

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



**DISEÑO PARA LA INSTALACIÓN DE UN SISTEMA DE
CENTRALIZADO DE LUBRICACIÓN POR NEBLINA PURA DE
ACEITE PARA EQUIPOS ROTATIVOS.**

Realizado Por:

Br. Patricia Carolina González Parabacuto.

**Trabajo de Grado Presentado ante la Universidad de Oriente como Requisito
parcial para optar al título de
INGENIERO MECÁNICO**

Barcelona, Agosto de 2009.

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



**DISEÑO PARA LA INSTALACIÓN DE UN SISTEMA DE
CENTRALIZADO DE LUBRICACIÓN POR NEBLINA PURA DE
ACEITE PARA EQUIPOS ROTATIVOS.**

ASESORES

Prof. Jesús Moreno

Asesor Académico

Ing. Juan Villarroel

Asesor Industrial

Barcelona, Agosto de 2009

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



**DISEÑO PARA LA INSTALACIÓN DE UN SISTEMA DE
CENTRALIZADO DE LUBRICACIÓN POR NEBLINA PURA DE
ACEITE PARA EQUIPOS ROTATIVOS.**

JURADO

El Jurado hace constar que asignó a esta Tesis la calificación de:

EXCELENTE

Prof. Jesús Moreno
Asesor Académico

Prof. Simón Bittar
Jurado Principal

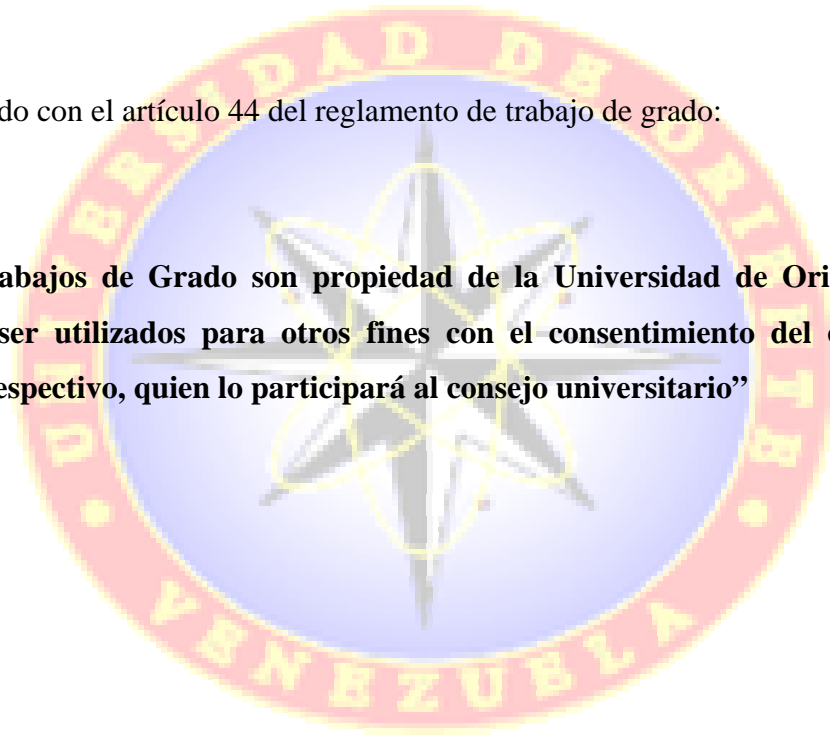
Prof. Orlando Ayala
Jurado Principal

Barcelona, Agosto de 2009.

RESOLUCIÓN

De acuerdo con el artículo 44 del reglamento de trabajo de grado:

“Los Trabajos de Grado son propiedad de la Universidad de Oriente y sólo podrán ser utilizados para otros fines con el consentimiento del consejo del núcleo respectivo, quien lo participará al consejo universitario”



DEDICATORIA

Dedicada ante todo al ser que siempre está a mi lado y nunca me abandona que ha sido mi fortaleza a mi **Dios** amado.

A mis Padres que tanto amo: Cándido González y Petra Parabacuto.

Al gato que es el amor de mi vida Luis Zamora

A mis hermanas Candy y Katiuska y mi pequeña sobrina Kendy.

A mi querida abuela Juana Macayo.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por haberme dado la inteligencia paciencia y sabiduría por permitirme llegar aquí. Creo que nunca te podre agradecer.

A mis padres Cándido González y Petra Parabacuto por su apoyo incondicional.

A mi Gato bello Luis Zamora por siempre estar a mi lado aun en los peores momentos, gracias por nunca abandonarme por tu amistad y compañerismo.

A mi tutor Industrial Juan Villarroel por darme la oportunidad de ser su pasante y permitirme desarrollar este proyecto, por toda su ayuda y amistad.

A mi tutor Académico Jesús Moreno por haber aceptado ayudarme en el desarrollo de mi trabajo de grado.

A mi alma mater, la Universidad de Oriente y todos los excelentes profesores que existen en el Departamento de Ingeniería Mecánica por haberme inculcado todos la herramientas teóricas y básicas.

A mis compañeros de pasantía Alejandra y Juan Carlos, por los momentos de intercambio intelectual, compañerismo y las ayudas mutuas compartidas en el desenvolvimiento de nuestras pasantías y estudios en el departamento.

Al personal de Equipos rotativos y Gerencia técnica, por brindar el apoyo necesario para desarrollar este proyecto.

Al los operadores de La unidad de FCC y talleres Mecánico y Eléctrico.

A todos aquellos que no mencioné, pero de alguna u otra forma contribuyeron o estuvieron involucrados en el desarrollo de mí pasantía y trabajo de grado.

Gracias a todos.

RESUMEN

En este trabajo se presenta el diseño para la instalación de un Sistema de Lubricación por Neblina Pura de Aceite para los Equipos Rotativos de la unidad de FCC y Bencina de la Refinería de Puerto la Cruz. Para el desarrollo de este proyecto se identificaron y recopilaron las características, datos operacionales y diseño, se observaron sus estructuras en campo y con el uso de las normas API 686RP, API610 y API 751RP, sugerencia de la empresa PDVSA y del Grupo Sichelub Lubritech, se seleccionaron los equipos rotativos a los que se les adaptará el nuevo sistema de lubricación. Según la cantidad de equipos y requerimientos de estos se pudo calcular la cantidad de flujo de neblina necesario por equipo y el total lo que permitió la selección de los Reclassificadores y Consola de generación de neblina respectivamente. Según las condiciones de la planta, la ubicación y distribución de los equipos se ubicó la consola de generación y se elaboraron los isométricos de la red de tuberías de distribución principal lo que permitió los cálculos de pérdidas mayores y menores, así como la caída de presión en cada uno de los puntos de inyección más alejados de la consola, por medio de las ecuaciones para este tipo de cálculo y se comprobó por medio de la simulación en Pipephase, que la neblina de aceite se comporta como aire en estos tipos de sistemas. Posteriormente se seleccionaron los elementos necesarios para este sistema y se presentaron las modificaciones que requerirán los equipos rotativos para la adaptación de la lubricación por neblina de aceite.

CONTENIDO

RESOLUCIÓN.....	i
DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
RESUMEN.....	iv
CONTENIDO	v
LISTA DE TABLA	ix
LISTA DE FIGURAS	x
CAPITULO I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA EMPRESA.	1
1.2. REFINERIA DE PUERTO LA CRUZ	1
1.2.1. Ubicación.....	1
1.2.2. Rol de la Refinería.....	2
1.2.3. Descripción general y Unidades de proceso.....	2
1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	4
1.4. OBJETIVOS.....	6
1.4.1. General.....	6
1.4.2. Específicos.....	6
CAPITULO II: MARCO TEORICO.....	7
2.1. ANTECEDENTES	7
2.2. PROCESO DE CRAQUEO CATALÍTICO FLUIDIZADO	8
2.2. COJINETES	9
2.2.1 Cojinetes antifricción o Rodamientos	9
2.2.2 Cojinetes de deslizamiento	10
2.3. LUBRICACIÓN.....	10
2.3.1. Lubricación hidrodinámica.....	11

2.3.2. Lubricación elastohidrodinámica	11
2.3.3. Lubricación por Grasa	12
2.3.4. Lubricación con Aceite	12
2.3.5. Sistemas y Métodos de Lubricación	13
2.3.6. Daños en rodamiento debido a lubricación deficiente.	15
2.4. SISTEMA DE LUBRICACIÓN POR MEDIO DE ANILLOS	15
2.4.1. Funcionamiento	16
2.4.2. Lubricador de Nivel de aceite	16
2.4.3. Causas de una mala lubricación	18
2.5. SISTEMA DE LUBRICACIÓN POR NEBLINA DE ACEITE (Oíl Mist)	20
2.5.1. Componentes y Funcionamiento de un sistema de lubricación por neblina de aceite	20
2.5.2. Niebla de Purga y Pura en Equipos.....	31
2.5.3. Normatividad de Oíl Mist.....	34
2.5.4. Ventajas de un sistema de lubricación por niebla de aceite.....	35
2.6. FLUJO DE FLUIDO MONOFASICO EN TUBERIAS. Cálculo de un sistema de Tuberías.....	37
2.6.1. Ecuación de Bernoulli.....	37
2.6.2. Ecuaciones de Pérdidas en las tuberías.....	37
2.6.3. Ecuación de Colebrook y Pouiseiulle para el cálculo del factor de fricción.....	38
2.6.4. Número de Reynolds (Re).....	39
2.7. BOMBAS CENTRIFUGAS	39
2.7.1. Bombas en cantiliver u Overhung	40
2.7.2. Bombas entre Rodamientos.....	40
2.7.3. Bombas Centrifugas Verticales suspendidas:.....	41
2.8. MOTORES ELÉCTRICOS	41
2.9. PIPEPHASE ® (Simulador comercial).....	42

2.9.1. Descripción	42
2.9.2. Aplicaciones	43
CAPITULO III. MARCO METODOLOGICO.....	44
3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN	44
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	44
3.2.1. Población.....	44
3.2.2. Muestra	44
3.3. TÉCNICAS UTILIZADAS	45
3.3.1. Técnicas de Investigación	45
3.3.2. Técnicas de procesamiento de datos.....	46
3.4. PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO	46
3.5. ETAPAS DE LA INVESTIGACION.....	48
3.5.1. Revisión bibliográfica.	48
3.5.2. Identificación y recopilación de datos técnicos y operacionales de los equipos rotativos que conforman la planta de fraccionamiento catalítico (FCC).....	48
3.5.3. Selección de equipos a los que se les adaptará el sistema.	49
3.5.4. Desarrollo de la ingeniería básica.....	50
3.5.5. Modificaciones a los equipos rotativos para la instalación de la lubricación por neblina de aceite.	51
CAPITULO VI. DESARROLLO DEL PROYECTO	55
4.1. Identificación y recopilación de datos técnicos y operacionales de los equipos rotativos que conforman la planta de fraccionamiento catalítico (FCC).....	55
4.2. Selección de equipos a los que se les adaptará el sistema	63
4.3. Desarrollo de la ingeniería básica.....	68
4.3.1. Cálculo del flujo de neblina de aceite por equipo y total del sistema.	69
4.3.2. Ubicación física de la consola.....	77
4.3.3. Diseño de la red de tubería de distribución principal de neblina.....	79

4.3.4. Cálculo de pérdidas mayores y menores en el tramo de tubería principal de distribución de neblina más desfavorable.	85
4.3.5. Selección de los equipos y accesorios de distribución y generación de neblina.	100
4.4. Modificaciones a los equipos rotativos para la instalación del sistema de lubricación por neblina pura de aceite.	102
4.4.1. Lubricante Primario.	102
4.4.2. Modificaciones en Bombas:	103
4.2.3. Modificaciones en Motores	110
4.2.4. Modificaciones en Turbinas	115
CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	116
5.1. Conclusiones	116
5.2. Recomendaciones	117
BIBLIOGRAFÍA	119
APÉNDICES	¡Error! Marcador no definido.

LISTA DE TABLA

Tabla N° 2.1 Sistemas de Lubricación ^[5]	14
Tabla N° 2.2 Características para los sistemas de distribución de neblina.	25
Tabla N° 4.1 Lista de Equipos Rotativos de la Unidad de FCC	56
Tabla N° 4.2 Lista de Equipos Rotativos de la Unidad de Bencina	58
Tabla N° 4.3 Lista de Equipos Rotativos de la Unidad de Fraccionamiento Catalítico, seleccionados para adaptarles el sistema centralizado de lubricación por niebla pura.....	66
Tabla 4.4 Lista de Equipos Rotativos de la Unidad de Bencina seleccionados para adaptarles el sistema centralizado de lubricación por niebla pura.	67
Tabla N° 4.5 Reclassificador seleccionado	74
Tabla N° 4.6 Caudal de neblina total.....	75
Tabla N° 4.7 Flujo de consumo y adicional en todo el sistema y por línea.	88
Tabla N° 4.8 Datos de la línea de la consola, pérdidas para cada tramo.....	90
Tabla N° 4.9 Datos de la línea de la consola, pérdidas para cada tramo y total de la línea.....	92
Tabla N° 4.10 Accesorios presentes en la línea desde la salida de la consola de generación hasta G-0302, Pérdidas por accesorios para esta línea.	94
Tabla N° 4.11 Pérdidas total y caída de presión para cada una de las líneas del sistema.....	95
Tabla N° 4.12. Resumen de los resultados de las simulaciones	98
Tabla N° 4.13 Elementos necesarios para la instalación del sistema de lubricación por neblina pura de aceite para los equipos rotativos de la unidad de FCC y Bencina	101

LISTA DE FIGURAS

Figura N° 1.1 Ubicación Geográfica de la Refinería Puerto la Cruz. ^[4]	2
Figura N° 2.1 Etapas de la planta de Craqueo Catalítico Fluidizado (FCC) ^[4]	8
Figura N° 2.2 Partes de un rodamiento de bola. ^[5]	9
Figura N° 2.3 Diferentes tipos de rodamientos. a) Radial De bola, b) De Rodillo, c) De aguja, d) Rodamiento axial. ^[5]	10
Figura N° 2.4 Tipos de cojinetes. a) Radial bipartido, b) De empuje ^[5]	10
Figura N° 2.5 Anillo de lubricación de bronce ^[9]	16
Figura N° 2.6 Sección de una bomba centrífuga con los componentes del sistema de lubricación por anillos. ^[9]	17
Figura N° 2.7 Sistema de sello líquido. ^[5]	18
Figura N° 2.8 Ubicación correcta del lubricador de nivel de aceite constante. ^[5]	19
Figura N° 2.9 Ubicación correcta e incorrecta del lubricador de nivel de aceite constante. ^[5]	19
Figura N° 2.10 Sistema de distribución típico por neblina de aceite. ^[6]	21
Figura N° 2.11 Consola Generadora Modelo “IVT”. ^[6]	22
Figura N° 2.12 Esquema de la cámara vortex de aceite (tubo de Venturi) y Cabezal generador de Niebla. ^[6]	23
Figura N° 2.13 Sistemas de distribución de neblina. ^[6]	26
Figura N° 2.14 Tubería secundaria y distribuidor. ^[6]	27
Figura N° 2.15 Aplicación de la neblina a los equipos. ^[6]	28
Figura N° 2.16 Recompresión de la neblina /función del reclasificador. ^[6]	29
Figura N° 2.17 Tipos de reclasificador: Roció (espray), Neblina (Mist), condensación, direccionales (de izquierda a derecha) ^[6]	29
Figura N° 2.18 Vaso de condensado y Colector ecológico (de izquierda a derecha) ^[6]	30
Figura N° 2.19 Sistema de lubricación por neblina de aceite cerrado. ^[6]	31
Figura N° 2.20 Arreglo para Niebla purga. ^[6]	32
Figura N° 2.21 Arreglo para Niebla pura.	33
Figura N° 2.22 Bomba API 610 8 ^{va} , 9 ^{na} Edición, Corte transversal de la bomba ^[6] ..	35
Figura N° 2.23 Tipos de Bombas En Cantiliver: A) Montada en pie (OH1), B) Montada en línea (OH2) y C) vertical en línea (OH3) ^[5]	40
Figura N° 2.24 Bomba entre rodamientos. A) Tipo BB1 B) Tipo BB2 ^[5]	41
Figura N° 2.25 Bombas verticales. a) Tipo VS1 b) Tipo VS2. ^[5]	41
Figura N° 2.26 Vista interior de un Motor eléctrico ^[5]	42
Figura N° 3.1 Diagrama de flujo del desarrollo del trabajo.	47

Figura N° 3.2 Bomba API hasta 6ta Edición. ^[6]	52
Figura N° 3.4 Bomba tipo BB. ^[6]	53
Figura N° 3.5 bomba API 8 ^{va} Edición ^[6]	53
Figura N° 3.6 Retrofitting antes de API 610 8 ^{va} Edición ^[6]	54
Figura N° 4.1 Porcentaje de falla por tipo de equipo rotativo de la Unidad FCC.....	59
Figura N° 4.2 Tipo de Fallas en las bombas centrífugas de la Unidad FCC.....	60
Figura N° 4.3 Causa de Fallas de los rodamientos de las bombas.	61
En los reportes que no especificaron las causas de las fallas, en donde sólo se justificó el cambio de rodamiento por ruido y valores de vibración alto, se consultó con el personal de taller, operadores e inspectores de los equipos rotativos de la unidad de FCC y ellos concluyeron que en muchas ocasiones el mal montaje de los rodamientos unido al bajo nivel de aceite en el reservorio son las causas más frecuentes de estas fallas.	61
Figura N° 4.4 Causa de Fallas de los rodamientos.....	62
Figura N° 4.5 Causa de fallas en motores y turbinas respectivamente.	62
Figura N° 4.6 Estructura del Sistema de Designaciones. ^[5]	71
Figura N° 4.7. Plano de J-3/J-3A	72
Figura N° 4.8 Selección de la consola de generación	76
Figura N° 4.9 Vista de planta de la consola de generación. ^[10]	77
Figura N° 4.10 Vista de frontal de la consola de generación. ^[10]	78
Figura N° 4.11 Foto de ubicación de la consola de generación en planta.....	78
Figura N° 4.12 Plano de la planta con ubicación de la consola de generación en planta.....	79
Figura N° 4.13 Pasillo de bombas unidad de FCC.....	80
Figura N° 4.14 Vista superior de la parte este de la unidad de FCC.....	80
Figura N° 4.15 Pasillo Hacia las bomba J-5, J-53-J-7.	81
Figura N° 4.16 Pasillo trasero de las bombas J- 99 Hasta J- 14B	81
Figura N° 4.17 Plano de la planta de FCC con ubicación de la consola de generación en planta Y ruda decidida para el paso de la red de tubería principal.....	82
Figura N° 4.18 Selección de espacio de trabajo en Autocad.	83
Figura N° 4.19 Red de tuberías principal para la Unidad de FCC y Bencina. Vista de planta.	84
Figura N° 4.20 Red de tuberías principal para la Unidad de FCC y Bencina, Vista Noreste.	84
Figura N° 4.21 Puntos más alejados de la consola de generación de la red de tuberías principal.	85
Figura N° 4.22 Detalles en la consola.	89
Figura N° 4.23 Línea hacia G-0302	91
Figura N° 4.24 Accesorios	93
Figura N° 4.25 Arreglo para la simulación de Aire y Aire-Aceite	98
Figura N° 4.26 Diferencia básicas entre una bomba 8 ^{va} (G-2001 A) Edición API 610 y una de 5 ^{ta} (J-7) Edición.....	105

Figura N° 4.27	Bombas J-3, J-6A, J-7 y J-18 de la unidad de FCC	106
Figura N° 4.28	Plano esquemático de Bomba J-18, mostrando las modificaciones básicas y detalladas a realizar para adecuar la bomba a un sistema de lubricación por neblina. Estas modificaciones son iguales para bombas J-6/J-6A, J-3/J-3A, J-7/J-7A.....	107
Figura N° 4.29	Sello de aceite tipo Inproseal recomendado su instalación en las bombas de Catalítica y Bencina.....	108
Figura N° 4.30	Plano esquemático de Bomba G-0302A, mostrando las modificaciones básicas a realizar para adecuar la bomba a un sistema de lubricación por neblina.....	109
Figura N° 4.31	Conexión de entrada de neblina (Oil Mist) en tapa de la caja de rodamientos de la Bomba G-0302A.....	109
Figura N° 4.32	Plano esquemático de Bomba J-20/J-20A, mostrando las modificaciones básicas y detalladas a realizar para adecuar la bomba a un sistema de lubricación por neblina.....	110
Figura N° 4.33	Esquemático del motor eléctrico J-52 de FCC mostrando las conexiones para la instalación del sistema de lubricación por neblina.....	111
Figura N° 4.34	Circulación de la neblina por el rodamiento del motor eléctrico similar a los instalados en catalítica y FCC	112
Figura N° 4.35	Punto de entrada de grasa para rodamiento ubicado en tapa lado motriz de un motor eléctrico. Por aquí mismo será la entrada de neblina de aceite para este equipo.....	112
Figura N° 4.36	Descripción del alojamiento del rodamiento dentro de la tapa portarodamientos de un motor eléctrico.....	113
Figura N° 4.37	Descripción del alojamiento, tapa de ajuste del rodamiento dentro de la tapa portarodamientos de un motor eléctrico.....	114
Figura N° 4.38	Rodamiento ubicado dentro de la tapa portarodamientos de un motor eléctrico.....	114

CAPITULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA EMPRESA.

Petróleos de Venezuela, Sociedad Anónima (PDVSA) es una empresa estatal de la República Bolivariana de Venezuela que se dedica a la explotación, producción, refinación, mercadeo y transporte del petróleo venezolano. Fue creada por decreto gubernamental N° 1.123 del 30 de Agosto de 1975, para ejercer tales actividades luego de la nacionalización de la industria petrolera, comenzando actividades el 1 de enero de 1976. Desde ese momento se ha convertido en una corporación energética con actividades operacionales y comerciales dentro y fuera del País. Posee 24 refinerías en todo el mundo, 18 de ellas en el exterior y 6 en el país. Entre las instalaciones en suelo venezolano, destaca la refinería más grande del mundo: el Complejo Refinador Paraguaná, en el estado Falcón, así como las refinerías de Puerto La Cruz y El Palito.

1.2. REFINERIA DE PUERTO LA CRUZ

1.2.1. Ubicación

La Refinería Puerto la Cruz está ubicada en la costa nor-oriental del país, al este de la ciudad de Puerto La Cruz en el estado Anzoátegui; tiene facilidades de acceso desde el Mar Caribe y está conectada por oleoductos con los campos de producción de

Oriente. La conforman las instalaciones de Puerto La Cruz, El Chaure y San Roque a 40 Kms de Anaco, vecina a la población de Santa Ana Edo. Anzoátegui.

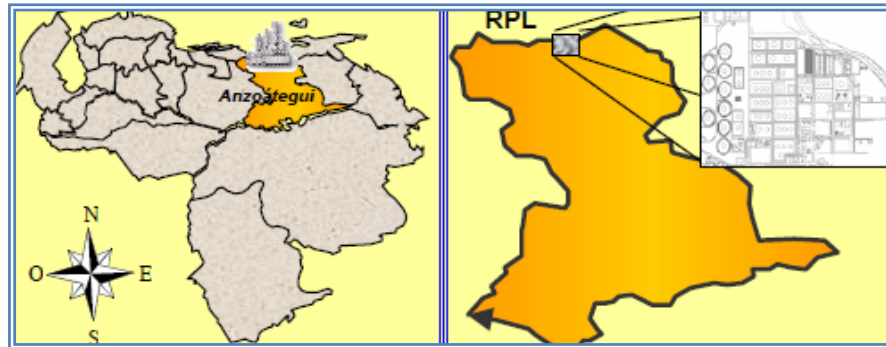


Figura N° 1.1 Ubicación Geográfica de la Refinería Puerto la Cruz. [4]

1.2.2. Rol de la Refinería

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

- Suplir la demanda del Mercado Interno de la Región Sur-Oriental del país.
- Colocación de los productos excedentes en el Mercado de Exportación.
- Manejo y distribución de la producción de crudos del Oriente del país hacia los mercados de exportación y a las otras filiales (cabotaje).

1.2.3. Descripción general y Unidades de proceso

La Refinería Puerto La Cruz cuenta con una capacidad nominal para procesar 200 MBD de crudo en sus tres unidades de destilación, de los cuales 45% corresponde a crudo de 24° a 30° API y crudo de 16° API. Los productos que se derivan de los diferentes procesos son: Gasolinas, Reformado, Diesel comercial e Hidrotartado, GLP, Jet, y Residual.

El objetivo principal de esta refinería es realizar procesos de separación física y transformación química que conviertan el crudo en derivados utilizables para numerosas aplicaciones. Está constituida por las siguientes unidades de procesos:

Tres unidades de destilación atmosférica:

- Destilación atmosférica 1, DA-1
- Destilación atmosférica 2, DA-2
- Destilación atmosférica 3, DA-3

Cincos unidades Conversión Media:

- Unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado (FCC)
- Alquilación
- Merox
- Sistema de Tratamientos de Gases (S.T.G).
- Sistema de Recuperación de Azufre y Aguas Agrias

Tres Unidades de Hidrotratamiento:

- Hidrotratamiento de Diesel
- Hidrotratamiento de Nafta
- Reformación Catalítica

Tres Unidades de Servicios Industriales:

- Generación de Vapor
- Generación de Aire, Agua y Electricidad.
- Tratamiento de Efluentes de Procesos (S.T.E)

1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La refinería de Puerto La Cruz está ubicada en la costa Oriental del país al Este de la ciudad de Puerto La Cruz, estado Anzoátegui. Cuenta con cinco unidades fundamentales de proceso, entre las cuales se encuentra: La Unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado (FCC) que fue diseñada para procesar 14.500 barriles por día de gasóleo provenientes de las unidades de Destilación Atmosférica DA-1 y DA-3, tiene como productos finales de su reacción: el gas seco, olefinas, gasolina, aceite catalítico liviano, aceite catalítico pesado y aceite decantado.

La unidad Catalítica es una de las plantas más críticas en la refinería, donde los equipos rotativos representan más del 90 % de los equipos instalados en planta y a su vez los equipos con el mayor número de fallas, entre las que se destacan a aquellas asociadas a la lubricación. La gran mayoría de los equipos rotativos de la unidad de FCC, poseen el método de lubricación por anillo de aceite (baño de aceite) cuyo sistema no de control automatizado, sino que depende para su funcionamiento del personal de operaciones de la planta. Puesto que el aceite está sometido a deterioro gradual por suciedad y por malas prácticas del llenado o descuido para la reposición y cambio a tiempo del aceite se han producidos problemas técnicos operacionales en los equipos rotativos colocándolos fuera de servicio. Lo que provoca que no se supla la demanda de carga necesaria causando la disminución de la producción en la unidad de FCC.

Por lo anterior, se propuso a PDVSA el diseño de la instalación de un Sistema Centralizado de Lubricación por Neblina Pura de Aceite (Oíl Mist) con el que se garantiza la reducción de todos los problemas que se han venido presentando ofreciendo a su vez un sistema automatizado que permite el control y supervisión. Ello aumenta la confiabilidad operativa de la planta al aumentar las de los equipos, disminuyendo las rutinas de lubricación y mantenimiento, reduciendo al mínimo la

producción de residuos y degradación ambiental, con ahorro energético y mayor seguridad del personal de operación. Este trabajo se centra en el diseño de este sistema de lubricación por Neblina de Aceite.

Para logra diseñar una instalación de un sistema centralizado de lubricación por neblina pura de aceite (Oil Mist) para los equipos rotativos de la unidad FCC, se deberá, conocer los parámetros operativos y funcionales de cada equipo rotativo, las especificaciones bajo las cuales fueron construidos (API, ISO, ANSI/ASME). Esto permitirá seleccionar los equipos rotativos a los que se les pueda instalar el sistema, según criterios del fabricante, PDVSA y la norma API 610. La ingeniería básica la cual comprende: cálculo del flujo de neblina que necesite cada equipo, selección de la capacidad de la consola generadora; ubicación en planta de la consola de generación de neblina (de acuerdo con las especificaciones recomendadas por el fabricante), el diseño de la red de tubería, con el respectivo cálculo de pérdidas y caídas de presión en los tramos de tuberías más desfavorables. Finalmente se deberán emitir las modificaciones técnicas, sustituciones o reemplazos que requieran los equipos rotativos para la instalación de dicho sistema.

1.4. OBJETIVOS.

1.4.1. General

Diseñar la instalación de un sistema centralizado de lubricación por neblina pura de aceite para equipos rotativos de la unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado (FCC) de la Refinería Puerto la Cruz.

1.4.2. Específicos

1. Identificar los equipos rotativos de la planta catalítica, sus datos operacionales y de servicio actuales.
2. Seleccionar, según las especificaciones de la norma API 686, API610 y API 751RP, los equipos rotativos a los que se le adaptará el sistema de lubricación por neblina pura de aceite.
3. Desarrollar la ingeniería básica para la instalación del sistema de lubricación por neblina pura de aceite.
4. Indicar las modificaciones técnicas que requieran los equipos para la instalación del sistema de lubricación por neblina pura de aceite.

CAPITULO II: MARCO TEORICO

2.1. ANTECEDENTES

Agreda P. (2002), seleccionó los equipos rotativos más críticos, la falla de dichos equipos pararían la producción, planta de servicios de la Refinería de Puerto la Cruz. Estudiando las condiciones operativas y características propuso la instalación del Sistema de Lubricación por Neblina de Aceite [1].

Rondón M. y Zacarías J. (1999), realizaron la evaluación de los aspectos más relevantes relacionados con la lubricación de los ventiladores, bombas centrifugas y válvulas existentes en la planta fraccionadora de José, para verificar si los lubricantes utilizados eran los adecuados así como el sistema de lubricación utilizado para el suministro de aceite [2].

Gilberto I. (1981), realizó un análisis para detectar y prever graves problemas que pudieran ocurrir en unos equipos moto-compresores y sus lubricantes. Estudió la vida útil del aceite usado que esta de transición desde el aceite nuevo, hasta el aceite último satisfactorio de servicio. El estudio trajo como consecuencia, una mejora en la operación de las máquinas a gas, extendiendo la vida de los equipos y reduciendo los gastos de mantenimiento [3]

2.2. PROCESO DE CRAQUEO CATALÍTICO FLUIDIZADO

El craqueo es un proceso químico por el cual un compuesto orgánico se descompone o fracciona en compuestos más simples, bien sea mediante la aplicación de calor o presión. Las reacciones implicadas en el craqueo, son muy complejas; grandes moléculas se descomponen en fragmentos, que pueden sufrir cambios posteriores de forma espontánea o combinarse con otros fragmentos. En condiciones normales, los productos principales obtenidos al fraccionar aceites de hidrocarburos son otros hidrocarburos de menor masa molecular, en su mayoría insaturados. Normalmente, los hidrocarburos son gaseosos a la temperatura de craqueo, pero si se calientan hidrocarburos más pesados a alta presión, el craqueo tiene lugar en fase líquida o condensada.

La planta de FCC de la Refinería Puerto la Cruz procesa actualmente 14.500 barriles por día de Gasóleo Atmosférico proveniente de la unidad de destilación DA-1, residual de crudo Anaco Wax y/o Santa Bárbara proveniente de la unidad de destilación atmosférica DA-3 y VGO foráneo (Vacuum gas oil /Paraguana). Los productos principales de la reacción de craqueo catalítico son: gas seco, olefinas, gasolina, aceite catalítico liviano, aceite catalítico pesado y aceite decantado. (Ver figura N° 2.1).

En el siguiente diagrama se muestran estas etapas del proceso de craqueo:

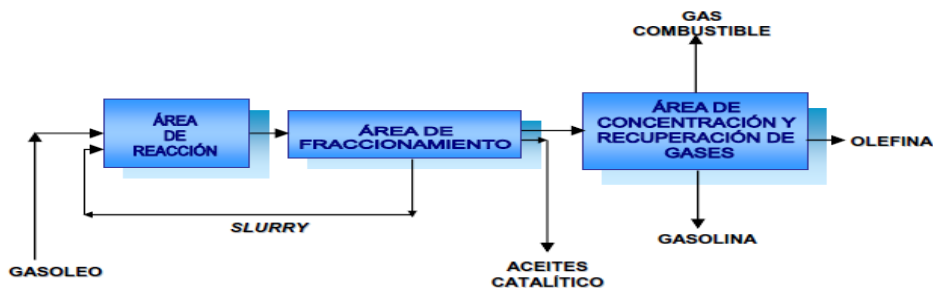


Figura N° 2.1 Etapas de la planta de Craqueo Catalítico Fluidizado (FCC) ^[4]

2.2. COJINETES

2.2.1 Cojinetes antifricción o Rodamientos

Son un tipo de soporte de ejes, que emplean pequeños elementos rodantes para disminuir la fricción entre las superficies giratorias, dado que la resistencia de fricción por rodadura es menor que la resistencia de fricción por deslizamiento. El principio básico de funcionamiento de un rodamiento, radica en la reducción de la magnitud de la fuerza de rozamiento con la superficie base, introduciendo elementos rodantes pequeños, en consecuencia la fuerza de fricción opuesta al movimiento es mucho menor, se muestra las partes del rodamiento en la figura N° 2.2.

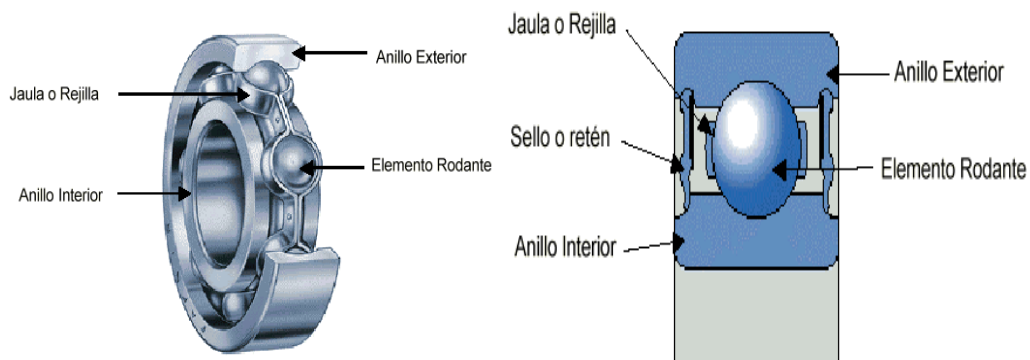


Figura N° 2.2 Partes de un rodamiento de bola. [5]

Existen diferentes tipos de rodamientos pero se pueden distinguir de acuerdo a la geometría de los elementos rodantes en los siguientes grupos (ver figura N° 2.3):

- Rodamientos de bolas
- Rodamientos de rodillos: Cilíndricos, Cónicos, esféricos, de Agujas.

De acuerdo al tipo de carga que deben soportar los rodamientos se dividen en:

- Rodamientos Radiales.
- Rodamientos Axiales.

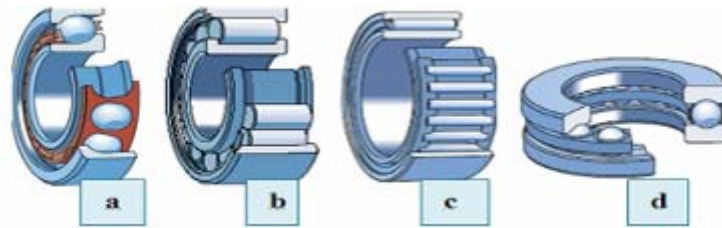


Figura N° 2.3 Diferentes tipos de rodamientos. a) Radial De bola, b) De Rodillo, c) De aguja, d) Rodamiento axial. [5]

2.2.2 Cojinetes de deslizamiento

Un cojinete es un elemento que dispuesto como soporte o vínculo de un árbol permite la rotación del mismo dentro de este, guiando dicha rotación. Siendo que los puntos constitutivos de los cuerpos sometidos a rotaciones describen trayectorias circulares, resulta la superficie cilíndrica como la que presenta las mejores condiciones para el contacto entre el árbol y el cojinete, de ahí que tanto el árbol en su zona de contacto con el cojinete como la superficie interior de este y en la cual el árbol se apoya para su rotación, resultan cilíndricos. Pueden ser cojinetes radiales o axiales (ver figura N° 2.4)



Figura N° 2.4 Tipos de cojinetes. a) Radial bipartido, b) De empuje [5]

2.3. LUBRICACIÓN

Es la interposición entre dos superficies que se encuentran en movimiento relativo la una con respecto a la otra de una sustancia cualquiera conocida con el nombre de lubricante. Sin el empleo del lubricante adecuado, las superficies metálicas de los

mecanismos lubricados se soldarían. Las funciones básicas de un lubricante son: reducción de la fricción, disipación del calor y dispersión de los contaminantes.

Pueden identificarse cinco formas de lubricación:

- Hidrodinámica.
- Elastohidrodinámica
- Hidrostática.
- De capa límite
- De película gruesa.

2.3.1. Lubricación hidrodinámica

Se produce debido al movimiento de las superficies lubricadas, al formarse una zona de convergencia o cuña de aceite, donde hay presión suficiente para mantener separadas las superficies. Las superficies están separadas por una película de lubricante que proporciona estabilidad. Esta lubricación es típica en cojinetes de deslizamiento y demás elementos de soporte que utilicen cuña de aceite.

2.3.2. Lubricación elastohidrodinámica

Es aquella que se utiliza para la lubricación de rodamientos tanto de bolas, como de rodillos, con un espesor de 25 a 1.25 micras. Esta lubricación ocurre cuando bajo la presión aplicada a los rodamientos por película lubricante, dado que antes del punto de contacto entre estos existe una zona de convergencia, las zonas de contacto se amplían y pasan a ser una zona discreta creándose una película de lubricante que evita el contacto metal-metal. Esta lubricación es típica en cojinetes antifricción (Rodamientos).

Dependiendo del tipo del lubricante se puede mencionar que los dos tipos de lubricación más utilizados son: Lubricación con grasa y con aceites.

2.3.3. Lubricación por Grasa

La lubricación con grasa se usa en un 90 % de todas las aplicaciones de rodamientos. Las ventajas esenciales de una lubricación con grasa son:

- Construcciones muy sencillas.
- Mayor eficacia de la obturación debido a la grasa, par de rozamiento bajo.
- Elevada duración de servicio mediante una lubricación sin mantenimiento y sin aparatos de lubricación,
- Periodo de duración más largo hasta el fallo en el caso de fallar la lubricación después de alcanzarse la duración de servicio de la grasa si los factores de velocidad son moderados.
- Puede ser aplicada en cojinetes, rodamientos, engranajes, bujes, etc.

2.3.4. Lubricación con Aceite

Un sistema de lubricación con aceite resulta, adecuado si los elementos de máquina próximos deben lubricarse con aceite o cuando sea necesario evacuar calor mediante el lubricante.

En la lubricación con aceite por pequeñas cantidades, como lubricación por goteo, por neblina de aceite o por aceite y aire es posible dosificar la cantidad de aceite exactamente. Esto ofrece la ventaja de que el rozamiento por chapoteo se evita y el rozamiento del rodamiento puede mantenerse bajo. Al usar aire como medio portante de la lubricación puede conseguirse una alimentación dirigida y una corriente favorable para la obturación. La lubricación por inyección de aceite con

grandes cantidades facilita la alimentación precisa de todos los puntos de contacto en rodamientos altamente revolucionados y una buena refrigeración.

2.3.5. Sistemas y Métodos de Lubricación

El método de lubricación es la forma en específico como se lubrica cualquier elemento de soporte o transmisión de una máquina y el sistema de lubricación son todos los componentes, elementos, partes necesarios que hacen que funcione el método de lubricación seleccionado (ver tabla N° 2.1). Los sistemas de lubricación pueden ser:

2.3.5.1. Sistema por gravedad

En estos sistemas de lubricación el lubricante se aplica directamente en los rodamientos o cojinetes (sistema manual) o simplemente se deja caer por efecto de la gravedad hacia el punto donde se requiere lubricar, restringiéndose su paso. Entre estos sistemas tenemos: sistema manual, por goteo, por brocha, por estopa.

2.3.5.2. Sistema de lubricación por Traslado, Inmersión o Salpique

En estos sistemas los componentes a lubricar (engranajes, cojinetes, rodamientos, etc) están sumergido en un depósito con cierto nivel de lubricante líquido, generalmente aceite. Si además de estar sumergido los elementos a lubricar se utilizan cierto dispositivo mecánico tales como cadena, anillos sumergido parcialmente en el depósito de aceite, estando estos dispositivos solidario con los movimientos de los componentes de la máquinas (ejes, manivela, bastidores, etc), el aceite llega al punto que se necesita lubricar ya sea por salpique o traslado. Entre estos sistema tenemos: Sistema por anillo, Sistema por Collar, sistema por baño y sistema por salpique.

2.3.5.3. Sistema de lubricación por presión

En este sistema, el lubricante es surtido a los componentes de la máquina a lubricar mediante dispositivo de presión. Son sistemas que requieren muchos elementos mecánicos, de control e instrumentación para su buen funcionamiento. Entre estos sistemas tenemos la lubricación forzada y el Oil Mist.

Tabla N° 2.1 Sistemas de Lubricación^[5]

Sistema de lubricación	Lubricante	Aparatos del sistema	Tipos apropiados, comportamiento en servicio
Lubricación a vida Relubricación	Lubricante solido	----- -	Principalmente rodamiento rígido de bolas
	Grasa	----- -	Todos los tipos excepto rodamientos axiales oscilantes de rodillos en dependencia de la velocidad de giro y tipo de grasa, Bajo rozamiento y comportamiento favorables al ruido con grasas especiales.
Prensa a manos , Bomba de grasa			
Lubricación por aspersión		Instalación de lubricación	
Lubricación por baño de aceite	Aceite (Grandes cantidades)	Varilla de sondeo, Tubo de nivel, Control de nivel	Todos los tipos, absorción de ruido en dependencia de la viscosidad del aceite; mayor rozamiento del rodamiento por chapoteo, buena refrigeración; evacuación de partículas abrasivas en la lubricación por circulación y por inyección,
Lubricación por circulación debida a la alimentación propia del rodamiento de elementos adicionales		----- -	
Lubricación por circulación de aceite		Instalación para circulación de aceite	
Lubricación por inyección de aceite		Instalación para circulación con toberas de inyección	
Lubricación por goteo	Aceite (cantidades mínimas)	Engrasador por goteo, instalación de lubricación por aspersión	Todos los tipos de absorción de ruido en dependencia de la cantidad y viscosidades del aceite
Lubricación por neblina de aceite		Instalación de lubricación por neblina de aceite	
Lubricación por aire y aceite		Instalación de lubricación por aceite y aire	

2.3.6. Daños en rodamiento debido a lubricación deficiente.

Más del 50 % de todos los daños registrados en rodamientos son debidos a lubricación deficiente. En otra gran cantidad de daños, que no pueden relacionarse directamente con la lubricación, ésta contribuye también. Una lubricación defectuosa en las zonas de contacto origina desgaste, surcos de resbalamiento, estrías y huellas de gripado. Además pueden aparecer daños por fatiga (pittings). Algunas veces se produce un sobrecalentamiento de los rodamientos si los aros de los rodamientos se calientan desigualmente en caso de una lubricación insuficiente o excesiva, ocasionando así una disminución del juego o incluso una precarga nociva. Las causas principales de los daños en los rodamientos debidos a lubricación son:

- Lubricante no apropiado (por ejemplo, aceite de viscosidad demasiado baja, falta de aditivos, aditivos poco apropiados, efecto corrosivo de los aditivos);
- Lubricación deficiente en las zonas de contacto;
- Impurezas en el lubricante (sólidas y líquidas);
- Variación de las propiedades del lubricante;
- Lubricación excesiva.

Para evitar la lubricación deficiente o el exceso de lubricante debe tenerse en cuenta un abastecimiento de lubricante apropiado al caso de aplicación tanto desde el punto de vista constructivo como del proceso.

2.4. SISTEMA DE LUBRICACIÓN POR MEDIO DE ANILLOS

Este sistema se utiliza principalmente para lubricar cojinetes y rodamientos de equipos con ejes horizontales. Este sistema se compone de un anillo fabricado

generalmente de bronce o un metal liviano (ver figura N° 2.5), un lubricador de nivel de aceite con sello líquido y el mecanismo de reposición automática de aceite.

2.4.1. Funcionamiento

En una bomba lubricada por el sistema de anillos, el anillo corre sobre el eje en el mismo sentido de este en una ranura maquinada en la parte central del eje. Al realizar este movimiento levanta aceite cediéndole una gran parte al eje, dirigiendo el aceite hasta los rodamientos, el aceite fluye a través de los rodamientos, luego de lubricar el aceite cae por los espacios libres hasta el reservorio desde donde comienza de nuevo otro ciclo. La caja de rodamiento o chumacera está provista de un orificio para el llenado del aceite, siendo bastante grande que permite también comprobar si el anillo está girando sobre el eje. El anillo de lubricación del eje se sumerge en el aceite de $1/8$ a $3/16$ de su diámetro interno



Figura N° 2.5 Anillo de lubricación de bronce ^[9]

2.4.2. Lubricador de Nivel de aceite

El lubricador contiene el aceite para la reposición automática del nivel en el equipo. El mismo la forma una botella (envase de vidrio), soporte de la botella, conexión de tubería a la caja o chumacera y tornillo de fijación. El soporte de la botella tiene la forma diseñada para que la botella se aloje y juste con el tornillo, permitiendo así el sello líquido del lubricador. Esto no permite la entrada de aire externo al sistema e impedir la salida de aceite si no es necesario. Sin embargo, al bajar el nivel del aceite

en el depósito del cojinete, se abre nuevamente el pasaje de aire, el aceite baja de la botella y se restablece el nivel automático.

2.5.2.1. Funcionamiento

El lubricador es sujeto a la caja de rodamiento o chumacera por un costado mediante una conexión de tubería ($\frac{1}{2}''$ o $\frac{3}{4}''$). El envase va introducido en una base, en la cual se fija para mantener el sello que impedirá la entrada de aire o el vaciado de la botella. El posicionamiento de esta botella lo dará el sistema de reposición de aceite, una vez calibrado el mismo al nivel de aceite requerido por el equipo. La botella del lubricador tiene una forma que ayuda a mantener el sello en el sistema, esta se puede sacar para llenar de nuevo de aceite e instalarla de nuevo en el soporte de la misma (ver figura N° 2.6)

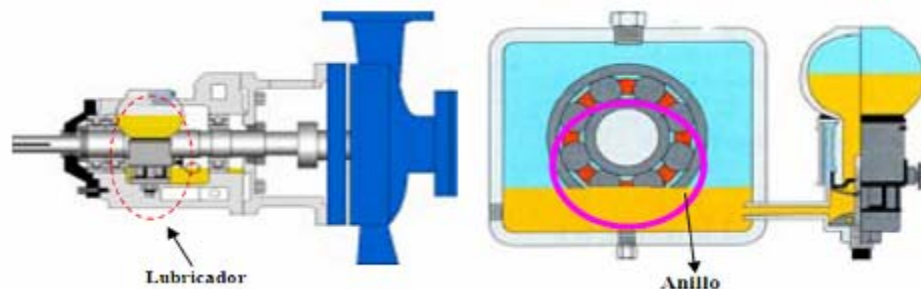
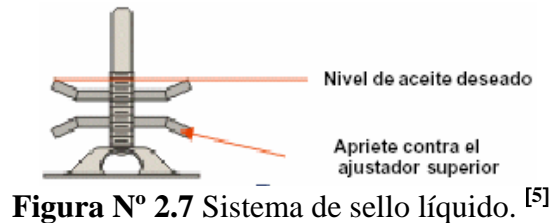


Figura N° 2.6 Sección de una bomba centrífuga con los componentes del sistema de lubricación por anillos. [9]

2.4.2.2. Sistema de Reposición de Aceite (Araña)

Este mecanismo popularmente llamado araña tiene la función de ajustar el nivel de aceite a la voluntad que se requiera en el equipo y a la vez romper el vacío generado por la presencia del volumen de aire generado por un bajo nivel en la caja o chumacera del equipo. Esto garantizará que se suministre aceite cuando se requiera al sistema. Sin este mecanismo no habrá reposición de aceite en sistema de anillos que

tenga botellas de aceite sin conexión tubular, ya que no habrá forma que se rompa el vacío formado en el sistema una vez generado una capa de aire entre el nivel de aceite de la caja y de la botella del lubricador (ver figura N° 2.7)



2.4.3. Causas de una mala lubricación

2.5.3.1. Nivel de aceite incorrecto en cojinetes - Rotación del anillo de aceite.

- El nivel de aceite debe de estar a la mitad del rodamiento de bola o de rodillo.
- Niveles muy altos potencian riesgos de sobrecalentamientos y pueden causar fugas por el eje. Si el anillo está sumergido demasiado en el aceite ejerce demasiada resistencia a su rotación por parte del aceite por lo que el anillo no gira, esto también puede ocurrir si el aceite es demasiado viscoso.
- Niveles muy bajos provocan una lubricación límite con niveles de aceite muy bajos por lo que el anillo no colecta el aceite.
- Si el anillo está ovalado no girará con el eje por lo que deslizará sobre el mismo. Esto podrá causar recalentamiento en el equipo y por ende daño en los rodamientos del mismo

2.4.3.2. Colocación del lubricador de nivel de aceite constate

- Si el lubricador se vacía muy rápido, es probable que esté colocado en el lado equivocado a la rotación del cojinete (ver figura N° 2.8). Si se coloca opuesto a la rotación de cojinete, la rotación succiona el aceite del lubricador.

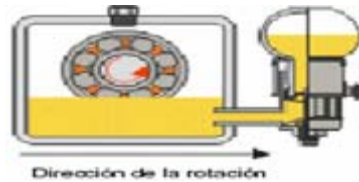


Figura N° 2.8 Ubicación correcta del lubricador de nivel de aceite constante. [5]

- Si la parte baja del lubricador no está nivelado en paralelo con el nivel deseado en el depósito puede dar un falso nivel en el lubricador.(ver figura N° 2.9 de colocación correcta de la parte baja del lubricador).



Figura N° 2.9 Ubicación correcta e incorrecta del lubricador de nivel de aceite constante. [5]

2.4.3.3. Causas externas.

- La reposición del aceite: el período de cambio y reposición del aceite depende del estado de suciedad y del envejecimiento del aceite. El envejecimiento se acentúa por la presencia de oxígeno, abrasivos metálicos (catalizador) y elevadas temperaturas, un aceite viejo no posee las mismas propiedades por lo que la lubricación es deficiente y afecta a los rodamientos pudiendo producir daños.
- La humedad; la cantidad admisible de agua en el aceite depende del tipo de aceite y debe preguntarse al fabricante del aceite. El agua libre en el aceite ocasiona corrosión, acelera el envejecimiento del aceite por hidrólisis, forma materias agresivas en combinación con los aditivos EP y repercute en la formación de una película portante de lubricante. Si penetra agua a través de la

obtención o por formación de agua de condensación en el interior del rodamiento es importante conseguir una rápida separación de agua y aceite a base de la capacidad separadora del agua característica del aceite.

2.5. SISTEMA DE LUBRICACIÓN POR NEBLINA DE ACEITE (Oil Mist)

El sistema de lubricación por neblina de aceite es un sistema de Confiabilidad de Rodamientos que atomiza aceite en pequeñas partículas y las dosifica en la cantidad correcta de lubricante nuevo, limpio y seco a los rodamientos y todas las superficies internas del alojamiento, proporcionando una lubricación que según los expertos es óptima, la cual reduce la fricción incrementando la eficiencia energética y la confiabilidad del equipo.

2.5.1. Componentes y Funcionamiento de un sistema de lubricación por neblina de aceite

Un sistema de lubricación por neblina de aceite se compone de: una Consola, donde se genera la niebla y donde todas las variables se supervisan. Líneas de distribución, para el transporte de niebla donde se lubricará. Un distribuidor, que divide y dirige la niebla a cada punto de lubricación. Reclassificador, que controla el flujo y el tipo de niebla a cada punto de lubricación. Líneas de drenaje a un Colector de aceite; y en sistemas cerrados: Tuberías de retornos.

Funciona básicamente de la siguiente manera: un gas comprimido, generalmente aire se emplea para atomizar el aceite. La neblina es conducida por un sistema de baja presión (20 Pulg H₂O) a los diferentes puntos de aplicación del lubricante. La niebla de aceite se forma en un "generador", donde el aire comprimido pasa por un orificio, creando una reducción de presión que hace que el aceite sea arrastrado desde un recipiente hacia la corriente de aire. La niebla resultante se

distribuye por las líneas de alimentación a varios puntos de aplicación. Aquí, se reclasifica, o condensa en líquido, rocío o niebla más espesa gracias a accesorios especializados, lo que depende de los requisitos de lubricación. (Ver figura N° 2.10 donde se presenta un sistema de distribución típico). Estos sistemas pueden variar en complejidad según el tipo y el número de puntos que se lubricará.

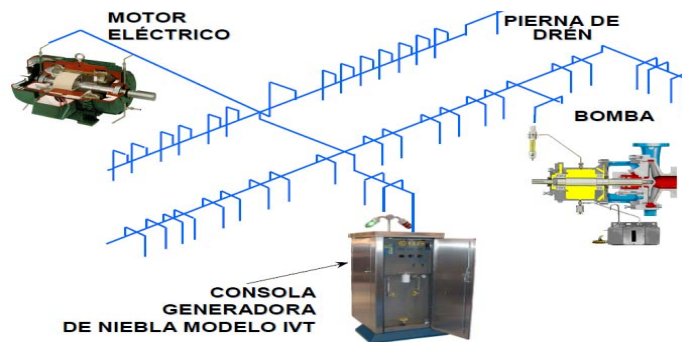


Figura N° 2.10 Sistema de distribución típico por neblina de aceite. [6]

Más adelante se estudiarán los equipos y accesorios del sistema de la siguiente manera:

- Consola de generación de neblina.
 - a) Generador de Neblina
 - b) Supervisión de la variables del Sistema
 - c) Característica de la Neblina Generada
- Sistemas de distribución de la neblina de aceite
- Aplicación de la neblina a los equipos.
- Recolección de aceite.

2.5.1.1. Consola de generación de neblina

La generación de la neblina de aceite se efectúa en un equipo llamado consola de generación de neblina. Las consolas de la generación de la niebla incluyen en el

sistema de la generación de la niebla un control y/o un sistema de vigilancia de las variables, más un sistema de alarma. Estas consolas varían de tamaño, según el número de control de los elementos que se lubricarán y la complejidad (mecánico, electromecánico o electrónico) en lo referente al tipo de uso. Existen diversos modelos de generación de neblina, entre los que encontramos a la consola de Modelo "IVT", la cual es fabricada por la empresa Lubritech, (ver figura N° 2.11), la cual es automatizada, computarizada y controlada mediante un microprocesador maestro de control y monitoreo. Esta se utiliza para los usos a gran escala, por ejemplo en refinerías e instalaciones de producción petroquímicas y. Es actualmente el más moderno en el mercado.



Figura N° 2.11 Consola Generadora Modelo "IVT". [6]

La consolas de generación se alimentan de aire comprimido proveniente del generador de la planta, el aire al entrar a la consola pasa por un filtro y pasa a un distribuidor el cual lo reparte a tres válvulas, las cuales trabajan como un interruptor que permiten el flujo a la tubería principal, la fuente de generación auxiliar y el suministro de aceite. La consola posee tres tanques de aceites: el depósito principal, el depósito para el generador principal y el depósito para el generador auxiliar.

Generador de neblina

El corazón del Sistema de lubricación de la neblina de aceite es el generador de la niebla, se encuentra dentro de la consola de generación que utiliza la energía del aire

comprimido para atomizar el aceite en partículas micrométricas. Actualmente el sistema de lubricación por neblina de aceite trabaja con el principio de “vortex”. Este tipo de generador es monitoreado y controlado a través de un microprocesador maestro de fácil operación y mantenimiento.

En el generador tipo vortex el flujo de aire comprimido limpio y seco es dirigido por los canales tangenciales al compartimiento del vórtice. Aquí fluye en un movimiento espiral descendente a un punto de salida donde alcanza la velocidad acústica que crea un área de la presión baja. El aceite entonces se aspira para arriba a través de un pequeño tubo a través de los canales internos alrededor del compartimiento del vórtice a un punto bajo donde se mezcla con aire para formar la niebla. Una placa del baffle y de desviación elimina partículas grandes de aceite así que la niebla se puede transportar sobre distancias largas. La capacidad del generador de niebla está indicada por el número de ranuras maquinadas en la placa de vortex (ver figura N° 2.12). La mayoría de las consolas tienen dos cabezales de generación (principal y auxiliar) mecánicamente idénticas. El cabezal auxiliar se utiliza cuando una cierta operación del mantenimiento o de la reparación al cabezal principal se está realizando. Cada cabezal de generación se instala en la parte superior, en la línea del calentador de aire, en la parte superior de los recipientes auxiliar y principal y mantiene el aire en una temperatura controlada, apropiada para la formación de niebla.



Figura N° 2.12 Esquema de la cámara vortex de aceite (tubo de Venturi) y Cabezal generador de Niebla. [6]

Supervisión de las variables operativas de la niebla del aceite:

La consola de la generación de la niebla incluye la instrumentación necesaria para supervisar las variables de la generación de la niebla. Si alguna de estas variables excede un límite superior predeterminado, o están debajo de un límite más bajo, una señal de la avería aparece en el panel de control. Las variables que se puede monitorear y controlar las siguientes variables operativas:

- Alta y baja densidad de niebla generada (variable crítica).
- Alta y baja presión de niebla generada (variable crítica).
- Alto y bajo nivel de aceite en el depósito de generación.
- Alta y baja de temperatura en el depósito de lubricante.
- Alta y baja temperatura de aire de generación.
- Alta y baja presión de aire de suministro
- Alta y baja presión de aire regulado
- Alta y baja presión de aceite de suministro.
- Temperatura ambiente.
- Nivel de aceite en el tanque depósito integrado.
- Temperatura de aceite en el tanque depósito integrado.

Características de la Niebla Lubricante

- El tamaño de las gólicas en la neblina está comprendido entre 0,5 y 0,2 micrones.
- Se encuentra a un proporción de 1 parte de aceite por 200.000 partes de aire.
- Mezcla limpia.
- No inflamable.
- No tóxica.

- La mezcla limpia de aceite y aire comprimido y seco sale a una presión de 20” H₂O.
- A una temperatura de 16° C garantizada por la consola de generación.
- La velocidad de la niebla es supersónica en el vórtice.
- Puede transportarse hasta 200 metros.

2.5.1.3. Sistemas de distribución de la neblina de aceite.

El sistemas de distribución de neblina, es un conjunto de tuberías y accesorios las cuales trasportan y distribuyen a cada uno de los equipos la neblina de aceite. Ver figura N° 2.13. Está conformada por:

- Red de tuberías (principal, secundarias)
- Distribuidor (Manifold)

Todos los componentes del sistema deben cumplir con los requisitos expuestos en la tabla siguiente:

Tabla N° 2.2 Características para los sistemas de distribución de neblina.

COMPONENTE	MATERIAL	REQUISITOS ESPECIALES
SISTEMA DE TUBERÍA Y ACCESORIOS	ACERO AL CARBONO GALVANIZADO	ESPESOR DE PARED SCH 4, EXTREMO ROSCADO
VÁLVULAS	ACERO AL CARBONO	EXTREMO ROSCADO
SISTEMA DE TUBERÍAS, ACCESORIOS	ACERO INOXIDABLE 316 ó 304. TUBERÍA DE COBRE REVESTIMIENTO PLÁSTICO (SEGÚN ASTM D1047) PVC Y ACCESORIOS DE BRONCE	TUBO: 6 MM X 0.80 MM (1/4 PULG. X 0.032 PULG.) ACCESORIOS: TIPO DE COMPRESIÓN CON CASQUILLO

Para el sistema de distribución de neblina de aceite se debe tomar en cuenta las especificaciones que se encuentran en las normas de la empresa y sugerencias del fabricante o proveedor según la norma API 610.

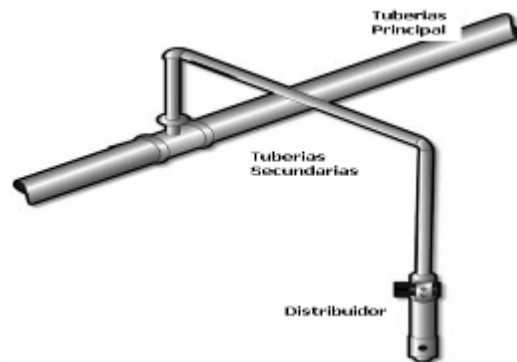


Figura N° 2.13 Sistemas de distribución de neblina. [6]

Red de tuberías de distribución

La niebla del aceite producida en la consola generadora se transporta a los puntos a lubricar a través de tuberías principales y secundarias.

a) Tuberías principales:

Estas transportan la neblina de aceite desde la consola y de las cuales se derivan las tuberías secundarias. Se debe instalar con una inclinación en la dirección de la consola de generación, esta permite mayor eficacia en el consumo de aceite, puesto que las partículas que se condensan por el contacto entre ellas o contacto con las paredes de la tubería, se devuelve al depósito de la consola para recircular. Según especificaciones de la norma PDVSA, para este tipo de sistemas: son de acero galvanizado 2 pulg de diámetro con extremo roscado para tramos largos (mayor de 90 m), los primeros 15 metros tendrán una cuesta en la dirección de la consola de generación, puesto que la mayor parte de la condensación ocurre en esta área. Si las líneas son más pequeñas (30-45 m), la tubería completa puede estar inclinado hacia la consola. Para reducir la cantidad así como la severidad de impactos entre las partículas, la velocidad del flujo dentro de la tubería debe ser menor de 6 m/s (20 ft/s) lo que reduce la cantidad de niebla condensada en la tubería.

b) Tuberías secundarias

Estas líneas se encuentran conectadas, por medio de una T de reducción (ver figura N° 2.14), desde la tubería principal y terminan en distribuidores.

Se recomienda una tubería secundaria por cada equipo que vaya a ser lubricado. Normalmente son de acero galvanizado de $\frac{3}{4}$ de pulgadas, roscado. Estas líneas tienen normalmente una sección vertical a través de la cual la niebla se levanta de la línea de tubería principal, luego una sección horizontal, y otra sección vertical por la cual la niebla desciende, como se muestra en la figura N° 2.14; esta última sección acaba con un distribuidor o Manifold. Están inclinadas hacia los distribuidores (Manifold) con la finalidad de que la neblina que pudiese haber condensado en este tramo de tubería se deposite en los Manifold de manera tal se garantizan que llegue neblina seca a los equipos de aplicación de neblina.



Figura N° 2.14 Tubería secundaria y distribuidor. [6]

✚ Distribuidor (Manifold)

Son secciones verticales de la tubería secundaria colocadas al final de estas y que divide el flujo de la niebla por medio de enchufes donde se conectan las líneas de alimentación para los equipos en cada uno de los puntos donde será aplicada la

lubricación y en los cuales se deposita el aceite que se ha condensado en el camino. Dicho aceite se puede observar en el reservorio que es transparente, este contiene válvula de desagüe. Así, el aceite condensado se puede drenar manualmente en rutinas estándar de mantenimiento. Muchas instalaciones modernas con los sistemas cerrados de recirculación de aceite condensado no requieren la intervención manual para ser drenadas.

2.5.1.4. Aplicación de la neblina a los equipos

Del manifold se conectan tuberías delgadas de alimentación (tubing) generalmente de acero inoxidable de $\frac{1}{4}$ o $\frac{3}{8}$ Pulg, por las cuales se transporta la neblina a los puntos de lubricación del equipo (ver figura N° 2.15). La neblina se transporta fácilmente a través de las tuberías y tiene una capacidad de adherencia reducida. Poco antes del rodamiento a lubricar, la neblina es recomprimada en una válvula de recompresión (reclasificador), de tal forma que el aceite así obtenido es llevado por la corriente de aire en finísimas gotas hasta el rodamiento, es decir, se utiliza niebla seca para transportar y niebla húmeda para lubricar.

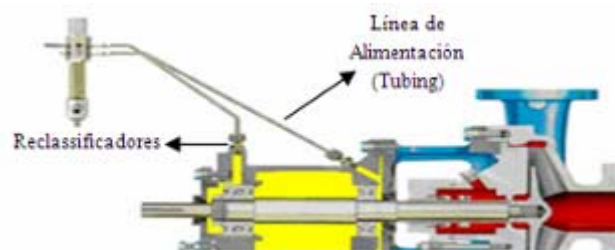


Figura N° 2.15 Aplicación de la neblina a los equipos. [6]

Reclasificador

El Reclasificador son los dispositivos que convierten pequeñas partículas de la niebla seca en partículas más grandes (niebla mojada) que puedan lubricar superficies (ver figura N° 2.16). El reclasificador trabaja básicamente como un baffle a través del cual

se acelera la niebla, aumentando la turbulencia del flujo y el número de colisiones de la partícula, de tal modo que se forman partículas más grandes.

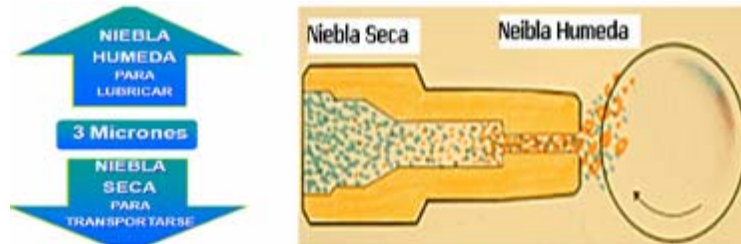


Figura N° 2.16 Recompresión de la neblina /función del reclassificador. [6]

Se tienen reclassificadores de: rocío, niebla, condensación y los reclassificadores direccionales (ver figura N° 2.17). El tipo de cojinete, La velocidad del cojinete, la carga aplicada son algunos aspectos que definen el tipo de reclassificador a usar.



Figura N° 2.17 Tipos de reclassificador: Roció (espray), Niebla (Mist), condensación, direccionales (de izquierda a derecha) [6]

2.5.1.5. Recolección del aceite

Todo el exceso de aceite o neblina residual así como el condensado de las líneas de distribución secundaria que se depositan en los Manifold son drenadas a un colector ecológico. Para la recolección de aceite se utilizan los siguientes dispositivos o elementos:

- Líneas de drenaje (dren)
- Vaso de condensado
- Colector ecológico

✚ Líneas de drenajes (dren)

Son las líneas de drenaje del aceite condensado y neblina residual que se acumula en los Manifold, dispositivos de niebla purga y en los vasos de condensados. Están conectadas desde estos dispositivos y hasta los colectores ecológicos. Normalmente son de acero inoxidable y de 3/8 de pulgadas.

✚ Vaso de condensado

Son dispositivos de un material transparentes generalmente vidrio, como se muestra en la figura N° 2.18, donde se puede observar el aceite condensado y permite apreciar la cantidad y condiciones del aceite.

✚ Colector ecológico

Es un envase de una capacidad 3.8 litros (1-gallon) que cuenta con una mirilla de nivel, lo cual permite observar la cantidad de aceite en el contenedor así como las condiciones del mismo, facilitando las tareas en la operación, a medida que el aceite se acumula en este contenedor (ver figura N°2.18), el exceso puede drenarse por una línea adecuada hacia un contenedor separado o hacia un cabezal común de drenado, el venteo de este colector se hace a través de un tubo en forma de sifón que sale de la parte superior del depósito, esto con el fin de evitar la entrada de contaminantes.

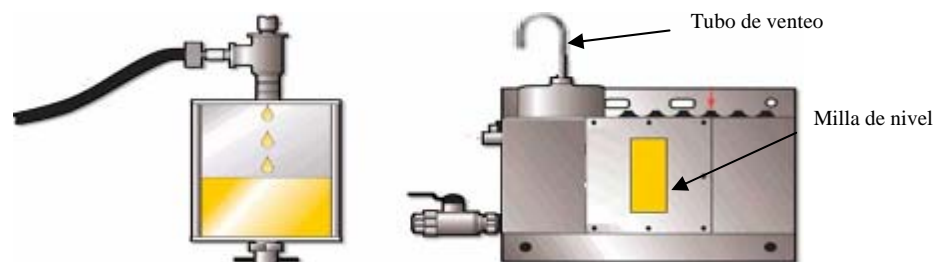


Figura N° 2.18 Vaso de condensado y Colector ecológico (de izquierda a derecha)^[6]

Con los sistemas de niebla abierto, los cuales son los más usados en la industria, la mayor parte del aceite se utiliza para la lubricación y la otra parte que se condensa en los distribuidores y los vasos de condensado como niebla residual, se pierde.

Los sistemas residuales de recuperación de la niebla (RMRS) (ver figura N° 2.19) es un sistema ecológico para recuperar el aceite de la niebla residual, después de que la niebla se haya utilizado para lubricar y/o para preservar los cojinetes, las cajas de engranajes u otros elementos antifricción de la maquinaria. La recuperación del aceite de la niebla residual evita que contamine el ambiente, puesto que el aire que fue utilizado para transportarlo se vuelve al ambiente el 99% libremente del aceite. La colección del aceite en un receptáculo cerrado también evita que contamine las tablas de la tierra o de agua. En el " RMRS" la recuperación del aceite de la niebla residual se obtiene a través de un filtro coalescente que separe el aceite del aire. El aire limpio va vuelta a la atmósfera y el aceite va a un receptáculo de acero inoxidable, para poderlo extraer más adelante para la reutilización.

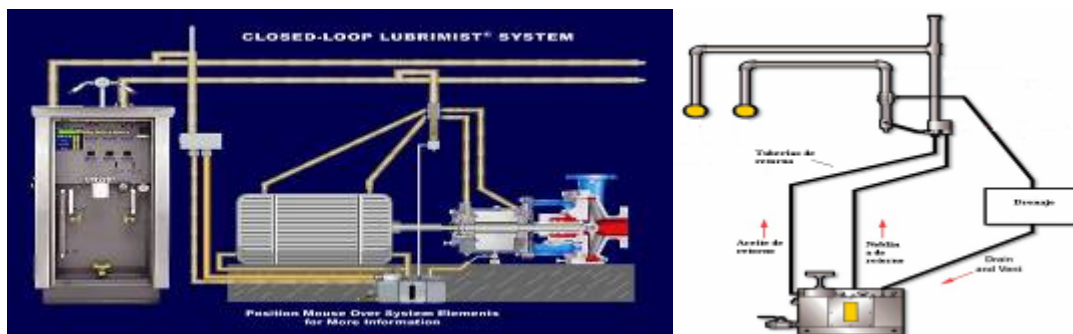


Figura N° 2.19 Sistema de lubricación por neblina de aceite cerrado. [6]

2.5.2. Niebla de Purga y Pura en Equipos.

Las aplicaciones típicas de la niebla de aceite para los tribosistemas mecánicos y equipos en general son: Lubricación mediante niebla pura (API 610) y preservación mediante niebla purga (API 686)

2.5.2.2. Niebla purga- equipos

La niebla de la purgación se utiliza en los equipos con cojinetes lisos y en otras instalaciones. Se utiliza para mantener el nivel de aceite en el reservorio evitando el ingreso de contaminantes dentro de este, es especial para equipos con cojinetes. Otra aplicación altamente rentable es en planta nuevas donde los equipos normalmente permanecen largos periodos de tiempo en espera lo que genera oxidación y finalmente fallas prematuras en el proceso de arranque de la planta.

Funcionamiento

Con la niebla purga básicamente se busca mantener el nivel de aceite deseado en los reservorios. El arreglo de niebla purga funciona de la siguiente manera (ver figura N° 2.20): Cuando el nivel del reservorio de aceite del equipo baja se crea una presión que permite que, por la parte superior del dispositivo, entra la niebla, la cual se recibe a través del reclasificador. Luego es introducida a la cavidad interna a través de un tubing central donde la niebla ya condensada cae en pequeñas gotas al reservorio del aceite llenándolo hasta el nivel deseado. Cuando el nivel de aceite se encuentra entre el nivel deseado, la neblina de aceite que sigue entrando es recolectada por el mismo dispositivo y enviada al colector ecológico para su eliminación, esto ocurre en sistemas abiertos, y se recircula, en caso de sistemas cerrados.

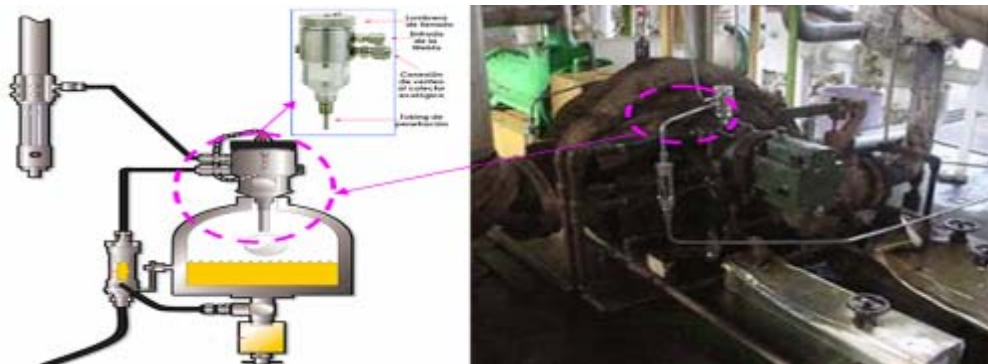


Figura N° 2.20 Arreglo para Niebla purga. [6]

🚧 Aplicaciones de niebla purga

Conservación y acondicionamiento de Lubricantes según **API 614**, **ASTM4378**, **ASTM6439**, **API686RP**, en este caso aplican lubricación del tipo Hidrodinámica (HD) a los siguientes equipos:

- Turbocompresores
- Motocompresores
- Equipos Críticos

2.5.2.3. Niebla pura para equipos con rodamientos

La niebla pura se aplica a equipos con cojinetes antifricción (rodamientos).

🚧 Funcionamiento

Con la niebla pura no se debe mantener el nivel de aceite dentro del reservorio de la caja de rodamiento por lo que una vez que la neblina es inyectada al rodamiento, por medio del reclassificador tipo neblina, (ver figura N° 2.21) toda la neblina condensada es conducida al vaso de condensado para su drenaje al colector de aceite.

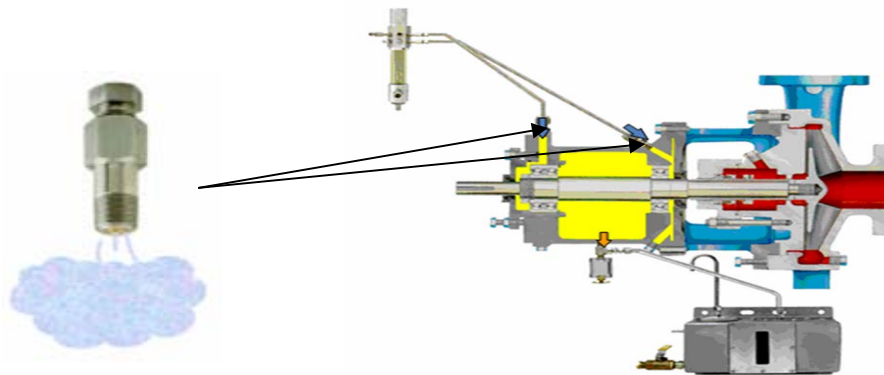


Figura N° 2.21 Arreglo para Niebla pura.

Aplicación

Aplicación de lubricante según **API 686RP, API610 y API 751RP**, en este caso aplican lubricación del tipo Elastohidrodinámica (EHD) a los siguientes equipos:

- Bombas centrífuga
- Motores eléctricos
- Turbinas de vapor
- Cajas de rodamientos

La diferencia entre la niebla de purgación y la neblina pura es el tipo de lubricación que ofrecen, mientras que la primera es una lubricación hidrodinámica, especial para equipos con cojinetes, La segunda ofrece una lubricación del tipo elastohidrodinámica, especial para equipos con rodamientos.

2.5.3. Normatividad de Oil Mist

El API (American Petroleum Institute) publicó desde hace ya varios años, Estándares y Prácticas Recomendadas para la Industria del Petróleo y Gas, sobre la utilización de la niebla de Aceite en equipos dinámicos, así como directrices a los fabricantes de equipo para poder ser lubricados por niebla, las cuales continúan vigentes y aplicables,. (API 610, API 686 RP y API 751 RP). Hoy en día el API mantiene más de 500 estándares y prácticas recomendadas que cubren todos los segmentos de la Industria del Petróleo y Gas.

La norma Americana Petroleum Institute API-610 en su séptima y octava edición 1998 y la Organización internacional para la estandarización ISO 13709 específica para los fabricantes que se deben hacer los suministros para cualquiera de

los dos sistemas de lubricación por niebla pura o purga (como se muestra en la Figura N° 2.22), y cubrir los requerimientos de la especificación. El sistema de lubricación por neblina es apto para bombas centrífugas en industrias del petróleo, petroquímicas y gas natural

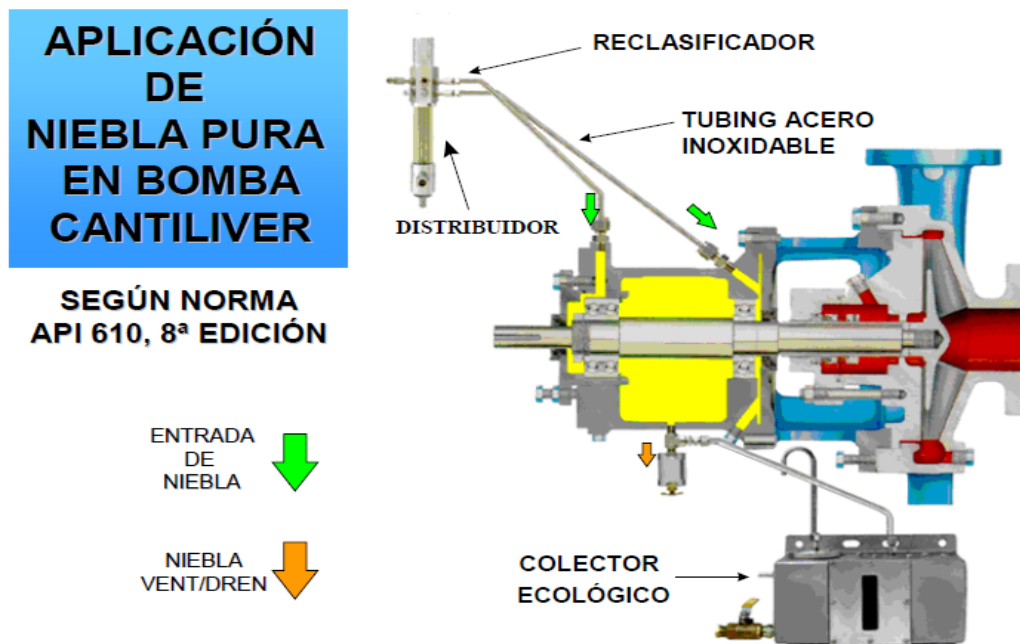


Figura N° 2.22 Bomba API 610 8^{va}, 9^{na} Edición, Corte transversal de la bomba^[6]

2.5.4. Ventajas de un sistema de lubricación por niebla de aceite.

Entre las ventajas de un sistema de lubricación por neblina de aceite se encuentran:

- 1) Mayor disponibilidad (corridas más largas en hrs. máquina) del equipo crítico.
- 2) Reduce el coeficiente de fricción 25%, por lo cual reduce el consumo energía eléctrica.
- 3) Reduce la temperatura de la caja de rodamientos 12 °C en promedio por lo que elimina la necesidad del agua de enfriamiento en las cajas de los rodamientos, según API 610.

- 4) Extiende la vida útil de los aceites, generando ahorros de 90%.
- 5) Aumenta la vida útil de los rodamientos hasta 6 veces.
- 6) Reduce los costos de mantenimiento correctivo aproximadamente en un 60%.
- 7) Ahorro en el control y manejo de los lubricantes.
- 8) Promueve el desarrollo de una cultura ambiental y la superación del factor humano al asimilar nuevas tecnologías.
- 9) La automatización reduce la exposición innecesaria del personal a vapores tóxicos (H₂S, HF, Hidrocarburos, etc.) por disminuir rutinas de lubricación y mantenimiento, evitando el error humano.
- 10) No tener prácticamente límite en distancia de equipos a lubricar; Se pueden hacer instalaciones hasta de 100 mts desde el grupo de generación de niebla.
- 11) Poder atomizar aceites de una viscosidad muy elevada (hasta 60 °C a 50 °C).
- 12) Tener un reducido consumo de aire comprimido.
- 13) Lubricar siempre con aceite nuevo y limpio: Es imposible que en las partículas de aceite de la niebla se transporten impurezas ya que su atomización es inferior a 2 micras.
- 14) Generar una pequeña presión dentro del cojinete (entre 20 y 60 mm.c.a) que garantiza la no entrada desde el exterior de partículas perjudiciales.
- 15) Reduce desperdicios energéticos por fricción y vibraciones innecesarias de los tribosistemas mecánicos.
- 16) Se aplica la mejor técnica disponible para una lubricación elastohidrodinámica de rodamientos antifricción, mejorando el diseño de los tribosistemas mecánicos (bombas centrífugas) siguiendo las recomendaciones API 610, API 686 RP y API 751 RP.
- 17) Se aplican a sistemas ampliamente probados en todo el mundo por empresas de clase mundial con garantía incondicional. Por su impacto integral los beneficios económicos obtenidos son muy altos siendo autofinanciables.
- 18) Centros de Servicio y respaldo técnico total durante la operación del sistema.

2.6. FLUJO DE FLUIDO MONOFASICO EN TUBERIAS. Cálculo de un sistema de Tuberías.

2.6.1. Ecuación de Bernoulli

El teorema de Bernoulli establece que la suma de las presiones estáticas y dinámicas en un punto flujo arriba, es igual a la suma de las presiones estáticas y dinámicas mas las pérdidas por fricción y dinámicas en un punto flujo abajo (ver Ecuación N° 2.1). El cálculo de un sistema de tuberías está basado en la determinación de las velocidades en los ramales, los diámetros y las pérdidas de presión del sistema.

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{(V_1)^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{(V_2)^2}{2g} + Z_2 + H_f + H_m \quad \text{Ecuación N° 2.1.}$$

Donde:

P_1 = Presión del fluido (N/m ²)	Z = Altura geodésica (m)
V = Velocidad del fluido (m/s)	g = Aceleración de gravedad (9.81 m/s ²)
H_f = Pérdidas por primarias (m)	H_m = Pérdidas secundarias (m)
γ = Peso específico del fluido (N/m ³)	

2.6.2. Ecuaciones de Pérdidas en las tuberías

Cuando el fluido se mueve en el interior de una tubería se producen pérdidas de carga las cuales: pueden ser primarias y secundarias. Las pérdidas son las pérdidas de superficie en el contacto con la tubería (Capa limite), rozamiento de unas capas de fluido con otras (régimen laminar) o de las partículas entre sí (régimen turbulento). Las Pérdidas secundarias son las pérdidas de forma, que tienen lugar en las transiciones (estrechamientos o expansiones de la corriente), codos válvulas y toda clase de accesorio. Para las pérdidas primarias se observa la ecuación de Darcy

Weisbach (ver ecuación N° 2.2) y su homóloga de uso universal para pérdidas menores y para pérdidas menores (ver ecuación N° 2.3).

$$H_f = \frac{fxLV^2}{2xDxg} \quad \text{Ecuación N°2.2.}$$

Donde:

H_m = Pérdidas primarias (m) g = Aceleración de gravedad (9.81 m/s²)
 f = Factor de fricción. V = Velocidad del Fluido (m/s)
 L = Longitud de la tubería (m) D = Diámetro de la tubería (m)

$$H_f = \sum Kx \frac{V^2}{2xg} \quad \text{Ecuación N°2.3}$$

Donde:

H_f = Pérdidas secundarias (m) K = Constante de pérdidas por accesorios
 V = Velocidad del Fluido (m/s) g = Aceleración de gravedad (9.81 m/s²)

2.6.3. Ecuación de Colebrook y Pouiseuille para el cálculo del factor de fricción.

El factor de fricción f no se posee sin dimensiones y tiene relación con respecto al material de la tubería (por ejemplo, PVC, Fe, acero inoxidable, concreto, etc) y estará en función de (Re, D, ε). Segunda fórmula de Karman - Prandtl y la ecuación de Colebrook White. En una zona de transición en que $f = F(\text{Re}, \varepsilon/D)$, se cumple la ecuación de Colebrook White (ver Ecuación N° 2.4). ε

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2x \log \left[\frac{\varepsilon/D}{3.7} + \frac{2.51}{\text{Re} x \sqrt{f}} \right] \quad \text{Ecuación N° 2.4}$$

Donde:

f = Factor de fricción. D = Diámetro de la tubería (m)
 ε = Rugosidad absoluta (m) Re = Numero de Reynolds.

Si el régimen del fluido es totalmente laminar utilizamos la ecuación de Pouiseuille la cual indica que:

$$f = \left[\frac{64}{\text{Re}} \right] \quad \text{Ecuación N° 2.5}$$

2.6.4. Número de Reynolds (Re)

El número de Reynolds es un parámetro adimensional utilizado en mecánica de fluidos, para caracterizar el movimiento de un fluido. En él se combinan tres parámetros en un solo parámetro conocido como el número de Reynolds (Re), con el cual se puede predecir el régimen de flujo dentro de tuberías.

- si $\text{Re} \leq 2000$ el flujo será laminar
- si $2000 < \text{Re} < 4000$ el flujo se encontrará en transición
- si $\text{Re} \geq 4000$ el flujo será turbulento [8]

$$\text{Re} = \frac{DxVx\rho}{\mu} = \frac{DxV}{\nu} \quad \text{Ecuación N° 2.6.}$$

Donde:

μ = Viscosidad del fluido (N*s/m²) Re = Numero de Reynolds.

ν = Viscosidad cinética

2.7. BOMBAS CENTRIFUGAS

Una bomba centrífuga es un tipo de bomba hidráulica que transforma la energía mecánica de un impulsor rotatorio llamado rodete o impulsor, en energía cinética y potencial requerida en el fluido. El fluido entra por el centro del rodete, que dispone

de unos álabes para conducir el fluido, y por efecto de la fuerza centrífuga es impulsado hacia el exterior, donde es recogido por la carcasa o cuerpo de la bomba, que por la forma de su contorno lo conduce hacia la salida o hacia el siguiente rodete.

Los estándares de fabricación de bombas más utilizados son: API 610 o su equivalente ISO 13709 y ANSI B.73.1 (Instituto Nacional Americano de Estándares). Todas las bombas de la planta FCC son fabricadas bajo la norma API 610, las cuales hasta los momentos cuentan con 10 ediciones publicadas. La norma API 610 clasifica las bombas en tres tipos:

2.7.1. Bombas en cantiliver u Overhung

En estas bombas el elemento eje-impulsor (un solo impulsor) es soportado en un extremo o centro del mismo (ver figura N° 2.23). Estas bombas pueden ser: horizontales soportada en pie (OH1), soportada en línea entre centros (OH2) o vertical en línea (OH3, OH4, OH5).



Figura N° 2.23 Tipos de Bombas En Cantiliver: A) Montada en pie (OH1), B) Montada en línea (OH2) y C) vertical en línea (OH3) ^[5]

2.7.2. Bombas entre Rodamientos

En esta bomba API, consta de uno o varios impulsores estando el elemento eje-impulsor soportado por ambos extremos del mismo. Pueden ser: de 1 o 2 etapas

partida axialmente (tipos BB1 ver figura N° 2.24) o partida Radialmente (BB2), multietapas partida axialmente (BB3) y multietapas partida radialmente (BB4 y BB5).



Figura N° 2.24 Bomba entre rodillos. A) Tipo BB1 B) Tipo BB2 ^[5]

2.7.3. Bombas Centrifugas Verticales suspendidas:

Los tipos de bombas verticales van a depender del tipo de carcasa:

- De Carcasa Simple : De difusor (VS1, ver figura N° 2.24), De Voluta (VS2), Flujo axial (VS3), En línea (VS4), Suspendida o Cantiliver (VS5)
- De Doble Carcasa : De difusor (VS6), De Voluta (VS7)

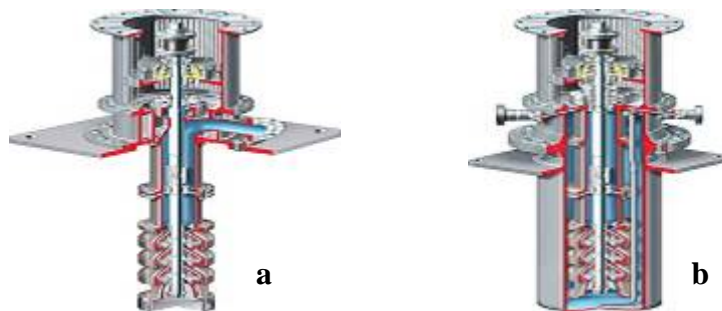


Figura N° 2.25 Bombas verticales. a) Tipo VS1 b) Tipo VS2. ^[5]

2.8. MOTORES ELÉCTRICOS

Un motor eléctrico es una máquina eléctrica que transforma energía eléctrica en energía mecánica por medio de interacciones electromagnéticas (ver figura N° 2.26).

El más usado en la industria hoy en día es el motor de inducción en los que el rotor nunca llega a girar en la misma frecuencia con la que lo hace el campo magnético del estator. Cuanto mayor es el par motor mayor es esta diferencia de frecuencias, los cuales están constituidos principalmente por un rotor, un estator o inducido, elementos de soporte (rodamientos o cojinetes), tapas, ventilador, caja de conexión. Pueden ser lubricados por grasa, por anillos, por circulación forzada y neblina de aceite.

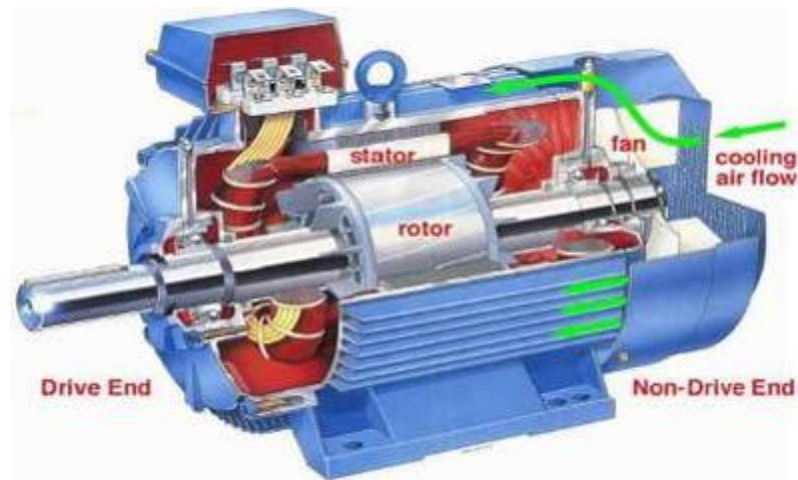


Figura N° 2.26 Vista interior de un Motor eléctrico ^[5]

2.9. PIPEPHASE ® (Simulador comercial).

2.9.1. Descripción

PIPEPHASE es un programa de simulación, una herramienta flexible para la evaluación de fenómenos flujo de fluidos encontrados en una sola fase y multifásicos en tuberías, en redes de gas y petróleo y sistemas de canalización y de transporte. En el que se puede trabajar con modelos de análisis sencillos de los parámetros de una pequeña red o tramo de tubería como en la red de tubería de un campo entero.

PIPEPHASE cubre la gama completa de los fluidos encontrados en la industria del petróleo, incluyendo una sola fase o petróleo, así como la composición de las mezclas. El programa también puede ser aplicado a un solo componente de vapor.

2.9.2. Aplicaciones

La combinación de riguroso análisis de flujo multifase, junto con una amplia capacidad de predicción de propiedad termodinámica PIPEPHASE hace adecuadas para una amplia gama de aplicaciones, incluyendo:

3. Transporte y distribución de tuberías de gas natural.
4. Análisis nodal.
5. Línea de calibrado.
6. Redes de inyección de vapor.
7. Análisis para la transferencia de calor a oleoductos pesado.
8. Análisis de la Corriente de tubería

CAPITULO III. MARCO METODOLOGICO

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Para el desarrollo de este proyecto aplica el criterio de una investigación mixta. Inicialmente se aplica una investigación documental la cual consistió en una profunda investigación sobre el tema que se estudiaba por medio de la revisión bibliográfica con el propósito de crear una base teórica que sirviera para la realización del trabajo como conceptos de términos, normas a utilizar, antecedentes del proyecto y cualquier otra información útil que ayude a la solución del problema planteado. Y posteriormente una investigación de campo, ya que el proyecto se desarrolló en la Refinería de Puerto La Cruz en la Unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado (FCC), la unidad de Bencina y visitas a plantas de Hidroprocesos, con el fin de recolectar todos los datos de los equipos, la planta y sistemas de lubricación necesarios para la realización del proyecto

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1. Población

La población objeto de estudio está conformada por los equipos rotativos de la unidad de Craqueo Catalítico Fluidizado (FCC) de la refinería puerto la cruz.

3.2.2. Muestra

Para realizar el proyecto no se tomó en cuenta la población en su totalidad, sino que

se seleccionó una muestra de manera intencional que cumpliera con las condiciones necesarias para el desarrollo del trabajo.

3.3. TÉCNICAS UTILIZADAS

3.3.1. Técnicas de Investigación

3.3.1.1. Revisión documental

Implicó una búsqueda minuciosa de información que fuese de utilidad para el desarrollo del trabajo, a través de esta técnica se determinaron las normas a utilizar para el diseño del sistema de lubricación por neblina se establecieron los criterios y condiciones adecuadas para la instalación de este sistema a los equipos rotativos, y toda la información teórica necesaria para el desarrollo del proyecto.

3.3.1.2. Observación directa

Se utilizó para recolectar información de los equipos en estudio directamente en el área de operación, unidad de FCC y bencina, para recopilar información actualizada de sus condiciones. Se utilizó la ayuda del personal de operaciones de la planta para realizar esta técnica

3.3.1.3. Entrevistas y consultas con el personal

La información aportada por el personal tanto de operación de la planta de FCC, Unidad de Bencina y Plantas de Hidroprocesos, personal de taller Mecánico y Eléctrico permitió conocer y consultar información sobre los equipos en estudio y el sistema de lubricación que actualmente poseen, información sobre el sistema de

lubricación por neblina pura de aceite y recomendaciones para la aplicación del mismo a los equipos rotativos, puesto que se carecía de información documentada

3.3.2. Técnicas de procesamiento de datos

3.3.2.1. Registro de datos en campo

Para la recopilación de datos en campo se desarrollaron tablas de recolección (Ver Apéndice “A” Tablas A7, A8) con un formato de fácil llenado con la finalidad de adquisición de ciertos parámetros necesarios, de los equipos rotativos, para el desarrollo del diseño de instalación del sistema de lubricación por neblina pura de aceite a los equipos rotativos, entre estos parámetros se encontraba: el tipo de lubricante, punto de inyección de lubricante, edición API de la bomba.

3.3.2.2. Manejo de Programas de Computación

Estos elementos además de agilizar los cálculos y el procesamiento de la información, fueron útiles a la hora de presentar los resultados en forma más ordenada. En esta investigación se utilizó: Microsoft Word, Excel, Autocad, PIPEPHASE

3.4. PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO

El desarrollo de este trabajo se realizó basándose en una investigación en campo. Para el desarrollo de este trabajo fueron ejecutados unas series de actividades que permitieron diseñar la instalación de un sistema de lubricación por neblina pura de aceite para los equipos rotativos de la unidad de FCC de la Refinería de Puerto La Cruz para las condiciones actuales de los equipos rotativos y la planta en general. Las fases desarrolladas en este estudio se muestran en la Figura N° 3.1, y se describen a continuación:

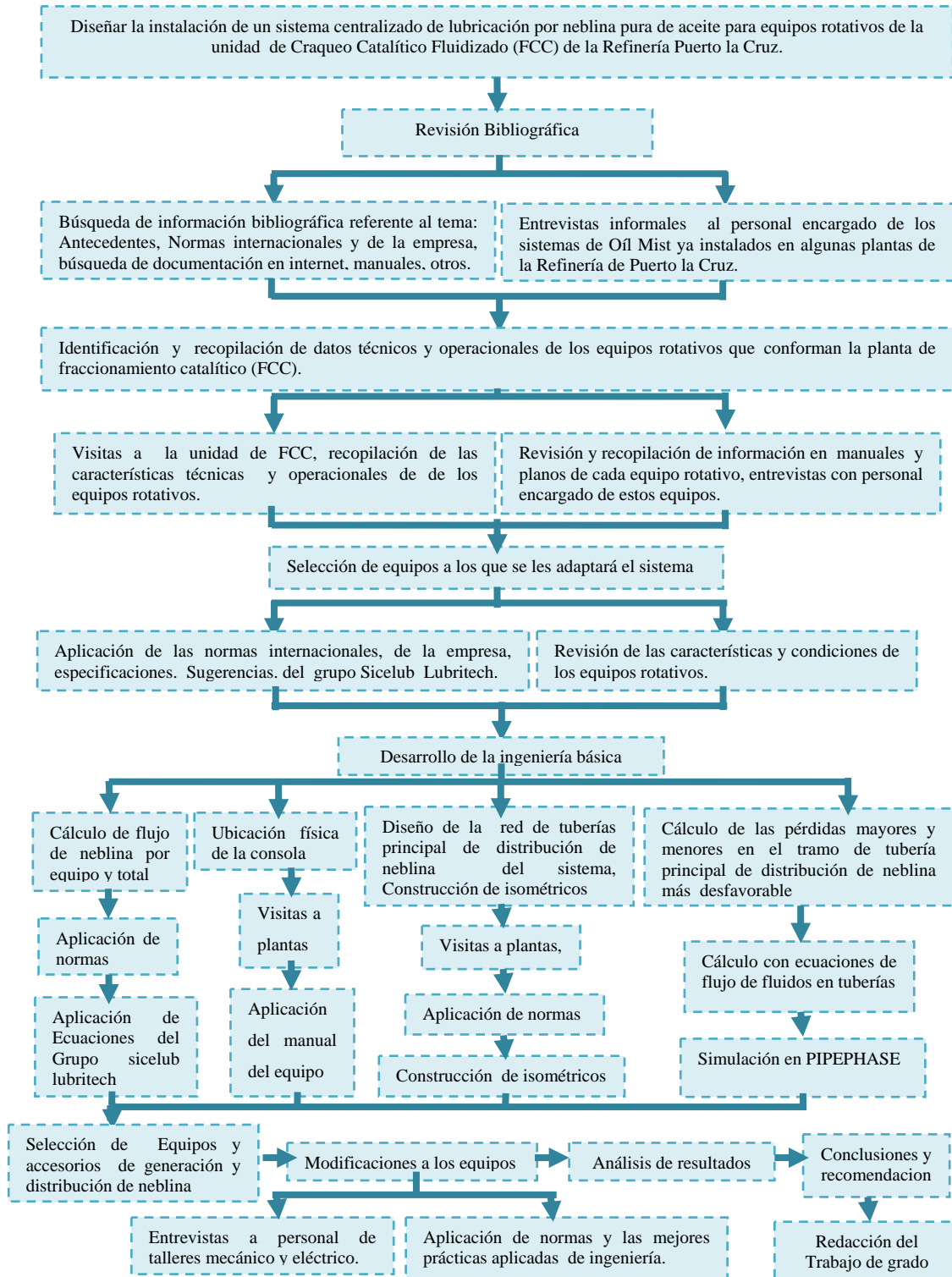


Figura N° 3.1 Diagrama de flujo del desarrollo del trabajo.

3.5. ETAPAS DE LA INVESTIGACION

3.5.1. Revisión bibliográfica.

En esta primera etapa del proyecto se realizó la búsqueda y recopilación de toda información necesaria sobre el sistema centralizado de lubricación por neblina pura de aceite, mediante el uso del Internet, libros, manuales, normas nacionales e internacionales, tesis, publicaciones científicas y aquellos documentos técnicos que contenían información importante para el desarrollo y ejecución del proyecto.

3.5.2. Identificación y recopilación de datos técnicos y operacionales de los equipos rotativos que conforman la planta de fraccionamiento catalítico (FCC).

En esta etapa se corroboró la existencia de los equipos rotativos y su actual funcionamiento, para lo que se investigaron sus datos operacionales, técnicos y de diseño en los manuales de cada equipo y base de datos de la empresa, validando y recopilando la información faltante en planta.

Aparte de los aspectos antes mencionados la empresa, PDVSA, facilitó los historiales de fallas (ver apéndice B) de los equipos rotativos de planta en un periodo de 3 años, para verificar los tipos de fallas presentes en los diferentes tipos de equipos rotativos justificando la necesidad del mejoramiento del sistema de lubricación actual teniendo como una opción la instalación del sistema de lubricación por neblina de aceite.

La unidad de Bencina es una planta que queda cercana a la Unidad de FCC, (cerca de 30 m). Es una planta pequeña y contiene poco equipos rotativos por lo que la empresa sugirió que se tomara en cuenta en el diseño del sistema centralizado de lubricación por neblina de aceite.

3.5.3. Selección de equipos a los que se les adaptará el sistema.

En esta etapa se pudo definir los equipos rotativos que cumplen con las características mínimas para la adaptación del sistema de lubricación por neblina pura de aceite, tomando en cuenta las normativas de la empresa, las especificaciones del Grupo Sichelub Lubritech, fabricantes de accesorios y consola de generación del sistema de lubricación por neblina de aceite y clasificar cada equipo con las normas API para saber qué tipo de lubricación por neblina le correspondía.

Según las normas API 686, API 610 y 751 RP se recomienda la aplicación de los sistemas centralizado de lubricación por neblina pura de aceite a los siguientes equipos rotativos:

- Bombas Centrifugas.
- Motores Eléctricos
- Turbinas a vapor

El sistema centralizado de lubricación por neblina pura de aceite es del tipo de Lubricación Elastohidrodinámica por lo que otro requisito para la selección es:

- Equipos con Cojinetes antifricción o Rodamientos.

Se recopilaron las características básicas más importantes que debían cumplir los equipos rotativos para poder instalarles el sistema de Lubricación por neblina de aceite. Todo esto según las normas y especificaciones de la empresa, PDVSA, y sugerencias del Grupo Sichelub Lubritech, fabricantes de accesorios y consola de generación del sistema de lubricación por neblina de aceite, las cuales se muestran a continuación:

- Equipos que no contengan otro tipo de sistema de lubricación centralizada
- Equipos rotativos con ejes horizontales, No se les aplica lubricación por neblina de aceite a equipos verticales puesto que por efecto de gravedad la neblina condensada podría causar daño, por ejemplo en el caso de los motores la neblina condensada puede entrar, por la holgura que hay entre las tapas de los rodamiento y el rotor entrando al Estator y dañar el Embobinado.
- Los motores deben tener orificios de entrada y salida de grasa o aceite tanto del lado motriz como el lado no motriz con ángulos de inclinación de 90° o 60° grados. En caso de tener las tapas de la carcasa completamente cerrados o motores con entrada y salida de lubricante con ángulos de inclinación de 180°; no se consideraran para el estudio.
- Motores con una generación mayor o igual a 15 Hp.
- Equipos que manejen velocidades mayores o iguales a 3600 RPM
- Bombas API 610 de 7^{ma} Edición en adelante, en caso contrario bombas que tengan espacio disponibles para modificaciones que se requieran (retrofitting).

3.5.4. Desarrollo de la ingeniería básica

En esta etapa se realizó la ingeniería básica la cual representa la parte de diseño como tal puesto. En esta se realizó: el cálculo de flujo de neblina total y por cada equipo rotativo; Ubicación física de la consola generadora, diseño de la red de tubería con sus respectivos isométricos; El cálculo de las pérdidas mayores y menores en el tramo de tubería principal más desfavorable y selección de los equipos y accesorios de distribución y generación de neblina. Para ello fue necesario el uso de las ecuaciones pertinentes en cada caso, recomendaciones del Grupo Sicelub Lubritech, las normas PDVSA y otras aplicables a este tipo de sistema de lubricación, el uso de

PIPEPHASE para validar los resultados obtenidos, seleccionando los equipos y accesorios de generación y distribución de neblina.

3.5.5. Modificaciones a los equipos rotativos para la instalación de la lubricación por neblina de aceite.

En esta etapa se recopilamos todos los planos de los equipos rotativos que cumplieron con las características para la adaptación sistema de lubricación por neblina pura de aceite, para proponer las modificaciones, considerando las normas API 610, normas de PDVSA y la opinión personal de talleres de la empresa. De la información documentada se encontró la de los Retrofitting. **El Retrofitting** significa retroadaptación y consiste en realizar modificaciones a equipos con tecnologías obsoletas, a fin de adaptarlos a nuevas tecnologías. En nuestro caso, por ejemplo, los retrofitting que se le realizan a las bombas diseñadas bajo una norma API 610 menor a la séptima edición, se centran en modificar las tapas de las carcasas de las bombas para adaptarles el sistema de lubricación por neblina pura de aceite, utilizando agujeros que permitan el acceso a los rodamientos o perforando las carcasa. A continuación presentamos algunos retrofitting según el tipo de bomba:

- Para una bomba con ANSI o API 610 de las especificaciones hasta la 6^a edición, con cojinetes antifricción (Rodamientos) y un funcionamiento a 3600 RPM, se debe perforar un agujero de 1/4" en el centro del soporte del cojinete usado originalmente para el relleno del aceite. De esta manera la niebla reclassificada fluirá dentro de la cubierta, a través de los cojinetes. (Véase figura N° 3.2) De modo que la niebla fluya dentro y alrededor de la cubierta. Primero debe pasar a través de los cojinetes y el sello montado del eje, en estos casos se recomienda la colocación de reclassificadores direccionales.

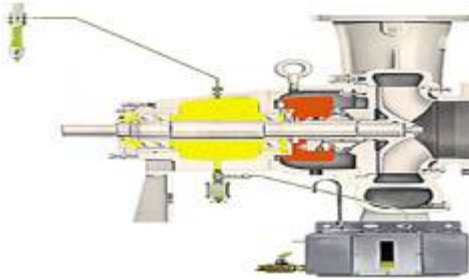


Figura N° 3.2 Bomba API hasta 6ta Edición. ^[6]

- En el caso de una bomba construida según las especificaciones del API 610, anteriores a la 8^{va} edición y que según las condiciones de funcionamiento requieran asegurar la lubricación correcta, se recomienda la incorporación de un segundo punto de inyección de 1/4" en el rodamiento de empuje o cojinete axial. Esta entrada de la niebla se pone en el extremo del soporte del cojinete según las indicaciones de la figura N° 3.3, con su respectivo reclasificador para cada lado.

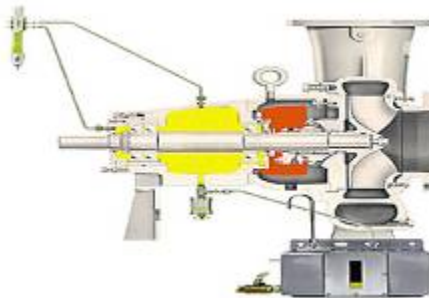


Figura N° 3.3 Bomba API anteriores a 8^{ta} Edición. ^[6]

- Bombas del tipo "BB", estas poseen rodamientos de lados opuestos por lo que la entrada y salida de neblina de 1/4" debe hacerse a ambos lados. En estas bombas se debe asegurar que la neblina atraviese los rodamientos, como en los casos anteriores, por lo que es necesario en este tipo de bombas el uso de reclassificadores direccionales, véase figura N° 3.4

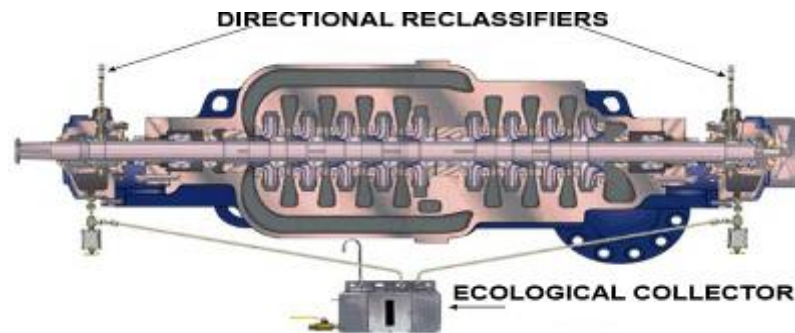


Figura N° 3.4 Bomba tipo BB. [6]

- Las Bombas construidas bajo especificaciones de la 8va edición de la ISO 13709 o del API 610 y más adelante; ya poseen dos agujeros de $\frac{1}{4}$ ". Los agujeros de entrada de neblina pura se encuentran en la tapa de cada soporte del cojinete y de un agujero del drenaje perforado en el centro de la parte inferior de la cubierta de la bomba. Estas bombas se diseñan específicamente para ser lubricadas por la niebla y no tienen un nivel, ni el anillo de aceite. La niebla del lubricante se inyecta con dos reclassificadores, cada uno dentro en los agujeros entre las cubiertas y hasta los rodamientos (véase la figura N° 3.5). Esto garantiza que la niebla atraviese los rodamientos hasta las salidas a través del drenaje en la parte inferior de la cubierta.

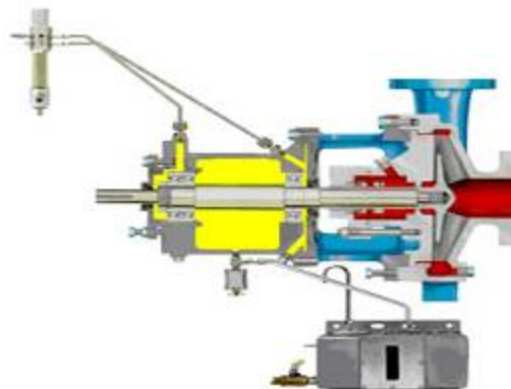


Figura N° 3.5 bomba API 8^{va} Edición [6]

Todas las bombas que son anteriores a 8^{va} edición siempre que cuente con el espacio necesario para realizar la perforación en la parte superior de la carcasa en el lado axial, debe llevarse al diseño de bombas de API 610 de la 8^{va} edición de manera de garantizar una mejor lubricación y garantizando que la neblina cruce el rodamiento.

En el año 2000, API en su 8^{va} Edición recomendó que la neblina se inyecte entre los cojinetes aisladores en la medida, porque aplicando la neblina en la mitad de la carcasa, como se venía haciendo las modificaciones (ver figura N° 3.6), se debía colocar más cantidad de neblina de la requerida, para compensar la pérdida de neblina que ocurría en el trayecto hacia los rodamiento por el aumento de las gotitas de aceite las cuales al condensar caían al final del reservorio

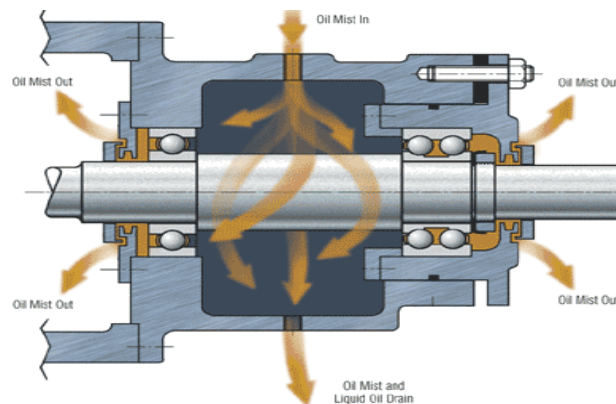


Figura N° 3.6 Retrofitting antes de API 610 8^{va} Edición. [6]

La información de las modificaciones de los motores y turbinas que deben realizárseles para la instalación del sistema de lubricación por neblina pura de aceite se encontraba documentada en reportes de ciertas experiencias probadas en la ingeniería a nivel mundial, la cual fue consultada con el personal del taller para verificar si era aplicable a los motores, dichas modificaciones se muestran en el próximo capítulo.

CAPITULO VI. DESARROLLO DEL PROYECTO

4.1. Identificación y recopilación de datos técnicos y operacionales de los equipos rotativos que conforman la planta de fraccionamiento catalítico (FCC)

4.1.1. Identificación de los equipos rotativos que conforman la planta de fraccionamiento catalítico (FCC)

Inicialmente para el desarrollo del proyecto fue necesario la búsqueda de información de todos los equipos rotativos que integran la planta de fraccionamiento catalítico y la planta Bencina, para esto fue necesario realizar visitas a planta, revisar los manuales y planos de planta para corroborar la existencia de los equipos y su actual funcionamiento.

En las tablas N° 4.1 y 4.2 se indican todos los equipos rotativos que conforman la unidad de fraccionamiento catalítico y Bencina, en donde se muestra el servicio que prestan, la identificación y el tipo de equipo.

Los 104 equipos mencionados se encuentran actualmente en funcionamiento. A este estudio fueron anexados los equipos rotativos de la Unidad de bencina por sugerencia de la empresa (ver tabla N° 4.2). Es una planta perteneciente a la Unidad de Destilación Atmosférica 2 (DA-2) y se encuentra Anexa a la unidad de FCC.

Tabla N° 4.1 Lista de Equipos Rotativos de la Unidad de FCC

TAG	Nombre y Servicio	Tipo
J-1-01/C1	Compresor J-1, Soplador De Aire	COMPRESOR
J-1-01/M1	Motor de la Bomba Auxiliar de Aceite del sistema de lubricación a J-1	MOTOR
J-1-01/T1	Turbina J-1 del Soplador de aire J-1	TURBINA
J-3-01/B1	Bomba de Reflujo De Slurry	BOMBA
J-3-01/T1	Turbina de bomba de Reciclo De Slurry J-3	TURBINA
J-3A-01/B1	Bomba Auxiliar de Reflujo De Slurry (Auxiliar de De J-3-01)	BOMBA
J-3A-01/T1	Turbina de bomba auxiliar de Reflujo De Slurry J-3A	TURBINA
J-4-01/B1	Bomba de Reciclo De Slurry	BOMBA
J-4-01/T1	Turbina de bomba Reciclo De Slurry	TURBINA
J-4A-01/B1	Bomba auxiliar de Reciclo De Slurry (Auxiliar de De J-4-01)	BOMBA
J-4A-01/T1	Turbina de bomba auxiliar de Reciclo De Slurry J-4A	TURBINA
J-5-01/B1	Bomba Aceite Decantado	BOMBA
J-5-01/M1	Motor Bomba Aceite Decantado J-5	MOTOR
J-6-01/B1	Bomba De Aceite Catalítico Pesado	BOMBA
J-6-01/M1	Motor Bomba Aceite Catalítico Pesado, J-6	MOTOR
J-6A-01/B1	De Reflujo Y Reciclo (Aux. J-6/ Aux. J-51)	BOMBA
J-6A-01/T1	Turbina Reciclo Inter R (Aux. J-6)	TURBINA
J-7-01/B1	De Gas Oil Liviano	BOMBA
J-7-01/M1	Motor De La Bomba Aceite Liviano	MOTOR
J-7A-01/B1	Gas Oil Liviano (Aux. J-7-01)	BOMBA
J-7A-01/T1	Turbina De Bomba Gas Oil Liv. (Aux. J-7)	TURBINA
J-8-01/B1	Destilado De Fraccionador	BOMBA
J-8-01/M1	Motor De Bomba J-8 Gasolina Cruda	MOTOR
J-8A-01/B1	Bomba J-8 A Dest. Fracc	BOMBA
J-8A-01/T1	Turbina Dest. De Fracc. (Aux. J-8)	TURBINA
J-12-01/C1	Compresor De Gas	COMPRESOR
J-12-01/T1	Turbina Compresor J-12	TURBINA
J-13-01/B1	Bomba Vertical. Fondo F-4. Setter Liquid Pump	BOMBA
J-13-01/M1	Motor Bomba Fondo F-4.Setter Liquid Pump	MOTOR
J-14-01/B1	Bomba Centrifuga Horizontal	BOMBA
J-14-01/M1	Motor Electrico J-14	MOTOR
J-14A-01/B1	Bomba Centrifuga Horizontal (Aux. J-14/ J-14B)	BOMBA
J-14A-01/T1	Turbina De La J-14A	TURBINA
J-14B-01/B1	Recirculacion Torre E-3	BOMBA
J-14B-01/M1	Motor Elect.Bomba. Recir.Torre E-3	MOTOR
J-15-01/B1	Bomba J-15, De Gasolina Al Tope De E-3	BOMBA
J-15-01/M1	Motor J-15 De Gasolina Debutanizada	MOTOR
J-15A-01/B1	Aux. De J-15	BOMBA

J-15A-01/T1	Turbina J-15A, Aux. De Liq. Asentado	TURBINA
J-16-01/B1	Bomba Reflujo Y Producto Del Debutan.(Aux. J-16S)	BOMBA
J-16-01/T1	Turbina Bomba J-16	TURBINA
J-16A-01/B1	Bomba Refl. Y Prod. Debutan. (Aux. J-16, Aux. J-8)	BOMBA
J-16A-01/T1	Turbina De Bomba J-16A	TURBINA
J-16S-01/B1	Bomba Reflujo De Olefina a Alki, Al Tope E-5	BOMBA
J-16S-01/T1	Turbina Bomba J-16S	TURBINA
J-18-01/B1	Bomba De Diesel y Aceite Pobre	BOMBA
J-18-01/M1	Motor De Bomba De Diesel y Aceite Pobre	MOTOR
J-19-01/B1	De Agua Condensada	BOMBA
J-19-01/M1	Motor Bomba De Condensado J-19	MOTOR
J-19A-01/B1	Bomba De Agua Condensada. (Aux. De J-19)	BOMBA
J-19A-01/T1	Turbina Agua Conden. Aux. De La J-19	TURBINA
J-20-01/B1	Bomba De Agua Enfriamiento	BOMBA
J-20-01/T1	Turbina De Bomba Agua Enfriamiento	TURBINA
J-20A-01/B1	Bomba J-20A, De Agua Enfriamiento. (Aux. J-20)	BOMBA
J-20A-01/T1	Turbina De Bomba Agua Aux. De La J-20	TURBINA
J-25A-01/B1	Manejo Aguas Agrias F-2A	BOMBA
J-25A-01/M1	Motor Elect.Bomba J-25A Aguas Agrias F-2A	MOTOR
J-25B-01/B1	Manejo Aguas Agrias Al F-2A	BOMBA
J-25B-01/M1	Motor Elect.Bomba J-25B Aguas Agrias F2A	MOTOR
J-50-01/B1	De Carga Fresca	BOMBA
J-50-01/M1	Motor De Bomba De Carga Fresca, J-50	MOTOR
J-50A-01/B1	De Carga Fresca. (Aux. J-50)	BOMBA
J-50A-01/T1	Turbina Carga Fresca, Aux J-50A	TURBINA
J-51-01/B1	De Gas Oil Liviano	BOMBA
J-51-01/M1	Motor De Bomba J-51 De Aceite Liviano	MOTOR
J-53-01/B1	Aceite Decantado (Aux. J-5)	BOMBA
J-53-01/M1	Motor Bomba J-53 De Aceite Decantado	MOTOR
J-55-01/B1	De Gasoil Pesado	BOMBA
J-55-01/M1	Motor De Bomba J-55 De Gasoil Pesado	MOTOR
J-60A-01/B1	Carga Inicial Gasoleo	BOMBA
J-60A-01/M1	Motor Elect.Bomba Carga De Gasoleo J-60A	MOTOR
J-60B-01/B1	Carga Inicial Gasoleo (Aux J-60A)	BOMBA
J-60B-01/M1	Motor Elect.Bomba Carga Gasoleo J-60B	MOTOR
J-99-01/B1	De Ciclo De Aceite Liviano	BOMBA
J-99-01/M1	Motor Bomba J-99 De Aceite Liviano	MOTOR
J-99A-01/B1	De Ciclo De Aceite Liv. (Aux. J-99)	BOMBA
J-99A-01/T1	Turbina Bomba J-99A	TURBINA
J-30-01/B1	Bomba J-30. Agua Con Trazas De H2S	BOMBA

J-30-01/M1	Motor Bomba De Agua H2S	MOTOR
J-31-01/B1	Bomba Agua Agria Residual De H2S.(Aux. J-30)	BOMBA
J-31-01/M1	Motor Bomba Agua Agria	MOTOR
J-32-01/B1	Bomba De Agua De Residuos H2S	BOMBA
J-32-01/M1	Motor Bomba Agua Agria, J-32.	MOTOR
J-52-01/B1	Bomba J-52. Gasolina	BOMBA
J-52-01/M1	Motor Bomba J-52 Fondo E-3	MOTOR
J-52A-01/B1	Bomba J-52A. Gasolina (Size 3X10X1/2)	BOMBA
J-52A-01/T1	Turbina J-52A	TURBINA
J-52B-01/B1	Gasolina (Aux J-13/ Aux J-52A)	BOMBA
J-52B-01/T1	Turbina Bomba J-52B.	TURBINA

Tabla N° 4.2 Lista de Equipos Rotativos de la Unidad de Bencina

TAG	Nombre y Servicio	Tipo
J-101-03/B1	Bomba Reflujo de Recirculación carga	BOMBA
J-101-03/M1	Motor de la Bomba J-101	MOTOR
J-102-03/B1	Bomba Recirculación del horno	BOMBA
J-102-03/M1	Motor Bomba J-102	MOTOR
J-102A-03/B1	Auxiliar de bomba J-102	BOMBA
J-102A-03/M1	Motor Bomba auxiliar J-102A	MOTOR
J-104-03/B1	Bomba Naftha	BOMBA
J-104-03/M1	Motor Bomba J-104	MOTOR
J-105-03/B1	Carga al tope de la unidad DA-2	BOMBA
J-105-03/M1	Motor Bomba J-105	MOTOR
J-105A-03/B1	Auxiliar de bomba J-105	BOMBA
J-105A-03/M1	Motor Bomba auxiliar J-105A	MOTOR
G-0302/B1	Recirculación de gasolina	BOMBA
G-0302/M1	Motor Bomba de Gasolina	MOTOR
G-0302A/B1	Auxiliar de La G0302	BOMBA
G-0302A/M1	Motor Bomba Auxiliar de La G0302	MOTOR

4.1.2. Recopilación de datos técnicos y operacionales de los equipos rotativos que conforman la planta de fraccionamiento catalítico (FCC)

Para llevar a cabo la recopilación de los datos técnicos y operacionales en primera instancia se revisó el ISP (Información de Seguridad de los Procesos), el cual contiene información de presión, temperatura y revoluciones de los diferentes

equipos, además de revisar los manuales de los equipos para la obtención de datos de diseño y planos de los equipos para así poder determinar las condiciones de servicio. Esto pudo ser validada en planta y en la base de datos de los equipos y repuestos de la empresa (SAP). Fue necesario realizar de forma continua visitas a la planta en busca de las otras características de los equipos como fueron los puntos de inyección de lubricante, tipo de lubricante utilizado, entre otras, toda esta información se muestran en tablas de la N° A1 a la A6 del apéndice “A”.

Se pudo recopilar satisfactoriamente los datos técnicos y operacionales de todos los equipos así como también algunas características que se requerían. La información que se muestran en las tablas N° A7 y A8 del apéndice A, es la más actualizada, en donde las características como la presión, temperatura, velocidad entre otras fueron tomadas en campo, puesto que aún cuando se encontraban en la base de datos de la empresa, se tiene el conocimiento que estos equipos poseen años de operación, ya que desde los inicios de la planta, año 1950 hoy en día siguen operando, mientras que se pudo confirmar la información conocida.

La empresa facilitó los historiales de fallas de los equipos rotativos de la unidad de FCC en un período 3 años (ver tablas de la N° B3a la B5 del apéndice B), con los que se construyó el gráfico del porcentaje de falla por tipo de equipo rotativo de esta unidad y se muestra en la figura N° 4.1.

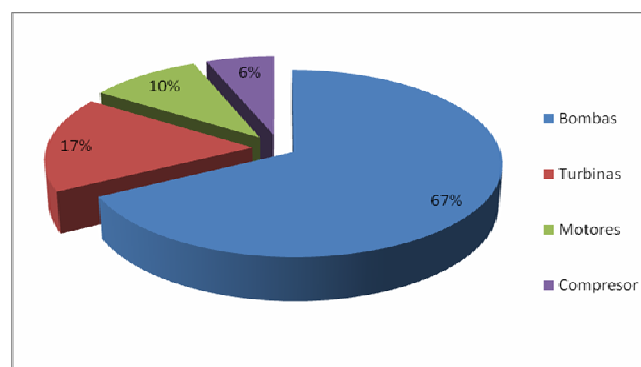


Figura N° 4.1 Porcentaje de falla por tipo de equipo rotativo de la Unidad FCC.

En este gráfico se puede observar claramente que el menor porcentaje de las fallas se encuentran en los compresores, J-12 y J-1, los cuales son los equipos más críticos de la unidad de FCC, la falla de estos equipos representa la parada de la planta. Siendo las acciones de emergencia la recirculación del gasóleo atmosférico que entra a la planta creando un efecto en cascada y bajando la producción de la refinería en general. Estos equipos tienen un sistema de lubricación forzada y recientemente la colocación de un sistema de diálisis para la eliminación de agua en el aceite del sistema de lubricación.

También se observa que el mayor porcentaje de las fallas se presentan en las bombas por lo que nuestra atención se centrará inicialmente en las bombas. Se tomaron los tipos de fallas presentes en estos equipos y se construyó El gráfico mostrado en la figura N° 4.2.

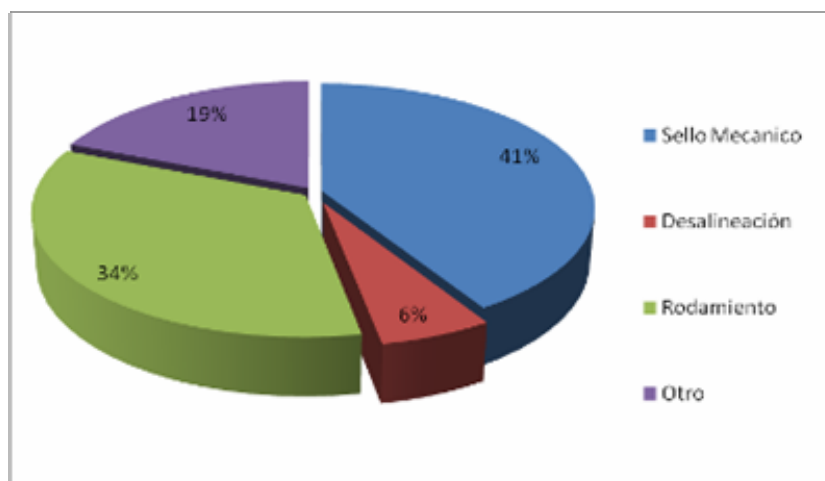


Figura N° 4.2 Tipo de Fallas en las bombas centrífugas de la Unidad FCC.

En el gráfico se observa que el 34% de las fallas se presentan en los rodamientos, aunque es la segunda causa de fallas de las bombas representa un porcentaje significativo. Como no se puede asumir que todas las fallas por rodamientos están asociadas a la lubricación, se investigó en los reportes de fallas para saber qué las habían producido, y se pudo construir el gráfico de la figura N° 4.3:

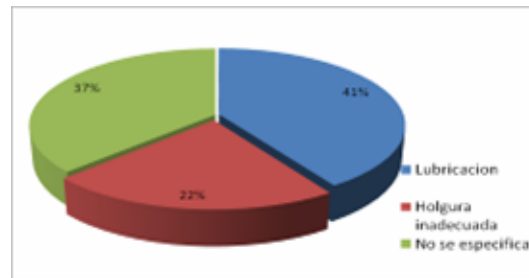


Figura N° 4.3 Causa de Fallas de los rodamientos de las bombas.

Las fallas de los rodamientos asociadas a la lubricación, (ver reportes en apéndice B) especificada en los reportes se produjeron por:

- Resistencia al giro por presencia de partículas metálicas en el lubricante.
- Alto contenido de agua en el lubricante.

Al investigar sobre estas causas se consiguió como respuestas lo siguiente: el aceite es sometido a deterioro gradual por suciedad y humedad. Las partículas metálicas, normalmente son provenientes del anillo de lubricación debido al desgaste de éste. La humedad se puede producir por condensación, filtraciones de líquidos dentro del reservorio de aceite o muchas veces por los operadores quienes inconscientemente dejan las botellas de reposición a la intemperie en donde se condensa agua debido a la temperatura (ver Figura N° 4.4 donde se observa botellas a la intemperie) y condiciones de la planta, o usan recipientes donde ya se ha colocado aceites de otras composiciones. Todo esto hace que cambie las propiedades del aceite y se produce una lubricación deficiente por ende desgaste de los rodamientos.

En los reportes que no especificaron las causas de las fallas, en donde sólo se justificó el cambio de rodamiento por ruido y valores de vibración alto, se consultó con el personal de taller, operadores e inspectores de los equipos rotativos de la unidad de FCC y ellos concluyeron que en muchas ocasiones el mal montaje de los rodamientos

unido al bajo nivel de aceite en el reservorio son las causas más frecuentes de estas fallas.



Figura N° 4.4 Causa de Fallas de los rodamientos.

Fuente: Unidad FCC.PDVSA.

Entre las bombas con mayor número de fallas encontramos a: J-15, J-8A; J-52B, J-6, J-7, J-4, J-16S, J-52B, J-14, J-4B, J-51, J-53, J-55 J-60 J-99. Las cuales se deben tomar en cuenta para el diseño de Instalación de lubricación por neblina de aceite en la medida que sea posible.

De igual manera se realizó los gráficos de fallas más comunes para Motores y Turbinas los cuales se presentan a continuación en las figura N° 4.5

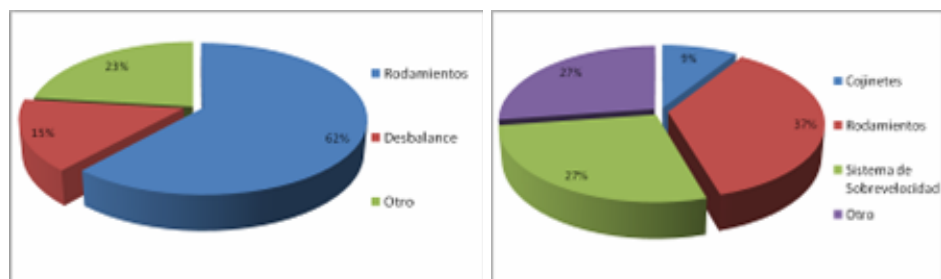


Figura N° 4.5 Causa de fallas en motores y turbinas respectivamente.

Al igual que en las Bombas ocurre en las turbinas y los motores el mayor porcentaje de de fallas se centra en los rodamientos. Las turbinas representan un pequeño porcentaje entre los equipos rotativos de la unidad de FCC, puesto que la gran mayoría de las bombas centrífugas se encuentran acopladas a motores eléctricos.

En la unidad de FCC las turbinas son lubricadas con aceite mientras que la mayoría de los motores se lubrican con grasa, donde se tiene que tener presente los intervalos y técnicas de relubricación y tipo de grasa que se usa.

Al investigar en los talleres y en las literaturas se consiguió que el problema que se presenta con la grasa es que retiene los contaminantes, se reseca y endurece así como que puede perder fácilmente el aceite lubricante y escurrirse en aplicaciones de alta temperatura ($T > 100^{\circ}\text{C}$). Se ha publicado que en refinerías un 80% de las fallas en motores son asociadas con problemas mecánicos de rodamientos. La grasa es el medio de lubricación más retrógrado que existe para lubricar rodamientos de bolas. En el caso de motores tradicionalmente se ha optado por este tipo de lubricación. La grasa genera un gran consumo de energía y desgaste excesivo. SKF a reporta desde 1948 que miles de rodamientos se destruyen anualmente en el mundo por esta razón.

4.2. Selección de equipos a los que se les adaptará el sistema

Para determinar si la lubricación por neblina pura de aceite se debe aplicar a un equipo rotativo en primer lugar es necesario tener cierto conocimiento básico del equipo, por ejemplo, en caso de las bombas, se debe conocer: bajo qué especificaciones fue construida la bomba (ANSI, API, ISO), si tiene cojinetes antifricción (rodamientos) o cojinetes lisos, la velocidad de funcionamiento, entre otras características. Toda esta información fue encontrada en la parte anterior. Luego se debe definir las características y condiciones que deben tener los equipos para poder adaptarles la lubricación por niebla pura de aceite, cumpliendo con los requerimientos de la normativas de la empresa, PDVSA, las sugerencias del Grupo Sicelub Lubritech, y las normas API aplicables para la instalación de este tipo de sistema. Para poder seleccionar a los equipos que se puedan adaptar al sistema

centralizado de lubricación por neblina pura de aceite y eliminando de manera que todos aquellos equipos que no cumplan con los aspectos que se presentaron en el capítulo anterior; se estudiaron cinco aspectos.

El primer aspecto. Las normas API 686RP, API 610 y 751 RP recomienda la aplicación de los sistemas centralizado de lubricación por neblina pura de aceite a los siguientes equipos rotativos:

- Bombas Centrifugas.
- Motores Eléctricos
- Turbinas a vapor

En estas normas se habla de la lubricación por neblina pura de aceite, la cual es una lubricación de tipo elastohidrodinámica, tipo de lubricación típica para cojinetes antifricción (rodamientos). Por lo que los equipos que posean cojinetes deben ser eliminados del estudio. En el caso de los equipos con cojinetes se requiere de la lubricación por neblina purga de aceite, de la cual se habló en el capítulo II. Por lo anterior se elimina automáticamente la opción de instalarles el Sistema centralizado de lubricación por neblina de aceite a los compresores J-1 y J-2, los cuales ya poseen su propio sistema de lubricación centralizado forzado y un sistema centralizado de diálisis.

El segundo aspecto. Equipos rotativos horizontales. No se debe adaptar la lubricación por neblina a equipos rotativos verticales por las siguientes razones: En el caso de las bombas, éstas se lubrican con el fluido que bombean. Para los motores no se recomienda puesto que el efecto de gravedad aumenta la posibilidad de entrada de neblina condensada dentro del embobinado pudiendo producir daños en el estator, aparte se requiere un diseño más profundo de los sellos de aceites para estos equipos. Cabe resaltar que actualmente en algunas refinerías los motores verticales poseen este

tipo de sistema, pero como aun no es una práctica 100% garantizada y no se posee información sobre la técnica utilizada en estos caso, se decidió excluir del estudio a estos equipos, lo mismo ocurre para las turbinas.

Tercer aspecto. La velocidad debe ser mayor o igual a 3600 rpm y/o equipos con generación mayor o igual a 15 HP. (Con la excepción de equipos críticos). En este caso se tomaron en consideración las siguientes bombas: J-52B, J-6, J-7, J-4, J-16S, J-52B, J-14, J-4B, J-51, J-53, J-55 J-60 J-99, J-6, estas manejaban velocidades menores a 3600 RPM aunque algunas cercanas a este valor. Sin embargo, como son equipos rotativos críticos, según análisis de criticidad realizados por la empresa y según los historiales de fallas donde se constató que son unas de las bombas con más frecuencia de falla. Por ello se decidió incluir en el nuevo sistema de lubricación. En el caso de las bombas y motores J-30; J-31; J-32, se eliminaron por el hecho de no manejar ni la velocidad ni generar la potencia mínima.

Cuarto aspecto. Los motores deben tener orificios de entrada y salida de grasa o aceite tanto del lado motriz como el lado no motriz con ángulos de inclinación de 90° o 60° grados. En caso de tener las tapas de la carcasa completamente cerrado o motores con entrada y salida de lubricante con ángulos de inclinación de 180°; no se considerarán para el estudio: Esto se debe básicamente a que se debe garantizar que la neblina atraviese al rodamiento y con una inyección de 180° es un poco probable que esto ocurra, a diferencia de inyecciones de 90° y 60°, donde el efecto de gravedad ayuda a que la neblina dosificada atraviese al rodamiento. En el caso de motores con tapas completamente cerradas se tendría que maquinar tanto las tapas del motor como las del rodamiento lo que no fue recomendado por el personal del taller.

Quinto aspecto: Bombas API 610 de 7^{ma} Edición en adelante, en caso contrario bombas que tengan espacio disponibles para modificaciones que se requieran

(retrofitting). La razón es simple, pues las bombas de API 610 de 7^{ma} Edición en adelante ya poseen el arreglo para la instalación de sistema de lubricación por neblina, de lo contrario se debe realizar modificaciones lo cual requiere un espacio mínimo.

Los equipos de la unidad de FCC y de Bencina que cumplieron con los aspectos y fueron seleccionados para la aplicación del sistema de estudio se muestran en las tablas N° 4.3 y 4.4:

Tabla N° 4.3 Lista de Equipos Rotativos de la Unidad de Fraccionamiento Catalítico, seleccionados para adaptarles el sistema centralizado de lubricación por niebla pura.

TAG	Nombre y Servicio	Tipo
J-3-01/B1	Bomba de Reflujo De Slurry	BOMBA
J-3A-01/B1	Bomba Auxiliar de Reflujo De Slurry (Auxiliar de De J-3-01)	BOMBA
J-4-01/B1	Bomba de Reciclo De Slurry	BOMBA
J-4A-01/B1	Bomba auxiliar de Reciclo De Slurry (Auxiliar de De J-4-01)	BOMBA
J-5-01/B1	Bomba Aceite Decantado	BOMBA
J-5-01/M1	Motor Bomba Aceite Decantado J-5	MOTOR
J-6-01/B1	Bomba De Aceite Catalítico Pesado	BOMBA
J-6-01/M1	Motor Bomba Aceite Catalítico Pesado, J-6	MOTOR
J-6A-01/B1	De Reflujo Y Reciclo (Aux. J-6/ Aux. J-51)	BOMBA
J-7-01/B1	De Gas Oil Liviano	BOMBA
J-7-01/M1	Motor De La Bomba Aceite Liviano	MOTOR
J-7A-01/B1	Gas Oil Liviano (Aux. J-7-01)	BOMBA
J-14-01/B1	Bomba Centrifuga Horizontal	BOMBA
J-14A-01/B1	Bomba Centrifuga Horizontal (Aux. J-14/ J-14B)	BOMBA
J-14A-01/T1	Turbina De La J-14A	TURBINA
J-14B-01/B1	Recirculación Torre E-3	BOMBA
J-14B-01/M1	Motor Elect. Bomba. Recir. Torre E-3	MOTOR
J-16S-01/B1	Bomba Reflujo De Olefina a Alki, Al Tope E-5	BOMBA
J-16S-01/T1	Turbina Bomba J-16S	TURBINA
J-18-01/B1	Bomba De Diesel y Aceite Pobre	BOMBA
J-18-01/M1	Motor De Bomba De Diesel y Aceite Pobre	MOTOR
J-20-01/B1	Bomba De Agua Enfriamiento	BOMBA
J-20A-01/B1	Bomba J-20A, De Agua Enfriamiento. (Aux. J-20)	BOMBA
J-25A-01/B1	Manejo Aguas Agrias F-2A	BOMBA

J-25A-01/M1	Motor Elect. Bomba J-25A Aguas Agrias F-2A	MOTOR
J-25B-01/B1	Manejo Aguas Agrias Al F-2A	BOMBA
J-25B-01/M1	Motor Elect. Bomba J-25B Aguas Agrias F2A	MOTOR
J-50-01/B1	De Carga Fresca	BOMBA
J-50-01/M1	Motor De Bomba De Carga Fresca, J-50	MOTOR
J-50A-01/B1	De Carga Fresca. (Aux. J-50)	BOMBA
J-51-01/B1	De Gas Oil Liviano	BOMBA
J-53-01/B1	Aceite Decantado (Aux. J-5)	BOMBA
J-53-01/M1	Motor Bomba J-53 De Aceite Decantado	MOTOR
J-55-01/B1	De Gasoil Pesado	BOMBA
J-60A-01/B1	Carga Inicial Gasóleo	BOMBA
J-60A-01/M1	Motor Elect .Bomba Carga De Gasóleo J-60A	MOTOR
J-60B-01/B1	Carga Inicial Gasóleo (Aux J-60A)	BOMBA
J-60B-01/M1	Motor Elect. Bomba Carga Gasóleo J-60B	MOTOR
J-99-01/B1	De Ciclo De Aceite Liviano	BOMBA
J-99-01/M1	Motor Bomba J-99 De Aceite Liviano	MOTOR
J-99A-01/B1	De Ciclo De Aceite Liv. (Aux. J-99)	BOMBA
J-99A-01/T1	Turbina Bomba J-99A	TURBINA
J-52-01/B1	Bomba J-52. Gasolina	BOMBA
J-52-01/M1	Motor Bomba J-52 Fondo E-3	MOTOR
J-52A-01/B1	Bomba J-52A. Gasolina (Size 3X10X1/2)	BOMBA
J-52A-01/T1	Turbina J-52A	TURBINA

Tabla 4.4 Lista de Equipos Rotativos de la Unidad de Bencina seleccionados para adaptarles el sistema centralizado de lubricación por niebla pura.

TAG	Nombre y Servicio	Tipo
J-101-03/B1	Bomba Reflujo de Recirculacion.y carga	BOMBA
J-101-03/M1	Motor de la Bomba J-101	MOTOR
J-102-03/B1	Bomba Recirculación del horno	BOMBA
J-102-03/M1	Motor Bomba J-102	MOTOR
J-102A-03/B1	Auxiliar de bomba J-102	BOMBA
J-102A-03/M1	Motor Bomba auxiliar J-102A	MOTOR
J-104-03/B1	Bomba Naftha	BOMBA
J-104-03/M1	Motor Bomba J-104	MOTOR
J-105-03/B1	Carga al tope de la unidad DA-2	BOMBA
J-105-03/M1	Motor Bomba J-105	MOTOR
J-105A-03/B1	Auxiliar de bomba J-105	BOMBA
J-105A-03/M1	Motor Bomba auxiliar J-105A	MOTOR
G-0302/B1	Recirculación de gasolina	BOMBA

G-0302/M1	Motor Bomba de recirculación de Gasolina	MOTOR
G-0302A/B1	Auxiliar de La G0302	BOMBA
G-0302A/M1	Motor Bomba Auxiliar de La G0302	MOTOR

De los 104 equipos rotativos en planta, sólo se seleccionaron 61 equipos rotativos, para la adaptación del nuevo sistema de lubricación como fueron: 37 bombas centrífugas, 20 motores eléctricos y 4 turbinas a vapor. Todos estos equipos exceptuando a: J-14-01/B1; J-60A-01/B1; J-60B-01/B1; G-0302/B1; G-0302A/B1; J-50-01/M1, requerirán de ciertas modificaciones puesto que no fueron diseñados con Instalación de Oil Mist. Cabe destacar todas la bombas centrífugas de estas unidades están diseñadas bajo las normas API 610.

4.3. Desarrollo de la ingeniería básica

La ingeniería Básica es una profundización del análisis realizado en la ingeniería conceptual previa cuyo resultado son los datos de entrada para esta etapa de diseño. Una vez que se tiene todos los datos, características e información necesaria de los equipos rotativos y conocimiento teórico del sistema de Lubricación que se desea implantar se procede al desarrollo de la ingeniería básica con lo que se logró:

- Cálculo del flujo de neblina de aceite por equipo y total.
- Ubicación física de la consola.
- Diseño de la red de tubería principal de distribución de neblina del sistema y construcción de isométricos.
- Cálculo de pérdidas mayores y menores en el tramo de tubería principal de distribución de neblina más desfavorable.
- Selección de los equipos y accesorios de distribución y generación de neblina.

4.3.1. Cálculo del flujo de neblina de aceite por equipo y total del sistema

4.3.1.1. Cálculo de flujo de neblina por equipo

La cantidad de flujo de neblina de aceite que requiere cada equipo viene dada por la sumatoria del flujo requerido por el rodamiento axial (para bombas) o lado motriz (para motores y turbinas) y por el rodamiento radial (para bombas) o lado no motriz (para motores y turbinas). Ello permitirá seleccionar el reclasificador correspondiente para cada lado. Todos los cálculos se realizaron con las ecuaciones según la tecnología del Grupo Sichelub Lubritech (ver Ecuación N° 4.1), fabricantes de las consolas y accesorios para la instalación de lubricación de Tribosistemas, comparándolas con los hechos con las ecuaciones de Oil mist lubrication: practical application [14] (ver Ecuación N° 4.2) para así poder validar y comprobar los resultados.

- Según la tecnología del Grupo Sichelub Lubritech:

$$SCFM = \frac{Fc \times D \times N}{25.4} \quad \text{Ecuación N° 4.1}$$

Donde:

$SCFM$ = Pie cúbico por minutos para un equipo.

D = Diámetro del asiento del rodamiento en el eje

N = Número de hilera del rodamiento

Fc = Factor de carga según la tecnología Lubritech (para: potencia > 40 HP $Fc=0.045$ (Hard Service) , potencia ≤ 40 HP $Fc= 0.022$ (Moderate Service)) [6]

- Según oil mist lubrication: practical applications, para el cálculo dl flujo es la siguiente:

$$SCFM = \frac{D \times R}{Y} \quad \text{Ecuación N° 4.2}$$

Donde:

$SCFM$ = Pie cúbico por minutos para un equipo.

D = Diámetro del asiento del rodamiento en el eje

R = Número de hilera del rodamiento

Y = Factor servicio lo que depende de la potencia: Para potencia > 40 HP $Y = 20$

Y para potencias ≤ 40 >HP $Y = 40$

Ejemplo de cálculo para las Bomba J-3 (Bomba de Reflujo De Slurry). Se procede de la siguiente manera:

a) Diámetro del asiento del rodamiento en el eje

Con los códigos de identificación de los rodamientos de Rodamientos: Axial: SKF 6312/C3; Radial: SKF 7313B

Según el sistema de designación para rodamientos (ver figura N° 4.6):

- El primer dígito corresponde a: El tipo de rodamiento.
- El segundo dígito corresponde a: Serie Dimensional ISO de Anchura
- El tercer dígito corresponde a: Serie Dimensional ISO de Sección de Diámetro
- Los dos últimos dígitos corresponde a un quinto del diámetro interno del rodamiento o diámetro del asiento en el eje (mm/5). Por lo que para conseguir el diámetro que necesitamos, se debe multiplicar los dos últimos dígitos del código de identificación del rodamiento por 5.

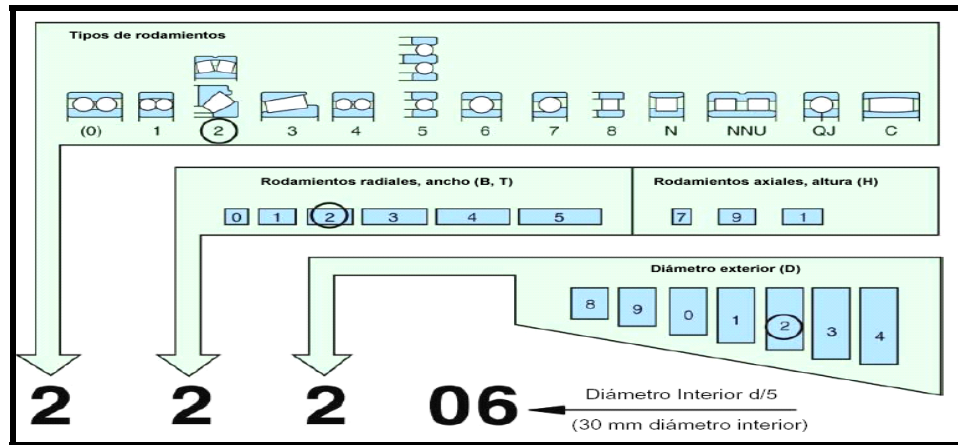


Figura N° 4.6 Estructura del Sistema de Designaciones. [5]

- La designación suplementaria (sufijos) identifica variantes de:
 - Diseño (interno, externo, jaula)
 - Materiales, tratamiento térmico
 - Precisión, juego interno
 - Estabilización térmica
 - Lubricación.

Hallamos el diámetro del asiento del cojinete para cada lado:

$$D_{\text{Radial}} = 12 \times 5 = 60 \text{ mm} \quad 60 \text{ mm} \times \frac{1 \text{ pu lg}}{25 .40 \text{ mm}} = 2.362205 \text{ pu lg}$$

$$D_{\text{Axial}} = 13 \times 5 = 65 \text{ mm} = 2.559055 \text{ pu lg}$$

b) Factor servicio para la norma y Factor de carga según la tecnología Lubritech

Potencia = 45 HP > 40 HP Por lo que $F_c = 0.045$; $Y = 20$ (Hard Service)

c) El número de hilera del rodamiento

Para conocer el número de hilera tanto del lado radial como axial debemos observar el plano de la bomba J-3/J3, ver figura N° 4.7.

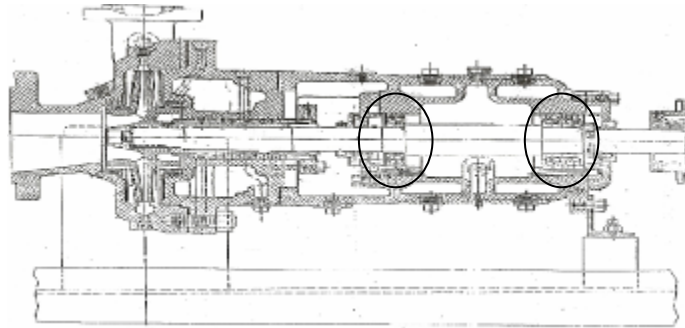


Figura N° 4.7. Plano de J-3/J-3A

Donde se señala el rodamiento radial y axial: $N_{Radial} = 1$ Hilera y $N_{Axial} = 2$ Hilera

d) Cálculo de flujo de neblina para Rodamiento Axial y radial

Axial

- Según la tecnología del El Grupo Sichel Lubritech (con ecuación N° 4.1):

$$SCFM = \frac{0.045 \times 65 \times 2}{25.4} = 0,23031496$$

- Según oil mist lubrication: practical applications (con ecuación N° 4.2):

$$SCFM = \frac{2.559055 \times 2}{20} = 0,2559055$$

Radial

- Según la tecnología del El Grupo Sichelub Lubritech (con ecuación N° 4.1):

-

$$SCFM = \frac{0.045 \times 60 \times 1}{25.4} = 0,10629921$$

- Según oil mist lubrication: practical applications (con ecuación N° 4.2):

$$SCFM = \frac{2.362204 \times 1}{20} = 0,11811024$$

Total para el equipo

- Lubritech

$$SCFM \text{ total por equipo} = SCFM \text{ Radial} + SCFM \text{ Axial} = 0.10629921 + 0.23031496 = 0.33661417$$

- Oil mist lubrication: practical applications

$$SCFM \text{ total por equipo} = SCFM \text{ Radial} + SCFM \text{ Axial} = 0.11811024 + 0.2559055 = 0.37401575$$

Los resultados obtenidos con la norma y los del grupo Lubritech son muy cercanos y la diferencia entre estos valores es muy bajo y dicha diferencia no afectara en el momento de la selección de los accesorios y equipos. Dado que se seleccionara tecnología del grupo Lubritech, se procederá a hacer uso de los flujos arrojados por sus ecuaciones.

e) Selección del Reclasificador correspondiente para cada lado

Para seleccionar el reclasificador correspondiente para cada lado es necesario convertir los SCFM a B.I (pulgadas de rodamientos) puesto que se utilizará para la

elección los catálogos del Grupo Sichelub Lubritech. **B.I:** es la unidad manejada por la tecnología del Grupo Sichelub Lubritech, estos manejan equivalencias las cuales se muestran a continuación: 1 B.I. = 0.03 SCFM

Se procede a convertir el valor de SCFM a la unidad estándar usado por el Grupo Sichelub Lubritech:

$$\text{Axial: } B.I = 0,23031496 \quad SCFM \times \frac{1B.I}{0.03 \quad SCFM} = 7,67716533$$

$$\text{Radial: } B.I = 0,10629921 \quad SCFM \times \frac{1B.I}{0.03 \quad SCFM} = 3,543307$$

Posteriormente se observa el plano del equipo para saber qué tipo de reclassificador será el más recomendado. En el caso de la bomba J-3, se observa en el plano (ver figura N° 4.7) y se verifica en planta que es recomendable según su estructura y futuras modificaciones que se le propondrán. Para esta bomba se requiere la elección de un Reclassificador direccional del lado radial, este se deberá colocar por el agujero que se encuentra a mitad de la carcasa, de manera que pueda dirigir el flujo a este rodamiento y se deberá perforar la tapa de la caja de rodamiento, del lado axial para la colocación de un reclassificador normal, no se usa direccional puesto que este caso se encontrara seco al rodamiento.

Tabla N° 4.5 Reclassificador seleccionado

Rodamiento	Rango del reclassificador reclassificador		N° del modelo del Reclassificador Seleccionado
	B.I	SCFM	
Axial	10	0.30	77-800-503
Radial	6	0.18	77-700-622

De la misma manera se procede para los demás equipos y se muestran los resultados en las tablas N° A13 y A14 del apéndice A.

4.3.1.2. Cálculo del flujo de neblina total (Caudal de consumo)

El flujo de neblina total viene dado por la sumatoria de los SCFM requerido por cada equipo (los SCFM requerido por los rodamientos axiales y radiales), según la tecnología del Grupo Sichelub Lubritech y oil mist lubrication: practical applications. En esta parte también se elegirá la consola de generación de neblina para lo que se necesitará la sumatoria de los B.I suministrado a cada equipo por los reclassificadores a los rodamientos axiales y radiales, para la elección en los catálogos del Grupo Sichelub Lubritech. A continuación se muestran la ecuación para el cálculo, y resultados en la tabla N° 4.6:

$$\text{Caudal de neblina total} = \sum \text{Neblina por equipo de la unidad de FCC} + \sum \text{Neblina por equipo de la unidad de Bencina}$$

Ecuación N° 4.3

Tabla N° 4.6 Caudal de neblina total

CAUDAL	Cantidad de neblina (Prácticas de ingeniería) (SCFM)	Cantidad de neblina (Lubritech) (SCFM)	Cantidad de neblina suministrados por los Reclassificadores a los rodamientos Radial y Axial	
			SCFM	B.I
\sum Caudal de neblina de los Equipos de la unidad de FCC	11,1958663	10,0173229	14,19	473
\sum Caudal de neblina de los Equipos de la unidad de Bencina	4,98031498	4,47814957	6,06	202
Caudal de neblina total	16,1761813	14,4954725	20,25	675

Para la elección de la consola se toma en consideración la suma del flujo inyectado por los reclassificadores a los rodamientos radiales y axiales de cada

equipo, este será el caudal de consumo. Se toma así pues los reclassificadores están diseñados para inyectar la cantidad específica de flujo que la empresa Lubritech indica en los catálogos para las diferentes capacidades de reclassificador. Así que la consola debe proveer esa cantidad, que es mayor a la calculada.

Según norma, la consola de generación debe tener un 125% de capacidad, por lo que el caudal de neblina total para la elección de la consola representa el 100% por lo que la capacidad de la consola de generación se calculará como se muestra en la ecuación 4.3. La consola de generación de neblina debe tener un 25% más de lo requerido por todos los equipos, para asegurar que tendrá capacidad para expansiones futuras de la planta y permitirá la posibilidad de realizar una parada de la planta por fallo de la consola o inconveniente catastrófico, por un periodo de 8 horas continuas, en el cual se garantiza la generación de neblina en todo el sistema.

Caudal total de consumo + 25% del Flujo de neblina total = Capacidad de las consola

Ecuación N° 4.3

$$675 + (675 * 0.25) = 843,75 \text{ B.I}$$

Luego se selecciona la consola de generación de los catálogos del Grupo Sichelub Lubritech y se muestra en la figura N° 4.8 las capacidades de las consolas.

Tamaño de la Consola IVT	Rango de Flujo de Generación de Niebla	
	Sistema Inglés	Sistema Métrico
60 BI	0.60 - 1.80 SCFM	1.02 - 3.06 M ³ / Hr
213 BI	1.75 - 6.40 SCFM	2.97 - 10.87 M ³ / Hr
475 BI	2.48 - 14.30 SCFM	4.21 - 24.30 M ³ / Hr
933 BI	5.70 - 28.0 SCFM	9.68 - 47.57 M ³ / Hr

Tamaño de la Consola IVT	Capacidad Mínima Recomendada de Suministro de Aire *	
	Sistema Inglés	Sistema Métrico
60 BI	5 SCFM @ 65 PSIG	8.5 M ³ /HR @4.5 BAR
213 BI	10 SCFM @ 65 PSIG	17 M ³ /HR @4.5 BAR
475 BI	18 SCFM @ 65 PSIG	31 M ³ /HR @4.5 BAR
933 BI	32 SCFM @ 65 PSIG	55 M ³ /HR @4.5 BAR

* Incluye el flujo de aire necesario para operar la bomba de transporte de aceite

Figura N° 4.8 Selección de la consola de generación

Fuente: Grupo Sichelub Lubritech

4.3.2. Ubicación física de la consola

Para ubicar la consola de generación de neblina se tuvo que hacer visitas a la planta de unidad de estudio para saber las condiciones de esta y con las sugerencias y recomendaciones del manual de operaciones del este equipo, se colocó en un sitio estratégico. Entre los aspectos que se tomaron en consideración tenemos lo siguiente:

- Acceso a servicio de tuberías de aire y electricidad.
- Ubicación central conveniente, con suficiente espacio para conectar los servicios de aire y eléctrico en la parte posterior de la cubierta de la consola IVT.
- Espacio suficiente de manera tal que el operador cuente con acceso no restringido al frente de la unidad cuando la puerta del gabinete esté abierta. La IVT cuenta con puertas de acceso a ambos lados del gabinete para darle mantenimiento (ver figuras N° 4.9 y 4.10). se debe garantizar que este ubicada en un lugar que permita el acceso para detectar problemas y dar mantenimiento al sistema.
- Se debe tomar en cuenta la ubicación de los equipos rotativos a los que se les inyectará la neblina de aceite así como la cantidad de neblina necesaria para cada uno de manera tal que no se formen distancias muy largas para el transporte de neblina. Estas distancias no deben ser mayores a 100 m del equipo de generación de neblina.

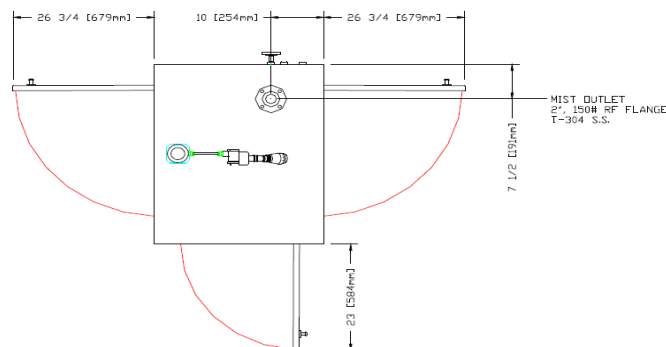


Figura N° 4.9 Vista de planta de la consola de generación. [10]

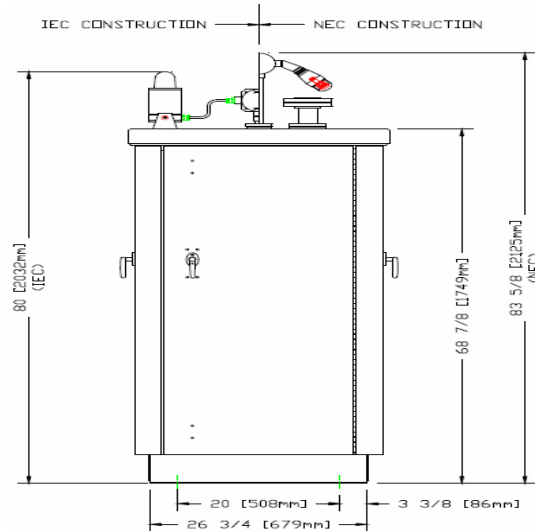


Figura N° 4.10 Vista de frontal de la consola de generación. [10]

En la foto de la figura N° 4.11 muestra la ubicación estratégica de la consola de generación en planta.



Figura N° 4.11 Foto de ubicación de la consola de generación en planta

Fuente: Unidad FCC.PDVSA.

Este lugar fue seleccionado, puesto que además de ser un lugar centrado con respecto a la distribución del flujo de neblina (ver figura N° 4.12, donde se observa los equipos rotativos seleccionados y la ubicación de la consola), tiene el espacio suficiente para la instalación y mantenimiento de la consola de generación y tiene

acceso a tuberías de aire de instrumento y se encuentra cercano como se observa la casilla de electricidad.

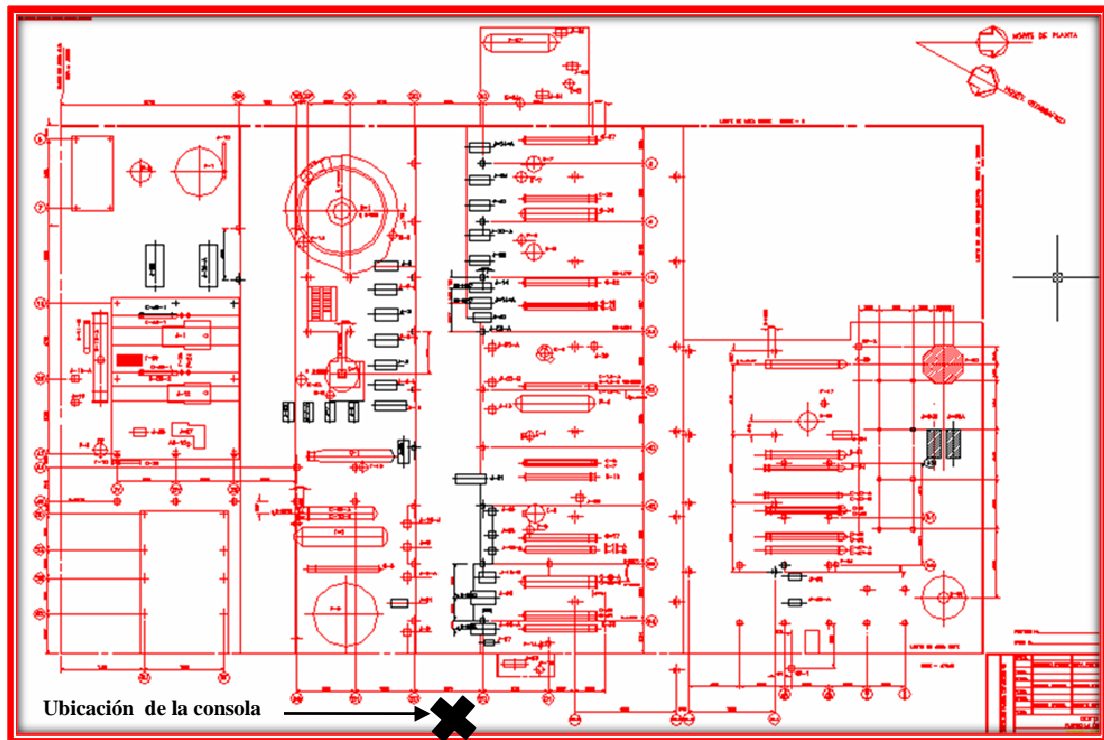


Figura N° 4.12 Plano de la planta con ubicación de la consola de generación en planta

4.3.3. Diseño de la red de tubería de distribución principal de neblina

Para el diseño de la red de tuberías de distribución principal se hicieron visitas a plantas para visualizar los lugares por los cuales podría pasar dichas tuberías de manera que llevarán la neblina desde la consola de generación hasta cada uno de los equipos tomando las medidas de cada una de las distancias necesarias.

La Unidad de FCC es una de las plantas de la refinería que posee gran cantidad de tuberías, el espacio para la colocación de nuevas tuberías se encuentra reducido, por lo que para el diseño de la ruta de las tuberías se debe tener en cuenta que esta no

obstruya el paso, montaje o desmontaje de cualquier equipo. La ruta más apropiada para red de tuberías de distribución principal es el pasillo de bombas de la unidad de FCC, pero como se puede apreciar en la figura N° 4.13 carece de espacio para la colocación de nuevas tuberías.



Figura N° 4.13 Pasillo de bombas unidad de FCC

Fuente: Unidad FCC.PDVSA.

Por lo que se buscaron rutas alternas y se observan en las figuras N° 4.14, 4.15, 4.16 de FCC, en las que se observan las condiciones de esta planta y las rutas alternas más apropiadas tomadas para la red de tuberías de distribución por neblina de aceite (en el apéndice D se observan otras fotos de la planta).



Figura N° 4.14 Vista superior de la parte este de la unidad de FCC.

Fuente: Unidad FCC.PDVSA.



Figura N° 4.15 Pasillo Hacia las bomba J-5, J-53-J-7.

Fuente: Unidad FCC.PDVSA.



Figura N° 4.16 Pasillo trasero de las bombas J- 99 Hasta J- 14B

Fuente: Unidad FCC.PDVSA.

Luego de decidir la ruta de la red de tubería principal (ver figura N° 4.17), se procedió a realizar las mediciones de las distancias de donde se colocaría la consola y hasta los equipos, separación entre los equipos, verificando si las medidas que proporcionaba el plano de la planta correspondían a los reales.

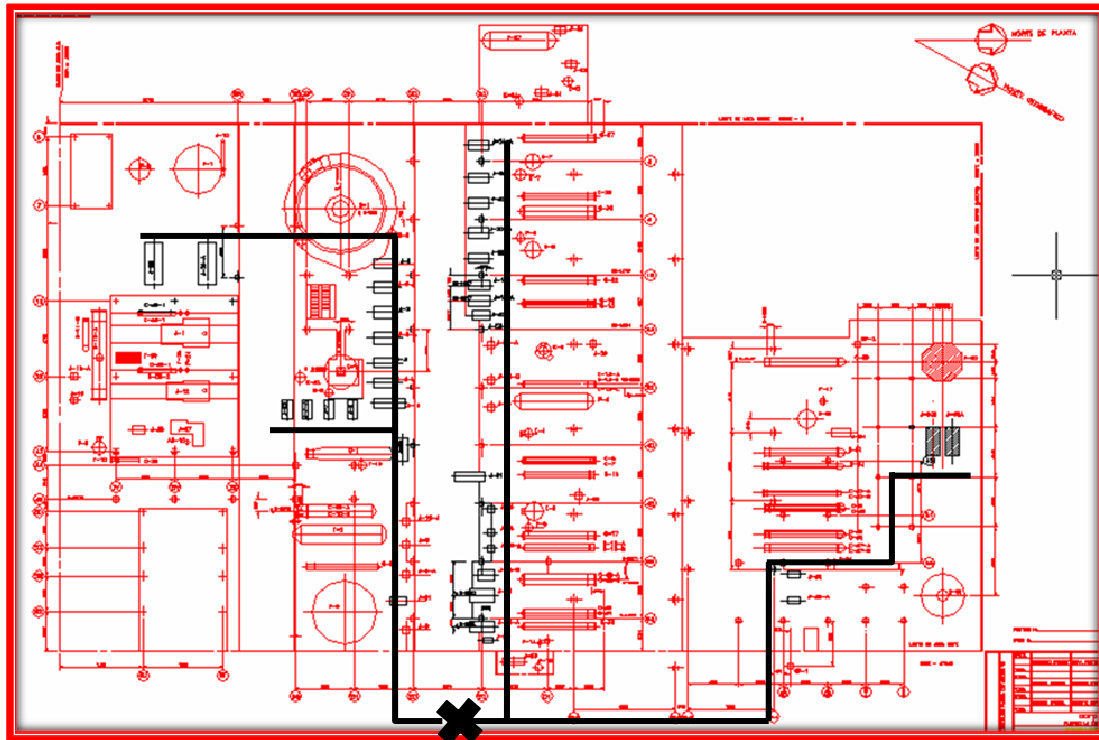


Figura N° 4.17 Plano de la planta de FCC con ubicación de la consola de generación en planta Y ruda decidida para el paso de la red de tubería principal.

Al verificar las medidas del plano de la unidad (ver figura N° 4.17) se observó que no coincidían, teniendo que hacer el levantamiento de estas distancias, las cuales fueron utilizadas para la construcción de los isométricos. A continuación se presenta los aspectos que se deben tomar en cuenta para el diseño de la red de tuberías según las normas:

- El cabezal de distribución de neblina y conexiones laterales no llevarán válvulas.
- Los cabezales y las bifurcaciones de neblina de aceite deberán estar inclinados para drenar hacia el generador de neblina y el equipo respectivamente. Este declive debe tener un mínimo de 1:60 para una distancia de 12 m (40Ft) desde

el generador. Para una distancia mayor, el declive debe tener un mínimo de 1:200.

- Se debe elevar la tubería 0.40 m para las salidas de tuberías secundarias y cuando se desvíe la tubería a 90 ° siempre y cuando haya disminución del flujo y a continuación se encuentre otra salida de flujo. Todo esto para garantizar que la neblina condensada no continúe hacia las inyecciones.
- Las tuberías deben de ser de acero al carbono galvanizado, espesor de pared SCH 40, con extremo roscado.

4.3.3.1. Construcción de los isométricos

Una vez que se obtuvo las medidas necesarias para cada tramo de tuberías se procedió a la construcción de los isométricos, para esto se utilizó el programa AUTOCAD 2007, eligiendo como espacio de trabajo, Autocad clásico. Se realizó cada uno de los tramos de la red de tubería principal con sus respectivas medidas (ver apéndice A). Posteriormente eligiendo en el mismo programa como espacio de trabajo Autocad 3D (ver figura N° 4.18) se ensamblan todas las partes para tener una idea de cómo lucirá la red y en esta oportunidad se omiten las medidas. En las figuras N° 4.19 y 4.20 se presenta lo comentado.



Figura N° 4.18 Selección de espacio de trabajo en Autocad.



Figura N° 4.19 Red de tuberías principal para la Unidad de FCC y Bencina. Vista de planta.

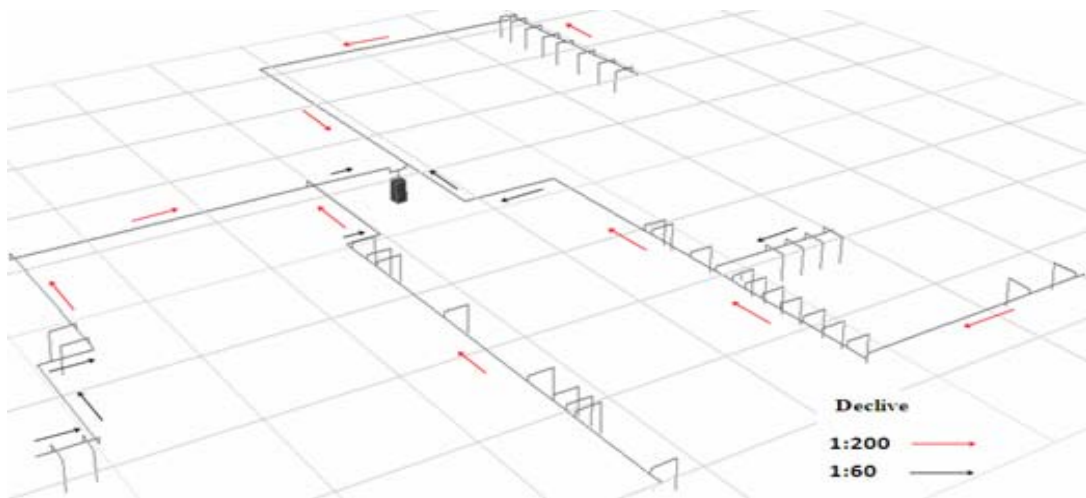


Figura N° 4.20 Red de tuberías principal para la Unidad de FCC y Bencina, Vista Noreste.

Se construyeron planos que muestran los isométricos y detalles de la red de tuberías principal. La red fue dividida en seis partes (ver figura N° 4.19), esta división se realizó con referencia a cada uno de los puntos más a alejados de la consola de

generación y las líneas de tuberías a salida de la consola. A cada parte se le realizaron dos planos, los que sirvieron para el mejor entendimiento de los cálculos de pérdidas mayores y menores, así como también para la Simulación. Todos estos se muestran en los apéndices A.

4.3.4. Cálculo de pérdidas mayores y menores en el tramo de tubería principal de distribución de neblina más desfavorable.

Una vez calculados los flujos requeridos para cada equipo y el diseño de la ruta de tubería principal, se procedió a seleccionar el tramo de tubería principal de distribución de neblina más desfavorable, para lo cual se utiliza la vista de planta de la red de tuberías principal señalando los puntos de inyección más alejados para cada tramo (ver figura N° 4.21).

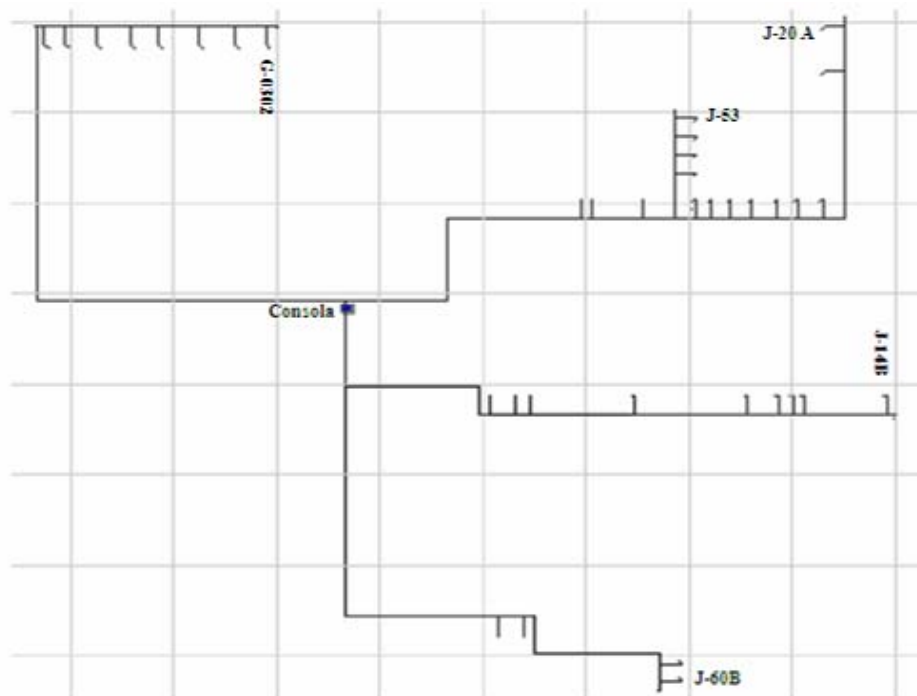


Figura N° 4.21 Puntos más alejados de la consola de generación de la red de tuberías principal.

Al verificar las medidas y la cantidad de accesorios que poseía cada una de las rutas desde la consola a los puntos de inyección más alejados observamos que se encontraban a distancias muy similares o poseían la misma cantidad de accesorio, por lo que se decidió calcular las pérdidas en todos los tramos para conocer la caída de presión y verificar que puede llegar el flujo a cada uno de los puntos más alejados de cada tramo.

Especificaciones de las normas de la empresa y sugerencias:

- El diámetro de la tubería de distribución de neblina debe ser seleccionado para controlar el límite de velocidad de neblina, el cual no debe ser superior a 6 m/seg (20Ft/seg), a la capacidad nominal del sistema.
- Las tuberías deben ser de acero al carbono galvanizado, espesor de pared SCH 40, con extremo roscado.
- El diámetro de las tuberías de la red principal debe ser de un diámetro nominal de 2 Pulg. y se debe disminuir dicha tubería en puntos muy alejados con poca cantidad de flujo, dicha disminución se recomienda que no sea brusca.
- Para las tuberías secundarias el diámetro debe ser de un diámetro nominal de $\frac{3}{4}$ de pulg.
- Se utilizan las ecuaciones expuestas en el capítulo II del presente trabajo
- El sistema de tubería de la red de distribución principal debe mantenerse a una presión comprendida entre 18-20 pulg H₂O.
- Para el cálculo de pérdidas se utilizará como fluido de trabajo aire, como es un flujo con una composición de 200000 partículas de aire por 1 de aceite deberá tener un comportamiento similar al aire limpio, hipótesis que utiliza el grupo Sichelub Lubritech para el cálculo de este tipo de sistema.

4.3.4.1. Flujo en cada tramo y de inyección

El consumo total que requiere toda la planta es de 20.25 SCFM, pero la Consola genera un flujo de 27.9 SCFM por lo que se tiene flujo adicional de 7.65 SCFM. Este flujo adicional se supone en teoría que por ser un sistema de baja presión se distribuirá por cada tramo de tubería equitativamente de acuerdo al porcentaje de flujo que maneje. A continuación se muestra la forma como se distribuyó este flujo.

$$Q_{CONSUMO} = 20.25SCFM \quad Q_{GENERADO} = 27.9SCFM$$

$$Q_{ADICIONAL} = Q_{GENERADO} - Q_{CONSUMO} = 7.65SCFM$$

Cálculo de flujo remanente o adicional para el tramo hacia la unidad de Bencina punto final G-0302:

$$Q_{TOTAL} = Q_{CONSUMO} + Q_{ADICIONAL} \quad \text{Ecuación N° 4.4}$$

$$Q_{CONSUMO} = 6.06SCFM$$

$$Q_{ADICIONAL} = \frac{6.06SCFM * 100}{20.25SCFM} = 29.9\% * 7.65SCFM = 2.29SCFM$$

Luego este flujo adicional se supone que se distribuiría en igual porcentaje para cada punto de inyección, el tramo de Bencina posee ocho inyecciones entonces:

$$\frac{2.29SCFM}{8} = 0.286 \text{ este es el flujo adicional se le sumará a cada inyección.}$$

De esta manera se procedió para todos de los tramos y para cada una las inyecciones, las cuales se presentan en la tabla N° 4.7

Tabla N° 4.7 Flujo de consumo y adicional en todo el sistema y por línea.

En todo el Sistema		Línea de puntos más alejados	Caudal de consumo de toda la línea (SCFM)	% que representa (SCFM)	Caudal adicional por línea (SCFM)	N° de inyecciones de la línea	Caudal adicional para cada inyección (SCFM)
Caudal generado	27,9	Hacia G-0302 A	6,06	29,9%	2,29	8	0,286
Caudal de consumo	20,25	Hacia J-53/J20A	7,29	36%	2,75	16	0,172
Caudal adicional	7,65	Hacia J-14B/J-60B	6,9	34,1%	2,61	Hacia J-60(3 SCFM - 43,48%- 4 Inyecciones)	0,28
						Hacia J-14B(3,9 SCFM - 56,25%- 9 Inyecciones)	1,48

4.3.4.2. Cálculo de pérdidas mayores

Para estos cálculos se utilizaron los siguientes datos:

- De la tabla N° B1 del apéndice B se obtuvo diámetro interno para el diámetro nominal correspondiente de tubería y Sch 40
- En textos se consiguió la densidad ($1,1774 \text{ Kg/m}^3$) y la viscosidad dinámica del aire a $T^\circ = 300^\circ \text{ f}$ ($0,00001983 \text{ Kg/seg}$)
- g) y la rugosidad del material de tubería (0.15 mm), todos estos datos se muestran en los apéndices
- De los isométricos se pueden obtener las longitudes de la tubería.

Líneas de salida de la Consola de Generación de Neblina de Aceite

Todos los tramos poseen una sección en común, las tuberías de salida del flujo de la consola (ver figura N° 4.22) por lo que inicialmente se calculará las pérdidas mayores en esta pequeña sección, la cual se muestra a detalle en la figura a continuación:

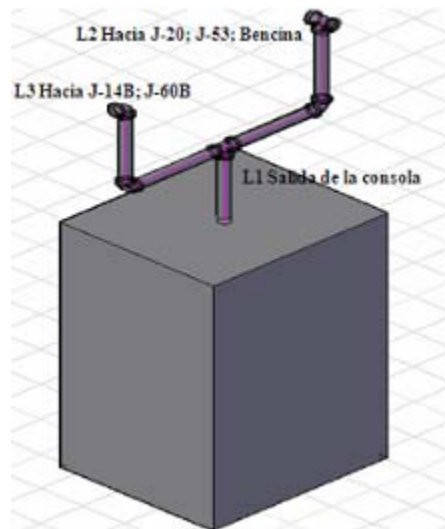


Figura N° 4.22 Detalles en la consola.

Cálculo para L1

- Inicialmente se calcula el área de la sección transversal de la tubería

$$A_{L1} = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi (0.0525)^2}{4} = 0.00216 \text{ m}^2$$

En esta parte se tomo el diámetro interior de la tubería según el diámetro nominal y el numero de cedula de la tubería, en nuestro caso SCH 40.

- Velocidad en la tubería

$$V_{L1} = \frac{Q_{L1}}{A_{L1}} = \frac{47.40 \text{ m}^3 / H}{3600 \text{ seg} / H \times 0.00216 \text{ m}^2} = 6.08 \text{ m/seg}$$

- Cálculo del Número de Reynolds y así conseguir el factor de fricción según la ecuación que corresponda, en este caso que es un flujo turbulento se utilizó la ecuación de Colebrook.

$$Re = \frac{DxVx \rho}{\mu} = \frac{0.0525 \text{ m}^2 \times 6.086 \text{ m/seg} \times 1.1774 \text{ kg/m}^3}{1.985 \times 10^{-5} \text{ kg/seg}} = 18960$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \times \log \left[\frac{\varepsilon}{3.7 * D} + \frac{2.51}{Re \times \sqrt{f}} \right] \Rightarrow \frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \times \log \left[\frac{0.15 \text{ mm}}{3.7 * 52.5 \text{ mm}} + \frac{2.51}{18960 \times \sqrt{f}} \right]$$

$$f = 0.032$$

- Y por último se calcula las pérdidas en L1 con el uso de la ecuación de Darcy Weisbach

$$H_f = \frac{fxLxV^2}{2xDxg} = \frac{0.032 * 0.80 \text{ m} * (6.08 \text{ m/seg})^2}{2 * 0.0525 \text{ m} * 9.81 \text{ m/seg}^2} = 0.905 \text{ m}$$

De la misma forma se procedió para cada una de los tramos de esta sección. Se muestra los resultados en la siguiente tabla N° 4.8

Tabla N° 4.8 Datos del la línea de la consola, pérdidas para cada tramo.

Tramo	Caudal		Diámetro		Área (m ²)	Velocidad (m/s)	Re	f	L (m)	Hf (m)
	m ³ /H	SCFM	Interior	Nominal						
L1	47,40	27,9	0,0525	2	0,00216	6,08	18960	0,032	0,80	0,905
L2	31,2	18,39	0,0525	2	0,00216	4,01	12496	0,034	0,80	0,419
L3	16,2	9,51	0,0525	2	0,00216	2,07	6464	0,038	0,80	0,128

- Línea Hacia de G-0302A (ver figura N° 4.23)

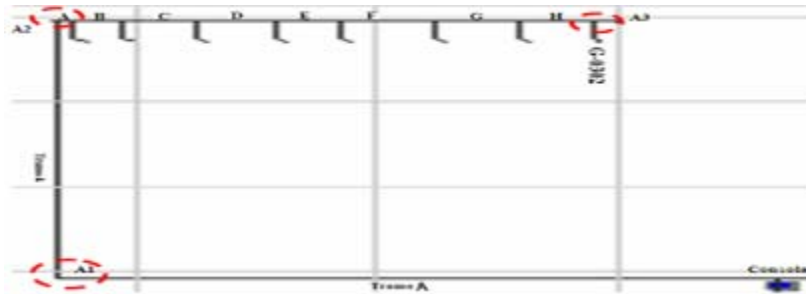


Figura N° 4.23 Línea hacia G-0302

Cálculo para el tramo A

- Área de la tubería

$$A_{L1} = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi (0.0525)^2}{4} = 0.00216 \text{ m}^2$$

- Velocidad en la tubería

$$V_{L1} = \frac{Q_{L1}}{A_{L1}} = \frac{14.19 \text{ m}^3 / \text{H}}{3600 \text{ seg} / \text{H} \times 0.00216 \text{ m}^2} = 1.82 \text{ m} / \text{seg}$$

- Número de Reynolds y el factor de fricción según la ecuación que corresponda

$$\text{Re} = \frac{DxVx\rho}{\mu} = \frac{0.0525 \text{ m} \times 1.82 \text{ m} / \text{seg} \times 1.1774 \text{ kg} / \text{m}^3}{1.985 \times 10^{-5} \text{ kg} / \text{seg}} = 5676$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \times \log \left[\frac{\varepsilon}{3.7 * D} + \frac{2.51}{\text{Re} \times \sqrt{f}} \right] \Rightarrow \frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \times \log \left[\frac{0.15 \text{ mm}}{3.7 * 52.5 \text{ mm}} + \frac{2.51}{5676 \times \sqrt{f}} \right]$$

$$f = 0.026$$

- Y por último se calcula las pérdidas, con el uso de la ecuación de Darcy Weisbach

$$H_f = \frac{f \cdot L \cdot V^2}{2 \cdot D \cdot g} = \frac{0.026 \cdot 61.6 \cdot (1.82 \frac{m}{seg})^2}{2 \cdot 0.0525 \cdot 9.81} = 5.23 \text{ m}$$

De la misma forma se procedió para cada una de los tramos y luego se realizó la sumatoria de todos los tramos de tuberías de esta sección y se muestra los resultados en la siguiente tabla N° 4.9.

Tabla N° 4.9 Datos de la línea de la consola, pérdidas para cada tramo y total de la línea.

Tramo	Caudal		Diámetro		Área (m ²)	Velocidad (m/s)	Re	f	L (m)	Hf (m)
	m ³ /H	Scfm	Interior	Nominal						
A	14,19	8,35	0,0525	2	0,00216	1,82	5676	0,026	61,6	5,23
B	12,26	7,22	0,0525	2	0,00216	1,57	4904	0,026	2	0,13
C	10,34	6,09	0,0525	2	0,00216	1,33	4136	0,027	3	0,14
D	8,64	5,09	0,0525	2	0,00216	1,11	3456	0,027	3,4	0,11
E	6,73	3,96	0,0525	2	0,00216	0,86	2692	0,027	2,6	0,05
F	4,81	2,83	0,0525	2	0,00216	0,62	1924	0,033	4	0,05
G	3,41	2,01	0,0525	2	0,00216	0,44	1364	0,047	3,5	0,03
H	1,71	1,01	0,0525	2	0,00216	0,22	684	0,094	2,9	0,01
									Total	5,751

De la misma manera se procedió para los tramos de J-60B; J-53; J-20A y J-14B y los resultados se encuentran las tablas de la N° A18 a N° A23 del apéndice A.

4.3.4.2. Cálculo de pérdidas menores o por accesorios

Para el cálculo de las pérdidas menores se tomarán en cuenta los accesorios desde la salida de la consola. Utilizando el coeficiente de resistencia K según la literatura y la velocidad que corresponda.

Por ejemplo para: La línea de G-0302

En la figura N° 4.24. Se señala la ubicación de los diferentes accesorios de este tramo.

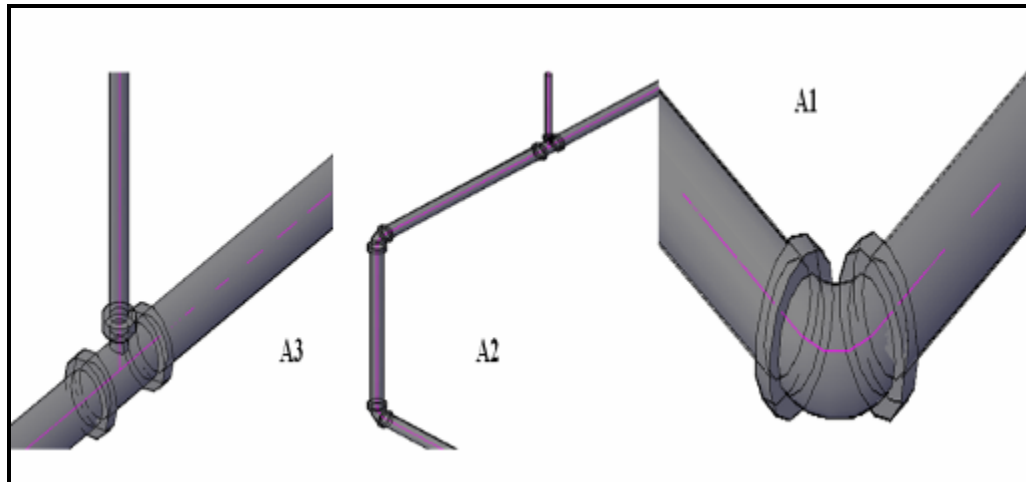


Figura N° 4.24 Accesorios

Tomando en cuenta todos los accesorios desde la salida de la consola, las velocidades y constante de pérdida por accesorio (K) se procedió de la siguiente manera, para el correspondiente cálculo.

Por ejemplo la línea A posee 3 codos de 90° los cuales se pueden observar en la figura N° 4.23 A1 y A2 y esta línea posee la misma velocidad:

$$H_f = \sum K x \frac{V^2}{2 \cdot xg} = 3 \times 0.25 \times \frac{1.82 \text{ m/seg}}{2 \times 9.81 \text{ m/seg}^2} = 0.1266 \text{ m}$$

De la misma manera se procedió para el resto de los accesorios y se realizó la sumatoria total para el tramo hacia el equipo G-0302, se muestran los resultados en la tabla N° 4.10.

Tabla N° 4.10 Accesorios presentes en la línea desde la salida de la consola de generación hasta G-0302, Pérdidas por accesorios para esta línea.

Accesorio	Cantidad	Velocidad (m/seg)	k	Hf (m)
T 2"	1	6,08	2	3,76823649
codo 90° 2"	1	4,01	0,25	0,20489424
T 2"	1	4,01	2	1,63915392
codo 90° 2"	3	1,82	0,25	0,1266208
TR1"1/2x3/4 "	1	1,82	2	0,33765545
TR1"1/2x3/4 "	1	1,57	2	0,25126402
TR1"1/2x3/4 "	1	1,33	2	0,180316
TR1"1/2x3/4 "	1	1,11	2	0,12559633
TR 1"1/2x3/4 "	1	0,86	1,3	0,0490051
TR1"1/2x3/4 "	1	0,62	2	0,03918451
TR1"1/2x3/4 "	1	0,44	2	0,01973496
TR1"1/2x3/4 "	1	0,22	2	0,00493374
Total				6,74659557

4.3.4.3. Cálculo de pérdidas total y caída de presión

Para este cálculo se realiza la sumatoria de las pérdidas mayores y menores y se calcula la caída de presión en Pa y se convierte a pulgadas de H₂O debido a que el sistema debe encontrarse entre 18-20 pulg H₂O, siendo la presión de salida del flujo de la consola de 20 pulg H₂O.

Líneas desde la consola hasta G-0302A

Pérdidas por Fricción= Pérdidas por fricción desde la salida de la consola+ pérdidas por fricción Tramo de G-0302

Perdida por Fricción = 5.741m + 0.905 + 0.419 m = 7.065m

Pérdidas por accesorios = 6.747 m

Pérdida total: = 7.065m + 6.747 = 13.812m

$$\Delta p = 1,1774 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 9.81 \frac{\text{m}}{\text{seg}^2} \times 13.812\text{m} = 159.533 \text{ Pa}$$

$$\Delta p = 159.533\text{Pa} \times \frac{1\text{pulgH}_2\text{O}}{248.744\text{Pa}} = 0.6414\text{pulgH}_2\text{O}$$

De la misma forma se procedió para todos los tramos y se presentan los resultados en la tabla N° 4.11.

Tabla N° 4.11 Pérdidas total y caída de presión para cada una de las líneas del sistema

Líneas	Pérdidas total (m)	Δp (Pa)	Δp (Pulgadas de H ₂ O)
G-0302	13.822	158.648	0.6418
J-20	7.864	168.045	0.6756
J-60B	7.611	87.909	0.353
J-53	13.435	155.18	0.624
J-14B	7.805	90.15	0.362

En tabla se puede observar que la caída de presión es menor a una pulgada de H₂O en todos los tramos, por lo que se podrá mantener el sistema a la presión deseada, 18-20 pulg H₂O, y se garantiza la llegada del flujo a cada uno de los puntos de inyección más alejados de la consola.

4.3.4.4. Comprobación del comportamiento de la neblina de aceite en el sistema de lubricación por neblina pura de aceite.

En esta parte se realizó la comparación de los resultados de la simulación del comportamiento de la red de tuberías de distribución principal usando un flujo de Aire, comparándolo con los resultados de la misma simulación pero usando como flujo de trabajo la mezcla de Aire-Aceite, con el fin de comprobar que la neblina de aceite tiene un comportamiento similar al aire en la red de tuberías principal del sistema de lubricación por neblina de aceite.

Metodología

Para la simulación de la red de distribución de aire, se utilizó el simulador de flujo de fluidos PIPEPHASE 8.1, Para esto se utilizaron los isométricos de la red de tubería de distribución principal para tener de una forma más clara el dimensionamiento de las tuberías y accesorios que forman la red.

Descripción de red simulada

- **Tipo de Simulación:** El tipo de simulación utilizada fue la **network model**, la cual es utilizada para simular redes de tuberías.
- **Tipo de Fluido:** La opción seleccionada para simular el tipo de fluido, fue la opción **Composicional**, donde se seleccionó de la librería el componente AIRE, y se creó otro elemento en representación del aceite, tomando en cuenta su densidad y su peso molecular.

- **Fuentes:** la única fuente (Source), en la red, está representada por la consola, la cual tiene una presión fija de 20 pulg H₂O (0.721 PSI), un caudal de 933 BI (27.9 SCFM; 47.40 m³/H) y una temperatura de 30° C. Para la primera simulación se tomó un 100% de aire y para la segunda un 99,995% de aire y el resto de aceite, aunque la composición real es de 1 partícula de aceite por 200000 de partículas de aire (99.999% de Aire), se tomo esta como la mínima composición de aceite que el simulador permite.
- **Sumideros:** Los nodos que fueron tomados en cuentas como sumideros (sink), fueron los que están a las salidas de cada te reductora, que conecta la tubería principal con la secundaria. Estos tienen un caudal fijo y una presión estimada.
- **Líneas de corrientes:** Las líneas de corriente están representada cada una con un nombre ejemplo link 004, estas poseen el dimensionamiento de toda la red, es decir, en ellas se ubicaron las tuberías y accesorios. Las principales poseen tuberías de 2" sch 40, con la longitud expresada en metros. La correlación utilizada para determinar la caída de presión fue Beggs & Brill Moody, por ser unos de los más recomendados para caídas de presión en flujo composicional. Las líneas de llegada a cada sumidero son las representadas por T reductoras, estas tienen un diámetro de ¾" con Schedule 40. Longitud de 0.4 m, utilizan la misma correlación que la anterior.

Resultados de la Simulación

A continuación se muestra en la Figura N° 4.25 el arreglo de la red de tubería en pipephase y los resultados de una manera resumida en la tabla N° 4.12.

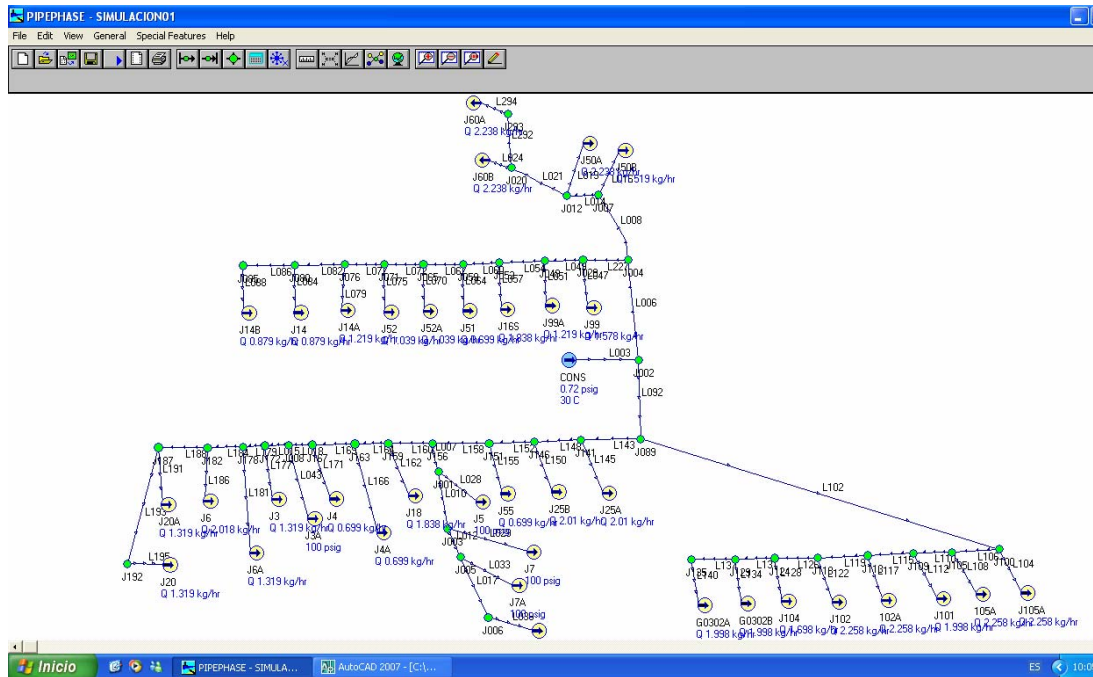


Figura N° 4.25 Arreglo para la simulación de Aire y Aire-Aceite

Tabla N° 4.12. Resumen de los resultados de las simulaciones

TAG	AIRE P (psi)	NEBLINA P (psi)
J-25A-01/B1	0,7	0,7
J-25B-01/B1	0,7	0,7
J-55-01/B1	0,7	0,7
J-5-01/B1	0,7	0,7
J-7-01/B1	0,7	0,7
J-7A-01/B1	0,7	0,7
J-53-01/B1	0,7	0,7
J-18-01/B1	0,7	0,7
J-4A-01/B1	0,7	0,7
J-4-01/B1	0,7	0,7
J-3A-01/B1	0,7	0,7
J-3-01/B1	0,7	0,7
J-6A-01/B1	0,7	0,7
J-6-01/B1	0,7	0,7
J-20-01/B1	0,7	0,7
J-20A-01/B1	0,7	0,7

J-50-01/B1	0,7	0,7
J-50A-01/B1	0,7	0,7
J-60A-01/B1	0,7	0,7
J-60B-01/B1	0,7	0,7
J-99-01/B1	0,7	0,7
J-99A-01/B1	0,7	0,7
J-16S-01/B1	0,7	0,7
J-51-01/B1	0,7	0,7
J-14-01/B1	0,7	0,7
J-14A-01/B1	0,7	0,7
J-52-01/B1	0,7	0,7
J-52A-01/B1	0,7	0,7
J-14B-01/B1	0,7	0,7
G-0302A/B1	0,7	0,7
G-0302B/B1	0,7	0,7
J-102-03/B1	0,7	0,7
J-104-03/B1	0,7	0,7
J-102A-03/B1	0,7	0,7
J-101-03/B1	0,7	0,7
J-105-03/B1	0,7	0,7
J-105A-03/B1	0,7	0,7

Para ambas simulaciones se utilizó el mismo montaje y condiciones de la red de tuberías solo se diferencian por el fluido de trabajo. Como se observan los resultados, en la tabla N° 4.12, la presión de salida en cada uno de los puntos (sumideros) son exactamente iguales de 0.7 PSI, por lo que para cualquiera de los dos casos la caída de presión mínima es la misma, lo cual es indicativo que el porcentaje de aceite anexado a la red es insignificante para los cálculos de caída de presión. Comprobándose que la neblina de aceite tiene un comportamiento similar al aire limpio, dentro de la red de tuberías principal del sistema de lubricación por neblina de aceite. Además se pudo verificar la caída de presión en los puntos más alejados de la consola garantizando de esta manera la llegada de la neblina de aceite.

4.3.5. Selección de los equipos y accesorios de distribución y generación de neblina.

Los equipos y accesorios que deben seleccionarse para la instalación de un sistema de lubricación por neblina de aceite son los siguientes:

1. Consola de generación
2. Reclassificadores
3. Manifold (distribuidores)
4. Tuberías principal y secundarias
5. Líneas de alimentación (Tubing)
6. Líneas de drenaje
7. Vaso de condensado
8. Recolector ecológico
9. T de reducción
10. T de separación
11. Codos de 90°

Para la selección de estos equipos se utilizaron los catálogos del grupo Sichelub Lubritech de acuerdo a los requerimientos del sistema de lubricación por neblina pura de aceite para los equipos rotativos de la unidad de FCC y Bencina así como las condiciones de estas plantas.

A continuación se muestra la tabla N° 4.13 con todos estos elementos, sus especificaciones y cantidades necesarias para el diseño del sistema de lubricación por neblina pura de aceite para la unidad de FCC y Bencina:

Tabla N° 4.13 Elementos necesarios para la instalación del sistema de lubricación por neblina pura de aceite para los equipos rotativos de la unidad de FCC y Bencina

Elemento	Especificaciones		Cantidad
	Características	Tamaño	
Consola de Generación	Modelo IVT	933 BI	1
Tuberías principal	Acero al Carbono Galvanizado, Espesor de pared Sch 40, Extremo Roscado	2"	259,9 m
		1"1/2	48,2 m
Tuberías secundarias	Acero al Carbono Galvanizado, Espesor de pared Sch 40, Extremo Roscado	3/4"	148 m Aproximado
Tee	Acero al Carbono Galvanizado, Espesor de pared Sch 40, Extremo Roscado	2"	3
		2"x3/4	29
		2"x1"1/2	1
		1"1/2x3/4"	8
Reducción	Acero al Carbono Galvanizado, Espesor de pared Sch 40, Extremo Roscado	2"x1"1/2	1
Codos 90°	Acero al Carbono Galvanizado, Espesor de pared Sch 40, Extremo Roscado	2"	16
		1"1/2	1
		2"x1"1/2	2
Manifold	Acero Inoxidable 304, Aluminio, Acrílico	77-600-872	37
Reclasificador	Acero Inoxidable 304	77-700-501	34
		77-700-502	46
		77-700-503	14
		77-800-621	11
		77-800-622	16
		77-800-623	2
Vaso de condensado	Acero Inoxidable 304, Acrílico Cant. Bombas OH 1 Bombas BB 2 Motores 0 Turbinas 2	77-700-202	47
Recolector Ecológico	Aluminio, Acero inoxidable 304, Acrílico	77-700-301	37
Líneas de alimentación	Acero Inoxidable 304	1/4"	200 m Aproximado
Líneas de drenaje	Acero Inoxidable 304	3/8"	250 m Aproximado

En el manual de la consola de generación se podrá conseguir todos los componentes y cantidad de repuestos necesarios para la instalación de ésta y el mantenimiento por un período de 6 meses. Así como también los planes de mantenimiento de rutina. Para el caso de las líneas de alimentación y drenaje se

estimo de acuerdo al número de equipos tomando como referencias los sistemas ya instalados en las Unidades de Hidroprocesos de la Refinería de Puerto la Cruz.

4.4. Modificaciones a los equipos rotativos para la instalación del sistema de lubricación por neblina pura de aceite.

En esta etapa se recopilamos todos los planos de los equipos rotativos a los que se les adaptará el sistema de lubricación por neblina de aceite así como también se hicieron visitas a plantas para tomarles fotos y verificar una por una la información en el plano, realizando mediciones necesarias que pudieran ayudar a proponer las modificaciones. Se realizó visitas al taller mecánico y eléctrico de la empresa para entrevistar al personal y tomar en cuenta las sugerencias de acuerdo a nuestras propuestas, considerando las características de las bombas hechas bajo la normas API 610 desde 5^a hasta 8^{va} edición, normas de PDVSA y experiencias ya probadas en la ingeniería para este tipo de sistema. Para el caso de turbinas y motores eléctricos se consideró la experiencia ya probada en el área y las adecuaciones planteadas a las bombas que en su mayoría sirven para estos equipos.

4.4.1. Lubricante Primario.

Uno de los aspectos que se debe tomar en consideración es el lubricante que se utilizará, puesto que la consola de generación trabaja con un solo tipo de aceite lubricante. Según un estudio realizado años atrás, lo cual se encontraba documentado en la base de datos de la empresa (ver en el apéndice B) estudio de lubricación realizado hace pocos años, gran cantidad de equipos eran lubricados con uno llamado Turbina 68, sin embargo al verificar en planta, se pudo constatar con los operadores que este lubricante había sido eliminado de la producción de la empresa y en su lugar se había colocado para la lubricación de estos equipos el Turbina 100.

Todos los equipos seleccionados para la instalación del sistema de lubricación por Neblina Pura de Aceite deben utilizar el mismo aceite lubricante. Con la ayuda del estudio de lubricación realizado por la empresa años atrás y con la asesoría del personal de Taller Mecánico y Eléctrico de la empresa se llegó al acuerdo que todos los equipos seleccionados pueden ser lubricados con el aceite lubricante TURBOLUB 100 el cual puede satisfacer los requerimientos de lubricación de estos equipos. Por ello una de las primeras modificaciones que se debe aplicar a todos los equipos es el lubricante que utilizan.

4.4.2. Modificaciones en Bombas:

Las bombas de la unidad de Catalítica (FCC), como las de la unidad de Bencina, poseen el sistema de baño de aceite con anillo por lo que se deben realizar modificaciones o retrofitting con la finalidad de adecuarla al nuevo sistema de lubricación por neblina. Estas modificaciones van a depender del diseño de la bombas (Edición de fabricación según API), dimensionamiento de las mismas y facilidades de instalación de conexiones para neblina de aceite, espacio disponible en zona, entre otros aspectos. Debemos indicar que no solo es instalar las inyecciones de neblina, sino que se debe visualizar el espacio para la instalación de los vasos condensado, colector ecológico, conexión de drenaje, entre otros. Se podría hablar de dos tipos de modificaciones que requieren las bombas, una las modificaciones básicas y otras las modificaciones detalladas. Siempre y cuando la bomba haya construida bajo estándares con ediciones recientes API, ISO, ANSI/ASME, éstas sólo requerirán algunas modificaciones básicas para colocar el sistema de lubricación por neblina.

4.4.2.1. Modificaciones Básicas en Cada Bomba Para Instalación de Sistema de Lubricación por Neblina de Aceite.

Las modificaciones básicas que se deben realizar a la bomba consisten en la eliminación de los mecanismos, dispositivos y/o elementos que componen el sistema de lubricación por anillos, los cuáles no serán de utilidad en el nuevo sistema de lubricación por neblina. Las modificaciones básicas a realizar son las siguientes:

- Desinstalación de los anillos de lubricación de la Bomba.
- Eliminación del nivel de lubricante, el nivel del aceite y conexión de drenaje de la caja de rodamientos de la bomba.
- Eliminación del vaso de reposición de aceite del sistema de lubricación por anillo, cerrando mediante tapón el agujero donde se encuentra colocado.
- Colocación de conexión de tubería de drenaje de aceite para la colocación del vaso condensado y del colector ecológico.

4.4.2.2. Modificaciones Detalladas en Cada Bomba para la Instalación de Sistema de Lubricación por Neblina de Aceite.

Las modificaciones o retrofitting detalladas consisten en todas las modificaciones necesarias para la instalación del nuevo sistema. Estas incluyen instalación de los puntos de inyección; modificaciones, cambio o reemplazo de los sellos de aceites de las bombas; modificaciones en tapas y cajas de rodamientos; instalación de los accesorios del sistema de lubricación por neblina (Vaso condensado, colector ecológico, drenajes, entre otros) y todas aquellas modificaciones que se sustenten en la buena práctica ingeniería y de la experiencia en este campo. Estas modificaciones van a depender del tipo de bomba, características constructivas, edición de construcción, entre otros.

En el caso del presente trabajo, la gran mayoría de las Bombas seleccionadas para la instalación de este sistema fueron construidas bajo ediciones API hasta 6^{ta} edición (lo cual se puede observar en la tabla N° A 7 apéndice A). Por lo que las bombas de ediciones anteriores a API 610 7^{ma} edición, debe realizárseles ciertas modificaciones, que pueden variar dependiendo del tipo de bomba. Por lo que se debe observar el plano de cada una para agrupar bombas semejantes y luego proceder a realizar la propuesta de los Retrofitting.

Las diferencias entre una bomba API 610 menor a 7^{ma} y una igual o mayor edición, pueden ser observadas a simple vista. Una diferencia principal es que las bombas API de la séptima edición o más ya poseen la estructura para la adaptación de sistema de lubricación por neblina de aceite y por lo general no requieren del sistema de enfriamiento para la carcasa, ya que poseen en su lugar aletas de enfriamiento. A continuación se muestran las fotos en la figura N° 4.26 de una bomba API 610 8^{va} de la unidad de Hidroprocesos de la Refinería de Puerto La Cruz y una bomba API 5^{ta} edición de la unidad de FCC.



Figura N° 4.26 Diferencia básicas entre una bomba 8^{va} (G-2001 A) Edición API 610 y una de 5^{ta} (J-7) Edición

Los planos y fotos de los equipos seleccionados se encuentran en el apéndice C, los cuales se usaron para agrupar a las bombas semejantes o parecidas en estructura, a las cuales se les debe realizar la misma modificación. A continuación se muestran las modificaciones planteadas a los equipos con características de diseño iguales o parecidas.

Bombas J-3; J-6/J-6A; J-7/J-7A; J-18

Estas bombas en cantiléver, están construidas bajo las especificaciones API 610 5^{ta}. Al observar los planos se encontró semejanza en la caja de rodamientos, sistema de enfriamiento, misma cantidad y ubicación de agujeros y drenaje, pero en general estas bombas manejan diferentes fluidos, velocidad y tamaño, son parecidas estructuralmente en la caja de rodamiento (ver figura N° 4.27), que es la parte que interesa, por lo cual se agruparon y requerirán las mismas modificaciones.



Figura N° 4.27 Bombas J-3, J-6A, J-7 y J-18 de la unidad de FCC

Para las modificaciones se toma en cuenta las entradas de aceite actual. Este grupo de bombas poseen solo una entrada a la mitad de la carcasa superior de la bomba por donde sólo se puede colocar un reclasificador el cual obligatoriamente debe ser direccional hacia el cojinete radial. Este agujero se deberá ajustar a $\frac{1}{4}$ de pulgada. Para el lado axial se tendrá que hacer una perforación en la carcasa de $\frac{1}{4}$ de pulgadas en donde se podrá colocar otro reclasificador, en este caso no se requiere que sea direccional puesto que se encontrará muy cercano al rodamiento, cumpliendo en este caso con las recomendaciones de API 610 8^{va} Edición. En el drenaje que posee se utilizará para adaptar el vaso de condensado y se colocará el recolector ecológico en parte inferior de la bancada cercano a la alcantarilla (Ver Figura N°4.28). Adicionalmente a lo mencionado aquí, se deben realizar las modificaciones básicas anteriormente comentadas.

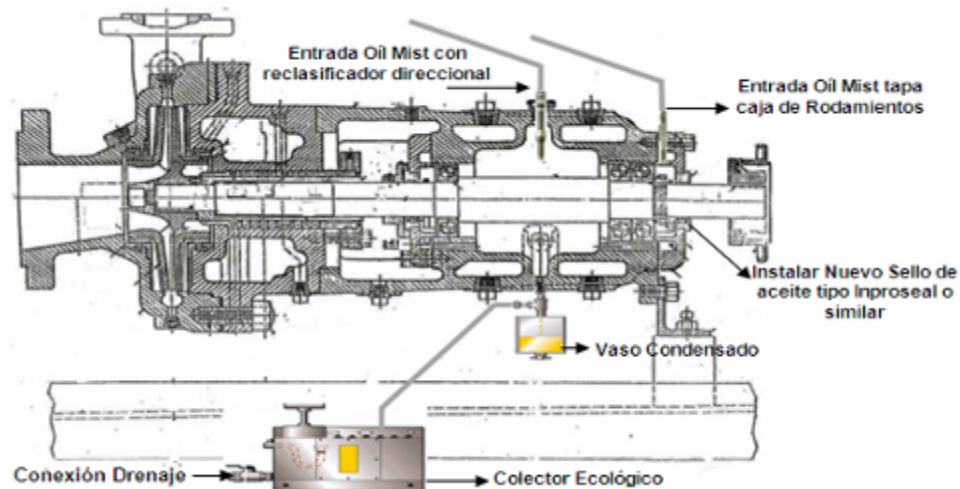


Figura N° 4.28 Plano esquemático de Bomba J-18, mostrando las modificaciones básicas y detalladas a realizar para adecuar la bomba a un sistema de lubricación por neblina. Estas modificaciones son iguales para bombas J-6/J-6A, J-3/J-3A, J-7/J-7A

Con referencia al sello de aceite, se requiere reemplazar en la mayoría de las bombas de este grupo los sellos deflectores de aceite, por unos sellos más confiables, que eviten la entrada de contaminantes externos y mantenga la neblina dentro del equipo,

asegurando esto la buena lubricación de los rodamientos. El sello recomendado es un sello tipo Inproseal (Ver figura 4.29), que lo tienen instalados las bombas nuevas de las plantas de Hidroprocesos. Tienen una parte estática y otra giratoria, un oring interno en la parte giratoria para evitar fuga de aceite por el eje y la parte interna para evitar entrada de contaminantes externos y así garantizar una mejor funcionabilidad del nuevo sistema de lubricación por neblina.

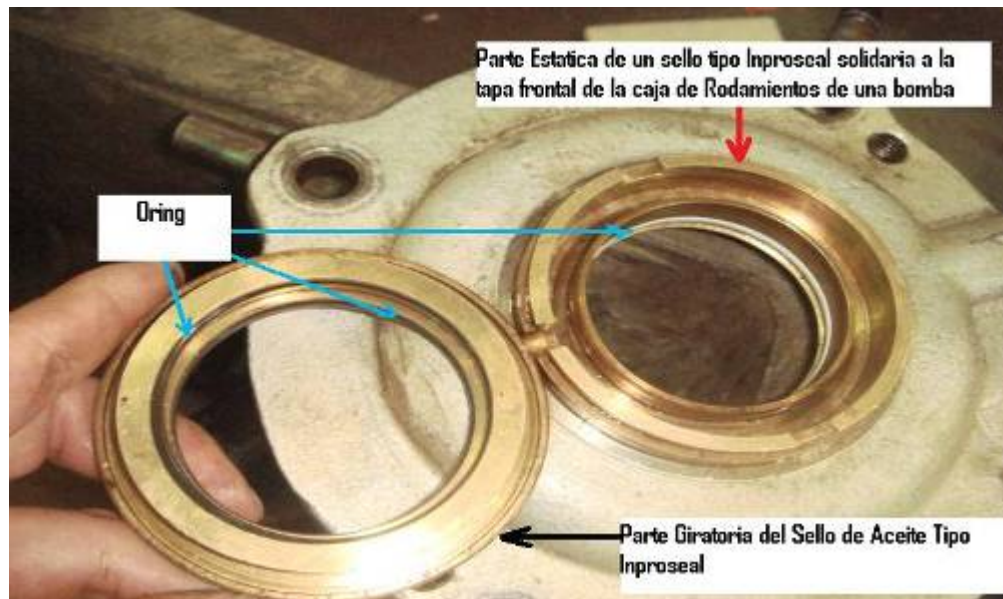


Figura N° 4.29 Sello de aceite tipo Inproseal recomendado su instalación en las bombas de Catalítica y Bencina

Bombas J-60A/J-60B, J-14B, G-0302 A/B

Las bombas J-60A/J-60B; J-25A/J-25B, J-14B; G-0302A/G0302B, son bombas construidas bajo normativa API 610 7^{ma} (J-60A/J-60B; J-25A/J-25B, J-14B) y 8^{va} (G-0302A/G0302B) edición. Las mismas requieren algunas modificaciones básicas, ya que poseen en su caja de rodamientos y/o tapas, la conexión de ¼” para la entrada de neblina (Ver figuras 4.30 y 4.31).

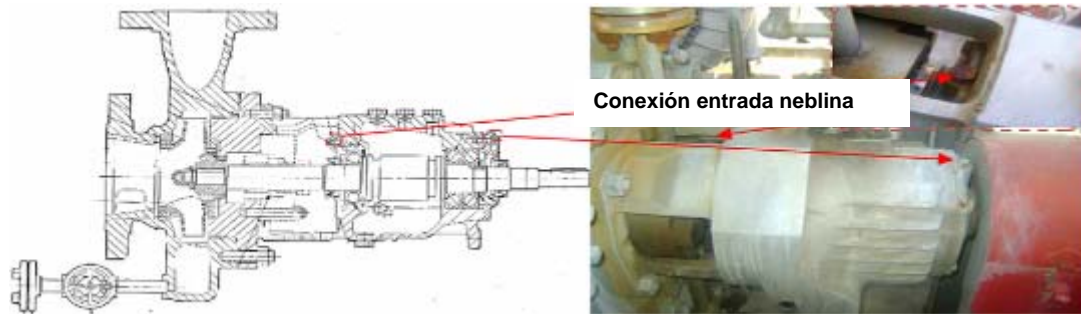


Figura N° 4.30 Plano esquemático de Bomba G-0302A, mostrando las modificaciones básicas a realizar para adecuar la bomba a un sistema de lubricación por neblina.



Figura N° 4.31 Conexión de entrada de neblina (Oil Mist) en tapa de la caja de rodamientos de la Bomba G-0302A

Bomba J-20/J-20A

Están bombas construidas bajo la normativa API 610, son del tipo doble apoyo (entre rodamientos). Poseen un rodamiento de doble hilera en cada caja de rodamientos, lubricados los mismos con grasa Múltiple 2 de PDV o similar. Ya como no posee anillo de lubricación no se requiere muchas modificaciones para adaptarla al sistema de lubricación por neblina. Se requiere la instalación de reclassificadores

direccionales en cada caja de rodamientos. Es preferible usar reclassificadores direccionales para así garantizar una buena lubricación por neblina. Dichos reclassificadores serán instalados en la conexión de grasa de cada rodamiento (ver figura 4.32). Aparte se debe realizar la instalación de sellos mecánicos sencillos para garantizar que una fuga excesiva por los empaques tenga la posibilidad de entrar a la caja de rodamientos de las bombas. En este caso se solicitó al fabricante de la bomba, quienes también son fabricantes de sellos, la instalación de sellos mecánicos para estas bombas, dando como especificación un sello sencillo tipo P-50, tamaño 4.50 in. (Ver Apéndice D)

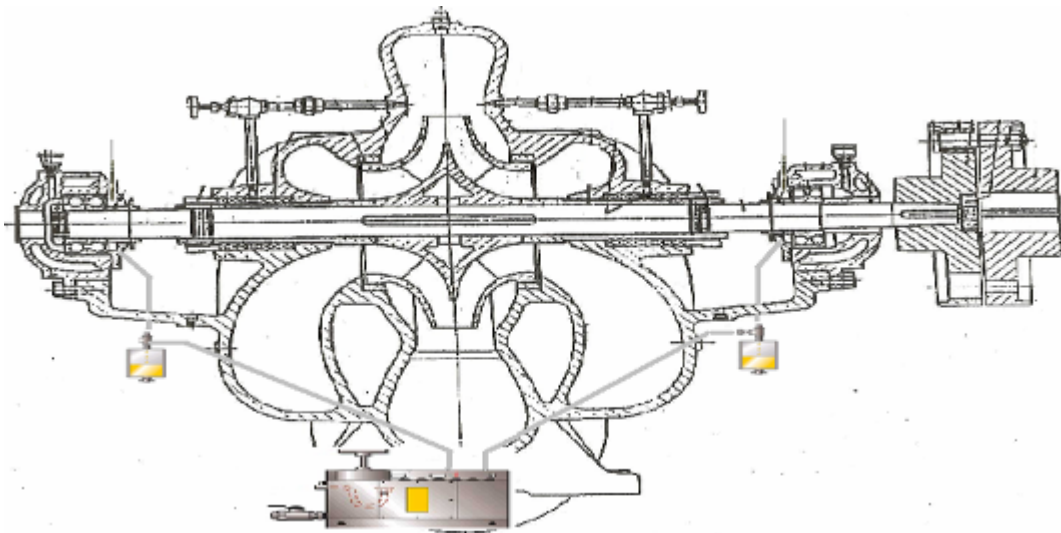


Figura N° 4.32 Plano esquemático de Bomba J-20/J-20A, mostrando las modificaciones básicas y detalladas a realizar para adecuar la bomba a un sistema de lubricación por neblina.

4.2.3. Modificaciones en Motores

En la unidad de FCC y Bencina todos los motores, exceptuando a J-50, J-102/102A, son lubricados con grasa y en gran medida estos motores eléctricos poseen rodamientos sellados o de doble tapa (tipo 2Z), los cuales ya viene con grasa. Ello

motiva a realizar el reemplazo de todos los rodamientos antes de realizar la instalación de sistema por neblina a estos equipos.

Posteriormente se les deberá colocar un agujero de drenaje en la parte inferior de la cubierta a aquellos que no lo posean, para la colocación del tubing de drenaje hacia el colector ecológico. Debe ser un agujero de $\frac{1}{4}$ de pulgada, esto aplicara tanto del lado motriz como el no motriz. Por la entradas de grasa se podrán colocar los reclassificadores puesto que estas ya son de $\frac{1}{4}$ de pulgada, esto aplicará aun para los motores que tienen entradas en la parte superior tanto para el lado motriz como el no motriz (ver figura 4.33)

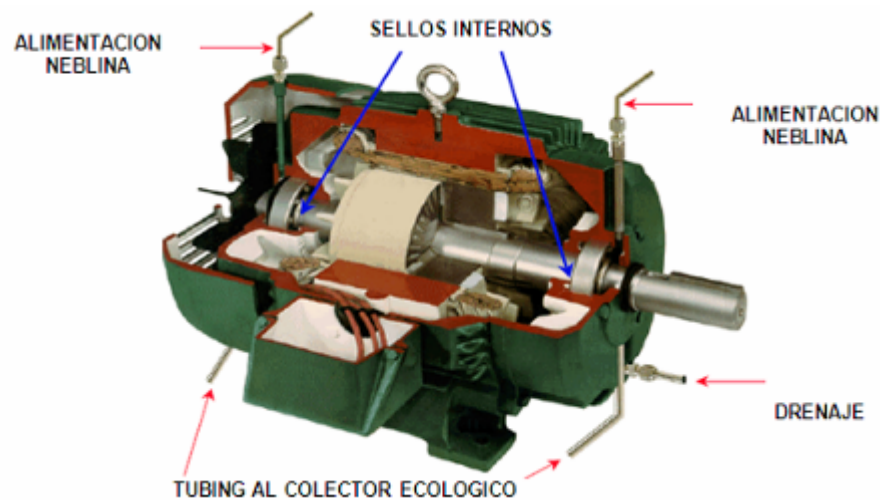


Figura N° 4.33 Esquemático del motor eléctrico J-52 de FCC mostrando las conexiones para la instalación del sistema de lubricación por neblina

En las figuras N° 4.34 y 4.35 se muestra detalladamente la circulación de neblina de aceite en el motor eléctrico y el punto de grasa por donde entrara la neblina. El claro o juego (h) entre las tapas de ajuste del rodamiento y el eje va a depender del diámetro del eje del motor, voltaje, amperaje, y material del equipo. Generalmente estas tolerancias o juego están en el orden de 0,5 mm (0.020 in) para ejes menores de 50,80 mm (2.5 in) y hasta 1.0 mm (0,040 in) para ejes hasta 127 mm (5 in).

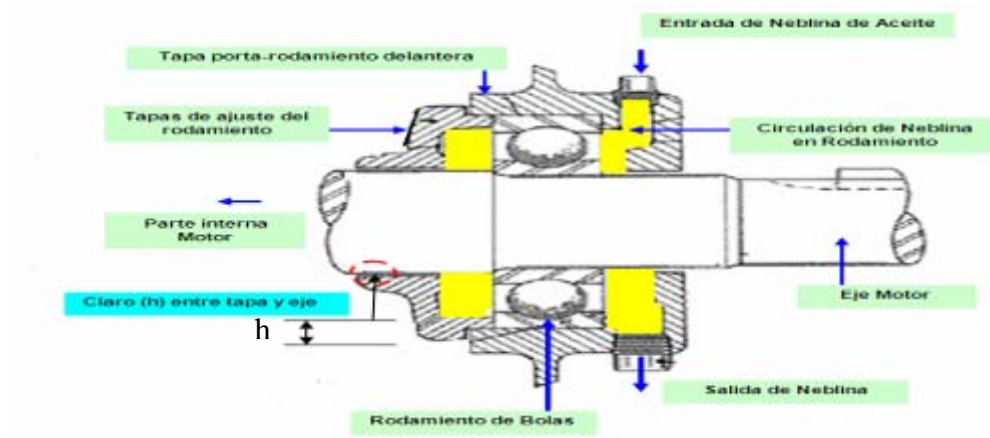


Figura N° 4.34 Circulación de la neblina por el rodamiento del motor eléctrico similar a los instalados en catalítica y FCC

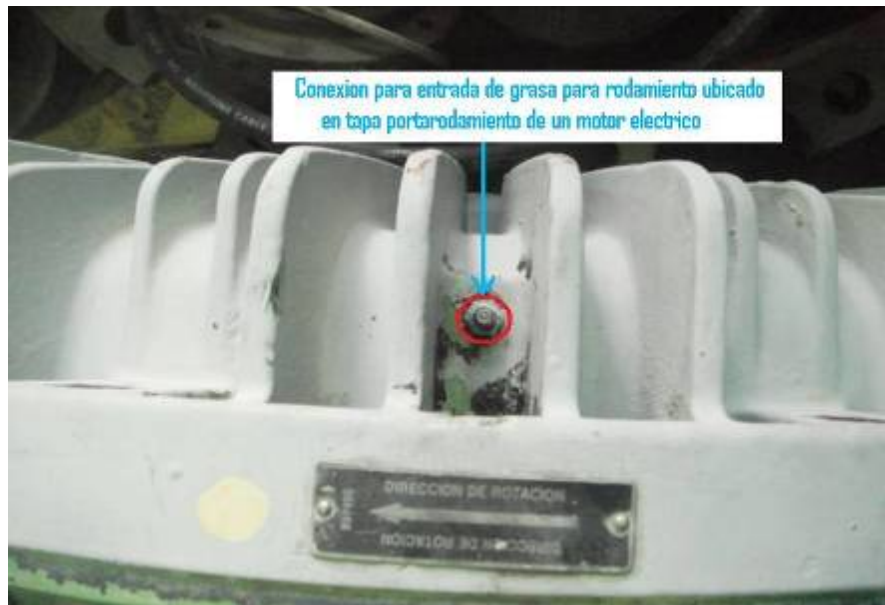


Figura N° 4.35 Punto de entrada de grasa para rodamiento ubicado en tapa lado motriz de un motor eléctrico. Por aquí mismo será la entrada de neblina de aceite para este equipo.

La parte más crítica de la instalación del sistema de lubricación por neblina en los motores eléctricos es evitar que la neblina penetre al interior del embobinado del

motor eléctrico (estator). Aunque estudios que demuestran que el aceite no genera daño significativo al estator, se debe evitar lo máximo posible que la neblina penetre hacia dentro del equipo. En la figura N° 4.36, 4.37 y 4.38 se muestra un detalle de cómo es la disposición del rodamiento dentro de la tapa portarodamiento.

En vista de que las tolerancias entre eje y tapa son pequeñas (especialmente en motores de menos de 50 Hp), es difícil realizar modificaciones (por poco espacio) en dichas tapas que permita la instalación de un sello para evitar la entrada de neblina al embobinado. Si es posible en estos motores se debe instalar sello de fieltro (material absorbente) para minimizar la entrada de la neblina dentro del motor. Para eso es recomendable realizar mediciones internas en tapas, rodamientos y tapas portarodamientos cuando en taller eléctrico se haga mantenimiento a cualquier motor de estas plantas.

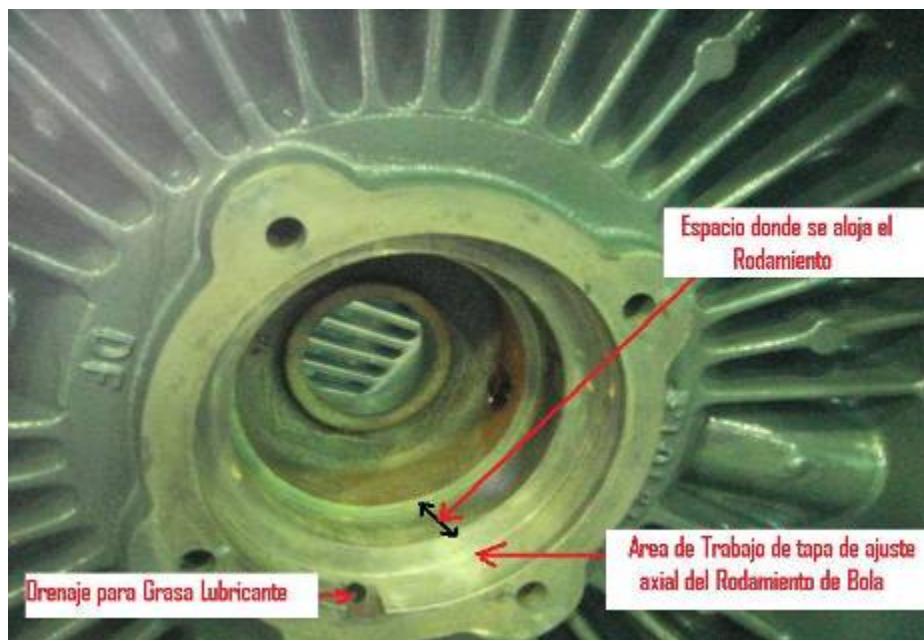


Figura N° 4.36 Descripción del alojamiento del rodamiento dentro de la tapa portarodamientos de un motor eléctrico.

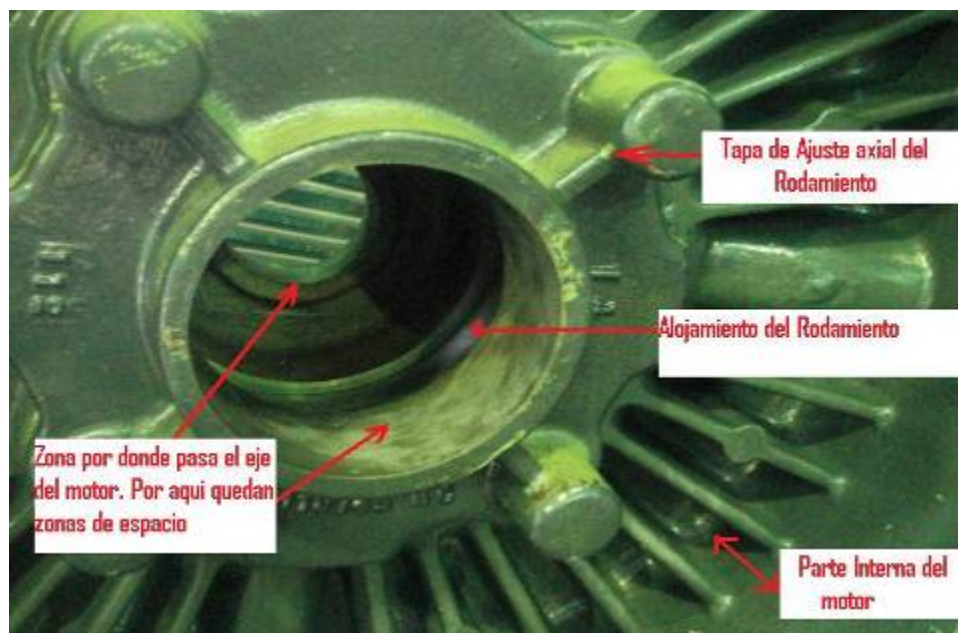


Figura N° 4.37 Descripción del alojamiento, tapa de ajuste del rodamiento dentro de la tapa portarodamientos de un motor eléctrico.

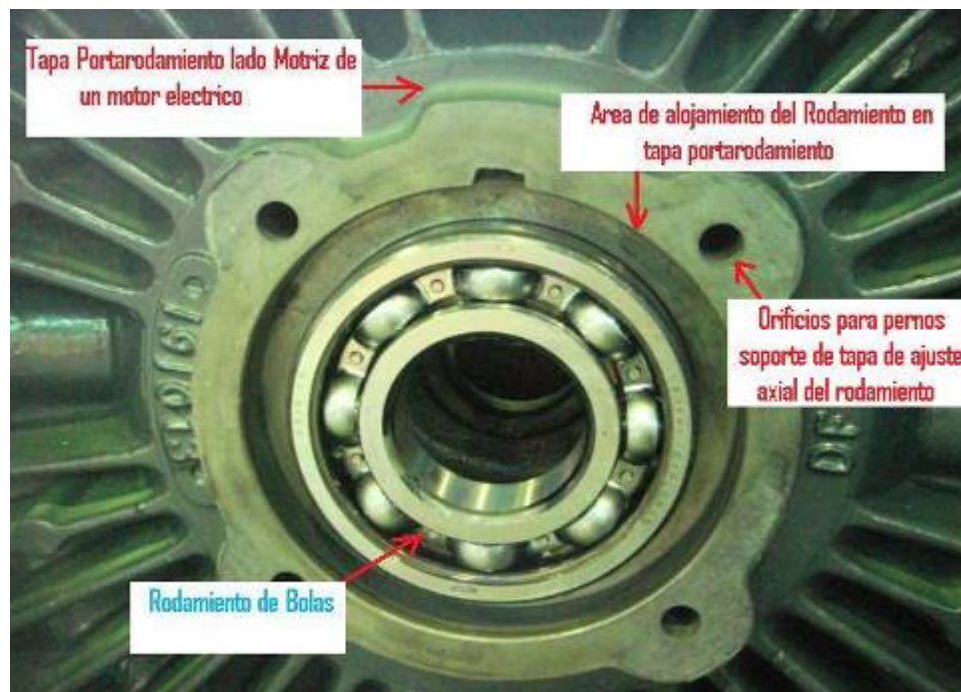


Figura N° 4.38 Rodamiento ubicado dentro de la tapa portarodamientos de un motor eléctrico.

Para motores eléctricos mayores de 50 Hp, es recomendable la instalación de sellos de fieltro en la parte interna y sellos tipo Inproseal o similar hacia el lado de afuera tanto en el lado motriz como no motriz, esto para evitar la entrada de humedad y suciedades hacia los rodamientos. También es recomendable realizar mediciones internas en tapas, rodamientos y tapas portarodamientos cuando en taller eléctrico se haga mantenimiento a cualquier motor de estas plantas. Solo el motor J-50 Catalítica, ya posee adaptación de Oíl Mist.

Cabe señalar que los Tubing de drenaje se conectarán al mismo colector ecológico usado por las bombas a los cuales se encuentran acoplados igual que los tubing de distribución se conectarán al mismo reclassificador. Lo mismo aplica para las turbinas a vapor.

4.2.4. Modificaciones en Turbinas

Sólo cuatro Turbinas poseían las características mínimas para poder instalarles el sistema de lubricación por neblina de aceite entre las cuales se encuentran: J-99, J-14A, J-52A y J-16S.

Estas Turbinas poseen puntos de lubricación, Nivel y Drenaje de aceite tanto del lado motriz como el lado no motriz por lo que a éstas sólo se les deberá adaptar los reclassificadores y vasos de condensado, sellar el agujero donde se encuentre el nivel de aceite y colocar sellos de aceite. Prácticamente las modificaciones básicas que se deben realizar a las turbinas de vapor son similares o iguales a las que se deben realizar a las bombas centrífugas anteriormente descritas.

CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Actualmente todas las bombas centrífugas seleccionadas para la instalación del Sistema de lubricación por neblina pura de aceite que se encuentran en funcionamiento poseen un sistema de lubricación por anillos de aceite.
- Para la instalación del Sistema de Lubricación por Neblina Pura de aceite en la unidad de FCC y Bencina se seleccionaron los equipos rotativos como: Bombas Centrífugas, Motores Centrífugos y Turbinas a Vapor, como lo recomienda las normas API 686, API610 y API 751RP.
- El sistema de lubricación por neblina de aceite no se instalará en equipos que posean sistema de lubricación forzado, que tengan cojinetes como medio de apoyo o bombas verticales autolubricadas.
- Se seleccionó una consola de 933 BI capacidad, con 25% de flujo adicional como lo especifica la Norma de la empresa.
- La neblina de aceite tiene un comportamiento similar al aire en la red de tuberías de distribución principal y secundaria del sistema de lubricación por neblina pura de aceite.
- El diseño de la red de tuberías de distribución principal del sistema de Lubricación por Neblina Pura de Aceite para la Unidad de FCC y bencina, permitirá la llegada de neblina a todos los puntos más alejados de la consola,

Manteniendo una caída de presión que se encuentra dentro del rango que especifica la norma de la empresa de la empresa.

- El transporte de neblina de aceite por las tuberías de distribución, de la red principal del Sistema de Lubricación por Neblina Pura de Aceite, es un proceso a baja velocidad.
- Los reclassificadores direccionales se seleccionan en el caso de no ser posible la inyección de neblina como lo recomienda la norma API 610 en su 8^{va} Edición.
- Las bombas de ediciones API menores de 7^{ma} edición requerirán ciertas modificaciones (Retrofitting), las cuales permitirán la instalación del nuevo sistema de lubricación.
- Los motores que no contienen adaptación Oil Mist requieren de la colocación de Sellos de aceites tanto del lado motriz como el no motriz.
- El Diseño de Lubricación por Neblina Pura de Aceite propuesto para los equipos rotativos de la Unidad de FCC y Bencina de la Refinería de Puerto la Cruz cumple con los requerimientos exigidos por la empresa y requerido para las condiciones de la planta y los equipos.

5.2. Recomendaciones

- Mejorar la situación actual a nivel de lubricación en los equipos rotativos de FCC y Bencina, esto mientras se realiza la Ingeniería de Detalle, compra e instalación del nuevo sistema de lubricación por neblina de aceite.
- Tomar en cuenta los declives en las tuberías de distribución principal y secundaria en el momento de la instalación del sistema de lubricación por neblina.
- Realizar evaluación técnico y económica para reemplazar o modificar las bombas J-4/4A y J-3/3A, ya que el sistema de sellado de las mismas no están

acorde con la norma API 682 y las normativas de seguridad actuales por el fluido que maneja.

- Realizar la instalación del sello mecánico sencillo Marca Flowserve en las bombas J-20/20A.
- Evaluar tapas y espacio interno en los motores eléctricos con la finalidad de adecuar a nivel de sellos de aceite tanto lado interno del motor como externo los motores eléctrico, cuando se le realice mantenimiento a los motores eléctrico de estas unidades.
- Realizar la instalación de nuevos sellos de aceite tipo Inproseal a las bombas, esto con la finalidad de garantizar la excelente funcionabilidad del sistema de lubricación por neblina en estos equipos.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Agreda P. **“Estudio para la instalación de sistema de lubricación por neblina de aceite equipos rotativos críticos de Servicios Industriales de la R.P.L.C”**. Trabajo de grado. Universidad de Oriente (2002).
- [2] Rondón M. y Zacarías J. **“Evaluación de la lubricación de ventiladores bombas y válvulas existentes en la planta de fraccionamiento José”**. Trabajo de grado Universidad de Oriente (1999).
- [3] Gilberto I. **“Análisis de los aceites lubricantes en unidades compresoras”**. Trabajo de grado, Universidad de Oriente (1981).
- [4] PDVSA. **“Libro de la refinería de Puerto La Cruz”**. (2002).
- [5] Corpoven S.A. **“Manual de mantenimiento”**. Principios de operación de equipos rotativos y Lubricación. Refinería de Puerto La Cruz (Mayo 1991)
- [6] Grupo Sichelub Lubritech **“Sistemas de lubricación centralizada por neblina de aceite”** (2008), disponible en: [www. Sichelub.com](http://www.Sichelub.com)
- [7] API Standard 610. **“Centrifugal Pumps For Petroleum, Petrochemical and Natural gas Industries”**. 10° edición (Octubre 2004)
- [8] Shames I. H. **“Mecánica de Fluidos”** Editorial Mcgraw-Hill, 3ra Edición, Colombia, (1995).
- [9] Noria. **“Machinery Lubricación: Fundamentos de Lubricación, Nivel 1”**. (Mayo 2007)
- [10] Sichelub Lubritech. **“Manual de Instalación, Mantenimiento y Operación del Sistema de Generación de Niebla de Aceite (Oíl Mist) (2007)”**
- [11] Sulzer. **“Manual de instalación operación y mantenimiento. Lubricación de rodamientos”**. (1999)

- [12] PDVSA Servicios Técnicos **“Información de Seguridad de los procesos de la Planta Catalítica”** Refinería Puerto la Cruz (1995).
- [13] PDVSA. **“Manual de ingeniería de diseño. Sistema de lubricación por neblina de aceite”** (Marzo 1993)
- [14] Heinz B y Abdus S. **“Oil mist Lubrication: Practical applications”** .Segunda edición. Editorial MCGRAW-HILL (1998)
- [15] API Standard API 686. **“Recommended practices for machinery installation and installation design”**(Abril 1996)

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

TÍTULO	Diseño para la instalación de un Sistema Centralizado de Lubricación por Neblina Pura de Aceite
---------------	---

AUTOR:

APELLIDOS Y NOMBRES	CÓDIGO CVLAC / E_MAIL.
Patricia Carolina González Parabacuto	CVLAC: 17.731.041 E MAIL: patriciagonzalez001@hotmail.com

PALÁBRAS O FRASES CLAVES:

Neblina de aceite

Retrofitting

Modificaciones

Sistema de lubricación por neblina de aceite

Sistema de lubricación por anillo o baño de aceite

Equipos rotativos horizontales

Bombas centrifugas

Motores eléctricos

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

ÁREA	SUBÁREA
Ingeniería y ciencias aplicada	Ingeniería Mecánica

RESUMEN (ABSTRACT)

Con la inminente llegada del tercer milenio la reingeniería de proceso se vuelve una herramienta imprescindible para aquellas empresas que están pensando en largo plazo. En toda unidad de proceso se requiere del flujo de fluido constante para mantener operaciones continuas y así poder realizar procesos de producción, esta tarea es llevada cabo generalmente por los equipos rotativos. Hoy en día es muy frecuente encontrar aplicados a estos tribosistemas sistemas de lubricación de hace más de 70 años. En la actualidad el proceso de lubricación se enfoca desde un enfoque más integral por sus efectos que tiene sobre la confiabilidad y producción de las plantas `por lo que en compañías tribologicamente más avanzadas y abiertas al cambio utilizan una gran cantidad de tecnologías dispersas que toman en cuentan criterios y requisitos referentes a la disponibilidad, automatización, normatividad ecología, entre otros. Entre estas tecnologías una imprescindible, documentada y verificada ampliamente como es la Lubricación por neblina pura de aceite en los rodamientos de los equipos rotativos, la cual proporciona una lubricación optima, disminuye la fricción aumenta la eficiencia energética y la confiabilidad de los equipo. Por lo que cada día gran cantidad de empresas se están adaptando a los equipos rotativos de sus unidades de proceso este sistema de lubricación.

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

APELLIDOS Y NOMBRES	ROL/CODIGO CVLAC/E_MAIL				
	ROL	CA	AS X	TU	JU
Juan Villarroel	CVLAC				
	E_MAIL				
Jesús Moreno	ROL	CA	AS X	TU	JU
	CVLAC				
	E_MAIL				
Orlando Ayala	ROL	CA	AS	TU	JU X
	CVLAC				
	E_MAIL				
Simón Bittar	ROL	CA	AS	TU	JU X
	CVLAC				
	E_MAIL				

FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN:

2009	10	06
AÑO	MES	DÍA

LENGUAJE. SPA

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

NOMBRE DE ARCHIVO	TIPO MIME
TESIS. Diseño para la instalación de un sistema.doc	Application/msword

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

TITULO O GRADO ASOCIADO CON EL TRABAJO:

Ingeniero Mecánico

NIVEL ASOCIADO CON EL TRABAJO:

Pregrado

ÁREA DE ESTUDIO:

Departamento de Mecánica

INSTITUCIÓN:

Universidad de Oriente

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

De acuerdo con el artículo 44 del reglamento de trabajo de grado

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

**Patricia C. González P.
AUTOR**

**Prof. Jesús Moreno
TUTOR**

**Prof. Orlando Ayala
JURADO**

**Prof. Simón Bittar
JURADO**

**Prof. Delia Villarroel
POR LA SUBCOMISION DE TESIS**