14A auxiliar) al intercambiador IC-1-02A/B/C, donde intercambia calor con el crudo, enfriándose hasta 306°F. Seguidamente pasa a través del enfriador IC-14 (Fin-Fan) alcanzando temperaturas de 163°F. Una porción de este destilado es utilizado como reflujo intermedio en el tope del lecho inferior a una temperatura entre 260-300°F obtenida por mezclar el destilado caliente (306°F) y destilado frío (163°F) Este reflujo intermedio sirve para mantener los perfiles de temperatura de la torre y, en casos como aceite de lavado, para el control de metales y productos pesados en la corriente de gasóleos parafinados saliendo de la torre. Adicionalmente, cumple la función de mantener mojado el lecho empacado. El lecho empacado superior es usado para recuperar el destilado pesado y mantener baja temperatura en el tope de la torre y no sobrecargar el sistema de eyectores.

El calor es eliminado con lo que se llama reflujo frío, el cual entra a través del distribuidor de líquido colocado en el tope del lecho empacado superior a una temperatura aproximada de 163°F. La temperatura de tope es mantenida entre 190 y 200 °F aproximadamente.

El residuo proveniente del fondo de la unidad de vacío es succionado por las bombas B-13B/13 (B-13A auxiliar). El residuo sale a 600°F, pasa por el intercambiador IC-13/13A y

luego al enfriador IC-15, previa mezcla con el gasoil atmosférico y de allí va a los tanques 17 y 18.

Para operar satisfactoriamente, el tope de la unidad de vacío (TV-1) debe ser mantenido a la presión de 27,5 a 28 pulg de Hg, la cual es mantenida evacuando los vapores livianos, aire y vapores de agua con el ejetor de vacío de tres etapas. La primera etapa (J-1) es necesaria para bajar la presión lo suficiente como para condensar el vapor con el agua de enfriamiento. Debido al elevado punto de fluidez de cualquier destilado de parafina que pueda estar presente en el gas, el agua de enfriamiento se mantiene a una temperatura mínima de 100°F. La presión en la torre de vacío se controla con el volumen de vapor al ejetor de la primera etapa. El vapor que se usa es una mezcla de vapor sobrecalentado y saturado, ajustándose manualmente la temperatura a 380°F.

Los vapores de hidrocarburos y el vapor inyectado en los ejetores, en el calentador y en la torre son condensados en el condensador de la primera etapa (IC-12) con agua a 100°F. El agua que entra al IC-12 se toma directamente de la torre de enfriamiento (TE-1) a 100°F. Los líquidos condensados van a una columna y son succionados por las bombas B-17 ó B-17 A para ser enviados a la cloaca. Los vapores no condensados en el IC-12 se envían a la segunda etapa de ejetores. En el ejetor de la segunda etapa (J-2) se usa la misma mezcla de vapor de la primera etapa. El condensador de la segunda etapa (IC-11) se enfría con agua de la salida del condensador IC-12 usando la bomba B-12. Los líquidos condensados pasan por una trampa de tipo flotante y drenan el líquido a la succión de la bomba B-17 ó B-17 A. La presión en este condensador es de 22 mmHg. Los vapores no condensados en IC-11 se envían a la tercera etapa de ejetores (J-3/3 A en paralelo.) y de allí son enviados a la atmósfera. [5] En la figura 2.2. se muestra el diagrama de proceso de la planta de crudo y vacío.

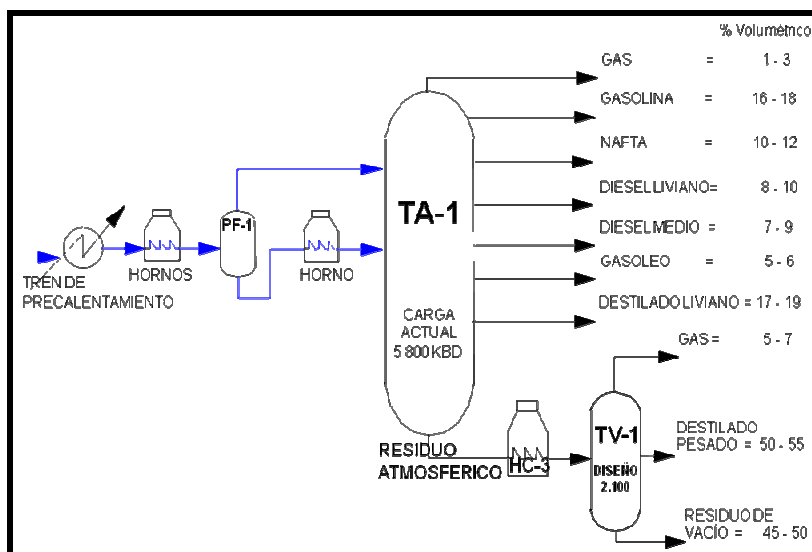


Figura 2.2. Diagrama de proceso de la planta de crudo y vacío

2.2.2. Planta de parafina

Los destilados livianos y pesados obtenidos en la planta de crudo se envían a las plantas de parafina, el destilado pesado se alimentará preferentemente a la Planta N°2 y el liviano a la Planta N°1.

En operación normal, la alimentación de la Planta N°1 es de 600 barriles diarios de destilado liviano proveniente de la torre atmosférica. Es de hacer notar que de producirse un exceso de destilado liviano, éste será enviado a los tanques de depósito, y en caso de bajas producciones, la planta lo succionaría de éstos.

El destilado liviano, proveniente de la planta de crudo es almacenado en el TK-19, desde donde es alimentado, por medio de las bombas B-140 (B-140 A auxiliar) hacia el tren de cristalización N° 1, entrando inicialmente al intercambiador-raspador R1-P1 a una temperatura de 125°F.

El tren de cristalización de la planta 1, está formado por cuatro intercambiadores raspadores R1/R2/R34 Y R5-P1. En los tres primeros intercambiadores el enfriamiento del destilado se realiza en contracorriente con el filtrado, el destilado pasa por el tubo interno y el filtrado frío proveniente de los filtros F1 y F2-P1 por el tubo externo, éstas dos corrientes de filtrado se unen y entran al R34-P1 a una temperatura alrededor de 55°F y salen del R2-P1 a una temperatura aproximada de 70 °F y del R1-P1 a 100°F. Como se mencionó anteriormente el destilado liviano entra al primer intercambiador (R1-P1) a 125°F, saliendo y entrando al segundo (R2-P2) a 100 °F y luego al R34-P1 a 88°F aproximadamente. A medida que el destilado se enfría, comienzan a formarse los cristales y se van adhiriendo a las paredes frías de los intercambiadores; motivo por el cual están provistos de raspadores interiores. De allí la corriente de destilado pasa al raspador R5-P1 (tipo Termosifón) en donde es enfriado en contracorriente con amoníaco proveniente de la unidad de refrigeración (UR-2) a una temperatura entre -15 y 0°F. Todos los intercambiadores son tipo paleta longitudinal movidos por dos motores eléctricos cada uno marca Armstrong Co. Los R1/R2 y R5-P1 son de 800 pie² de área con ocho túneles y un tambor acumulador de amoníaco para el R5-P1, mientras que el R34-P1 es de 1.682 pie² de área con 12 túneles.

En el segundo intercambiador, el destilado es de difícil manejo, pues los cristales de parafina contaminados con aceite se agrupan, la temperatura de salida es de 88°F. A la entrada del R1-P1 se inyecta solvente primario en proporciones entre 10-15% de la carga a la planta, esta cantidad varía de acuerdo a la dureza de la mezcla. El solvente mencionado es filtrado en la unidad 3 (F3-P1), que en su mayor parte es nafta limpia. Los cristales de parafina se mantienen en movimiento por la acción de los raspadores y por el poder disolvente de la nafta. Con el objetivo de disminuir la viscosidad del destilado, a la entrada del raspador R5-P1 se le inyecta lo que se denomina solvente secundario en un 50-55% de la carga de destilado, el cual forma una suspensión que contiene los cristales de parafina y el aceite disuelto en la nafta.

La mezcla de nafta, parafina y aceite sale del intercambiador R5-P1 a una temperatura aproximada de 45°F, ésta mezcla se enfría con amoníaco líquido a 15°F del cual se evapora

una parte que equivale al enfriamiento dado al destilado. El objetivo de este enfriamiento con amoníaco es bajar la temperatura del destilado hasta la correspondiente de filtración, la cual depende del punto de fusión de la parafina que se desea obtener, ya que a menor temperatura, cristalizan parafinas con puntos de fusión más bajos, tales parafinas ponderan el punto de fusión de la mezcla de estas ceras a niveles más bajos en tanto que a temperaturas de filtración más altas no cristalizan las parafinas con pocos átomos de carbono y si lo hacen las de mayor número, resultando una cera de mayor punto de fusión.

Inmediatamente después de la cristalización en los intercambiadores-raspadores, pasa a un sistema de tres filtros rotatorios (F1/F2 y F3-P1) colocados en serie, la función de esta etapa es separar todo el aceite asociado con los cristales de parafina. Un filtro rotatorio es un cilindro con múltiples perforaciones en las paredes y con una lona filtrante ajustada a lo largo del mismo, colocado horizontalmente dentro de un recipiente rectangular. Desde el eje del cilindro rotatorio se genera un vacío (máxima succión 17 pulg de Hg) que hace que los cristales de parafina queden atrapados en la lona del filtro formando la pasta de parafina y el líquido (aceite y la nafta) succionado a través de las porosidades de la lona constituye el filtrado. La pasta de parafina adherida a la lona se lava con una llovizna de solvente fresco, llamada nafta de lavado. Esta nafta proviene del enfriador de nafta IP-1/1A, en donde desciende la temperatura desde 95°F hasta 30-35°F, usando como medio de enfriamiento amoníaco proveniente del sistema de refrigeración entre -15 y 0°F. Seguidamente se despega de la misma con una ligera presión de gas, cayendo sobre una cuchilla de donde resbala a un canal; en el mismo un tornillo sin fin la introduce en un tambor de re- mezcla (M1/M2 ó M3-P1), cuya finalidad es mezclar la nafta y la pasta de parafina lo más perfectamente posible; en este canal se le agrega una segunda dosis de nafta (nafta de canal) que junto a la agitación producida por el tornillo permiten la fluidez de la cera antes de entrar al mezclador. La cera parafínica cristalizada se encuentra ahora formando una suspensión con la nafta y el aceite que aún contiene.

El gas que se utiliza para despegar la torta de la tela del filtro se le denomina “gas de soplado”; el cual permite romper el vacío y que la parafina caiga arriba de la cuchilla, pero

además de este gas se introduce otra cantidad que va por los lados de los tres filtros que se denomina “gas de barrido”, este gas permite la diferencia de presión necesaria sobre la torta, la cual actúa como fuerza impulsora de la filtración. Adicionalmente en uno de los lados de cada filtro, se encuentra un regulador conectado a la línea de gas combustible cuya misión es la de suministrar gas a los filtros en caso de que la presión baje a 4 onzas, llamado “gas de compensación”.

El filtrado succionado va a un tambor acumulador (A1/A2-P1) donde se separa del gas, para ser bombeado a los intercambiadores raspadores de la planta N°1, donde intercambia calor con el destilado caliente que entra a los mismos. El gas separado va a un tambor deshidratador, se comprime en las bombas de vacío y luego se enfría, primero con agua y después con amoníaco, el líquido condensado se separa en un pote deshidratador de donde salen el gas de soplado de 6-7 psig y el de barrido con 0,5 psig.

En la etapa de filtración de la planta N°1 la mezcla fría de parafina, aceite pesado y nafta entra al primer filtro (F1-P1) por el fondo. El filtrado es succionado a través de la lona del filtro por el vacío existente en el tambor y junto con la nafta de lavado (en una proporción del 15% de la carga a la planta) descienden al acumulador de filtrado (A1-P1), donde se separa del gas, y es bombeado por la B-49 ó B-46, se une con el filtrado que viene del filtro F2-P1 de la bomba B-49 ó 46A y pasa a través de los intercambiadores- raspadores R2 y R1 de la planta 1, donde intercambia calor con el destilado liviano caliente que entra al sistema. La pasta de parafina del primer filtro y la nafta de canal (en una proporción del 67% de la carga de destilado liviano a la planta), caen en el tambor de pasta (M1-P1), formando una suspensión que es agitada y bombeada a través de la bomba B-41 ó 41A al filtro 2 (F2-P1), donde recibe idéntico tratamiento que en el filtro 1, sólo que el lavado con nafta es en una proporción del 11% de la carga de destilado y se le agrega nafta de canal (52-55% de la de destilado). El filtrado va al separador A2-P1 y la pasta va al acumulador mezclador (M2-P1), esta última suspensión es agitada y pasa a través de la bomba B-52 ó 52A alimentar al tercer filtro (F3-P1), la diferencia de operación en este es que aquí no se inyecta nafta de lavado y de canal, esto para minimizar la dilución de parafina por el uso de este solvente. El filtrado de

esta etapa pasa al acumulador A3-P1, donde se separa del gas y es bombeado por la B-50 como solvente primario y secundario a la entrada de los intercambiadores R1/R5-P1. La pasta de parafina de la tercera etapa fluye dentro del acumulador mezclador M3-P1, el cual tiene un serpentín de calentamiento con vapor que eleva la temperatura a 110 °F, derritiendo la pasta de parafina. Esta pasta líquida es succionada por las bombas B-51 ó 51A, se une a la proveniente de la planta 2, y se envía al tanque N°2 (TK-2), denominado tanque de pasta. El caudal aproximado de pasta de parafina producida es de 520 BPD con un 58% de parafina, aproximadamente 40% de nafta y según especificación un contenido de aceite menor del 2%.

La planta 2 es alimentada con el destilado pesado succionado directamente de la línea de producción de la torre de vacío, con las válvulas de recibo del tanque de depósito y de succión de la bomba B-140 abierto. Si la producción es mayor que la cantidad alimentada a la planta, el excedente se deposita en el tanque de recibo, y en caso contrario se obtendría del tanque.

Las bombas de suministro de destilado pesado a la planta N°2 son B-138 y B-138A que es la auxiliar. Estas bombas funcionan independientemente y sus controles son similares. El destilado pesado suministrado por las bombas ya mencionadas, a una temperatura entre 150 y 160°F, fluye hacia los intercambiadores de calor IP-13^a/B, los cuales tienen como fluido frío agua; el destilado sale de los intercambiadores indicados con una temperatura entre 135 y 145°F y es enviado a la sección de cristalización. La planta 2 está constituida por cuatro intercambiadores-raspadores. Similarmente a la planta 1 los tres primeros enfrían con filtrado de los filtros F1 y F2 de la misma planta, al destilado pesado que se procesa.

Este destilado entra al tren de intercambiadores con una carga aproximada de 850 BPD y a una temperatura que oscila entre 135 y 145 y sale de los mismos a una temperatura entre 40 a 46°F. Todos los intercambiadores raspadores de este tren son de tipo paleta longitudinal de bronce movidos por dos motores eléctricos cada uno y marca Armstrong Co. Los R1/R2/R3/ y R4-P2 son de 800 pie² y ocho túneles. Por iguales razones que la planta 1, el destilado recibe en las mismas proporciones el solvente primario en el segundo intercambiador

(R2-P2) y el solvente secundario en la entrada del cuarto intercambiador (R4-P2), éste último raspador se enfría con amoníaco líquido proveniente del sistema de refrigeración UR-2.

El destilado pesado sale del primer intercambiador raspador (R1-P2) a una temperatura aproximada de 110 °F, a esa temperatura entra en el R2-P2 y sale a una temperatura de 80°F. La mezcla de destilado- nafta a la temperatura de 80 °F entra en el intercambiador R3-P2, donde se inicia la formación de cristales de parafina. De este intercambiador sale a una temperatura entre 70 y 78 °F, entrando al cuarto intercambiador (R4-P2) desde donde sale a una temperatura entre 40 y 46 °F y se envían al sistema de filtración. A la entrada de cuarto intercambiador se agrega el solvente secundario, en una proporción de 76% de la carga de destilado. Este solvente proviene del filtro 3 de la planta 2. Este tren consta de un intercambiador raspador el R12-P2 que actúa como un equipo de reserva entrando en operación en el caso de que salga de servicio el R1/R2 ó el R3-P2 en cuyo caso las conexiones de puenteo de los respectivos equipos se diseñaron de tal manera que este intercambiador auxiliar siempre operará como el R3-P2. Este intercambiador de reserva también es de un área de 1682 pie² con doce (12) túneles.

La serie de filtros correspondiente a la planta 2 opera de una manera igual que la planta 1, la diferencia entre una y otra radica en la calidad de los productos que se obtienen al final de la filtración. El destilado entra por el fondo del F1-P2, donde el vacío de 8 inHg succiona la nafta y el aceite, y lo pasa al acumulador de filtrado A1-P2. A medida que el destilado se filtra, se le agrega nafta de lavado en forma de llovizna (15% de la carga de destilado pesado) sobre la capa de parafina adherida a la lona filtrante. La pasta de parafina y la nafta canal (en un 67% de la carga de destilado pesado) caen en el tambor de re- mezcla (M1-P2), donde la suspensión es agitada y bombeada por la B-42 ó B-42^a al filtro 2 (F2-P2), recibiendo idéntico tratamiento que el filtro 1. Se le agrega nafta de lavado en una proporción de 6% de la carga de la planta y nafta de canal correspondiente al 60% de la carga de destilado pesado. Esta última suspensión almacenada en el M2-P2, es bombeada por la B-43 ó B-43^a, al filtro N°3 al cual no se le agrega más nafta. La pasta proveniente del filtro 3, es agitada en el

M3-P2 que está dotado de un serpentín de calentamiento con vapor, para mantener la temperatura de la misma en el orden de 150°F.

En ambas plantas, en el tercer filtro se obtiene una pasta de parafina, prácticamente libre de aceite, pero diluida con nafta. La pasta de parafina producida en la planta 1, se une con la proveniente del Tren N° 2, tal como se observa en la figura 2.3. y de allí va al tanque TK-2 para luego ir a la sección de denudación en donde le despojará la nafta.

La sección de torres denudadoras está formada por dos líneas: filtrado y pasta de parafinas tal como se muestra en la figura 2.4.

La corriente de filtrado proveniente de la sección de filtración recibida en el tanque TK-1 está compuesta de una mezcla de 75% de nafta y 25% de aceite y parafina, luego es transportada por las bombas B-68 A/B a la torre despojadora de filtrado TP-3.

La corriente de filtrado es precalentada en los intercambiadores de calor IP-2-03 e IP5A/B/C aprovechando el calor de las corrientes de tope y fondo de la TP-3, el calentamiento es completado en el horno HP-2 (de 390-400°F.). En la TP-3 se producen dos (2) cortes: nafta y residuo de filtrado. Para lograr una mayor remoción de nafta se usa cierta cantidad de vapor que se inyecta a la torre, de esta forma la temperatura en el fondo de la misma será de aproximadamente 340 °F. La nafta es el corte de tope que es enfriado y condensado en los enfriadores IP-2-03 e IP-6A donde debe alcanzar temperaturas en el orden de 130°F y almacenado en el acumulador de nafta AP-6 junto a la nafta recuperada en las denudadoras de pasta de parafina. Desde el AP-6, la nafta es succionada por las bombas B-16 A/B, donde una fracción de ella se usa como reciclo frío a la TP-3, y el resto pasa a través de los intercambiadores IP-7A/B, enfriándose hasta 150°F para ser enviado a la sección de almacenaje (tanques TK-1, 13, 14, 26, y 27) y una pequeña fracción se recircula a la TP-2.

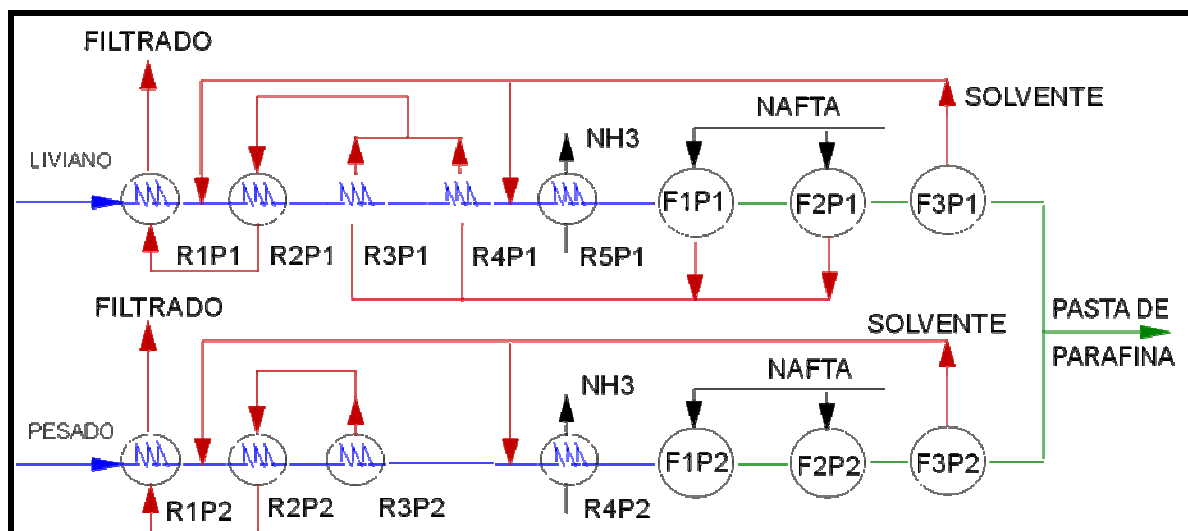


Figura 2.3. Sistema de cristalización/filtración

El residuo de filtrado es el corte de fondo, el cual es extraído de la TP-3 por medio de las bombas B-15/A y enviado al tanque de crudo reconstituido (TK-17/18), previo enfriamiento en el IP-5A/B/C.

La pasta de parafina proveniente de la etapa de filtración es calentada en dos hornos en paralelo (hornos de pasta, HP-1A y HP-1B) para vaporizar la nafta contenida en ella. Esta mezcla parcialmente vaporizada es alimentada a las torres de pasta (torres rellenas con monturas tipo BERL, TP-1 y TP2) con el objeto de separar la nafta de la parafina.

La pasta de parafina es distribuida desde el TK-2 en dos líneas por medio de las bombas B-64/65A y B-61. La pasta de parafina de la primera línea es precalentada en el intercambiador de calor IP-4A aprovechando el calor de la corriente de parafina desnuda proveniente del fondo de la desnudadora TP-1 y completa su calentamiento en el horno HP-1A (550°F.) La pasta de parafina de la segunda línea es pre-calentada en el intercambiador de calor IP-4B aprovechando el calor residual de la corriente de parafina desnuda proveniente del IP-4A.

La corriente de pasta de parafina continúa su calentamiento en el intercambiador de calor con vapor (saturado a 195 psig y 383°F) IP-2-01 alcanzado una temperatura de 340 °F y finalmente completa su temperatura de operación (560°F) en el horno HP-1B.

Ambas corrientes se unen antes de entrar a la torre denudadora TP-1 con un flujo de 25 BPH y a una temperatura de 560°F y una presión de 20 psig. A estas condiciones la mayor parte de la nafta presente en la mezcla de parafina y nafta se vaporizará quedando como remanente la parafina “denudada” que es recuperada por el fondo de esta torre, y es succionada por las bombas B-18/A a los tanques de almacenamiento (TK-3/TK-60), previo aprovechamiento del calor en el IP-4A e IP-4B. Por el tope se obtiene una corriente pobre en parafina que es alimentada a la segunda torre denudadora TP-2 en cuatro zonas de la misma. Los vapores de nafta y agua ascienden a través del relleno pasando por un extractor de neblina para remover cualquier gota de parafina presente.

De la torre TP-2 se obtienen dos cortes: por el fondo que la constituye una corriente intermitente de parafina denudada que es extraída de la torre por la bomba B-46 y retroalimentada a la alimentación de la TP-1 y por el tope se obtiene una corriente rica en nafta que es condensada en el enfriador IP-6B, y enviada al acumulador AP-6 donde se mezcla con los vapores de nafta de la torre TP-3, previamente condensados en el IP-6A.

Las condiciones de operación del tope de la TP-2 se mantienen en 11 psig y 375°F. La tasa de flujo de nafta se fija de acuerdo a la temperatura en el tope de la torre.

La parafina, conocida como “parafina denudada” ya tiene las especificaciones de la parafina comercial, excepto por el color debido a las impurezas, y para ajustar al color de especificación (Saybolt ASTM-D56 +20) es blanqueada mediante un proceso de adsorción con bauxita (etapa de percolación).

Para iniciar el proceso de percolación se llena el percolador con bauxita y se bombea parafina denudada hacia el mismo por medio de las bombas B-60/66 desde el tanque TK-3 (donde se mantiene en forma líquida a una temperatura de 200°F, por medio de calentadores de vapor), a un flujo de 70 BPH y una presión de 70 psig. La parafina pasa por una válvula de control automática que, al aumentar la presión a la entrada del percolador a 100 psig, cierra e impide que la presión aumente y pueda dañar el percolador. La parafina denudada entra por el tope del percolador a través de un surtidor y se pone en contacto con la bauxita. En el fondo del percolador existe un filtro de metal con perforaciones muy finas que permite el paso de la parafina y el aire, pero retiene las partículas de bauxita. Una vez lleno el percolador con parafina denudada transcurridos 45 minutos aproximadamente, se disminuye el flujo a 50 BPH y la presión entre 30 y 40 psig, y se recircula la parafina durante un máximo de 15 minutos, con la finalidad de obtener la especificación del color. Una vez obtenido el color deseado se alinea el percolador en producción hacia los tanques de parafina terminada (TK-4, TK-31, TK-60, TK-61, TK-62, TK-63, TK-64 y TK-65) donde se mantiene a una temperatura de 190°F, para ser entregada en forma líquida directamente a camiones cisternas. Durante la fase inicial de percolación se pueden obtener valores de colores muy buenos, pero a medida que el proceso transcurre, la capacidad de adsorción de la bauxita decrece y los valores de color disminuyen. Cada 30 minutos se le hace seguimiento al proceso. Cuando se alcanza un valor de +14 en el color de la parafina terminada, se cierra la línea de producción y se envía dicha pasta hacia tanques de parafina mejorada durante 3 horas. Los percoladores tienen la facilidad para almacenar la parafina denudada fuera de especificación en el TK-6. Esta operación se realiza con la finalidad de aprovechar al máximo la adsorción de la bauxita usada, ya que será más fácil percolar la parafina de estos tanques en el próximo ciclo.

La bauxita posteriormente es regenerada por medio de un proceso de calentamiento en un horno hasta una temperatura de 1.100 °F, para su posterior uso en un nuevo ciclo de percolación. El sistema de percolación de la refinería San Roque consta de tres percoladores (PP-1/2/3) [6]

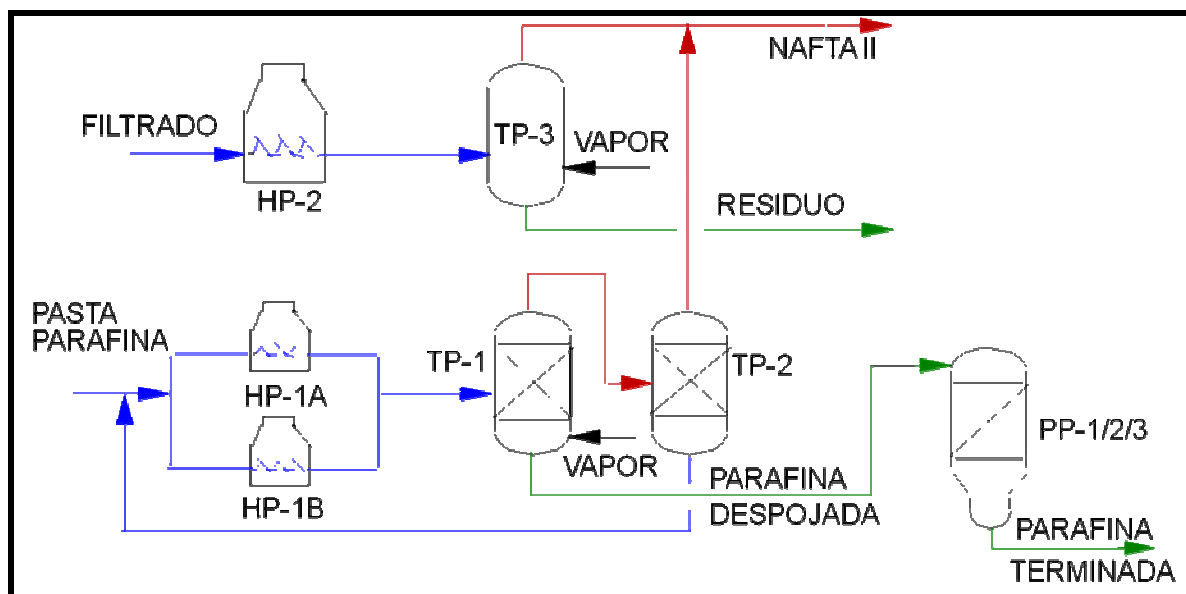


Figura 2.4. Sistema de despojamiento/percolación

2.2.3. Planta de servicios industriales

Ésta es una planta clave para el desarrollo de las actividades operacionales de la refinería, por la importancia de los servicios que ella proporciona, como son: el sistema de suministro y tratamiento de agua, agua de enfriamiento, generación de vapor, distribución de gas combustible, generación de aire comprimido para instrumentos y una planta de tratamiento de efluentes. [7]

2.2.3.1. Sistema de agua suministro y tratamiento de agua

El sistema de agua potable comprende dos tipos de suministro, el de agua cruda que es almacenada en la estación B en el tanque 20010, dicha agua proviene del río Güere en los meses de invierno y de la laguna Prescott en los meses de verano, el agua es bombeada desde la estación B a refinería donde se almacena en los tanques 45 y 46 que tienen una capacidad de 3.000 barriles. Normalmente el agua se recibe en el tanque 46 a través de una

línea que entra al tope del tanque controlando el nivel un transmisor ubicado en la parte superior del tanque 45. En la parte superior de los tanques hay una línea de 6" de diámetro que comunica los tanques 45 y 46 para transferir por rebose del tanque 46. Normalmente el tanque 45 se encuentra bombeando agua hacia los tratadores TA-1/2/3/4/5, con las bombas B-95/96A/B.

El agua cruda tiene de 65-110 NTU de turbidez, por lo que, debe pasar por un sistema de tratamiento que inicialmente consta de cinco tratadores TA-1/2/3/4/5, los cuales son tanques que están dotados de un mezclador, el agua previamente a la entrada recibe una inyección de químico y entra por la parte superior del tanque, una vez el agua dentro del tanque recibe otra inyección de químico y se precipita a través de unos canales, donde por efecto del tratamiento químicos las impurezas contenida (barro) en el agua se precipitando y son movidas por un mezclador, para homogeneizar el contenido, quedando el agua clarificada en la parte superior del tanque. Esta agua se rebosa a través de un canal y es succionada por las bombas B-100/A, descargando hacia los filtros para continuar con el proceso del tratamiento. Además contamos con el tanque 20*1 (capacidad 20.000Bls.), este tanque es mantenido en un nivel máximo para el uso del sistema de agua contra incendio, alimentado normalmente por los pozos Roque 1 y 2. Los tanque 45 y 46 también se tienen disponibles para uso de agua para el sistema contra incendio. El tanque 20*1 se encuentra alineadas de manera permanente las bombas B-98A/B/C/D.

Seguidamente entra a unos filtros de agua tratada F-1/2/3/4/5/6, arreglados en paralelo con el propósito de clarificar un poco más el agua, con una turbidez de 12-20 NTU, dichos filtros poseen medios filtrantes compuestos por grava y arena de distintos tamaños cuya función es atrapar las partículas sólida contenidas en el agua que pasa a través de ellos. Regularmente estos filtros se les realizan retrolavado, para limpiar las arenas y aumentar la eficiencia en la etapa de filtración del agua a la salida. Posteriormente se le realizan pruebas de turbidez para verificar que ese valor sea menor de 5 NTU y luego es almacenada en los tanques 43 y 44 con capacidad de 2000 Bls cada uno y lista para su distribución. El agua cruda es usada en el sistema contra incendios y es almacenada en el tanque 20x1. El

suministro de agua cruda proveniente del río y de la laguna ha disminuido progresivamente con el pasar del tiempo, por lo que, actualmente el agua usada en refinería proviene de la estación Kaki, municipio Anaco, esta agua tiene una turbidez menor de 5 NTU, el agua tratada se utiliza para campo residencial, torre de enfriamiento y sanitarios (en ocasiones se usa agua salada que proviene de los pozos San Roque II y San Roque III).

Para el caso del agua para suministro de calderas, esta se hace pasar mediante la ayuda de la bomba B-97 por los suavizadores SA-1/2 los cuales son recipientes herméticos de 6' de altura y un volumen total de 71 pie³, con un lecho de resina de 2,55 pie³ y un lecho de grava de 0,6 pie³ en la parte inferior del recipiente. El objetivo de la resina es mejorar las condiciones del agua para ser usadas en las calderas para la generación de vapor, (el uso de agua fuera de especificación en las calderas genera obstrucciones en los tubos y daños severos). Luego pasa al desaireador y a los acumuladores AS-1/2, donde se mezcla con condensado recuperado de la planta. Una vez allí, es la bomba B-93, la encargada de enviar el agua desde estos acumuladores a las calderas.

2.2.3.2. Sistema de gas natural

El gas natural usado en la refinería San Roque proviene de la estación de distribución de gas Santa Ana III con una presión de entrada al sistema (SG-1) de 800 psig de la refinería, dicha presión es reducida hasta 250 psig por medio de válvulas de control, posteriormente se divide en dos ramales uno que va hacia mechorrio, estación B y campo residencial San Roque y el otro que reduce la presión del gas hasta 70 psig para ser usado en las diferentes áreas, durante su recorrido por todo el sistema el gas entra a varios separadores de líquido para evitar que en las líneas exista presencia de líquidos que puedan generar corrosión.

2.2.3.3. Sistema de aire comprimido

El sistema de generación de aire comprimido consta de dos sistemas, el sistema de aire para instrumento y el sistema de aire de servicios, tal como se muestra en los diagramas de bloques de la figura 2.5.

El sistema de generación de aire para instrumento, está conformado por un arreglo con los siguientes equipos: Dos compresores ATLAS COPCO ZT55, y dos secadoras ATLAS COPCO FD-300.

El aire para instrumento es generado por los dos compresores denominados CS-4 y CS-5 de los cuales se encuentra uno en servicio en operación normal y el otro en espera en modo automático, de modo que al fallar el que esté en servicio automáticamente entra en operación el que está en espera. Éste se arranca automáticamente por baja presión de aire cuando esta llega a 40 psi. La presión del aire para instrumento es modulada por un sistema automático de compresión y descompresión para mantener una presión entre 56 y 68 psi. Se muestra en la figura 2.6. El arreglo contempla un sistema de secado de aire ATLAS COPCO FD300. Los secadores de aire FD300 quitan la humedad del aire comprimido enfriando éste hasta cerca del punto de congelación. Con ésto se incrementa la humedad relativa del aire, haciendo que condense el agua y el aceite. El condensado va purgado automáticamente. Después se calienta el aire aproximadamente 18°F sobre la temperatura del aire comprimido que entra. Ello reduce la humedad relativa del aire, de modo que no produzca condensación. El aire comprimido entra en un intercambiador de aire/aire se enfría mediante el aire seco y frío que sale. Comienza a condensar el agua y aceite que entra con el aire. Luego el aire fluye a través del intercambiador de aire/refrigerante (evaporador) donde el refrigerante se evapora y extrae el calor del aire. Esto hace que el aire se enfríe hasta cerca de la temperatura de evaporación del refrigerante. Se condensa más agua y aceite contenido en el aire. El aire frío pasa a través del separador donde todo el condensado se separa del aire. El condensado se recoge en un colector de agua y se purga automáticamente, desde el separador el aire seco y frío pasa a través del intercambiador de aire/aire y se repite el ciclo. Se muestra en la figura 2.7.

Para la generación de aire de servicios el compresor CS-6 comprime aire dentro del recipiente SS- 8 hasta aumentar la presión a 75 psi. Un control automático en el cilindro de compresión, se abrirá a esta presión y causará que el aire pase por el cilindro, deteniendo de esta manera la acción compresora. Cuando la presión baja de 65 psi el control automático en el cilindro de compresión se vuelve a cargar con aire y comienza a comprimir nuevamente. Hay una válvula automática que está ajustada desde un control para que el aire escape hacia la atmósfera. Cuando la presión suba de 80 psi. El tanque SS-8 tiene una válvula de seguridad que escapa a 110 psi. [7]

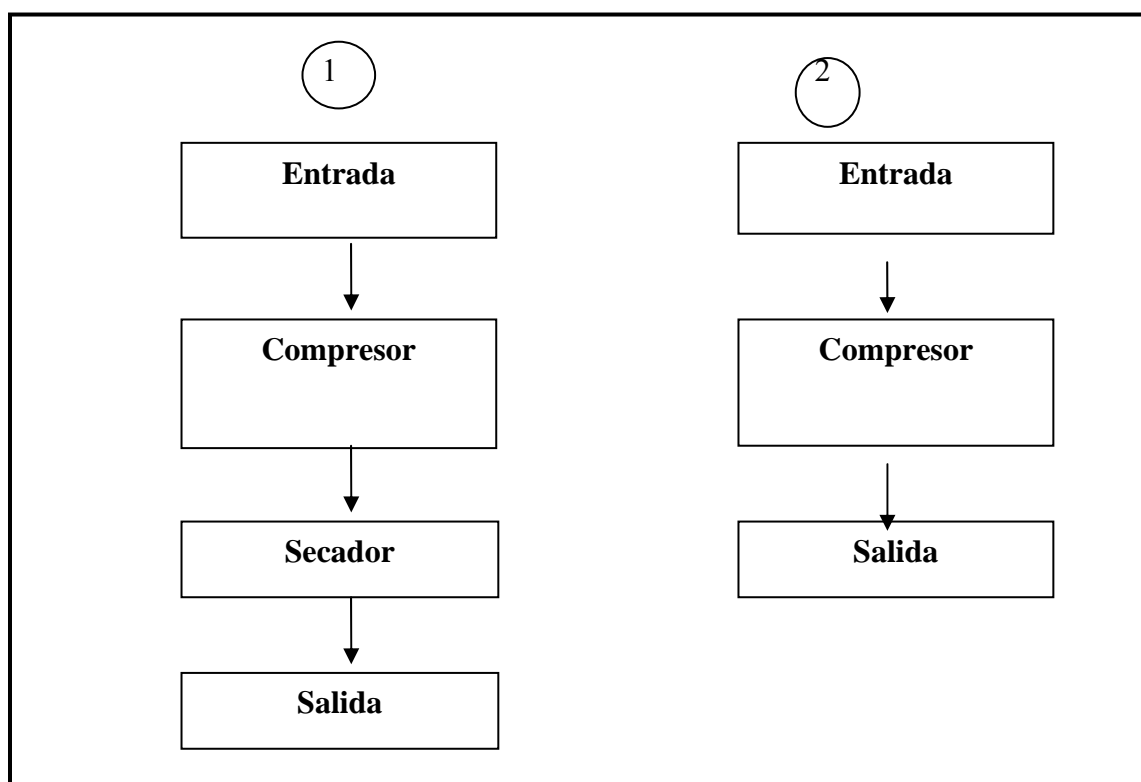


Figura 2.5. Diagrama de bloques del proceso de generación de aire de instrumento (1) y diagrama de bloques del proceso de generación de aire de servicio (2).

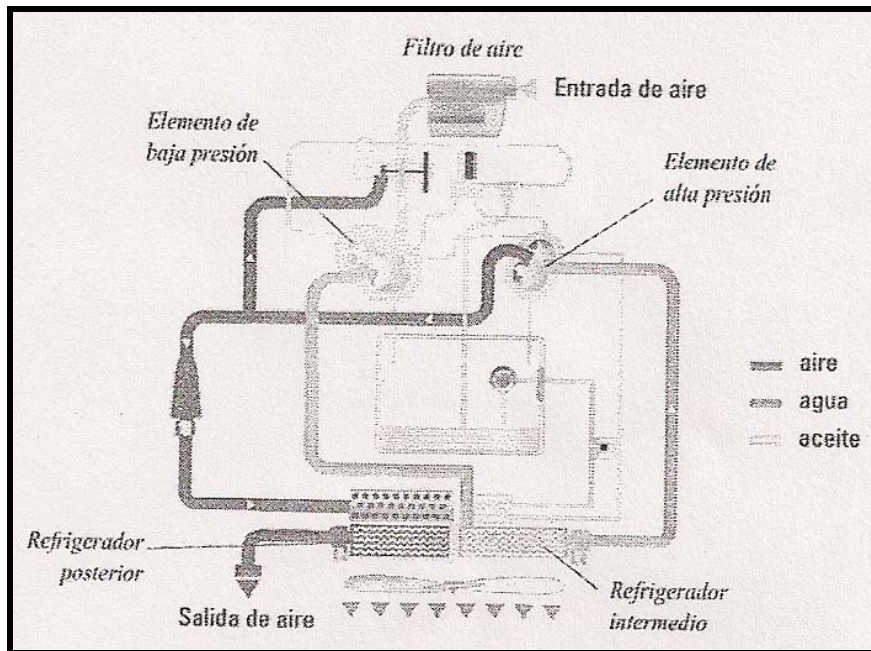


Figura 2.6. Diagrama de proceso de compresor Atlas Copco ZT 55

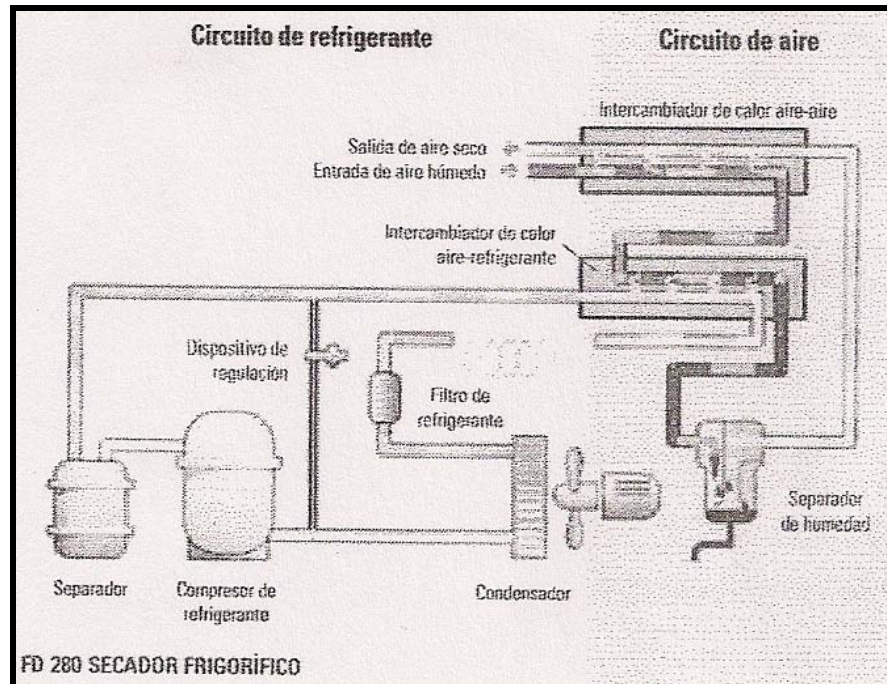


Figura 2.7. Diagrama de proceso de secador Atlas Copco FD 300

2.2.3.4. Generación de vapor

El agua tratada, después de pasar por los suavizadores y recibir tratamiento químico adecuado, es enviada a las calderas para la producción de vapor.

El vapor que se produce en refinería San Roque es vapor de media presión (190 psi, 380 °F) aproximadamente, se utiliza como energía motriz para mover las bombas reciprocantes y turbinas a vapor, despojamiento de hidrocarburos en los despojadores, calentamiento de productos con serpentines de vapor, calentamiento de líneas con trazas de vapor, secado de bauxita en percoladores, entre otros. Además, producto del vapor de 190 psi, una vez que es usado en plantas en diferentes procesos, retorna a servicios industriales.

Este vapor entra a un recipiente SS-6, antes de entrar al SS- 6 se deriva una línea hacia un sistema de venteo con una válvula de control que mantiene una presión de 15 psi, ubicado en la línea principal que entra al SS-6, seguidamente pasa por unos enfriadores IS-3A/B, se genera un condensado, que retorna a los AS-1, en contra corriente con el flujo de agua que viene de los suavizadores SA-1/2, para absorber el calor e ir calentando el agua hacia las calderas, y a la vez permite una pluma de vapor por la chimenea de tanque aereador AS- 1 para evitar la entrada de aire.

Otra corriente que llega hacia los acumuladores AS-1 es el vapor condensado producto del sistema de trampas de vapor turbinas de vapor y serpentines de tanques, esta corriente también suministra calor al agua que entra a los AS-1/2 desde los suavizadores SA-1/2. El agua ya tratada en los suavizadores SA-1/2 es enviada al desgasificador SA-1, donde succionan las bombas B-93 (eléctrica) y B-93A (turbina a vapor) y descarga hacia las calderas GV-6/7/8/8A/9/10. El flujo de vapor hacia la turbina B-93A es controlado por una válvula que mantiene una presión aproximada de 260/270 psi.

Actualmente, la refinería San Roque dispone de seis calderas que trabajan con gas, de las cuales cuatro tienen una capacidad total de 56,59 MLBS/h y las dos calderas restantes de 10,0 MLBS/h.

2.3. Gerencia de la seguridad de los procesos (GSP)

Se define como el ente que permite la aplicación de principios y sistemas administrativos para la identificación, evaluación y control de los riesgos asociados a los procesos industriales en la fase de diseño, construcción, arranque, operación, inspección, mantenimiento, modificación de instalaciones y desmantelamiento, a objeto de evitar escapes de sustancias tóxicas, reactivas, inflamable o explosivas que pudieran resultar en accidentes mayores o catastróficos, o limitar sus consecuencias en caso de ocurrencia. Para lograr su propósito la GSP utiliza ciertos elementos entre ellos está el manual de información de los procesos (ISP) que no es más que el conjunto de documentos que registran información sobre la tecnología, los equipos de los procesos industriales y los riesgos de los materiales o las sustancias peligrosas. Esta información sirve de base para adiestrar al personal de operaciones, mantenimiento, ingeniería y a contratistas sobre los riesgos asociados con una instalación; así mismo, esta información es vital para diseñar y operar de manera segura una instalación, dentro de sus límites de operación y consecuencias de desviación (LOCD). Éstos son unos listados de valores en donde se especifican las variables máximas, mínimas, típicas y rangos de operación características de un proceso, así como también, las consecuencias de operaciones desviadas de sus parámetros máximos y mínimos. [1]

Para llevar a cabo la elaboración de estas tablas se deben considerar ciertos lineamientos, los cuales serán mencionados a continuación:

Los LOCD se establecen para recipientes, torres, reactores, intercambiadores, hornos, equipos rotativos (bombas, compresores) y líneas de proceso.

Se consideran en general cualquier equipo que aparezca en los diagramas de flujos de procesos (PFD) y/o de tubería e instrumentación (DTI), exceptuando la instrumentación y las válvulas de seguridad.

Las variables a las cuales se deben definir los límites son aquellas que se usan para controlar o caracterizar el proceso, tales como presión, temperatura, flujo, nivel, composición, velocidad u otras. En general, son todas aquellas variables que sean monitoreadas, que se midan. Las variables a considerar deben incluir relaciones calculadas u otros parámetros que sean importantes para el proceso. Dentro de las tablas se deben especificar valores máximos, mínimos y con ellos implícitamente queda fijo el rango de operación.

2.3.1. Los límites de operación máximo y mínimo

Son un listado de valores máximos y mínimos que pueden tomar todos los parámetros característicos del proceso, en cuyos rangos y bajo condiciones normales de operación no representen un riesgo para las personas, el ambiente y la instalación. Se establece en función de evitar los peligros de proceso y de mantener la integridad física de los equipos. No se refiere necesariamente a los valores asociados a la operación económica de la unidad o a la producción de productos en calidad. Sobrepassar este valor puede resultar en un incidente catastrófico o en una disminución de la seguridad para el personal, la instalación o al ambiente. Su propósito es promover en el operador las acciones necesarias para regresar el proceso a sus límites de operación segura. Usualmente se establece como este valor el del diseño mecánico del equipo, aunque, se puede tomar un valor superior a éste, siempre que se demuestre documentalmente que por análisis de ingeniería y por inspección, el equipo es capaz de soportar ese valor.

Estos valores pueden no definirse para algunas variables cuando:

- No representen ningún peligro.
- Su valor es limitado por otras variables.
- Cuando su valor no es medido o controlado.

2.3.2. Rango de operación

Es aquel en el cual la variable se mantiene estable y cumple las metas de calidad, seguridad y ambientales. Fuera de él las metas no se cumplen y ocurren perturbaciones al proceso.

2.3.3. Consecuencias de desviación (CD)

Son los efectos o eventos potenciales que pueden ocurrir cuando se excede un valor máximo, un valor mínimo o un rango de operación. No todas las variables que se muestran en las tablas LOCD necesitan mostrar su CD. Estas no se muestran siempre que no haya peligros o consecuencias, o cuando los efectos sean comúnmente entendidos, como en el caso de sobrepresiones. Las CD se pueden referir a asuntos de integridad mecánica (por ejemplo: causa daño de los sellos mecánicos de la bomba al sobrepasar la presión máxima de trabajo permisible) u operacionales (por ejemplo: causa desbordamiento de crudo en tanque de almacenaje al violar el nivel máximo permitido de operación). Las consecuencias que se definan al excederse los límites mecánicos deben ser concretas y específicas sobre los efectos inmediatos, y no deben especular sobre efectos secundarios.


2.4. Definiciones generales usadas en las tablas LOCD

Son términos generalmente utilizados en las tablas de LOCD's. En la tabla 2.1. Se presenta un ejemplo de la tabla LOCD para compresores.

2.4.1 Temperatura de operación máxima

Es la temperatura más alta del fluido del proceso prevista para las desviaciones esperadas en la operación normal. La definición de esta temperatura debe ser considerada individualmente, evaluando las causas que la determinan, y cualquiera que sea el caso determinante, se deben establecer en los documentos de diseño.

Tabla 2.1. Límites de operación segura y consecuencia de las desviaciones

		LÍMITES DE OPERACIÓN SEGURA Y CONSECUENCIAS DE LAS DESVIACIONES															
		PLANTA DE SERVICIOS INDUSTRIALES															
		a)Hoja de especificaciones				Leyenda: b)Valor calculado información técnica				1)No se posee							
		c)Información de campo				d)Información adicional de instrumentación				2)No se dispone							
EQUIPOS ROTATIVOS-COMPRESORES																	
DESCRIPCIÓN		Humedad		Presión (psig)				Flujo (CFM)						Temperatura (°F)			
				Operación		Diseño	Operación			Diseño			Operación		Diseño		
		Típica	Máx	Máx	Mín		Mín	Típico	Mín	Máx	Mín	Normal	Máx	Mín		Máx	Mín
Tag	CS-4																
Servicio	Aire instrumento																
Rev. 0	Fuente	c	a	c	c	a	b	b	b	a	a	a	c	c	a		
Consecuencias de las desviaciones		Típica > Máx.: Condensación indeseada en las líneas e instrumentación aguas abajo		Típica<Mín.: Consecuencia directamente relacionada con los niveles mínimos requeridos en los equipos aguas abajo. Típica>Máx.: Desgaste de la vida útil del compresor.				Típica<Mín.: Parada de los equipos que requieran aire para su funcionamiento Típica>Máx.: Potencial daño al motor de la bomba además de generarse caídas de presión muy grandes que provocan erosión.						MáxO>MáxD : Sobrecarga en equipos agua abajo para retirar condensado indeseado			

Fuente: Formatos PDVSA

2.4.2. Temperatura de operación mínima

Es la temperatura más baja del fluido del proceso prevista para las desviaciones esperadas de la operación normal. La condición causante de la mínima temperatura de operación debe ser establecida en los documentos de diseño.

2.4.3. Temperatura de diseño

Es la temperatura del metal que representa las condiciones coincidentes más severas de presión y temperatura. Esta temperatura es utilizada para el diseño mecánico de equipos y tuberías, incluyendo la selección de materiales. Esta temperatura de diseño debe ser al menos 50 °F (10 °C) superior a la temperatura de operación máxima, y en ningún caso inferior que la máxima temperatura en casos de emergencia, como falla de servicios, bloqueo de operación, falla de instrumentos.

2.4.4. Presión de operación máxima

Es la máxima presión prevista en el sistema debida a desviaciones de la operación normal. Esto incluye arranques, paradas, operaciones alternadas, requerimientos de control, flexibilidad de operación y perturbaciones del proceso. La máxima presión de operación debe ser al menos 5% mayor que la presión de operación.

2.4.5. Presión de operación mínima

La presión de operación mínima es la presión sub-atmosférica más baja que puede tener el sistema, basada en las condiciones esperadas de la operación, incluyendo arranque y parada.

2.4.6. Presión de diseño

Es la máxima presión interna o externa utilizada para determinar el espesor mínimo de tuberías y recipientes y otros equipos. Para condiciones de vacío parcial o total, la presión externa es la máxima diferencia entre la atmosférica y la presión en el interior del recipiente o tubería. La presión de diseño especificada para equipos y tuberías está normalmente basada en

la presión de operación máxima, más la diferencia de presión entre la presión de operación máxima y la presión fijada en el sistema de alivio de presión.

La presión de diseño generalmente se selecciona como el mayor valor numérico de los siguientes casos:

110% de la presión máxima de operación, o la presión de operación más 25 psi (172 kPa).

2.4.7. Aire comprimido

El aire es un material elástico, por lo tanto al aplicarle una fuerza éste se comprime, acumulando energía potencial en su interior hasta el momento que se le permita expandirse, éste es el principio básico de la neumática, la cual utiliza esta propiedad del aire como modo de transmisión de energía para mover y hacer funcionar mecanismos o herramientas. [8]

2.4.8. Calidad del aire comprimido

Es el conjunto de propiedades y componentes que puede contener el aire comprimido, con el fin de satisfacer una necesidad determinada de la mejor forma posible. Entre los factores que afectan la calidad del aire comprimido se tiene la presión, partículas sólidas, aceite y condensado.

La presión alta de un aire comprimido podría producir varios efectos, desde roturas en los componentes del sistema neumático dando origen a fugas y por ende a pérdidas de energía, hasta una parada total de la planta; una baja presión altera completamente el funcionamiento de los dispositivos neumáticos. La potencia en las herramientas neumáticas es directamente proporcional a la presión, y tiene un comportamiento casi cuadrático con respecto a la velocidad.

Como partículas sólidas se agrupan todos los elementos sólidos en suspensión que pueda tener el aire, provienen principalmente de tres fuentes: del aire atmosférico succionado, del compresor propiamente y de la red neumática.

En el primer caso se encuentra con una gran cantidad de contaminantes que varían en concentración y tipo de acuerdo a la zona, actividad, entre otros. En los compresores con cámara de compresión lubricada, el aceite tiende a descomponerse, formando entre otras cosas partículas de carbón. Para el último de los casos si las tuberías de la red son metálicas suelen oxidarse, produciendo partículas de gran tamaño y en cantidad considerable.

El aceite proviene del aire atmosférico aspirado por el compresor, y del compresor en sí, cuando éste tiene cámara de compresión lubricada. Del aire atmosférico, puede venir algo de aceite en forma de neblina o vapores pero su cantidad en general es insignificante.

La cantidad de aceite que sale del compresor junto con el aire comprimido, depende mucho de la cantidad, tipo y temperatura del lubricante, así como del tipo y tamaño del compresor, los compresores rotativos de paletas y los de tornillos, inundan la cámara con aceite, pero siempre tienen un separador de alta eficiencia que disminuye el contenido del mismo en el aire comprimido hasta 15 y 5 mg/m³, respectivamente.

El aire atmosférico contiene humedad, mientras más alta sea la temperatura, mayor será la cantidad de humedad que pueda contener el aire. El término humedad relativa es comúnmente utilizado para describir la cantidad de humedad contenida en el aire, aunque técnicamente el término correcto es presión de vapor relativa.

Considerando el aire y el agua en estado gaseoso, cuando el aire contiene toda la humedad posible bajo las condiciones que prevalecen en ese momento se dice que está saturado. Si el aire es enfriado, éste alcanzará una temperatura a la cual cierta cantidad de humedad presente en el aire no puede ser contenida y por lo tanto condensará. Esta cantidad

de agua que no puede ser contenida en el aire se conoce como condensado. La temperatura a la cual la humedad condensa es llamada punto de rocío.

La humedad contenida en el aire también puede condensar debido a la aplicación de presión, ya que cuando el aire es comprimido, ocupa un volumen menor y no puede contener toda la humedad que cuando está expandido en condiciones atmosféricas, por lo tanto la humedad formará gotas de condensado.

2.5 Calidad del aire según norma ISO 8573.1

La norma ISO 8573.1 define las características de pureza y las cantidades de contaminantes que debe poseer el aire comprimido para cada clase, ya que a mayor calidad es más costoso producir el aire comprimido, por lo tanto, esta norma es de suma importancia porque permite conocer a ciencia cierta las especificaciones de debe poseer el aire comprimido para cumplir los requerimientos de los dispositivos de uso final. En la tabla 2.2. Se muestran las diferentes clasificaciones del aire comprimido según dicha norma.

Tabla 2.2. Calidad del aire comprimido según norma ISO 8573.1 [9]

CALIDAD DEL AIRE COMPRIMIDO SEGUN NORMA ISO 8573.1				
CLASE	Máximo Tamaño de partícula en micrones	Máxima Concentración de partículas en mg/m ³	Máximo Punto de Rocío °C (PDP)	Máxima Concentración de aceite en mg/m ³
1	0,1	0,1	-70	0,01
2	1	1	-40	0,1
3	5	5	-20	1
4	15	8	+3	5
5	40	15	+7	25
6	-	-	+10	-

A continuación en la tabla 2.3 se muestran algunos usos que tiene el aire comprimido de acuerdo a su clase.

Tabla 2.3. Usos del aire comprimido según su clase [4]

Usos del aire comprimido	Calidad de aire requerida por los dispositivos		
	Humedad	Aceite	Partículas
Aire de instrumentos	Clase 2	Clase 1	Clase 1
Soplado de mangueras	Clase 3	ND	ND
Herramientas neumáticas	Clase 4	Clase 3	Clase 3
Winches	Clase 3	Clase 1	Clase 1

Fuente: Arvelález

2.6. Compresor

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 soplantes y ventiladores centrífugos o de circulación axial, en cuanto a la presión de salida, los compresores se clasifican generalmente como máquinas de alta presión, mientras que los ventiladores y soplantes 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 a pistola, inflamiento de neumáticos,

limpieza, herramientas neumáticas y perforadoras. Otro es el compresor de refrigeración, empleado para comprimir el gas del vaporizador. Otras aplicaciones abarcan procesos químicos, conducción de gases, turbinas de gas y construcción.

Al clasificarse según el indicio constructivo los compresores volumétricos se subdividen en los de émbolo y de rotor y los de paletas en centrífugos y axiales. Es posible la división de los compresores en grupos de acuerdo con el género de gas que se desplaza, del tipo de transmisión y de la destinación del compresor

La compresión por rotores paralelos puede producirse también en el sentido axial con el uso de lóbulos en espira a la manera de un tornillo sin fin. Acoplando dos rotores de este tipo, uno convexo y otro cóncavo, y haciéndolos girar en sentidos opuestos se logra desplazar el gas, paralelamente a los dos ejes, entre los lóbulos y la carcasa. [10]

El principio de compresión de aire de tornillo rotativo ATLAS COPCO ZT 55 consta de dos rotores helicoidales (el primero con cuatro lóbulos y el segundo con seis estrías) giran entre sí. El primero gira un 50% más rápido que el segundo. El aire aspirado se comprime entre los rotores y su carcasa. Los rotores de compresión nunca llegan a tocarse gracias a la precisión de los engranajes de sincronismo, que mantienen unas holguras mínimas entre las superficies de los rotores. No se produce desgaste y no se requiere lubricación en el espacio de compresión. Unos retenes especiales evitan que el aire escape a lo largo del eje del rotor, mientras que otros retenes separados impiden que haya fugas de aceite por los rodamientos de los rotores en la cámara de compresión. Los extremos de los rotores dejan al descubierto la entrada: el aire penetra en la cámara de compresión. El aire queda atrapado en el compartimento formado por un lóbulo macho y una estría hembra. Cuando los rotores giran, el tamaño del compartimento se reduce progresivamente, comprimiendo así el aire atrapado. El aire comprimido sale por la lumbrera de salida. [11]

2.7. Secadores

El aire comprimido que entra en una red de aire está saturado con cierta cantidad de vapor de agua. Al enfriarse, esta humedad se condensa, ocasionando daños al sistema de aire y a los productos finales. Los secadores son dispositivos capaces de eliminar la humedad, asegurando un proceso fiable, ofreciendo aire seco al sistema neumático, con un punto de rocío a presión de $+3^{\circ}\text{C}$ / $+37^{\circ}\text{F}$. Existen tres tipos de secados principalmente los cuales son, secado por absorción, por adsorción y secado por enfriamiento.

2.7.1. Secado por absorción

El secado por absorción es un procedimiento puramente químico. El aire comprimido pasa a través de un lecho de sustancias secantes. En cuanto al agua o vapor de agua entra en contacto con dicha sustancia, se combinan químicamente con esta y se desprende como mezcla de agua y sustancia secante y debe suplirse en intervalos regulares de 2 a 4 veces al año.

Al mismo tiempo, en el secador por absorción se separan vapores y partículas de aceite. No obstante, las cantidades de aceite si son grandes, influyen en el funcionamiento del secador. Por eso es conveniente montar un filtro fino delante de éste.

2.7.2. Secado por adsorción

Este proceso se basa en un proceso físico, donde se depositan sustancias sobre la superficie de cuerpos sólidos. El material de secado es granuloso con cantos vivos o en forma de perlas. Se compone casi por completo de dióxido de silicio, en general se le da el nombre de gel. La misión del gel consiste en adsorber el agua y el vapor de agua. El aire comprimido húmedo se hace pasar a través del lecho de gel que fija la humedad. La capacidad absorbente

de un lecho de gel es naturalmente limitada. Si está saturado se regenera de forma simple. A través del secador se sopla aire caliente, que absorbe la humedad del material de secado. El calor necesario para la regeneración pueda aplicarse por medio de corriente eléctrica o también por medio de aire comprimido caliente. Disponiendo en paralelo dos secadores, se puede emplear uno para el secado del aire, mientras el otro se regenera. [12]

2.7.3. Secado por enfriamiento

Este tipo de secado por lo general consta de dos circuitos, el de aire y el de refrigerante respectivamente. En el primero el aire caliente saturado entra en el secador y es enfriado por el aire que sale por un intercambiador de calor aire-aire. Reduciendo la temperatura del aire de entrada, disminuye la carga sobre el circuito de refrigerante. Luego un intercambiador de calor aire-refrigerante transfiere el calor del aire comprimido al refrigerante frío, forzando la condensación del vapor de agua que hay en el aire comprimido. Cuanto más eficaz sea la transferencia de calor, más se enfriará el aire y más vapor de agua se condensará. Un separador de humedad recoge y drena el condensado del flujo de aire enfriado. Cuanto más eficiente sea la separación, mejor será el punto de rocío a presión, ya que las gotas que no se recogen se vuelven a evaporar y degradan el punto de rocío a presión. A la salida del aire éste se recalienta para impedir condensación en las tuberías de la factoría. En el segundo circuito un compresor de refrigerante comprime el gas refrigerante a una elevada presión y temperatura. Posteriormente un condensador enfría ligeramente el gas refrigerante para que cambie de gas a líquido; el refrigerante es más eficaz en estado líquido. Se hace pasar por un filtro de refrigerante para proteger al dispositivo de expansión contra partículas dañinas. El dispositivo de expansión reduce la presión del refrigerante, haciendo que disminuya su temperatura y aumente su capacidad de refrigeración; el refrigerante es ahora prácticamente líquido, con algún gas residual. A continuación un separador garantiza que sólo pueda entrar en el compresor gas refrigerante, ya que en estado líquido causaría daños. Por último un dispositivo de regulación mantiene la cantidad de refrigerante que pasa por el intercambiador de calor aire-refrigerante, asegurando un punto de rocío a presión estable. [13]

2.8. Acumuladores

El acumulador o depósito de almacenamiento sirve para estabilizar el suministro de aire comprimido. Compensa las oscilaciones de presión en la red de tuberías a medida que se consume aire comprimido. Gracias a la gran superficie del acumulador, el aire se refrigera adicionalmente. Por este motivo, en el acumulador se desprende directamente una parte de la humedad del aire en forma de agua. El principal aspecto a tener en cuenta en este dispositivo es la seguridad, ya que estos elementos son bombas en potencia. Las rutinas de mantenimiento se deben realizar con adecuada periodicidad, verificándose el estado de los elementos de seguridad realizándose inclusive ensayos no destructivos tales como ultrasonido y radiografías para verificar el óptimo estado de los mismos. El mantenimiento que se le realiza al tanque se limita a una limpieza interior en muy escasas ocasiones, además de la verificación constante de las purgas. [14]

2.9. Filtros

El propósito de los filtros de aire comprimido es suministrar aire libre de contaminantes a los diferentes puntos de aplicación. Contaminantes tales como agua, aceite, polvo, partículas sólidas, neblinas, olores, sabores y vapores, pueden atacar su sistema. Existen varios tipos de filtros, en la figura 2.8 se muestran tres tipos de filtros para aire comprimido, los cuales se describen a continuación.



Figura 2.8. Tipos de filtros para aire comprimido [15]

2.9.1. Filtros de partículas

Estos filtros están diseñados para retener partículas sólidas, interceptando las mismas mediante un elemento filtrante que puede ser de diversos materiales: Papel, rejillas metálicas, mallas de nylon, espumas, etc. Los elementos del filtro son recambiales y deben ser reemplazados periódicamente puesto que se van saturando y ocasionan altas pérdidas de presión.

2.9.2. Filtros coalescentes

El propósito de estos retener lubricantes, emulsiones y neblinas, mediante el principio de coalescencia, el cual consiste básicamente en tener una red aleatoria de fibras, la cual ante el paso de aire, produce formación de gotas alrededor de las fibras, cayendo luego estas a un recipiente de acumulación por efecto de gravedad. Como consecuencia del diseño del filtro puede retenerse partículas sólidas incluso de menor tamaño que las retenidas por un filtro de partículas, por esto se recomienda instalar primero un filtro de partículas antes que uno

coalescente y así evitar que este se sature. Se deben reemplazar los elementos filtrantes, debido a que se saturan y ocasionan altas pérdidas de presión.

2.9.3. Filtros de vapores

Son filtros diseñados para remover olores, sabores y vapores orgánicos. Su principio de funcionamiento consiste en lechos de carbón activado que mediante adsorción remueven dichos contaminantes. Reemplazar periódicamente los elementos filtrantes puesto que se van saturando y ocasionan altas pérdidas de presión.

2.10. Válvulas

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 móvil que abre, cierra u obstruye en forma parcial uno o más orificios o conductos. Los tipos de válvulas se pueden clasificar según la función que desempeñan. [16]

2.10.1. Servicio de corte y paso

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 aguada, cierre positivo. Se utilizan totalmente cerradas o abiertas.

2.10.2. 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.

2.10.3. 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.

2.10.4. 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.

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. 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.

Cuerpo de la válvula: éste está 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. Está 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 si 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.

2.10.5. 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.

2.11. Simulador de procesos PRO II

Es un sistema de simulación por computadora muy útil para ingenieros de procesos en las industrias químicas, petrolera, de gas natural y combustibles sintéticos. Combina las bases de datos de una gran biblioteca de compuestos químicos y métodos termodinámicos de predicción de propiedades, con las más avanzadas y flexibles técnicas de operaciones unitarias. Provee al ingeniero de procesos con las facilidades computacionales para realizar todos los cálculos de balance de masa y energía necesarias para modelar la mayoría de los procesos de estado estable. Es una herramienta fácil de usar, y su lenguaje de entrada es una extensión del lenguaje universal de la ingeniería química. PRO II suministra dos interfaces básicas para el usuario. Una de ellas es la entrada de datos mediante comandos específicos. La otra es una interface gráfica interactiva, llamada PROVISION, que usa menú, listas y formas

para interpretar las instrucciones del usuario. Con PRO II se pueden construir diagramas de flujo de procesos que contengan unidades de proceso como columnas de destilación rigurosas, compresores, reactores, intercambiadores de calor, mezcladores, entre otros. También se pueden simular equipos para conocer el comportamiento de las corrientes. [17]

CAPITULO III

MARCO METODOLOGICO

3.1. Actualización de los diagramas de procesos e instrumentación asociados al sistema de generación de aire comprimido

Durante las primeras semanas dentro de la refinería se hicieron recorridos por las distintas plantas, en compañía de los operadores y supervisores de turno, de manera de conocer el proceso de obtención de la parafina.

Luego con la ayuda de los distintos diagramas se realizó un conteo de los equipos verificando su ubicación y funcionamiento, y se comprobó que las líneas de proceso de los diagramas de tubería e instrumentación (DTI) fueran las que se encuentran incorporadas en el espacio físico asignado para ello; luego de establecer que líneas de proceso o estrategias de control de los DTI's no se encontraban en concordancia con la situación actual, se realizaron las modificaciones pertinentes dentro de los documentos (DTI's).

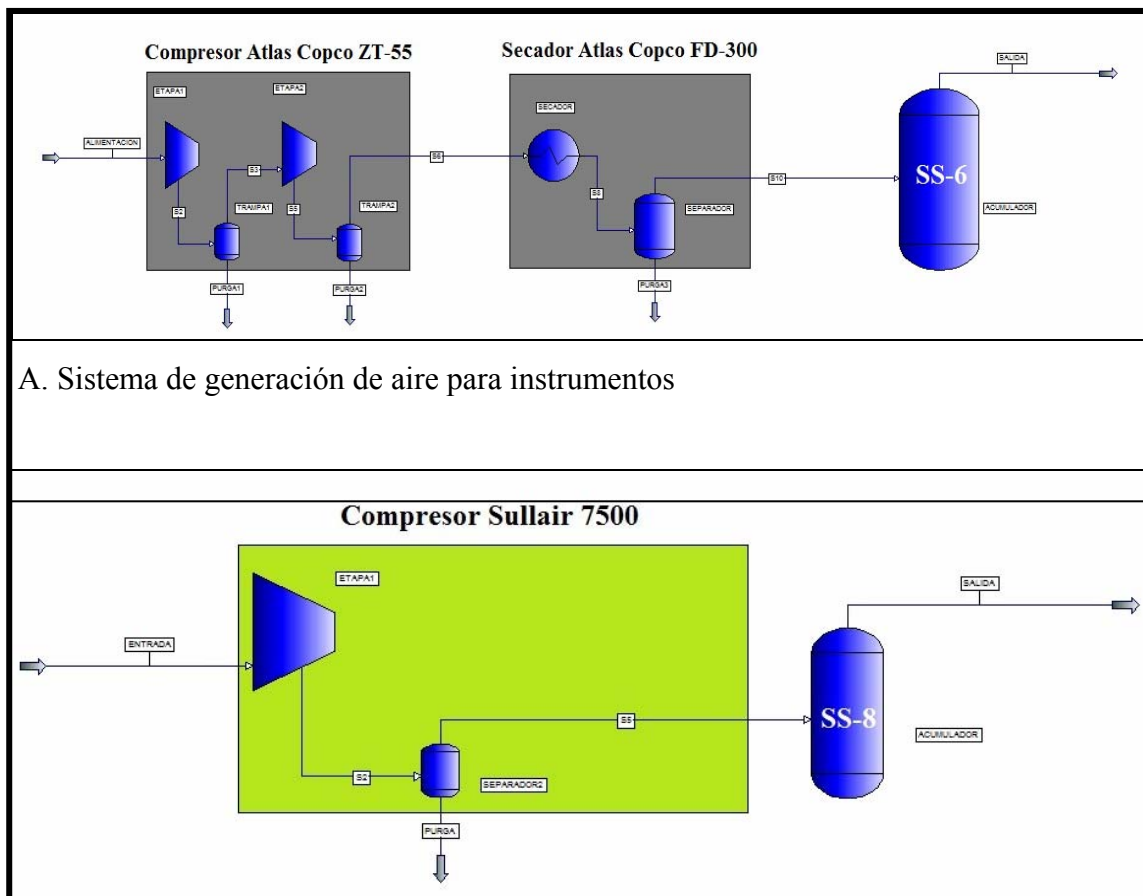
Con marcadores de diferentes colores, rojo amarillo y verde se realizaron las modificaciones. Con el color verde se colocaron las líneas, equipos y estrategias de control que existen dentro de las plantas, pero que no están representadas en los diagramas; el color rojo se utilizó para quitar los equipos que se encontraban dentro de los documentos, pero que no existen dentro de las plantas; el color amarillo para remarcar equipos, líneas o estrategias de control que no fueran a tener modificaciones. El diagrama actualizado por motivos de confidencialidad no puede ser mostrado en este trabajo de grado. También se recolectaron datos en campo de los distintos componentes del sistema de aire comprimido, tanto en la zona de suministro como en la zona de consumo. La toma de estas muestras es uno de los pasos clave para obtener los datos de la simulación del proceso.

3.2. Realización balance de materia y energía del sistema de generación de aire comprimido con los datos operacionales y de diseño

Por medio del programa simulador SIMSCI PRO II- PROVISION versión 7.0 se llevó a cabo la simulación tanto del sistema de generación de aire de instrumento así como del sistema de generación de aire de servicios de la unidad de servicios industriales, con la finalidad de validar los resultados obtenidos en campo, y estimar la eficiencia de los mismos y de sus respectivos equipos, además de validar los diseños de estos últimos basado en los datos indicados por el fabricante. Por medio del balance energético en el simulador se obtuvieron los trabajos realizados por algunos equipos los cuales sirvieron de parámetro para validar sus diseños, así como determinar sus eficiencias, por medio del balance de materia se obtuvieron las eficiencias de los sistemas respecto a la humedad. Las simulaciones se llevaron a cabo a través de una serie de pasos consecutivos que serán nombrados a continuación.

3.2.1. Elaboración de la hoja de trabajo

En este paso se procedieron a elaborar las hojas de las simulaciones, es decir se construyeron los diagramas de flujo del proceso tanto para el sistema de aire de instrumento así como para el sistema de aire de servicios tal como se muestra en la figura 3.1, además de elaborar las hojas de trabajo para cada equipo principal con la finalidad de validar su diseño.

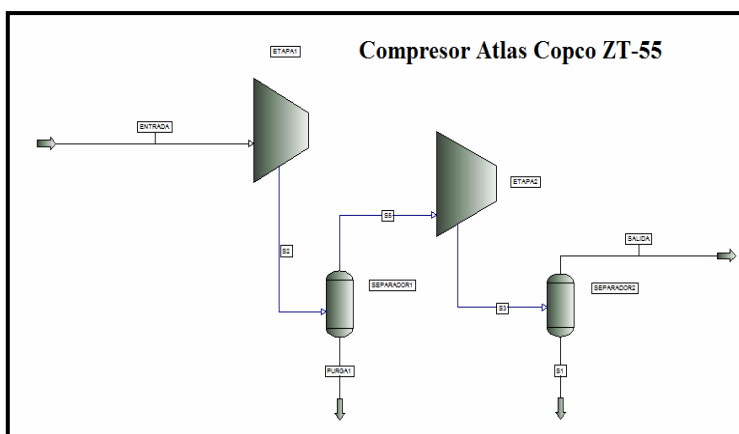


B. Sistema de generación de aire para servicios

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.1 Hojas de trabajo para los sistemas de generación de aire comprimido para instrumentos (A) y generación de aire para servicios (B) respectivamente

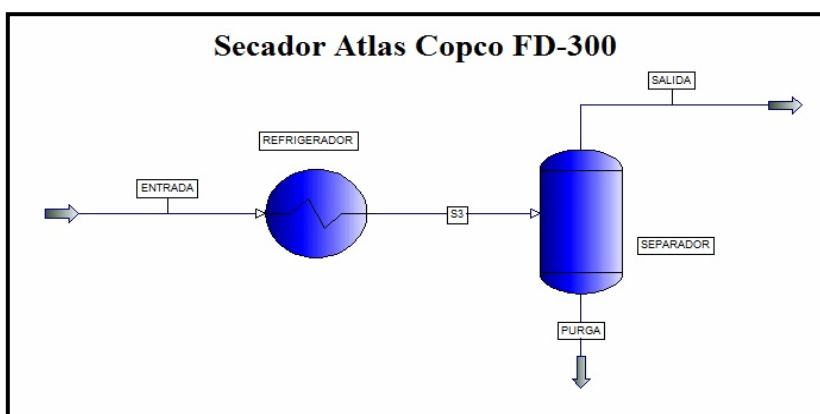
Para el caso del compresor Atlas Copco ZT-55, se utilizaron dos compresores simples con post-enfriador, simulando así las dos etapas de compresión con las cuales funciona este equipo, además se le colocó un separador flash que cumpla con la función de purga a través del cual este equipo retira humedad del sistema. Ésto se muestra la figura 3.2 hoja de trabajo para compresor Atlas Copco ZT-55.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.2. Hoja de trabajo para el compresor Atlas Copco ZT55

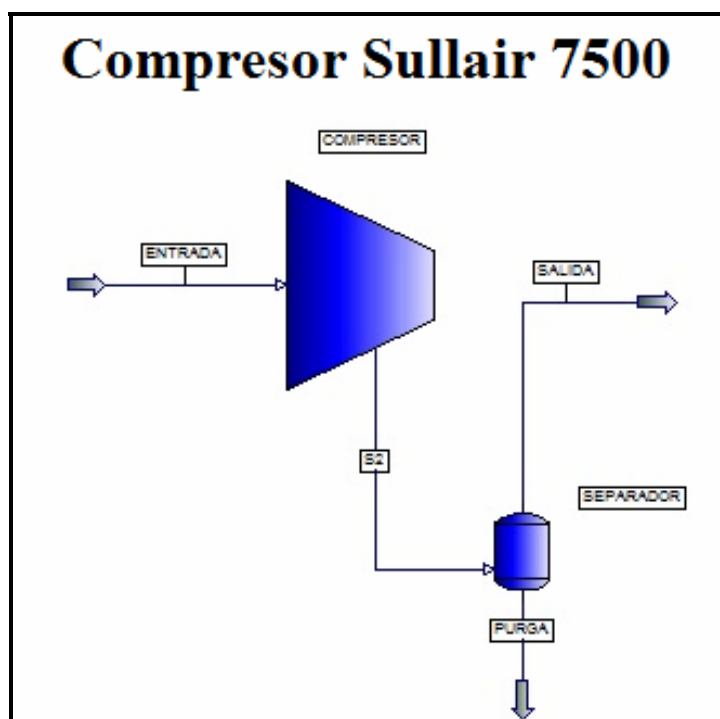
En el caso del secador frigorífico FD-300, en vista que no existe este equipo en la paleta PFD se sustituyó por un intercambiador de calor y un separador flash los cuales cumplen con las funciones de un secador de tipo refrigerativo, es decir retirar calor y humedad respectivamente del sistema de aire a instrumentos para así cumplir con las especificaciones de calidad de este servicio. En la figura 3.3 se muestra la hoja de trabajo del secador frigorífico FD300.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.3. Hoja de trabajo para secador Atlas Copco FD-300

En el caso del compresor Sullair 7500 se utilizo un solo compresor simple ya que este equipo es de una sola etapa de compresión, además de un separador flash utilizado para retirar humedad del sistema, tal como se muestra en la figura 3.4.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.4. Hoja de trabajo para el compresor Sullair 7500

Cabe destacar que este tipo de secadores frigoríficos Atlas Copco FD-300 constan de dos intercambiadores de calor, uno aire-aire el cual cumple con las funciones de disminuir la carga en el secador disminuyendo la temperatura del aire caliente húmedo de entrada, así como de elevar la temperatura del aire seco frío de salida, el cual aún posee alguna pequeña cantidad de humedad, y en vista de ello evitar posibles problemas de condensación en las líneas, equipos e instrumentos del sistema aguas abajo. Luego se coloca un separador flash a la salida del intercambiador el cual funciona como medio de purga del agua condensada en el

refrigerador, de modo de garantizar un aire seco a la salida del mismo. Para efectos de esta evaluación se consideró despreciable la transferencia de calor realizada por el primer intercambiador ya que podría asumirse que la energía retirada a la entrada del aire se le es suministrada nuevamente a la salida del mismo por lo cual se anulan, por lo que la transferencia de calor en el secado refrigerativo es realmente efectuada por el segundo intercambiador.

Por último en ambos sistemas tanto el de aire de instrumento como el de aire de servicio se coloca pulmón o acumulador de aire, el cual controla los picos altos y bajos de demanda que puedan presentarse en el flujo de aire del sistema.

3.2.2. Chequeo del sistema de unidades de medición

Este es un paso importante porque permite realizar comparaciones entre los resultados reportados por el simulador y datos operacionales de una forma más fácil y rápida.

3.2.3. Definición de componentes

Se debieron definir los componentes que fueron usados en la simulación, se definió el aire y el agua ya que a la entrada del sistema encontramos aire con alto contenido de humedad relativa de 80 %.

3.2.4. Selección del método termodinámico

La selección del método termodinámico es uno de los puntos principales que se tomaron en cuenta en 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 de grado 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 dos parámetros propuesta y ser el más comúnmente usado para sistemas de gases y aire.

3.2.5. Definición de las corrientes de proceso

En este paso se especificaron la temperatura, presión, flujo y composiciones a las corrientes de alimentación al proceso (tabla 3.4), las cuales fueron las condiciones presión y temperatura ambiente en los casos de simulación a condiciones de operación. Para las simulaciones a condiciones de diseño se usaron la temperatura y presión a condiciones de referencia dadas por el fabricante las cuales fueron 20 ° C y 0 psig respectivamente, tanto para el fabricante Atlas Copco así como para el fabricante Sullair. Para la composición de alimentación se realizó un cálculo adicional a partir de la humedad relativa y con la ayuda de la carta psicométrica se determinó la humedad absoluta. Una vez obtenido este valor se introdujo éste en las ecuaciones de definición de humedad para así conocer las fracciones de aire seco y agua que entran al sistema respectivamente.

Este cálculo se presenta en detalle en la sección 3.2.6 muestra de cálculo y los resultados se reflejan en la tabla 3.4 composición de alimentación del sistema de aire para instrumentos y servicios de la refinería San Roque.

Por último se dividió el flujo entre la masa molecular para llevar este de unidades lb/h a unidades de lb-mol/h con las cuales trabaja el simulador utilizado.

3.2.6. Definición de las condiciones del proceso

En este paso se especificaron las condiciones tanto de operación como de diseño a la cual debían operar cada uno de los equipos colocados en la hoja, tanto para el sistema de aire de instrumentos así como el sistema de aire de servicios los cuales se muestran en la tabla 3.1. Cada una de las unidades de operación tiene cuadros remarcados en los bordes con color rojo, ésto indica que se debía introducir ese dato sin excepción para completar los grados de libertad del problema y que se pudiera ejecutar satisfactoriamente la simulación. Se asumió un flujo suministrado operacional aproximado al de diseño y una eficiencia politrópica del 75 % la cual es común para este tipo de equipos y en algunos casos dada por el fabricante. En el caso del compresor Atlas Copco de dos etapas, se recurrió a un cálculo adicional para determinar la presión de salida de la primera etapa, este es mostrado en la muestra de cálculo.

Tabla 3.1. Condiciones de diseño y operación actual de los sistemas de aire de instrumentos y servicios respectivamente de la refinería San Roque

	Condiciones de diseño aire instrumento	Condiciones de operación aire instrumento	Condiciones de diseño aire de planta	Condiciones de operación aire de planta
T sal. Post-enfriador (°C)	38	44	87,7	87,7
P sal. Compresor (psig)	68	68	100	100
Eficiencia politrópica (%)	75	n/a	70	n/a
Flujo (pie ³ /min)	326	326	369	369
T sal. Secador (°C)	4	37	n/a	n/a
Pto. de rocío secador (°C)	10	29	n/a	n/a

3.2.7. Corrida de la simulación y revisión de los resultados

Primero se revisó que ninguno de los componentes de la hoja (corrientes, equipos, cuadros del menú) estuviera bordeado con color rojo antes de realizar la corrida de la simulación; luego de realizar la verificación se procedió a ejecutar la corrida y se revisaban los resultados, y se ajustaban los datos de entrada con la finalidad de minimizar las desviaciones respecto a los datos obtenidos en campo. Hay que destacar el hecho que no estén bordeados en rojo no significa que esté buena la simulación, ya que ello depende de los datos introducidos y que estos sean los correctos.

3.3. Determinación de las desviaciones de las variables de operación actual de los equipos del sistema de generación de aire comprimido en comparación con las especificaciones de diseño

Para determinar las desviaciones de los equipos en cuanto a temperatura, presión, composición y flujo, se estudió cada equipo individualmente y se establecieron sus condiciones máximas y mínimas de operación, por medio de la aplicación de normas establecidas por la empresa o tomando como valores límite las condiciones de diseño en los casos donde las limitaciones no permitieron establecerlos por procedimientos matemáticos convencionales. Estas condiciones se encuentran reportadas en la tabla 3.1.

3.3.1. Compresores

Para la evaluación de los compresores se utilizó la norma MDP-02-K-03, selección del tipo de compresor, (ver anexo B) comparando las características de los equipos instalados con las requeridas para este tipo de servicios las cuales se presentan a continuación en la tabla 3.2 características principales de los compresores evaluados.

Tabla 3.2. Características principales de los compresores evaluados

Característica	Atlas Copco ZT 55	Sullair 7500
Capacidad (pie ³ /min)	326	369
Presión máx. (psig)	125	175
Potencia del motor (hp)	75	100
Longitud (pulg)	96,1	78,7
Ancho (pulg)	40,4	43,3
Altura (pulg)	74	68,9
Peso (lb)	2.524	3.213

3.3.2. Secador

En el caso del secador, se tomó en cuenta lo mencionado en la norma MEC-300-05-01, sistema de aire comprimido para plantas de proceso (ver anexo C) debido a que no existe una norma específica para este componente. Para ello se compararon los datos obtenidos en campo, así como las características del equipo presentadas en la tabla 3.3 y los resultados de la simulación de acuerdo con lo especificado en dicha norma, además de verificar la configuración correspondiente del sistema y la selección adecuada de los equipos en funcionamiento del mismo, de modo que cumpla con los requerimientos dispuestos en la misma.

Tabla 3.3. Características principales del secador Atlas Copco FD-300

Capacidad (pie ³ /min)	666	Longitud (pulg)	45,9
Presión máx. (psig)	210	Ancho (pulg)	39,6
Consumo de potencia (hp)	4,6	Altura (pulg)	44,3
Punto de rocío	+3	Peso (lb)	673

3.3.3. Sistema de filtrado

Para el sistema de filtrado se utilizó la norma MEC-300-05-01 sistema de aire comprimido para plantas de proceso y se comparó lo especificado en ella con la configuración del sistema en campo. Hay que resaltar que este sistema no cuenta con adecuado sistema de filtrado y se limita a trabajar sólo con el filtro interno de partículas que posee el compresor.

3.3.4. Acumuladores

Para la evaluación de los acumuladores se tomaron en cuenta varias normas:

La norma PDVSA MEC-300-05-01 en el cual se indica que los tambores acumuladores deben ser verticales, con la entrada del aire en la parte media del mismo.

La norma PDVSA MDP-08-SA-02 consideración de la contingencia y determinación de los flujos de alivio (ver anexo E), la cual sostiene que todos los recipientes a presión deben poseer válvulas de seguridad para evitar contingencias debido a la sobrepresión.

La norma PDVSA K-341 *Instrument air criteria* (ver anexo F).

3.4. Propuestas de las soluciones a las desviaciones encontradas que puedan garantizar el funcionamiento adecuado de los equipos desde el punto de vista de proceso y seguridad

Se evaluaron los resultados obtenidos en la simulación y en campo y se compararon con los límites establecidos anteriormente para así detectar y analizar las posibles desviaciones que presenten los equipos. Basándose en los resultados que se obtuvieron se estudiaron propuestas a las desviaciones encontradas para así garantizar el funcionamiento adecuado de

los equipos del sistema de generación de aire comprimido desde el punto de vista de proceso y seguridad.

Basados en las normas de la empresa y en pruebas cromatograficas al aire de instrumento las cuales por motivo de confidencialidad no se muestran en este trabajo, se propone instalar al menos dos filtros en el sistema para así proteger el secador y obtener un aire de instrumento puro libre de aceites, así como reparar a la brevedad posible el segundo secador utilizado como respaldo en caso de que falle el primero. Como alternativa a esta ultima problemática se propone además la reactivación del viejo sistema de secado por adsorción, esto en vista de que las nuevas tendencias apuntan al uso cada día menor de los secadores refrigerativos.

3.5. Muestra de cálculo

3.5.1. Calculo de la composición del aire de entrada

A continuación se presentan la muestra de cálculos realizada para obtener la composición de entrada del aire al sistema de aire comprimido. Para ello se utilizaron como datos las condiciones ambiente de presión, temperatura y humedad relativa de la zona la cual se obtuvo a través de datos meteorológicos de la zona, por medio de la pagina msn.

Datos

Humedad relativa = 80 %

Temperatura = 81,104 ° F = 540,77 ° R

Presión = 14,7 psia = 2.118,2 lb/pie²

Masa Molecular del aire = 28,42 lb/lbmol

Constante universal de los gases (R) = 1.545,3 pie.lb/°R.lbmol

Flujo Volumétrico = 326 pie³/min = 19.560 pie³/h

3.5.1.1. Determinación de la humedad absoluta

Para el cálculo de la composición del aire de alimentación empleado, se tomaron los valores de humedad relativa y temperatura, y se buscó en el diagrama psicométrico (figura 3.5) la humedad absoluta del aire de la alimentación.

Interceptando la línea roja correspondiente a los 81 ° F de temperatura con la línea amarilla, la cual corresponde a una humedad relativa de 80 %. Se obtiene un valor de humedad absoluta igual a 0,0183 libras de agua / libras de aire seco.

3.5.1.2. Determinación del flujo másico (m°)

Para determinar el flujo másico, se calculó la densidad del aire a partir de los datos de diseño de los compresores.

Por recomendación de la empresa se parte de la ecuación para gases ideales: [18]

$$P.V = n.R.T \quad (\text{Ec. 3.1})$$

Donde:

P: presión (lb/pie²)

V: volumen (pie³)

n: número de moles (lbmol)

R: constante universal de los gases (pie.lb/°R.lbmol)

T: temperatura (°R)

Conociendo que:

$$\left(\frac{m}{M}\right) = n \quad (\text{Ec. 3.2})$$

Donde:

m: masa (lb)

M: masa molecular (lb/lbmol)

Se sustituye en la Ec. 3.1 y se obtiene:

$$\frac{P}{R.T} = \frac{m}{V.M} \quad (\text{Ec. 3.3})$$

Sabiendo que:

$$\left(\frac{m}{V}\right) = \rho \quad (\text{Ec. 3.4})$$

Se despeja el término $\left(\frac{m}{V}\right)$ de la Ec. 3.3 y se sustituye por (ρ) , obteniendo:

$$\frac{P.M}{R.T} = \rho \quad (\text{Ec. 3.5})$$

Sustituyendo $P = 2.118,2 \text{ lb/pie}^2$, $M = 28,42 \text{ lb/lbmol}$, $R = 1.545,3 \text{ pie.lb/}^\circ\text{R.lbmol}$ y $T = 540,77 \text{ }^\circ\text{R}$ en la Ec. 3.5, se tiene:

$$\frac{2.118,2 \frac{\text{lb}}{\text{pie}^2} \times 28,42 \frac{\text{lb}}{\text{lbmol}}}{1.545,3 \frac{\text{pie} \cdot \text{lb}}{\text{R} \cdot \text{lbmol}} \times 540,77 \text{ } ^\circ\text{R}} = \rho$$

$$\rho = 7,2 \times 10^{-2} \frac{\text{lb}}{\text{pie}^3}$$

Multiplicando la densidad del aire por el flujo volumétrico, se obtiene el flujo másico del aire en la alimentación a los compresores:

$$m^c = 7,2 \times 10^{-2} \frac{\text{lb}}{\text{pie}^3} \times 19.560 \frac{\text{pie}^3}{\text{h}}$$

$$m^c = 1.408,32 \frac{\text{lb}}{\text{h}}$$

3.5.1.3. Calculo del flujo de aire seco

Para el cálculo del flujo de aire seco se tiene la siguiente ecuación a partir del balance de masa correspondiente al aire húmedo:

$$A.H = A.S + \text{Agua} \quad (\text{Ec. 3.6})$$

Donde:

A.H: aire húmedo (lb/h)

A.S: aire seco (lb/h)

Dividiendo la Ec. 3.6 entre aire seco, se obtiene la siguiente expresión:

$$\frac{\overset{1}{\text{A.H}}}{\text{A.S}} = \frac{\text{A.S}}{\text{A.S}} + \frac{\overset{y}{\text{Agua}}}{\text{A.S}}$$

$$\frac{\text{A.H}}{\text{A.S}} = \frac{G}{G_s} = 1 + y \quad (\text{Ec. 3.7})$$

Donde:

G: aire húmedo = m° (lb/h)

G_s: aire seco (lb/h)

y: humedad absoluta (adimensional)

Despejando el término aire seco, se obtiene:

$$G_s = \frac{G}{1+y} \quad (\text{Ec. 3.8})$$

Sustituyendo el valor de (G) y de (y) en la Ec. 3.8, se obtiene el valor de G_s:

$$G_s = \frac{1.408,32 \text{ lb/h}}{1 + 0,0183}$$

$$G_s = 1.382,96 \text{ lb/h}$$

Con el flujo de aire húmedo y seco, se procede al cálculo de la fracción de aire seco en la corriente de alimentación:

$$\text{Fracción de aire} = Y_B = \frac{G_s}{G} \times 100 = \frac{1.382,96 \text{ lb/h}}{1.408,32 \text{ lb/h}} \times 100 = 98,1992 \%$$

Siendo la fracción de agua, igual a:

$$\text{Fracción de agua} = Y_A = 100 - Y_B = 100 - 98,1992 \% = 1,8007 \%$$

De igual forma se repiten los cálculos para la temperatura de referencia del fabricante que es de 20 ° C, usando colores verde para chocar con la humedad relativa de 80 % y azul desde esta para ubicar la humedad absoluta en la carta psicométrica.

Tabla 3.4. Composición de alimentación del sistema de aire para instrumentos y servicios de la refinería San Roque

Componentes	Composición en % molar a T 28 °C y 0 psig	Composición en % molar a T 20 ° C y 0 psig
Aire seco	98,1992	98,61
Agua	1,8007	1,38

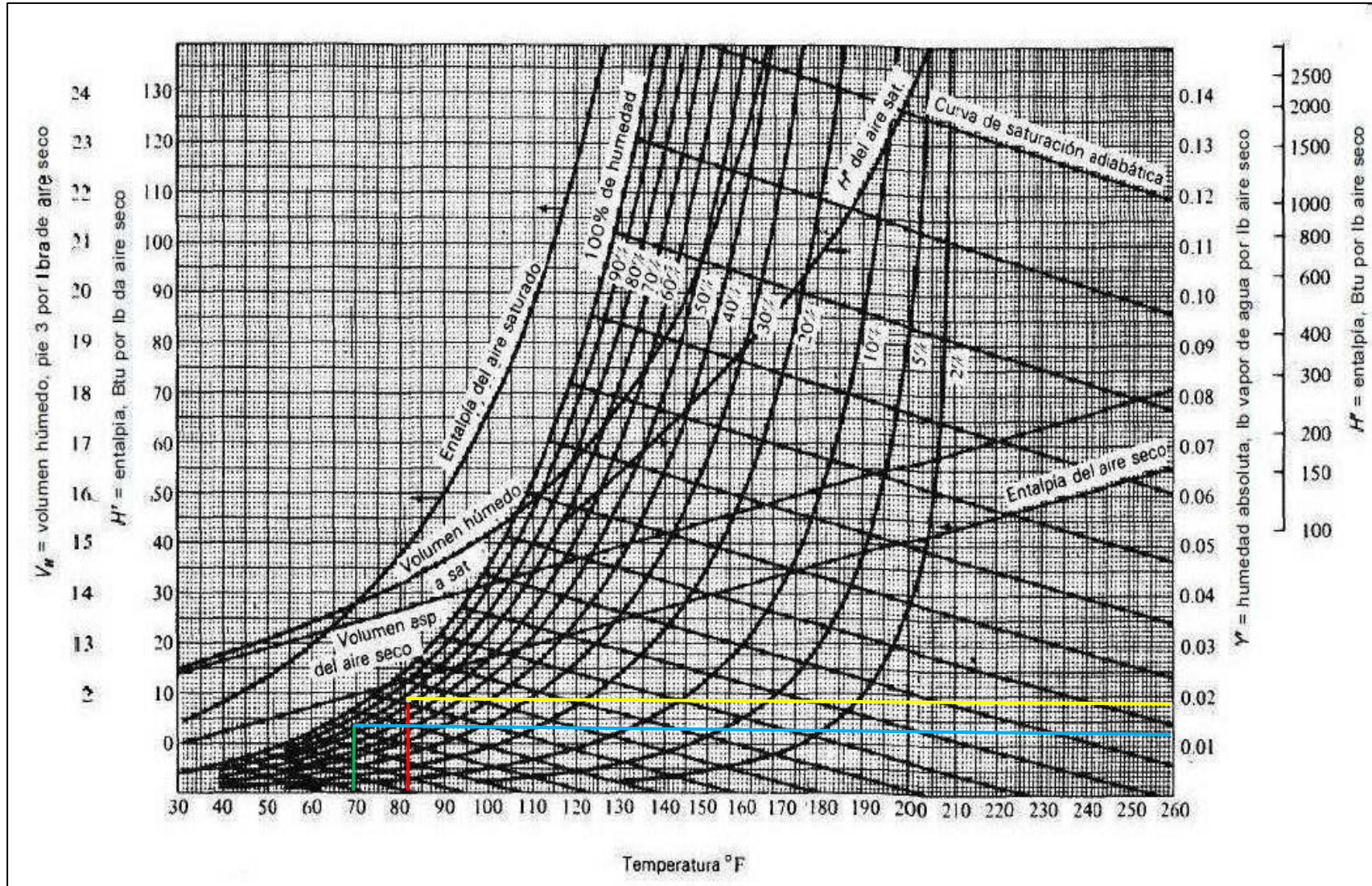


Figura 3.5. Carta psicométrica en sistema ingles [18]

3.5.2. Cálculo de la presión inter-etapa

Para la simulación del compresor Atlas Copco ZT-55 fue necesario hacer un cálculo adicional para conocer la presión de la primera etapa de compresión ya que esta no era suministrada por el fabricante. Para el caso de diseño esto fue posible tomando los datos de presión dados por el fabricante:

Datos

Presión ambiente = 14,7 psia

Presión segunda etapa = 139 psia

Número de etapas: 2

Luego a partir de la ecuación de relación inter-etapas:

$$R_c = \sqrt[n]{\frac{P_2}{P_1}} \quad (\text{Ec.3.9})$$

Donde:

P2: presión final (psia)

P1: presión inicial (psia)

n: número de etapas (adimensional)

Rc: Relación inter-etapas (adimensional)

Sustituyendo $n = 2$, $P_2 = 139$ psia y $P_1 = 14$ psia en la Ec. 3.9 se tiene:

$$R_c = \sqrt{\frac{139 \text{ psia}}{14 \text{ psia}}}$$

$$R_c = 3,08$$

Sabiendo que:

$$R_c = \frac{P_1}{P_a} = \frac{P_2}{P_1} \quad (\text{Ec. 3.10})$$

Donde:

Pa: presión ambiente (psia)

P1: presión primera etapa (psia)

P2: presión segunda etapa (psia)

Rc: relación inter-etapas (adimensional)

Sustituyendo Pa = 14,7 psia se obtiene y despejando P1 de la (Ec.3.10) se obtiene la presión de la primera etapa de compresión:

$$3,08 = \frac{P_1}{14 \text{ psia}}$$

$$P_1 = 3,08 \times 14 \text{ psia}$$

$$P_1 = 45,27 \text{ psia}$$

Por último se repite el mismo procedimiento con los datos de operación para conocer la presión de la primera etapa de compresión bajo estas condiciones, obteniéndose:

$$P_1 = 34,86 \text{ psia}$$

3.5.3. Calculo de la eficiencia de los sistemas

Se calculan las eficiencias tomando como parámetro la composición molar de agua a la entrada y salida de los sistemas. A continuación se presenta la muestra de cálculo de eficiencia para el sistema de generación de aire de instrumento a condiciones de diseño:

Datos

Composición molar de agua a la entrada = 0,0138

Composición molar de agua a la salida = 0,0013

Donde la eficiencia se determina a partir de la siguiente fórmula:

$$\% \epsilon = \frac{\text{Mentrada} - \text{Msalida}}{\text{Mentrada}} \times 100 \quad (\text{Ec.3.11})$$

Donde:

Mentrada : composición molar de entrada de agua.

Msalida : composición molar de salida de agua.

$\% \epsilon$: porcentaje de eficiencia.

Sustituyendo Mentrada = 0,0138 y Msalida = 0,0013 en la (Ec. 3.11) se obtiene el porcentaje de eficiencia de diseño del sistema de aire de instrumento:

$$\% \epsilon = \frac{0,0138 - 0,0013}{0,0138} \times 100$$

$$\% \epsilon = 89,92$$

De igual forma se calculan las eficiencias de los demás sistemas bajo condiciones de diseño y operación. Sus resultados se reportan en la tabla 4.4

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. Actualización de los diagramas de procesos e instrumentación asociados al sistema de generación de aire comprimido

El diagrama de tubería e instrumentación del sistema de generación de aire comprimido de la refinería San Roque presentó como diferencia principal, el hecho de que no están reflejado en él los nuevos compresores Atlas Copco ZT-55 ni el compresor Sullair 7500, así como los secadores refrigerativos Atlas Copco FD-300, es decir el diagrama representa netamente el viejo sistema de generación de aire comprimido. Por ello se procedió a incluir dichos equipos así como las tuberías, y accesorios necesarios para unir la nueva configuración de los compresores y secadores. Se notó que los equipos del viejo sistema de generación de aire comprimido se encuentran en el área y fuera de servicio, solo quedan algunas partes de estos en el área. Al realizar el conteo y verificación de equipos se constato que del compresor CS-2 se encuentran sólo algunas piezas en alto grado de deterioro y abandono en el sitio, mientras que los compresores CS-1/3/4 fueron sacados del área para ser remplazados por los nuevos equipos. Por motivos de confidencialidad no son mostrados en este trabajo de grado estos diagramas.

4.2. Realización de balance de materia y energía del sistema de generación de aire comprimido con los datos operacionales y de diseño

Una vez obtenido los resultados se pudieron validar tanto los diseños de los equipos comparando los resultados con las especificaciones dadas por los fabricantes, así como los sistemas a evaluar, comparando sus condiciones de operación con las de diseño del sistema, utilizando para éste último las condiciones especificadas en normas de la empresa. A continuación se presentan los resultados y análisis para cada equipo y sistema evaluado respectivamente.

4.2.1. Validación de diseño del compresor Atlas Copco ZT-55

Para llevar a cabo esta simulación se utilizaron los datos de especificación dadas por el fabricante tales como un flujo de 326 cfm y una presión de 125 psig, así como sus respectivas condiciones de referencia de presión y temperatura del aire las cuales fueron 0 psig y 20 °C respectivamente; y una eficiencia politropica de 75 %. Se usó como dato de referencia la potencia requerida por el motor que en el caso de estos equipos es de 75 hp. Los resultados de la simulación para este caso se reportan en la tabla 4.1. Resultados de simulación de diseño para el compresor Atlas Copco ZT-55.

Tabla 4.1. Resultados de simulación de diseño para el compresor Atlas Copco ZT-55

Compresor (resumen)	Unidades	ETAPA1	ETAPA2
Nombre		ETAPA1	ETAPA2
Descripción		ETAPA1	ETAPA2
Sistema Termodinámico		PR01	PR01
Corriente de alimentación		ENTRADA	S5
Corriente de salida		S2	S3
Fase de las corrientes de salida			
S3		N/A	Mezcla
S2		Mezcla	N/A
Temperatura de salida	C	176,118	176,723
Presión de salida	psig	30,57	124,999
Incremento de presión	psi	30,57	94,429
Eficiencia adiabática		70,90	70,879
Eficiencia politrópica		75	75
Cabezal actual	pie	52.946,06	52.936,673
Trabajo actual	hp	39,163	38,999
Duty en post-enfriador	BTU / hr	-106.254,649	-105.231,548
Temp. de salida del post-enfriador	C	19,999	19,999
Caída de presión del post-enfriador	psi	0	0

La potencia del compresor se determinó por la sumatoria de la potencia de las dos etapas de compresión involucradas en el proceso, la cual resulto ser de 78,16 hp, lo cual es muy cercana a la potencia de diseño de 75 hp. La diferencia radica en la composición de entrada del aire al compresor que para efectos de esta simulación se

utilizó las condiciones de San Roque, la cual contiene una humedad relativa alta de 80%, además del simulador utilizado por el fabricante que usualmente utilizan uno propio de la compañía.

4.2.2. Validación de compresor Sullair 7500

Al igual que con la validación del compresor anterior para éste se usaron las condiciones de referencia y datos de diseño dadas por el fabricante. Se comparó de igual forma la potencia requerida por el compresor que para efectos del mismo no fue necesario calcular la sumatoria de potencias, por ser un compresor de una sola etapa de compresión.

El resultado reportado por el simulador fue de 105 hp y se muestra en la tabla 4.2, lo cual es muy cercano a la potencia dada por el fabricante que es de 100 hp. De igual forma el resultado varía de acuerdo a las condiciones de entrada y el simulador usado por el fabricante.

Es de resaltar la alta temperatura a la salida del compresor la cual es de 393,5 °C, lo que en la realidad es muy distinto de éste ya que este tipo de compresores incluye en su diseño un sistema en el cual el tornillo rotatorio se encuentra totalmente sumergido en aceite, garantizando así que no se alcancen estas altas temperaturas, manteniéndola aproximadamente en 82 °C.

Tabla 4.2. Resultados de la simulación de diseño para el compresor Sullair 7500

Compresor (resumen)	Unidades	COMPRESOR
Nombre		COMPRESOR
Descripción		COMPRESOR
Sistema termodinámico		PR01
Corriente de alimentación		ENTRADA
Corriente de salida		S2
Fase de la corriente de salida		
S2		Mezcla
Temperatura de salida	C	393,503
Presión de salida	psig	100,000
Incremento de presión	psi	99,995
Eficiencia adiabática		61,266
Eficiencia politrópica		70
Cabezal actual	pie	129056,421
Trabajo actual	HP	105,325
Duty del post-enfriador	BTU / hr	-281010,576
Temp. salida del post-enfriador	C	19,999
Caída de presión en post-enfriador	psi	0

4.2.3. Validación del secador frigorífico Atlas Copco FD-300

A pesar de que se utilizaron correctamente los datos de diseño suministrado por el fabricante, los respectivos cambios en las composiciones ya que con la presión y temperatura de referencia estos varían, no fue posible determinar la potencia ya que no se encontraron datos de diseño para el ciclo refrigerativo de este secador, es decir

datos del compresor de refrigerante, de su respectivo condensador, datos del flujo y propiedades del refrigerante utilizado. A continuación en la tabla 4.3 se muestran los resultados obtenidos para este diseño. A su vez se pudo determinar la cantidad de humedad presente a la salida del sistema de generación de aire de instrumento, la cual resultó ser de 0,007 lb agua/lb aire seco.

Para el caso del secador su eficiencia se determinó el flujo de agua a la salida del mismo con respecto a la de entrada de este, obteniéndose una eficiencia del 37,41 %.

Tabla 4.3. Resultados de las simulación de diseño para el secador Atlas Copco FD-300

Corriente		ENTRADA	S3	PURGA	SALIDA
Temperatura	°C	38,00	10,00	10,00	10,00
Presion	psig	102,00	102,00	102,00	102,00
Flujo	lbmol/hr	816,768	816,768	0,735	816,034
Fase		Vapor	Mezcla	Agua	Vapor
Sist. termodinámico		PRO1	PRO1	PRO1	PRO1
Flujo de agua	lbmol/hr	1,9602	1,9602	0,7345	1,2257

4.2.4. Simulación de los sistemas de generación de aire de instrumento y de aire de servicios a condiciones de diseño

Una vez verificados los respectivos diseños de los equipos principales se procedió con la simulación de los sistemas a condiciones de diseño dadas por las normas y hojas de datos del fabricante con la finalidad de compararlas con los resultados de la simulación a condiciones de operación y así determinar las posibles desviaciones. En la figura 4.1 se muestran en detalles los resultados de las propiedades por diseño de las corrientes involucradas en el sistema de aire de instrumento, en la figura 4.2 se muestran los resultados de las propiedades de las corrientes involucradas en el sistema de aire de servicios.

Se verificó que todas las corrientes estaban en el estado correspondiente bien sea líquido, gaseoso o mezcla, así como las presiones y temperaturas manejadas. Las eficiencias de los mismos son reportadas en la tabla 4.4.

Corriente		ALIMENTACION	S5	PURGA2	S6	S8	PURGA3	S10	SALIDA
Temperatura	C	20,000	30,000	30,000	30,000	10,000	10,000	10,000	10,000
Presión	PSIG	0,004	68,000	68,000	68,000	68,000	68,000	68,000	68,000
Flujo	LB-MOL/HR	50,837	50,837	0,329	50,508	50,508	0,267	50,242	50,242
Fase		Vapor	Mixed	Water	Vapor	Mixed	Water	Vapor	Vapor
Sistema Termodinamico		PR01	PR01	PR01	PR01	PR01	PR01	PR01	PR01

Figura 4.1. Resultados de las propiedades de las corrientes involucradas en el sistema de generación de aire de instrumento a condiciones de diseño

Corriente		ENTRADA	S1	PURGA2	S4	SALIDA
Temperatura	C	20,000	38,000	38,000	38,000	38,000
Presión	PSIG	0,004	100,000	100,000	100,000	100,000
Flujo	LB-MOL/HR	56,090	56,090	0,310	55,780	55,780
Fase		Vapor	Mixed	Water	Vapor	Vapor
Sistema Termodinamico		PR01	PR01	PR01	PR01	PR01

Figura 4.2. Resultados de las propiedades de las corrientes involucradas en el sistema de aire de servicios a condiciones de diseño

4.2.5. Simulación de los sistemas de generación de aire de instrumento y de aire de servicios a condiciones de operación

De igual forma que en la simulación de diseño, se verificaron los estados de las corrientes bien sean liquido, gaseoso o mezcla de ellos. Los resultados de las propiedades de las corrientes involucradas en el sistema de generación de aire de instrumentos se muestra en la figura 4.3 y los resultados de las propiedades de las corrientes involucradas en el sistema de generación de aire de servicios se muestra en la figura 4.4 respectivamente; a partir de la temperaturas arrojadas en diseño se sustituyeron estas en condiciones operación y se calcularon un aproximado de las eficiencias de operación de los sistemas a condiciones de operación, reportados en la tabla 4.4.

Corriente		ALIMENTACION	S11	PURGA2	S4	S5	PURGA3	S7	SALIDA
Temperatura	C	28,000	40,000	40,000	40,000	29,000	29,000	29,000	29,000
Presión	PSIG	0,004	68,000	68,000	68,000	68,000	68,000	68,000	68,000
Flujo	LB-MOL/HR	49,550	49,550	0,258	49,292	49,292	0,292	49,000	49,000
Fase		Vapor	Mixed	Water	Vapor	Mixed	Water	Vapor	Vapor
Sistema Termodinamico		PR01	PR01	PR01	PR01	PR01	PR01	PR01	PR01

Figura 4.3. Resultados de las propiedades de las corrientes involucradas en el sistema de generación de aire de instrumento a condiciones de operación

Corriente		ENTRADA	S2	PURGA	S5	SALIDA
Temperatura	C	28,000	38,000	38,000	38,000	38,000
Presión	PSIG	0,004	75,000	75,000	75,000	75,000
Flujo	LB-MOL/HR	56,090	56,090	0,417	55,673	55,673
Fase		Vapor	Mixed	Water	Vapor	Vapor
Sistema termodinamico		PR01	PR01	PR01	PR01	PR01

Figura 4.4. Resultados de las propiedades de las corrientes involucradas en el sistema de generación de aire de servicios

Tabla 4.4. Resultados de eficiencia de los sistemas bajo condiciones de operación y diseño

°			
Sistema	Condiciones de operación	Condiciones de diseño	% Desviación
Aire de instrumentos	61,26	89,92	31,87
Aire de servicios	41,11	53,73	23,48

También se obtuvieron las eficiencias por equipo a condiciones de operación las cuales se reportan a continuación en la tabla 4.5.

Tabla 4.5. Resultados de eficiencia en equipos a condiciones de operación

Equipo	% Eficiencia politrópica	
Compresor Atlas Copco ZT-55	Etapa 1	Etapa 2
	75,80	78,74
Compresor Sullair 7500	70	
Secador FD-300	% Eficiencia con respecto al flujo de agua	
	41,28	

4.3. Desviaciones de las variables de operación actual de los equipos del sistema de generación de aire comprimido en comparación con las especificaciones de diseño

Gracias a los resultados obtenidos en la bibliografía consultada, en la observación y en la evaluación efectuada en el sistema actual de generación de aire comprimido de la refinería San Roque, se detectaron algunas fallas en los componentes de este sistema. Estas fallas se especifican a continuación para cada equipo estudiado.

4.3.1. Compresores

Los compresores del sistema de aire de instrumento cumplen con lo dispuesto en la norma MDP-02-K-03 las cuales indican que para este servicio es recomendado utilizar compresores que no requieran lubricación interna ya que este contamina el aire con partículas de aceite, sobrepasando el límite máximo permitido el cual es de clase 1 para el aceite, es decir de de 0,01 mg de aceite/m³ según norma ISO 8573.1 causando acumulación de aceite dentro de los componentes del sistema. En el caso del compresor del sistema de aire de servicios a pesar que este es de tipo tornillo lubricado no presenta inconvenientes ya que este aire requerido no depende de la cantidad de aceite contenido en él.

Los compresores también cumplen con la recomendación de ser diseñados con etapas múltiples para así limitar la elevación de temperatura, a excepción del compresor Sullair 7500 el cual no es exento de aceite y su tornillo se encuentra sumergido en el, controlando de este modo las altas temperaturas.

Como el sistema no cuenta con una placa orificio a la salida del secador, ni en la tubería de aire de servicio, no se puede conocer la cantidad de aire de instrumento, ni de servicio real que se genera en los compresores respectivos, sólo se puede conocer un estimado a partir de la simulación la cual resulto ser de 50,242 y 55,784 lbmol/hr respectivamente.

Los compresores evaluados poseen un historial de fallas a nivel de piezas como correas principalmente, lo que es debido a posible falta de mantenimiento según lo especificado por el fabricante.

Por medio del simulador se obtuvieron eficiencias en las etapas de los compresores similares a las de diseño y en algunos casos incluso mayor, esto se debe a que para la llevar a cabo la simulación de los equipos de los sistemas a condiciones de operación se usó la temperatura de salida en cada etapa a condiciones de diseño ya que no es posible medirla en campo, por otra parte las composiciones de entrada del aire y su temperatura cambian.

4.3.2. Secadores

El secador instalado presenta deficiencias a nivel de funcionamiento, ésto se pudo verificar al comparar la temperatura de salida de punto de rocío marcada en el panel de control del secador la cual fue de 29 ° C mientras que por diseño esta debería mantenerse alrededor de los 10 ° C, lo que evidencia fallas en el sistema refrigerativo interno del secador, posiblemente aletas del serpentín de los intercambiadores internos sulfatadas o falta de gas refrigerante. Esta alta temperatura impide que condense la mayor cantidad de agua posible y ésta no pueda ser retirada del sistema.

Otra observación es que pueda que el aire comprimido a la entrada del secador contenga agua debido a la condensación previa, al ir disminuyendo la temperatura por el paso por tuberías y el tanque acumulador, además de taponamiento por moho y suciedades en el sistema de drenaje ocasionando puntos de rocío muy altos.

Según la norma MEC-300-05-01, sistema de aire comprimido para plantas de proceso se deben tener instaladas dos secadores de aire, uno en servicio y otro en reserva (*stand-by*), alineadas a los compresores. Actualmente se encuentra sólo un equipo en correcto funcionamiento ya que el equipo de reserva está fuera de servicio. Esta norma además menciona que el equipo debe poseer respectivo panel de control e instrumentación el cual está parcialmente deteriorado, sin embargo funciona.

Se pudo constatar a su vez en la última parada de planta realizada durante la etapa de pasantías la presencia de agua en las válvulas, lo que evidencia que la secadora no retira la suficiente cantidad de humedad para cumplir con la norma de calidad del aire de instrumento.

4.3.3. Sistema de filtrado

En el sistema objeto a estudio, no se cuenta con un sistema de filtrado que permita retirar las impurezas presentes en el aire, lo que está en contra de lo mencionado en la norma MEC 300-05-01, Sistema de aire comprimido para plantas de proceso. (Ver anexo C)

Hay que resaltar, que esta configuración, se aplica cuando se utilizan secadores refrigerativos. Para los secadores de adsorción se utiliza un filtro de partículas y un filtro para aceite, en la línea de entrada al secador, debido a que el

aceite daña al elemento desecante y un filtro de partículas de uso general a la salida del secador para evitar, el arrastre del elemento desecante por el aire comprimido.

4.3.4. Acumuladores

Se determinó que éstos cumplen con todas los requerimientos según la norma MEC-300-05-01, sistema de aire comprimido para plantas de proceso. Es decir dos tanques verticales de amortiguamiento, compatibles con la capacidad del sistema con sus respectivos manómetros instalados, así como válvulas de seguridad y alivio, boca de visita lateral, conexiones a la entrada y salida con válvulas tipo bola, capa protectora anticorrosiva. Su única observación es que la norma exige que éstos contengan trampas automáticas de drenaje del condensado, mientras que las instaladas en los tanques son de tipo manual.

4.4. Modificaciones propuestas al sistema actual

A continuación se enuncian las modificaciones que se proponen para cada uno de los componentes del sistema, que de ser ejecutada permitirán contar con un sistema de aire comprimido con las especificaciones requeridas por los dispositivos que utilizan al mismo como fuente de energía.

4.4.1. Sistema de filtrado

Según lo mencionado anteriormente en la sección 4.1.3. Se propone instalar al menos dos filtros en el sistema para proteger el secador, así como también a los dispositivos instalados. Se propone que uno de los filtros se ubique después de los secadores tal como lo explica la norma MEC 300-05-01, Sistema de aire comprimido para plantas de proceso.

Aunque el compresor instalado es libre de lubricación interna, éste expulsa al ambiente un vapor con alto contenido de aceite como se muestra en la figura 4.1. La cual corrobora que el suelo alrededor del compresor está contaminado con aceite y posiblemente en el interior del sistema ocurra lo mismo ya que se contamina el aire de entrada. Para ello se propone colocar otro filtro coalescente que remueva partículas submicrónicas y aceite en aerosol a la entrada de los secadores con la finalidad de proteger el sistema de posibles acumulaciones. Además al evaluar los resultados del estudio cromatográfico del aire de servicios se constató la presencia de hidrocarburos en un 2,16 % molar posiblemente a causas del aire de entrada contaminado o de posibles fugas internas en el equipo.



Figura 4.1 Muestras de aceite alrededor del compresor

4.2.2. Secadores

En vista de que actualmente se encuentra en funcionamiento solo un secador de tipo refrigerativo se propone reparar lo antes posible el secador ligado al compresor CS-5 que actualmente se encuentra fuera de servicio. Como una alternativa a esta grave problemática se propone la reactivación del viejo sistema

automático de secado por adsorción, el cual fue discontinuado por anticuado y sustituido por el secador refrigerativo.

En la figura 4.2. Se muestra el viejo sistema de secado.



Figura 4.2 Antigo sistema de secado

Las nuevas tendencias existentes, respecto a sistemas de aire comprimido, apuntan al uso cada día menor de los secadores refrigerativos, debido a las exigencias mayores en los requerimientos de los dispositivos neumáticos modernos. Es de

resaltar que este tipo de refrigeradores regenerativos permiten bajos puntos de rocío muy inferiores 0 °C corrigiendo el presente problema de alta temperatura a la salida del secador instalado en el sistema.

Se propone además colocar a la salida del secador en servicios industriales un medidor de humedad, para de esta forma monitorear la variable y verificar que este saliendo con la calidad requerida por la norma ISO 8573.1. En el caso de llevar a cabo la propuesta de reactivación del viejo sistema, se contemplaría la instalación de dos analizadores de humedad en línea, uno ubicado a la descarga del sistema para el control adecuado de las secuencias de regeneración de los lechos de los filtros de secado hasta los valores de agua presente en el aire de instrumentos permitidos por la norma ISO 8573.1 y otro analizador instalado en los lechos de secado de aire con el fin de medir el contenido de agua presente en los lechos de secado y cerrar los ciclos de regenerado de manera efectiva, para de esta manera mejorar la calidad del aire de instrumentos a las distintas plantas de la refinería San Roque.

4.2.2. Sistema de monitoreo

Se propone instalar un sistema de monitoreo que incluya las mediciones más importantes requeridas en el sistema y que las señales puedan ser visualizadas en los despliegues de la sala de control, que permita conocer el estado actual de todas las condiciones de operación de los equipos del sistemas de aire comprimido, tales como humedad, flujo, temperatura y presión, así como realizar evaluaciones periódicas al mismo para detectar las posibles fallas que puedan aparecer, ya que actualmente tal y como se observe en la figura 4.3. Hoja de monitoreo del aire de instrumentos por medio del programa Aspen Process Explorer, nada de esto es visible en consola. Solo es visible una válvula de control la cual está fuera de servicio.

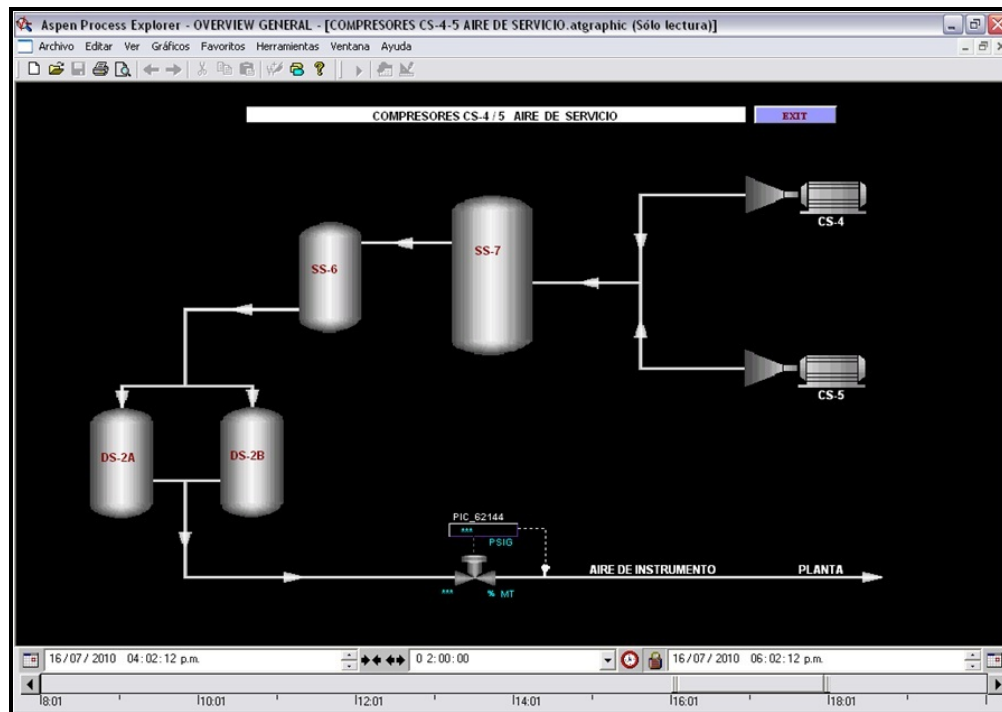


Figura 4.3. Hoja de monitoreo del aire de instrumentos por medio del programa Aspen Process Explorer

CONCLUSIONES

Al realizar el análisis de los resultados obtenidos en la presente investigación, respecto al sistema de aire comprimido de la refinería San Roque, se concluye que:

1. Los diagramas de tuberías e instrumentación reflejan el viejo sistema de generación de aire comprimido y no el nuevo sistema, por lo cual se procedió a elaborar uno nuevo que por motivos de confidencialidad no se muestra.
2. Mediante la simulación se validaron las variables de operación de los equipos así como las eficiencias de los sistemas a condiciones de operación y de diseño obteniéndose una desviación de 31,87 % para el sistema de aire de instrumento y de 23,48 % para el sistema de aire de servicios, menores a las establecidas en diseño.
3. El sistema no cuenta con una placa orificio a la salida del secador, ni en la tubería de aire de servicio por lo tanto no se puede conocer la cantidad de aire de instrumento, ni de servicio real que se consume en la refinería San Roque.
4. Los compresores cumplen con lo dispuestos en las normas consideradas en este estudio para cada servicio que prestan.
5. La temperatura de descarga del secador es de 29 ° C mientras que por diseño esta debería mantenerse alrededor de los 10 ° C, además no cuenta con un drenaje eficiente.
6. Actualmente se encuentra sólo un equipo de secado en correcto funcionamiento ya que el equipo de reserva está fuera de servicio, lo que no cumple con la norma MEC-300-05-01, sistema de aire comprimido para plantas de proceso, establecida por la empresa.

- 7.** La presencia de agua en las tuberías de suministro de aire al actuador de la válvula evidencia que el secador no retira la suficiente cantidad de humedad para cumplir con la norma de calidad del aire de instrumento
- 8.** Existe contaminación por hidrocarburos en el sistema de aire de instrumento, además este sistema no cuenta con un sistema de monitoreo adecuado.

RECOMENDACIONES

- 1.** Preparar nuevos diagramas para el sistema basados en las actualizaciones hechas en este trabajo a los diagramas actuales.
- 2.** Cumplir con el mantenimiento preventivo de los compresores recomendado por el fabricante, para de este modo mejorar las desviaciones de eficiencia de operación con respecto a las condiciones de diseño.
- 3.** Reparar cuanto antes el secador del compresor CS-5 que actualmente se encuentra fuera de servicio. Una vez solventado esto realizarle mantenimiento al secador del compresor CS-4 haciendo énfasis en su sistema refrigerativo.
- 4.** Drenar diariamente las líneas de aire de instrumento y servicio hacia las diferentes plantas que componen la refinería San Roque.
- 5.** Instalar un sistema de que incluya las mediciones más importantes requeridas en el sistema y que las señales puedan ser visualizadas en los despliegues de la sala de control, que permita conocer el estado actual de todas las condiciones de operación de los equipos del sistemas de aire comprimido, tales como humedad, flujo, temperatura y presión, así como realizar evaluaciones periódicas al mismo para detectar las posibles fallas que puedan aparecer.
- 6.** Reactivar el viejo sistema de secado regenerativo, el cual garantiza puntos de rocío más bajos que el secador frigorífico, evitando así la condensación indeseada en el sistema.
- 7.** Instalar filtros coalescentes aguas arriba para proteger los componentes del sistema.
- 8.** Revisar posibles fugas internas de aceite en los compresores.

- 9.** Colocar a la salida del secador en servicios industriales un analizador de humedad en línea, para de esta forma monitorear la variable para así verificar la calidad del aire de instrumento generado.
- 10.** Es imprescindible monitorear las variables del proceso principalmente la humedad del sistema para conocer los valores reales de humedad presentes y tomar las medidas respectivas que garanticen un aire seco
- 11.** Se sugiere a la empresa ejecutar las modificaciones propuestas en el sistema de generación de aire comprimido de la refinería San Roque con la finalidad de aminorar los costos que generan las reparaciones constantes de los equipos afectados aguas abajo del proceso.

BIBLIOGRAFIA

1. “Manual de información de seguridad de los procesos”, Unidad de servicios industriales, Puerto La cruz, (2001).
2. Salazar, H., “Evaluación del comportamiento operativo de los equipos de las plantas de crudo y vacío de la refinería San Roque”. Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela (2003).
3. Jiménez, L., “Evaluación del Comportamiento Operativo de los Equipos de la Planta de Parafinas de la Refinería San Roque”. Tesis de Grado, Departamento Ingeniería Química, Universidad de Oriente, Barcelona, Venezuela (2006).
4. Arveláez, S., “Evaluación del sistema de aire comprimido del terminal marino de la refinería Puerto la Cruz – PDVSA”. Tesis de Grado, Departamento Ingeniería Química, Universidad de Oriente, Barcelona, Venezuela (2008).
5. PDVSA. “Manual de operaciones. Unidad de crudo y vacío”, Refinería San Roque, San Roque, (1998).
6. PDVSA. “Manual de operaciones. Unidades de parafinas”, Refinería San Roque, San Roque, (1998).
7. PDVSA. “Manual de operaciones. Unidad de servicios industriales”, Refinería San Roque, San Roque, (1998).
8. Atlas Copco. “Manual sobre aire comprimido y sus aplicaciones en la industria”. (s/f).
9. Norma ISO 8573.1, “Contaminantes y clases de pureza para el aire comprimido”. Suiza (2001).
10. Proyectos fin de carrera. “Clasificación y tipos de compresores industriales”. 19 de octubre de 2009. (2007). Disponible en:

<http://www.proyectosfindecarrera.com/tipos-compresores.htm>

11. Atlas Copco “Compresores de aire de tornillos rotativo exentos de aceite”. 20 de octubre de 2009. (2008). Disponible en:

<http://www.grupocompres.com/uploaded/content/category/675910269.pdf>

12. Sapiensman. “Neumática e hidráulica”. 26 de octubre de 2009. (2005). Disponible en: <http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica5.htm>

13. Atlas Copco “Secadores de aire: Serie FD. Secadores frigoríficos”. 20 de octubre de 2009. (2008). Disponible en:

<http://www.grupocompres.com/uploaded/content/category/552580616.pdf>

14. Department of energy’s, Office of Energy Efficiency and Renewable Energy (EERE). “Improving Compressed Air System Performance”, EUA (2003).

15. High-Tech Filtración Industrial. “Tratamiento y purificación de aire comprimido”. (s/f). Disponible en:

<http://www.htfi.com.co/01.html>

16. Greene, R. “Válvulas selección, usos y mantenimiento”. Editorial McGraw Hill, México (1992).

17. La Rosa, G. “Determinación de la Eficiencia Global de la Refinería San Roque”, Tesis de Grado, Departamento. Ingeniería Química, Universidad de Oriente, Puerto La Cruz, (1998).

18. PERRY. “Manuel del Ingeniero Químico”. Editorial Mc GRAW- HILL. Barcelona (1996).

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

TÍTULO	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
SUBTÍTULO	

AUTOR (ES):

APELLIDOS Y NOMBRES	CÓDIGO CULAC / E MAIL
Edgar Leonardo Moya Cuartas	CVLAC:16.853.367 EMAIL:edgar_moya_84@hotmail.com
	CVLAC: E MAIL:
	CVLAC: E MAIL:
	CVLAC: E MAIL:

PALÁBRAS O FRASES CLAVES:Evaluación
_____Límites
_____Aire Comprimido
_____San Roque

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

ÁREA	SUBÁREA
Ingeniería y Ciencias Aplicadas	Ingeniería Química

RESUMEN (ABSTRACT):

Debido a las prácticas de seguridad implementadas por la gerencia de seguridad de los procesos (GSP), se han venido realizando evaluaciones dentro de las distintas plantas de la refinería San Roque con la finalidad de determinar los límites de operación de los equipos. Esto ha sido necesario ya que los equipos se han deteriorado físicamente con el paso del tiempo y en ocasiones operan por encima de su capacidad de diseño. En la refinería San Roque existen instrumentos que requieren una alta calidad de aire comprimido para el funcionamiento de éstos entre ellos principalmente válvulas de control neumáticas, las cuales por ser sensibles requieren un aire totalmente seco y libre de aceite. Por tal motivo se realizó una evaluación a través de la observación directa, comparación del funcionamiento del sistema con la información bibliográfica, simulación del sistema y entrevistas no estructuradas. Se detectaron fallas tales como contaminación de aceite en el aire de instrumento, deficiencias en el drenaje que poseen los equipos, alta humedad del aire de instrumentos con presencia de condensado aguas abajo del mismo. Por lo que se propone a la empresa instalar un sistema de filtrado eficiente, mantenimiento y revisión de los equipos principales, así como la reactivación del secador auxiliar, para de esta manera garantizar un aire de calidad libre de humedad y aceite, y una operación dentro de los límites de seguridad y diseño implantadas por la empresa.

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

APELLIDOS Y NOMBRES	ROL / CÓDIGO CVLAC / E_MAIL				
Joel Silva	ROL	CA	AS	<u>TU</u>	JU
	CVLAC:	10.983.038			
	E_MAIL	isoprocesos@gmail.com			
	E_MAIL	silvajm@pdvsa.com			
Hernan Raven	ROL	CA	<u>AS</u>	TU	JU
	CVLAC:	4.136.007			
	E_MAIL	hraven@yahoo.com			
	E_MAIL				
Yraima Salas	ROL	CA	AS	TU	<u>JU</u>
	CVLAC:	8.478.649			
	E_MAIL	yrsal57@yahoo.es			
	E_MAIL				
Alexis Cova	ROL	CA	AS	TU	<u>JU</u>
	CVLAC:	11.905.328			
	E_MAIL	alexiscovab@gmail.com			
	E_MAIL				

FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN:

2010	07	23
AÑO	MES	DÍA

LENGUAJE. SPA

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**ARCHIVO (S):**

NOMBRE DE ARCHIVO	TIPO MIME
TESIS. Determinación de los límites de operación segura de la Refinería San Roque. Doc	Application/msword

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

ALCANCE

ESPACIAL: _____ (OPCIONAL)

TEMPORAL: _____ (OPCIONAL)

TÍTULO O GRADO ASOCIADO CON EL TRABAJO:

Ingeniero Químico

NIVEL ASOCIADO CON EL TRABAJO:

Pregrado

ÁREA DE ESTUDIO:

Departamento de Ingeniería Química

INSTITUCIÓN:

Universidad de Oriente, Núcleo de Anzoátegui

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

De acuerdo al Artículo 44 del reglamento de trabajo de grado: “Los trabajos de grado son de la exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente y sólo podrán ser utilizados para otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quién lo participará al Consejo Universitario”.

AUTOR**Edgar Leonardo Moya Cuartas**

Ing. Hernán Raven (M. Sc.)**ASESOR**

Ing. Joel Silva**ASESOR**

Ing. Alexis Cova**JURADO**

Ing. Yraima Salas**JURADO****POR LA SUBCOMISION DE TESIS****Ing. Yraima Salas**