

DISEÑO DE LA ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO BASADA EN RCM PARA
LA BOMBA CRIOGÉNICA DE ALTA PRESIÓN MODELO NDPD DE LA PLANTA
MESSER COLOMBIA SA – REGIONAL BARRANQUILLA Y CALCULO
INDICADOR DE CONFIABILIDAD PARA EL PROCESO DE LLENADO NO
CONTINUO O POR DEMANDA

EFRÉN DAVID CARRASCAL TRIANA

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA

2020

DISEÑO DE LA ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO BASADA EN RCM PARA
LA BOMBA CRIOGÉNICA DE ALTA PRESIÓN MODELO NDPD DE LA PLANTA
MESSER COLOMBIA SA – REGIONAL BARRANQUILLA Y CALCULO
INDICADOR DE CONFIABILIDAD PARA EL PROCESO DE LLENADO NO
CONTINUO O POR DEMANDA

EFRÉN DAVID CARRASCAL TRIANA

Monografía de grado presentada como requisito para optar el título de Especialista
en Gerencia de Mantenimiento

Director:

CAMILO ANDRÉS FALLA ALBARRACÍN
Especialista en Gerencia de Mantenimiento

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO - MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA

2020

DEDICATORIA

Por mucho tiempo quise realizar esta especialización, por eso doy gracias a Dios por permitir alcanzar un nuevo objetivo profesional.

A mis padres y hermanos, por su incondicional apoyo en todas las etapas de mi vida, por la unión familiar y por ser un excelente ejemplo para seguir.

A mi esposa y mi hija Emma Lucia Carrascal Gómez, son el motor que mueve este buque, son la razón para lograr superarme tanto personalmente como profesionalmente y poder brindarles un mejor futuro.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	21
1. CONTEXTUALIZACIÓN	22
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	22
2. OBJETIVOS.....	23
2.1 OBJETIVO GENERAL:	23
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	23
3. JUSTIFICACIÓN.....	25
4. MARCO CONCEPTUAL	27
4.1 MARCO TEÓRICO	27
4.1.1 Composición del Aire:.....	27
4.1.2 Producción de gases mediante fraccionamiento del aire:.....	27
4.2 PROPIEDADES Y APLICACIÓN DE LOS GASES DEL AIRE	30
4.2.1 Nitrógeno.	30
4.2.2 Oxígeno.....	33
4.2.3 Argón..	36
4.3 ESTACIÓN DE LLENADO GASES DEL AIRE (N ₂ , O ₂ , Ar)	37
4.3.1 Tanque Criogénico.....	39
4.3.2. Bomba criogénica ACD NDPD.....	40
4.3.2.1 Componentes de una Bomba ACD NDPD	43
4.3.3 Vaporizador Ambiental.....	41
4.3.4 Racks de llenado..	43
4.3.5 Cilindros de llenado.	43

4.4 GESTIÓN DE MANTENIMIENTO.....	45
4.4.1 Mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM).....	45
4.4.2 Indicadores de confiabilidad.....	48
4.5 MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL.....	49
5. MARCO LEGAL.....	51
6. DESARROLLO DEL PLAN DE TRABAJO.....	53
6.1 ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO ACTUAL.....	53
6.2 EFECTO DEL LÍQUIDO EN LA BOMBA CRIOGÉNICA.....	56
6.3 RENDIMIENTO DE LA BOMBA CRIOGÉNICA Y CONSUMOS DE LOS GASES DEL AIRE.	56
6.4 MATRIZ DE CRITICIDAD PARA EL PROCESO DE LLENADO GASES DEL AIRE..	61
6.5 FALLAS EN LA BOMBA CRIOGÉNICA EN LOS AÑOS 2016 – 2019.....	65
6.6 DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO POR CONFIABILIDAD.	69
6.7 ACTIVIDADES DE TPM PARA EL MANTENIMIENTO DE LA BOMBA CRIOGÉNICA.	75
6.7.1 Mantenimiento Autónomo.	75
6.7.2 Mantenimiento Planeado (MP).....	78
6.7.3 Confiabilidad Humana.....	79
6.8 CALCULO DE INDICADOR DE CONFIABILIDAD Y DISPONIBILIDAD PARA UN PROCESO DE LLENADO NO CONTINUO.....	80
6.8.1 Disponibilidad.	80
6.8.2 Confiabilidad..	85

	Pág.
7. CONCLUSIONES	88
BIBLIOGRAFÍA	91
ANEXOS	94

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Componentes del Aire.....	27
Tabla 2. Temperatura de licuación del aire	30
Tabla 3. Equivalencias de medidas de presión.....	37
Tabla 4. Estaciones de llenado Messer - Colombia	38
Tabla 5. Válvulas para conexión de cilindros e identificación de colores	44
Tabla 6. Clasificación de los cilindros de llenado según el gas	44
Tabla 7. Relación de volumen de llenado (m3) Vs Tipo cilindro	45
Tabla 8. Beneficios del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad	46
Tabla 9. Características de la bomba criogénica ACD NDPD	57
Tabla 10. Factor de conversión de gas a Kg Líquido	60
Tabla 11. Equipos proceso llenado gases del aire.....	64
Tabla 12. Fallas bomba criogénica	65
Tabla 13. Diagrama de Pareto para bomba criogénica.....	66
Tabla 14. Contexto operacional bomba criogénica estación llenado Barranquilla .	69

LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Factores ponderados basados en riesgo	63
Cuadro 2. Valores de criticidad equipos proceso llenado gases del aire	64
Cuadro 3. Severidad del efecto.....	73
Cuadro 4. Ocurrencia del efecto	73
Cuadro 5. Probabilidad de detección por control de procesos.....	74
Cuadro 6. Actividades de mantenimiento autónomo.....	76
Cuadro 7. Ponderación del avance de MP en la compañía	79

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Formas de suministro de gas.....	25
Figura 2. Fraccionamiento de gases del aire	28
Figura 3. Proceso de llenado Cilindros	38
Figura 4. PI&D tanque criogénico	39
Figura 5. Componentes Principales de una Bomba ACD NDPD	41
Figura 6. Tipos de vaporizadores ambientales AGA FANO	42
Figura 7. Rack de llenado aire sintético	43
Figura 8. Pasos para la implementación de RCM.....	47
Figura 9. Clasificación del tiempo para disponibilidad del equipo	48
Figura 10. Pilares del TPM	50
Figura 11. Estrategia de mantenimiento Messer. Área cilindros	55
Figura 12. Relación de transmisión bomba criogénica	57
Figura 13. Cámara volumétrica extremo frio	58

	Pág.
Figura 14. Niveles del tanque para cálculo de pérdidas	59
Figura 15. Rendimiento bomba nitrógeno.....	60
Figura 16. Grafica rendimiento bomba nitrógeno.....	61
Figura 17. Matriz de criticidad	62
Figura 18. Matriz de criticidad, equipos proceso llenado gases del aire.	64
Figura 19. Diagrama de Pareto para bomba criogénica	66
Figura 20. . Diagrama Ishikawa	67
Figura 21. Criterios de análisis de causas	68
Figura 22. Taxonomía bomba criogénica.....	70
Figura 23. Diagrama decisión de consecuencias para RCM	71
Figura 24. Estrategia resultante de la matriz de decisión para una bomba criogénica	72
Figura 25. Actividades de control visual por implementar	77
Figura 26. Taller mantenimiento antes.....	77
Figura 27. Taller mantenimiento, después de 5´s.	78

Figura 28. Tiempos importantes, siglas y demás convenciones que se usan en la medición y predicción CMD	80
Figura 29. Discriminación de tiempo para caso de estudio.....	82
Figura 30. Grafica Disponibilidad Inherente	83
Figura 31. Cálculo en Excel disponibilidad bomba Nitrógeno año 2019.	84
Figura 32. Disponibilidad bomba Nitrógeno año 2019	84
Figura 33. Diagrama de bloques para el proceso llenado gases del aire	85
Figura 34. Cálculo de confiabilidad para la bomba nitrógeno año 2019	86
Figura 35. Confiabilidad de la bomba nitrógeno año 2019.....	87

LISTA DE ECUACIONES

	Pág.
Ecuación 1. Relación de transmisión de poleas [1].....	58
Ecuación 2. Volumen de un cilindro [2].....	58
Ecuación 3. Consumo total [3].....	59
Ecuación 4. Consumo real [4]	60
Ecuación 5. Porcentaje de pérdida [5]	60
Ecuación 6. Criticidad [6]	61
Ecuación 7. Consecuencia de eventos de falla [7].....	62
Ecuación 8. Criticidad en función de parámetros consecuencia [8].....	62
Ecuación 9. Numero prioritario de Riesgo (NPR) [9].....	72
Ecuación 10. Disponibilidad inherente [10]	83
Ecuación 11. Tiempo medio entre fallas (MTBF) [11].....	83
Ecuación 12. Tiempo medio de reparación (MTTR) [12]	83
Ecuación 13. Confiabilidad en serie [13].....	85

Pág.

Ecuación 14. Confiabilidad [14].....86

Ecuación 15. Tasa de fallas (λ) [15].....86

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. Diagrama de decisión RCM.....	94
ANEXO B. Evaluación de NPR.....	97
ANEXO C. Informe Mensual de Mantenimiento.....	99
ANEXO D. Indicadores de desempeño mensual	101
ANEXO E. Indicadores de disponibilidad de la bomba de oxígeno	102
ANEXO F. Diagrama montaje bomba criogénica NDPD	103
ANEXO G. . Diagrama de Extremo frío Bomba Criogénica NDPD	104
ANEXO H. Diagrama de Extremo Caliente Bomba Criogénica NDPD	107

GLOSARIO

CAVITACION	fenómeno que se presenta cuando la presión en un líquido cae por debajo de la presión de vapor del líquido a cierta temperatura. En este punto, el líquido se vaporiza, creando burbujas de vapor, que hacen que la bomba pierda cebado o presenta altas vibraciones.
ACD	empresa manufacturera dedicada a la producción de bombas reciprocantes y centrifugas para todo liquido criogénico y turbo expansores para separación de aire con sede en Santa Ana, California - EE.UU
BOMBA RECIPROCANTE CRIOGENICA	conjunto de motor eléctrico (transmisión por correa), extremo caliente (transmisión por biela) y extremo frio (pistón), que bombea líquido criogénico elevando la presión por medio del funcionamiento reciprocante del pistón
EXTREMO CALIENTE	parte de la bomba donde se transforma el movimiento rotacional a reciprocante.
EXTREMO FRIO	parte de la bomba por donde pasa liquido criogénico y se eleva la presión
LIQUIDO CRIOGENICO	líquido a temperatura por debajo del punto de ebullición
LUP	lección de un punto

MP2	software de mantenimiento
MTBF	tiempo medio entre fallas
MTTR	tiempo medio de reparaciones
NPSH (NET POSITIVE SUCTION HEAD)	presión absoluta mínima que debe haber en la entrada de la bomba para no presentar cavitación
OPERADOR	trabajador de la compañía, encargado de la manipulación de los equipos para producción

RESUMEN

TITULO: DISEÑO DE LA ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO BASADA EN RCM PARA LA BOMBA CRIOGENICA DE ALTA PRESION MODELO NDPD DE LA PLANTA MESSER COLOMBIA SA – REGIONAL BARRANQUILLA Y CALCULO INDICADOR DE CONFIABILIDAD PARA EL PROCESO DE LLENADO NO CONTINUO O POR DEMANDA.*

AUTOR: EFREN DAVID CARRASCAL TRIANA**

PALABRAS CLAVES: CONFIABILIDAD, BOMBA CRIOGENICA, MATRIZ CRITICIDAD, INDICADORES, DISPONIBILIDAD, ESTRATEGIA MANTENIMIENTO

DESCRIPCIÓN:

Esta monografía consiste en el diseño de una estrategia de mantenimiento centrado en confiabilidad y cálculo del indicador de confiabilidad para la bomba criogénica NDPD en las instalaciones de la empresa Messer Colombia, regional Barranquilla. En la actualidad, estos equipos están basados solo en mantenimiento preventivo y correctivo, por lo que se caracterizará el proceso de llenado por medio de una matriz de criticidad de equipos, modos de falla y se definirá la estrategia más adecuada para el mantenimiento.

Por otro lado, el proceso de llenado no es continuo, no se maneja un stock de cilindros que permita mantener una producción planeada, depende de la cantidad de cilindros que se puedan recoger el día anterior o lo que llegue de otras regionales. Esto implica, que se debe escoger la forma más idónea para calcular la confiabilidad y disponibilidad de la bomba, así como la clasificación de los tiempos usados en mantenimiento.

También se identificarán los pilares de mantenimiento productivo total que se vienen desarrollando en la planta de forma implícita dentro de la estrategia de mantenimiento actual, con el fin de mejorar los procedimientos y comprometer al personal de operadores, técnicos y personal externo que intervienen en el proceso de llenado

A futuro, esta monografía se podrá usar como base para mejorar la estrategia de mantenimiento de todas las bombas criogénicas NDPD de la empresa Messer Colombia a nivel nacional.

* Monografía de Grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Especialización Gerencia de Mantenimiento. Director: Camilo Andrés Falla Albarracín. Especialista en Gerencia de Mantenimiento.

ABSTRACT

TITLE: DESIGN OF THE RCM-BASED MAINTENANCE STRATEGY FOR THE MODEL NDPD PUMP OF THE MESSER COLOMBIA SA PLANT REGIONAL BARRANQUILLA AND RELIABILITY INDICATOR CALCULATION FOR THE NON-CONTINUOUS OR DEMAND FILLING PROCESS.*

AUTHOR: EFREN DAVID CARRASCAL TRIANA**

KEYWORDS: RELIABILITY, CRYPTOGENIC PUMP, CRITICITY MATRIX, INDICATORS, AVAILABILITY, MAINTENANCE STRATEGY

DESCRIPTION:

This monograph consists of the design of a maintenance strategy focused on reliability and calculation of the reliability indicator for the cryogenic pump NDPD in the facilities of the company Messer Colombia, Barranquilla regional. At present, these equipments are based only on preventive and corrective maintenance, so the filling process will be characterized by means of a matrix of equipment criticality, failure modes and the most appropriate maintenance strategy will be defined.

On the other hand, the filling process is not continuous, a stock of cylinders that allows to maintain a planned production is not handled, it depends on the amount of cylinders that can be collected the previous day or what comes from other regional ones. This implies that the most suitable way to calculate the reliability and availability of the pump must be chosen, as well as the classification of the times used in maintenance.

The pillars of total productive maintenance that are being developed in the plant will also be identified, implicitly within the current maintenance strategy, in order to improve the procedures and engage the personnel of operators, technicians and external personnel involved in the process filling

In the future, this monograph may be used as a basis to improve the maintenance strategy of all NDPD cryogenic pumps of the company Messer Colombia S.A

* Degree Work

** Faculty of Physical-Mechanical Engineering. Maintenance Management Specialization. Director: Camilo Andrés Falla Albarracín. Maintenance Management Specialist

INTRODUCCIÓN

El mantenimiento de bombas criogénicas es un sector muy reducido en la industria y esto se debe a que en Colombia hay pocas empresas dedicadas a producir gases del aire, por lo costoso asociados a la producción de los mismos. Entre las principales empresas están Messer Colombia S.A, Cryogas y Praxair.

Estas empresas producen el gas en forma líquida, las llevan a sus centros de distribución para llenado de cilindros o a clientes con tanques estacionarios, como clínicas, hospitales, industrias, etc. con mayor demanda, pero no requieren bomba de llenado por su baja presión de operación, solo con la presión del tanque y el vaporizador manejan la presión del gas en el punto de consumo.

Para poder satisfacer las necesidades de los clientes, Messer Colombia maneja una estrategia de mantenimiento basada en actividades preventivas y correctivas sobre las bombas criogénicas.

Estas actividades se controlaban por medio de un programa de mantenimiento llamado MP2, sin embargo, actualmente la programación de las ordenes de mantenimiento se realiza en Excel, generando traumatismos en la gestión del mantenimiento.

Para mejorar la gestión del mantenimiento y la administración de los activos de la compañía, es necesario realizar un cambio en la estrategia de mantenimiento, mejorando la confiabilidad de los equipos críticos del proceso de llenado.

1. CONTEXTUALIZACIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Messer – Gases for Life -, es una compañía a nivel mundial con presencia en gran parte de Europa, Asia, Norte América (EEUU, Canadá) y Sur América (Colombia, Brasil y Chile). Es una de las compañías líderes en la producción de gases industriales como oxígeno, nitrógeno, dióxido de carbono, argón, hidrogeno, acetileno, helio, gases especiales, gases medicinales, entre otras mezclas de gases.

En Colombia empezó su operación el 1 de marzo de 2019, con la compra de la parte del mercado de gases industriales y medicinales de la empresa Linde Colombia. Como parte del mercado, en Barranquilla se maneja una estación de llenado de los productos del aire como Oxígeno, Nitrógeno y Argón, los cuales se almacenan en tanques criogénicos en fase líquida para luego ser envasados en cilindros en fase gaseosa por medio de bombas criogénicas y despachados a los clientes.

El equipo más importante en la estación de llenado, son las bombas criogénicas. Estos equipos extraen el gas en fase líquida del tanque y lo impulsan a través de un vaporizador a presiones hasta 200 Bar.

Actualmente, el mantenimiento de las bombas criogénicas está basado en actividades preventivas que no garantizan una confiabilidad alta del proceso de llenado. Por eso es vital implementar una estrategia de mantenimiento centrado en confiabilidad.

Por último, la operación de llenado no es continua, está determinada por la demanda de productos a llenar, lo cual implica que la bomba debe estar siempre disponible. Por eso, es necesario implementar indicadores de confiabilidad y disponibilidad que permitan evaluar el comportamiento operacional de forma mensual.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL:

Diseñar una estrategia de mantenimiento basada en RCM para la bomba criogénica de alta presión modelo NDPD de la planta MESSER – Barranquilla y calcular el indicador de confiabilidad para el proceso de llenado no continuo o por demanda.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

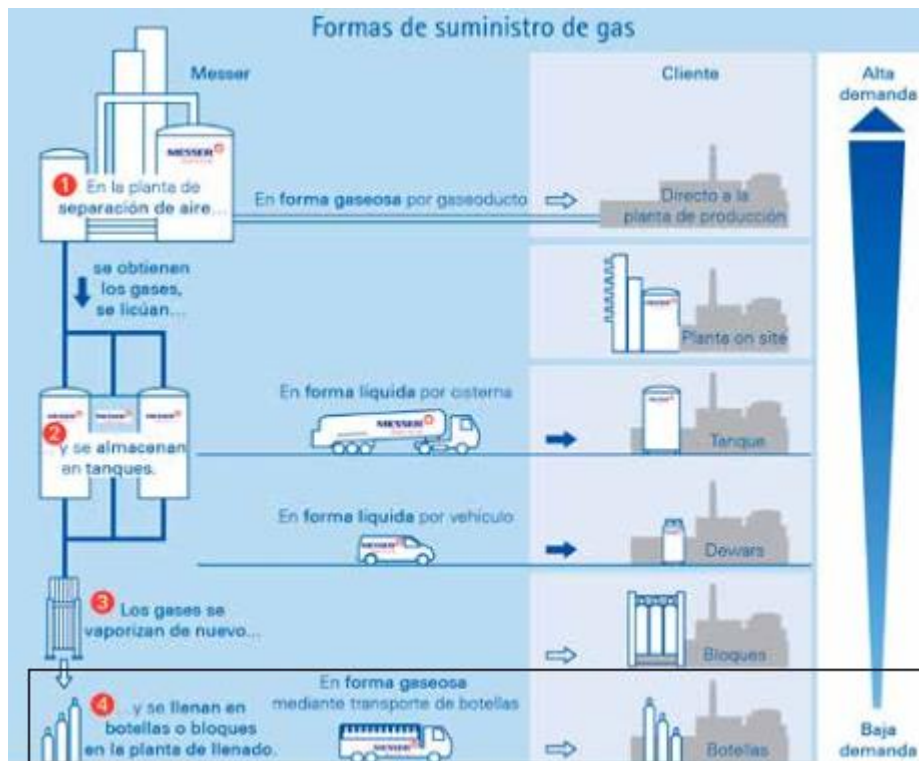
- Evaluar e identificar criticidad de los equipos en el proceso de llenado gases del aire.
- Definir los diferentes efectos de los líquidos criogénicos de Oxígeno, Argón y Nitrógeno sobre la funcionabilidad de la bomba modelo NDPD.
- Calcular promedio mensual de consumo de los gases del aire en la regional de Barranquilla.
- Identificar por medio de la estadística una relación entre cantidad de líquido en el tanque, horas trabajadas de la bomba y cantidad de cilindros llenos.
- Realizar un estudio de RCA de las fallas más recurrentes y análisis de modos y efectos de falla funcionales (FMECA) para la bomba criogénica.
- Diseñar una metodología RCM para la bomba criogénica NDPD.

- Identificar e implementar actividades de TPM que puedan complementar la estrategia de mantenimiento RCM para la bomba criogénica.
- Implementar un modelo para calcular el indicador de confiabilidad y disponibilidad para la bomba criogénica NDPD.

3. JUSTIFICACIÓN

La forma de distribución de los productos del aire depende del nivel de consumo o demanda del cliente.

Figura 1. Formas de suministro de gas



Fuente: MESSER IBERICA DE GASES SA. [Sitio WEB] . España. [Consulta: 10 septiembre 2019].
Disponble en: <https://www.messer.es/documents/20570/1061894/Gama+de+productos+y+ubicaciones/dbfeac3d-a445-4eb6-ba47-25514fdfa613>

La estación de llenado de Barranquilla se enfoca en clientes de baja demanda de gases del aire para procesos medicinales e industriales. En el año 2018 y primer semestre del año 2019, el 95% de su operación se basó en el llenado de cilindros en fase gaseosa por medio de bombas criogénicas de nitrógeno, oxígeno, argón y

agamix y solo un 5% en llenado de termos en fase líquida de nitrógeno, oxígeno y argón por medio de gravedad y presión del tanque.

Por otro lado, el aire medicinal se llenaba por medio de un compresor multietapas el cual tomaba el aire de la atmósfera y lo comprimía a 150 Bar. Este equipo a comienzos del 2019 presentó una falla catastrófica que implicó suspender el llenado de aire medicinal. Sin embargo, este producto no se puede dejar de producir por la alta demanda en el sector medicinal. Solo en el 2018 la demanda de aire fue del 13% del total de los cilindros llenados en la regional de Barranquilla. Para solucionar este inconveniente, a comienzos del cuarto trimestre del 2019, se inicia un nuevo proceso para producir aire sintético, el cual implica la mezcla en porcentajes adecuados de oxígeno y nitrógeno y por consiguiente un mayor uso de las bombas criogénicas.

Teniendo en cuenta, los datos anteriores, se evidencia la necesidad de mejorar el mantenimiento de las bombas criogénicas. El plan preventivo de MP2 no es suficiente para mantener una confiabilidad alta del equipo. Además, la falta de repuestos en stock, los altos costos por la importación de repuestos, no tener bombas de backup que permitan mantener la operación en caso de falla, crean la necesidad de implementar una estrategia de mantenimiento más robusta que permita detectar un modo de falla antes de que ocurra la falla y en los tiempos muertos de producción poder intervenir el equipo.

4. MARCO CONCEPTUAL

4.1 MARCO TEÓRICO

4.1.1 Composición del Aire: El aire es una mezcla gaseosa de varios componentes que forman la atmosfera de la tierra y es vital para la supervivencia de los seres humanos.

El aire se puede clasificar en dos partes. La primera se conforma de los gases principales como el nitrógeno, oxígeno y argón. La segunda parte se compone de gases en menor concentración como el dióxido de carbono, neón, helio, criptón y xenón.

Tabla 1. Componentes del Aire

Componente	Símbolo	Concentración (%)
<i>Nitrógeno</i>	<i>N₂</i>	<i>78.03</i>
<i>Oxígeno</i>	<i>O₂</i>	<i>20.99</i>
<i>Argón</i>	<i>Ar</i>	<i>0.94</i>
Dióxido de Carbono	CO ₂	0.03
Neón	Ne	0.00123
Helio	He	0.0004
Criptón	Kr	0.00005
Xenón	Xe	0.000006

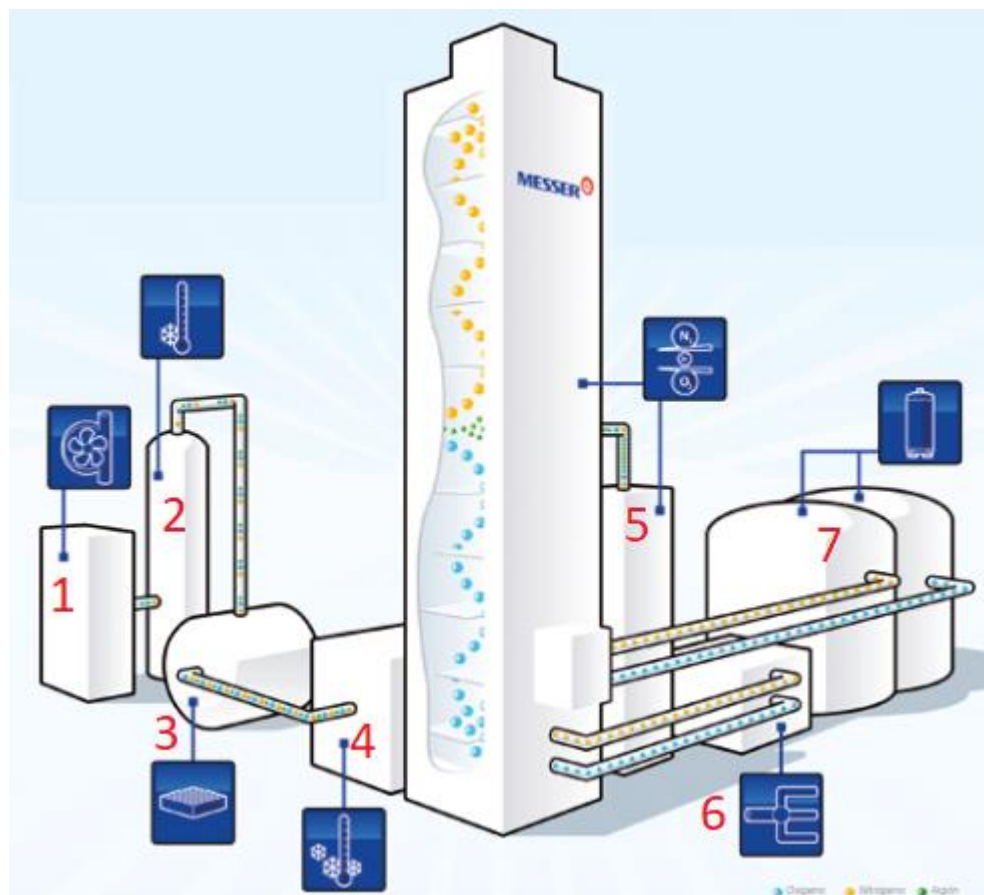
Fuente: LA GRAN ENCICLOPEDIA DEL PROYECTO SALON HOGAR. [Sitio WEB]. Puerto Rico: [Consulta: 10 de septiembre 2019]. Disponible en: https://www.salonhogar.net/Salones/Ciencias/1-3/El_Aire/El_aire.htm

4.1.2 Producción de gases mediante fraccionamiento del aire: El aire se puede separar en sus componentes principales (nitrógeno, oxígeno y argón) por medio de

plantas de fraccionamiento del aire, conocidas como ASU por sus siglas en inglés (Air Separation Unit).

Estas plantas usan un proceso térmico llamado rectificación criogénica para separar los componentes principales por medio de unidades especiales de destilación y así producir gases de alta pureza en forma líquida o gaseosa.

Figura 2. Fraccionamiento de gases del aire



Fuente: MESSER IBERICA DE GASES SA. [Sitio WEB] . España. [Consulta: 10 septiembre 2019].

Disponible en: <https://www.messer.es/documents/20570/1061894/Gama+de+productos+y+ubicaciones/dbfeac3d-a445-4eb6-ba47-25514fdfa613>

1. Compresión del aire: se aspira el aire del ambiente, se filtra y se comprime a 5 bares por medio de un compresor, generalmente multi etapas.
2. Refrigeración previa del aire: el aire comprimido se enfría con agua por medio de un chiller.
3. Filtración: Se eliminan las impurezas del aire como el vapor de agua o el dióxido de carbono por medio de filtros tamices o moleculares. Esto con el fin de evitar daños en los equipos por congelamiento de las impurezas.
4. Refrigeración del aire: los gases del aire solo se licuan a temperaturas muy bajas, el aire purificado se enfría en el intercambiador de calor principal a una temperatura aproximada de -175°C . La refrigeración se consigue por un intercambio de calor interno, en el que las corrientes de gas frío, generadas durante el proceso, sirven para enfriar el aire comprimido. La reducción rápida de presión permite que el aire comprimido se refrigere aún más y llega a licuarse parcialmente.
5. Fraccionamiento o separación del aire: El fraccionamiento del aire en oxígeno, argón y nitrógeno puros se lleva a cabo en las columnas de media y baja presión, también llamadas Cold Box. La diferencia del punto de ebullición de los componentes es la clave en el proceso de fraccionamiento. Por un intenso intercambio de sustancia y calor entre el vapor ascendente y el líquido descendente se obtiene, a través de una evaporación y condensación continuas, nitrógeno puro en la parte superior de la columna de baja presión y oxígeno puro en el fondo de dicha columna. El argón se produce por medio de otras columnas de fraccionamiento y más etapas de proceso.

Tabla 2. Temperatura de licuación del aire

Gases en forma líquida	N ₂	O ₂	Ar
Temperatura (°C)	-196	-183	-185

Fuente: Autor

6. Extracción y Almacenamiento (7): Los gases en su fase gaseosa son enviados por gasoductos a clientes con alta demanda de consumo y en fase líquida son almacenados en tanques criogénicos para luego ser enviados a clientes o estaciones de llenado por medio de camiones cisterna.

4.2 PROPIEDADES Y APLICACIÓN DE LOS GASES DEL AIRE

4.2.1 Nitrógeno: El Nitrógeno es el componente con mayor concentración en el aire con un 78.03%.

Sus principales características son:

- Es un gas inerte.
- Incoloro
- Inodoro
- No tiene sabor.
- No tóxico.
- No es inflamable ni comburente.
- No es corrosivo

Usos y aplicaciones del gas nitrógeno y nitrógeno líquido (LIN) por industrias.¹

¹PRAXAIR. [Sitio Web]. Argentina. [Consulta: 10 septiembre 2019]. Usos y aplicaciones del gas Nitrógeno y nitrógeno líquido por industrias. Disponible en: <http://www.praxair.com.ar/gases/nitrogen/?tab=industrias>

Aeroespacial y Aeronáutica Para la industria aeroespacial y aeronáutica, el nitrógeno (un elemento esencial) se utiliza en túneles de viento con alto número Reynolds, hornos de tratamiento térmico y autoclaves para ayudar a crear materiales increíblemente fuertes pero ligeros. El nitrógeno también puede usarse como gas auxiliar en aplicaciones de corte con láser.

Equipo automotriz y de transportación En las plantas de montaje, el nitrógeno se utiliza en los niveles 1 y 2 en combinación con otros gases de soldadura para soldar componentes de automóviles, chasis, mofles y otras piezas por su capacidad para proporcionar la atmósfera que se necesita para producir la soldadura adecuada con cualquier material. También es un componente de seguridad importante en las bolsas de aire.

Químicos El nitrógeno se utiliza como gas de presurización y puede ayudar a impulsar los líquidos a través de las tuberías. También puede usarse para proteger materiales sensibles al oxígeno del aire y eliminar químicos orgánicos volátiles de los flujos de proceso.

Energía Como un gas industrial inerte, el nitrógeno se usa como un agente inertizador para separar productos sensibles y procesos del aire. También es utilizado como un agente purgante en tuberías y equipos para evitar la contaminación.

Alimentos y bebidas El nitrógeno es el agente criogénico clave en la refrigeración, enfriamiento y congelación de alimentos. Debido a sus temperaturas extremadamente frías, el congelamiento por inmersión en nitrógeno líquido es el método de congelación más rápido conocido para la producción de alimentos congelados individualmente (IQF). El nitrógeno también juega un papel clave en la

reducción del deterioro, decoloración y sabor desagradable, lo que impulsa la industria de embalajes minoristas.

Medicinal El nitrógeno NF se utiliza como un criogénico para congelar y conservar la sangre, tejidos y otros especímenes biológicos, además de para congelar y destruir tejido enfermo en la criocirugía y dermatología. También se utiliza para aportar energía a dispositivos médicos.

Producción de Metal Como gas portador y de purga en la producción de acero, el nitrógeno se utiliza para prevenir la oxidación y es un componente clave en los procesos de tratamiento térmico.

Petróleo y Gas La industria del petróleo y gas natural utiliza el nitrógeno para incrementar las reservas de sus depósitos y para fracturar las formaciones con hidrocarburo con la finalidad de incrementar de manera significativa la producción de petróleo y gas, además de mejorar la eficiencia operativa.

Farmacéutica y Biotecnología El nitrógeno gaseoso se usa comúnmente para purgar, transferir presión, mezclar e inertizar, protegiendo el proceso de la entrada de humedad, oxidación, degradación y contaminación. El nitrógeno líquido criogénico se utiliza para controlar la temperatura en aplicaciones de refrigeración de reactores y para la conservación de muestras biológicas.

Refinería El nitrógeno es un gas industrial que se utiliza para inertizar tanques de almacenaje y tuberías de purga, también puede eliminar los compuestos orgánicos volátiles (COV) de las aguas residuales y corrientes de los procesos químicos, además de reducir las emisiones de COV.

Soldadura y metalmecánica El nitrógeno se utiliza como gas de purga en la soldadura de tubos de acero inoxidable. El nitrógeno también puede usarse como gas auxiliar en el corte con láser y para mejorar el corte con plasma.

Riesgos del uso de nitrógeno El principal riesgo del uso de nitrógeno es la asfixia por desplazamiento del oxígeno del aire en espacios confinados y quemaduras por contacto con líquido criogénico.

Acuerdo la norma NTC 1672. Los cilindros de nitrógeno deben ser de color negro en su totalidad.

4.2.2 Oxígeno: El oxígeno es el segundo componente con mayor concentración en el aire, con un porcentaje del 21%. Además, es un gas indispensable para conformar el tetraedro del fuego.

Sus principales características son:

- Es un gas oxidante.
- Incoloro
- Inodoro
- No tiene sabor.
- Altamente corrosivo.

Usos y aplicaciones del gas oxígeno y oxígeno líquido (LOX) por industrias.²

Equipo Automotriz y de Transporte El oxígeno se usa como gas de corte por plasma, como gas auxiliar para corte con láser y en algunas ocasiones se agrega en pequeñas cantidades a los gases de protección.

Químicos En su forma más pura, el oxígeno se usa en muchos químicos importantes como óxido de etileno y dióxido de titanio. También se utiliza para aumentar la capacidad de producción de los procesos de oxidación.

² PRAXAIR. [Sitio Web]. Argentina. [Consulta: 10 septiembre 2019]. Usos y aplicaciones del gas oxígeno y oxígeno líquido por industrias Disponible en: <http://www.praxair.com.ar/gases/oxygen/?tab=industrias>

Energía El uso del oxígeno en lugar de aire puede incrementar el rendimiento y eficiencia del capital en muchas industrias y permite los procesos de captura de carbono. A menudo se utiliza en calderas y calentadores, fermentadores industriales y procesos de gasificación para mejorar la productividad.

Vidrio El oxígeno, que es un gas industrial con el poder de mejorar la productividad, se utiliza para mejorar la combustión en hornos de vidrio y reducir las emisiones de NOx.

Medicinal El oxígeno es usado ampliamente en medicina, en diferentes casos de deficiencia respiratoria, resucitación, anestesia, creación de atmosferas artificiales, terapia hiperbárica, tratamiento de quemaduras respiratorias, entre otras.

En Colombia, el reglamento técnico de Buenas Prácticas de Manufactura de los Gases Medicinales (BPM).³, esta definido en la resolución 4410 de 2009, y en este describen los requisitos que deben cumplir los gases medicinales en los procesos de fabricación, control de calidad y comercialización por parte de la industria y de las instituciones prestadoras de servicios de salud, con el fin de proteger la vida y la salud humana.

Producción de Metal Como gas industrial, el oxígeno se utiliza para reemplazar o enriquecer el aire, incluso para incrementar la eficiencia de la combustión en la producción de metal ferroso y no ferroso.

Farmacéutica y Biotecnología Fundamental para las aplicaciones de desarrollo celular, el oxígeno se utiliza en fermentadores y biorreactores.

³ Resolución 4410 de 2009, Reglamento Técnico de Buenas Prácticas de Manufactura de los Gases Medicinales.

Pulpa y papel Como un gas industrial, el oxígeno ayuda a cumplir con las estrictas regulaciones medioambientales a través del uso de deslignificación, extracción oxidativa y tratamiento de aguas residuales.

Refinería El oxígeno se utiliza extensamente en las refinerías para incrementar la capacidad de las plantas de craqueo catalítico fluido (FCC) y las unidades de recuperación de azufre (SRU), y para mejorar las operaciones de tratamientos de aguas residuales.

Tratamiento de aguas residuales y agua El oxígeno se emplea como gas industrial que puede complementar e incluso reemplazar el aire en el depósito de aireación para maximizar la capacidad de tratamiento, minimizar las emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV), reducir al máximo el olor y espuma, así como aumentar la flexibilidad. También se utiliza como gas de alimentación para generar ozono en la desinfección del agua.

Soldadura y metalmecánica El oxígeno se usa como gas de corte por plasma, como gas auxiliar para corte con láser y en algunas ocasiones se agrega en pequeñas cantidades a los gases de protección.

Riesgos del oxígeno Evitar toda combustión cercana a depósitos de líneas de oxígeno. Evitar la mezcla con aceites o grasas incluso en la ropa y utilizar todos los elementos de seguridad para evitar el contacto directo con el líquido criogénico con el uso adecuado de los elementos de seguridad.

Acuerdo la norma NTC 1672. Los cilindros de oxígeno industrial deben ser de color verde oscuro, Color Pantone 343U.

Acuerdo la norma NTC 1671. Los cilindros de oxígeno medicinal deben ser de color blanco.

4.2.3 Argón: El argón es el tercer componente con mayor concentración en el aire, con un porcentaje del 1%.

Sus principales características son:

- Es un gas inerte.
- Incoloro
- Inodoro
- No tiene sabor.
- No toxico.
- No inflamable.
- Excelente conductor de electricidad.
- Altamente corrosivo.

Usos y aplicaciones del gas argón y argón líquido por industrias.⁴

Aeroespacial y Aeronáutica El argón es un gas industrial versátil utilizado en aplicaciones de soldadura, como la soldadura de aleaciones especiales, así como en la producción de bombillas de luz y láser. Como se trata de un gas inerte, también puede utilizarse para proporcionar un entorno libre de oxígeno y nitrógeno para los procesos de tratamiento térmico.

Equipo automotriz y de transporte El argón se utiliza en combinación con otros gases para soldar componentes de automóviles, chasis, silenciadores y otras piezas de automóviles. También proporciona un entorno libre de oxígeno y nitrógeno para procesos de recocido y es un componente esencial en airbags.

⁴ PRAXAIR. [Sitio Web]. Argentina. [Consulta: 10 septiembre 2019]. Usos y aplicaciones del argón gas y argón líquido por industrias Disponible en <http://www.praxair.com.ar/gases/argon/?tab=industrias>

Producción de metales El argón se utiliza para mantener la temperatura y consistencia de la composición y previene la oxidación durante el proceso. También enjuaga el monóxido de carbono y reduce la pérdida de cromo durante el proceso de refinación de acero inoxidable con la descarburización de argón y oxígeno.

Soldadura y metalmecánica El argón se utiliza para crear un gas de protección inerte para mejorar la estabilidad y las características de la soldadura por arco metálico con gas. También es el gas principal para el proceso de soldadura por arco de tungsteno con gas (GTAW, por sus siglas en inglés).

Acuerdo la norma NTC 1672. Los cilindros de argón industrial deben ser de color Gris – Azul, Color Pantone 429U.

La mezcla de Agamix (Argón + CO₂) debe ser de color Gris – Azul en el cuerpo del cilindro y gris (Color Pantone 5783U) en el hombro.

4.3 ESTACIÓN DE LLENADO GASES DEL AIRE (N₂, O₂, Ar)

Las estaciones de llenado, es el lugar donde se realiza el proceso de llenado de cilindros de alta presión.⁵ (aquellos que tienen una presión rotulada de servicio de 6200 kPa o mayor), para la distribución final a los clientes.

Tabla 3. Equivalencias de medidas de presión

Bar	Kilopascal (kPa)	PSI	kgf/cm ²
1	100	14.5038	1.01972

Fuente: Autor

⁵ Norma Técnica Colombiana NTC 4584

Después de hacerse la separación de los gases en forma líquida, son transportados en carros Cisterna a las diferentes estaciones de llenado que tiene Messer a nivel nacional y en donde se hace el proceso de llenado por medio de las bombas criogénicas ACD – NDPD.

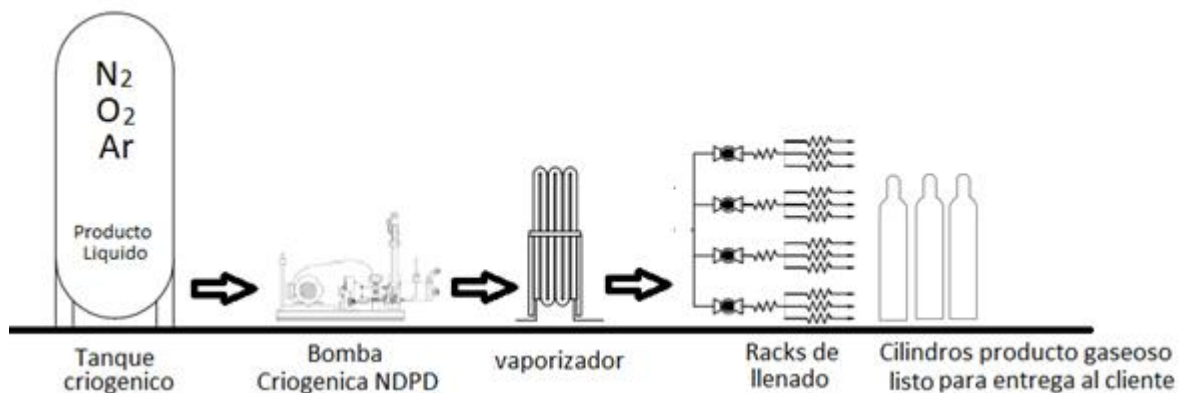
Tabla 4. Estaciones de llenado Messer - Colombia

Estaciones de llenado	Gases	No. Bombas NDPD
Barranquilla	N ₂ – O ₂ – Ar	3
Cartagena	N ₂ – O ₂	2
Mina Drummond	O ₂ – Ar	2
Cali	N ₂ – O ₂ – Ar	3
Neiva	O ₂	1
Dosquebradas	O ₂	1
Medellín	N ₂ – O ₂ – Ar	3
Bogotá	N ₂ – O ₂ – Ar	3
Bucaramanga	N ₂ – O ₂	2
Duitama	O ₂	1

Fuente: Autor

El proceso de llenado es el siguiente:

Figura 3. Proceso de llenado Cilindros



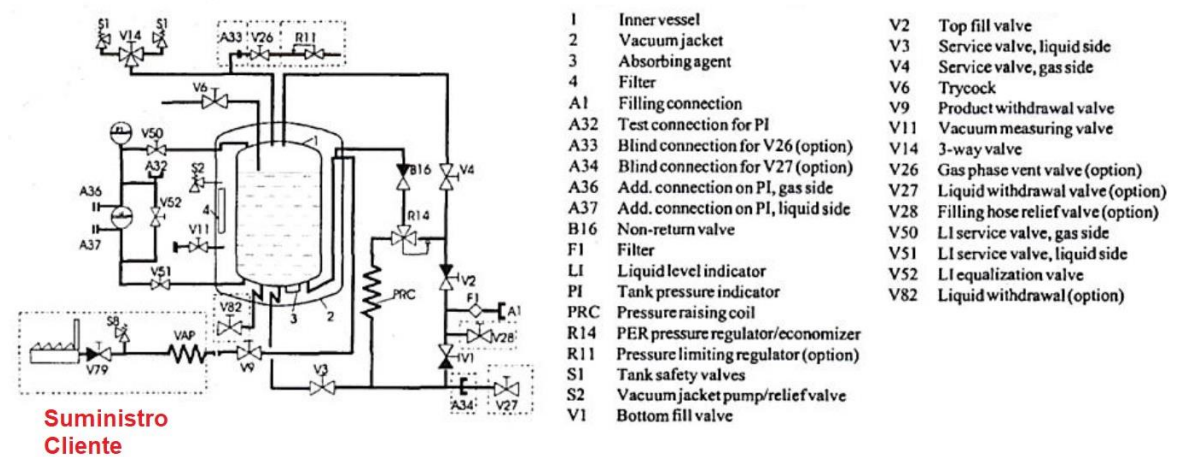
Fuente: Autor

El gas licuado (N₂, O₂, Ar) se recibe de los carros cisterna y se almacenan en tanques criogénicos. Después, es succionado por medio de una bomba criogénica recíprocante que hace pasar el líquido a través del vaporizador, el cual por medio de la transferencia de calor convierte el líquido en gas. Por último, el gas es transportado por medio de tubing de alta presión (5000 PSI) a los racks de llenado en donde se encuentran los cilindros para llenado.

4.3.1 Tanque Criogénico. Equipo que se utiliza para almacenar grandes cantidades de gas en estado líquido (Oxígeno, Argón, Nitrógeno, Dióxido Carbono) de estructura vertical u horizontal.

Su capacidad se establece acuerdo las necesidades de consumo del cliente. En su interior tiene un recipiente en acero inoxidable para soportar las bajas temperaturas y uno exterior en acero al carbono, con un aislante por lo general perlita y vacío. Posee unos sistemas de seguridad contra la sobrepresión por medio de válvulas de alivio, discos estallantes, que permite mantener la presión máxima de diseño de acuerdo con el gas.

Figura 4. PI&D tanque criogénico



Fuente: Manual Tanque CRYO AB COLD CONVERT

4.3.2. Bomba criogénica ACD NDPD⁶. Las bombas criogénicas ACD, modelo NDPD, son fabricadas por la compañía ACD LLC, ubicada en el sur de California, EEUU. Su propósito es transferir un líquido criogénico de una fuente de suministro a un receptor, en este caso los cilindros. Una bomba tipo reciprocante, es generalmente escogida sobre otras bombas si se desea tener un flujo relativamente bajo mientras que el aumento de presión sea alto. Son de desplazamiento positivo, son capaces de producir muy altas presiones de descarga con buena eficiencia y seguridad.

4.3.2.1 Componentes de una Bomba ACD NDPD

1 – Motor Eléctrico: Las bombas son accionadas por medio de un motor eléctrico, motor diésel o hidráulico, dependiendo de la operación. Por lo general, se usa un motor trifásico conectado por medio de una corras en V que transmiten el movimiento al extremo caliente a una velocidad menor.

2 – Extremo Caliente: Convierte el movimiento rotacional del motor eléctrico en un movimiento reciprocante. Internamente posee un cigüeñal que esta conectado a través de un pasador de muñeca a una cruceta recíproca, generando un movimiento esclavo.

Si la bomba se va a usar en oxígeno líquido, la lubricación de los rodamientos debe ser con un lubricante compatible con oxígeno. (Grasa Krytox)

4 – Extremo Frio: Es un cilindro de acero inoxidable con una pared aislante al vacío, el cual internamente tiene un vástago (pistón) que esta unido al extremo caliente. En la otra punta tiene tres anillos de compresión montados en unas ranuras

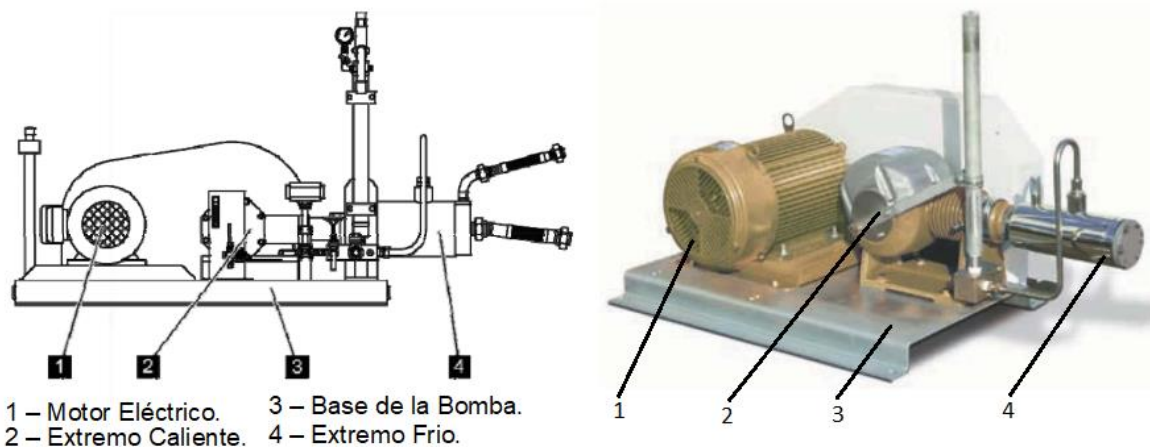
⁶ Instruction Handbook for Installation, Operation and Maintenance, ACD Company

circunferenciales. Así mismo, tiene 9 sellos de copa con unos espaciadores y un prensaestopa.

En el extremo final del cilindro tiene una válvula de succión tipo bola con resorte, el cual succiona el líquido del tanque cada vez que la presión interna sea mayor que la presión del tanque. En este proceso se alcanza la presión de llenado de 150 bar o 200 bar.

Las bombas NDPD son capaces de descargar presiones hasta 4000 PSI (267 Bar) y flujos de 1.24 a 2.74 gpm (4.5 a 10.4 lpm).

Figura 5. Componentes Principales de una Bomba ACD NDPD



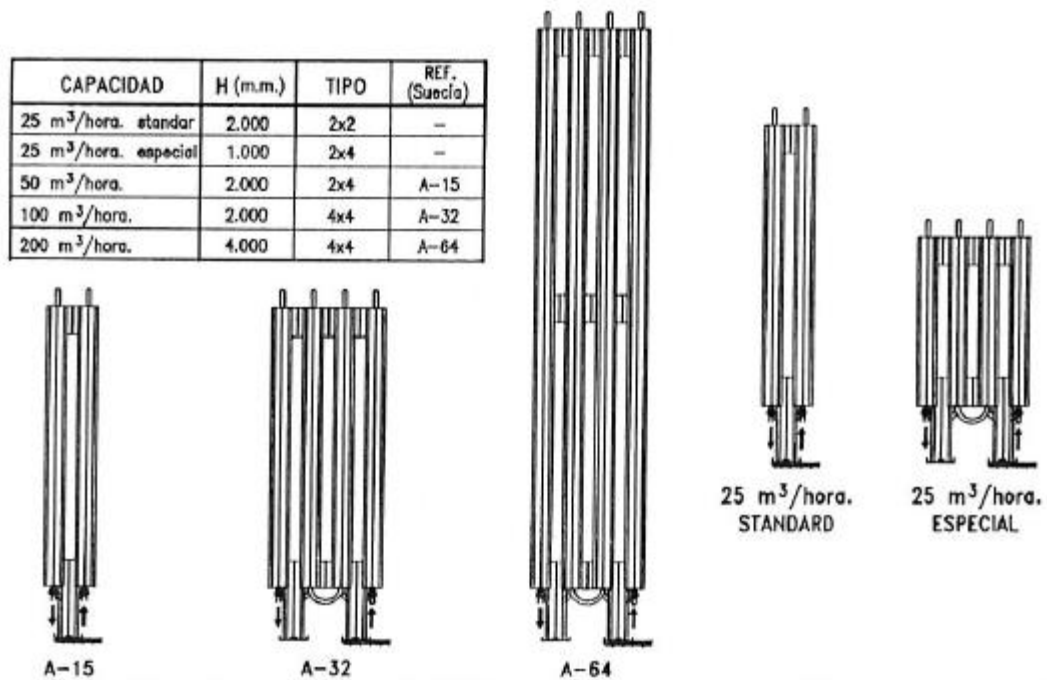
Fuente: Instruction Handbook for Installation, Operation and Maintenance, ACD Company

4.3.3 Vaporizador Ambiental. El vaporizador es un equipo cuya función es gasificar el líquido criogénico almacenado en un tanque para ser usado a temperatura ambiente en fase gaseosa. Este proceso se realiza por medio de la transferencia de

calor del ambiente a las aletas y tubos de aluminio del vaporizador, obteniendo alta eficiencia y reducción de tamaño.

La selección del tamaño del vaporizador o del número de unidades requeridas en un cliente, deben ser calculadas por una persona experta, con el fin de optimizar el costo beneficio de la instalación. Para la selección de un vaporizador se tienen en cuenta los siguientes factores: Tipo de gas a suministrar, suministro máximo (Nm^3/h), características del suministro y consumo (continuo, por horas, turnos), además de las condiciones climáticas (temperatura mínima, humedad relativa, viento, sol) del ambiente donde se va a instalar el vaporizador.

Figura 6. Tipos de vaporizadores ambientales AGA FANO



Fuente: Plano PAS -0036. AGA FANO, Tipo de vaporizadores ambientales.

4.3.4 Racks de llenado. Estructura metálica en el cual se colocan las canastas de cilindros vacíos para el proceso de llenado. Se conforma de un manifold de llenado con 01 válvula de llenado, 01 válvula de vacío y un indicador de presión. La tubería es tubing 3/4" inoxidable de alta presión 5200 PSI sin costura marca Sandvik 3R60 y los flexibles son en acero inoxidable conexiones 1/4" BSP para una presión de trabajo de 240 Bar.

Figura 7. Rack de llenado aire sintético



Fuente: Autor

4.3.5 Cilindros de llenado. Los cilindros son envases fabricados en material resistente capaces de soportar presiones de trabajo de 300 Bar, aunque en Messer se llena a presiones máximo 200 Bar.

Existen reglamentaciones internacionales que regulan el tipo de conexiones para las válvulas dependiendo del tipo de gas, están clasificadas por la Asociación de Gas Comprimido. (CGA) por sus siglas en ingles. Así mismo, en Colombia la norma NTC 1671 y 1672 regulan la forma en que se deben marcar los cilindros para su identificación..

Tabla 5. Válvulas para conexión de cilindros e identificación de colores

Tipo Gas	Tipo de Válvula	Color Cilindro
Oxígeno Medicinal	CGA 540	Blanco
Oxígeno Industrial	CGA 540	Verde
Nitrógeno	CGA 580	Negro
Argón	CGA 580	Gris
Acetileno	CGA 510	Rojo
Dióxido Carbono	CGA 320	Rojo
Óxido Nitroso	CGA 326	Azul
Hidrógeno	CGA 350	Rojo
Aire Sintético	CGA 590	Negro con blanco

Fuente: Autor

La presión de llenado depende de las características del cilindro y uso del producto.

Tabla 6. Clasificación de los cilindros de llenado según el gas

Tipo Producto	Presión de llenado (Bar)	Tipo de Cilindro	Capacidad (Litros)
Gases de uso Industrial N ₂ , O ₂ , Ar, Argamix	150	ADG0	40
	150	ADD0	20
Oxígeno Medicinal	200	ABK0	50
	200	ABG	30
	150	ADG0	40
	150	ADD0	20
	150	ADC0	10
	145	ADB0	7
	200	ABK0	50
	200	ABI0	40
	200	ABE0	20
	200	ABG	30
Aire Sintético	200	ABC0	10
	150	ADG0	40
	150	ADH5	50

Fuente: Autor

Tabla 7. Relación de volumen de llenado (m3) Vs Tipo cilindro

Tipo de Producto	Tipo de Cilindros												
	ABK0	ABIO	ABG0	ABE0	ABC0	LIV	ADH5	ADG0	ADE0	ADD0	ADC0	ADB0	AB15
Oxígeno	10,6	8,5	6,4	4,2	2,1	1,0	7,9	6,4	4,0	3,2	2,5	1,1	8,0
Nitrógeno	9,5						8,5	5,8		3,0			
Argón								6,3		3,5	2,5		
Aire							7,4	6,0		3,0	2,0		

Fuente: Autor

4.4 GESTIÓN DE MANTENIMIENTO

4.4.1 Mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM)⁷. El RCM es una filosofía desarrollada por la industria de la aviación civil de los EEUU, en los años sesenta. Busca optimizar los factores humanos y productivos alrededor del mantenimiento. Su objetivo es mantener la función que cumplen los equipos más que los equipos mismos.

Se puede definir la confiabilidad como la capacidad de un elemento para realizar una función requerida bajo condiciones dadas para un intervalo de tiempo dado.⁸

La filosofía del RCM se fundamenta en:

1. Evaluación de los componentes de los equipos, su estado y su función.
2. Identificación de los componentes críticos.
3. Aplicación de las técnicas de mantenimiento proactivo y predictivo.
4. Chequeo en sitio y en operación del estado corpóreo y funcional de los elementos mediante permanente revisión y análisis.

⁷ MORA GUTIERREZ, Alberto. Mantenimiento estratégico para empresas de servicios o industriales, Primera Edición. Editorial AMG. Medellín. 2005.

⁸ ISO 14224 Industria de Petróleo y Gas – Recolección e Intercambio de Datos de Confiabilidad y Mantenimiento de Equipos.

Tabla 8. Beneficios del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad

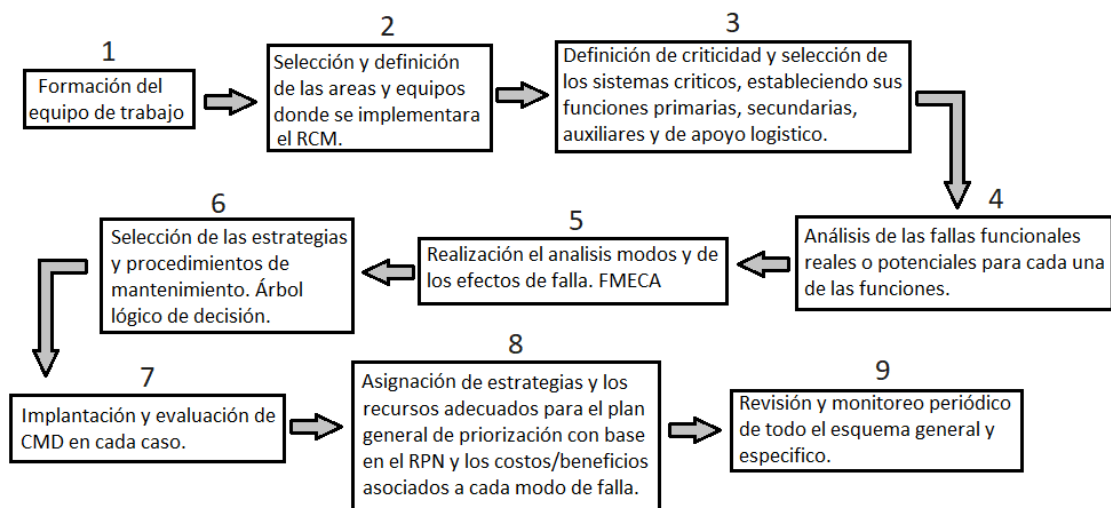
Calidad	Tipo de Servicio	Costo	Tiempo	Riesgo
Aumenta la disponibilidad en al menos un 8%, por solo el hecho de implementar	Proporciona un mejor clima organizacional para el trabajo en equipo	Reduce los niveles de mantenimiento al menos un 40%	Mejora los tiempos medios de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad al menos en un 25%	Brinda seguridad e integridad ambiental en todo el desarrollo del proceso, a niveles muy superiores de los que se tienen antes de implementarlo.
Elimina las fallas crónicas y elimina las causas raíces	Ayuda a entender mejor las necesidades y los requerimientos de los clientes.	Optimiza los programas de mantenimiento	Aumenta los tiempos de funcionamiento de los equipos al menos en un 150% en promedio.	Las fallas con consecuencias sobre el medio ambiente o la seguridad son las que se atacan y eliminan.
Aumenta la flexibilidad operacional	Disminuye las paradas imprevistas	Reduce los costos planeados o no de mantenimiento en un 40%	Reduce o elimina los tiempos de demora en suministros o búsqueda de recursos o repuestos.	Reduce al mínimo la posibilidad de fallas en cadena o superpuestas.
La programación de mantenimiento se basa en hechos reales	Genera un ambiente de investigación y desarrollo alrededor de los análisis de falla	Alarga la vida de los equipos para propósitos especiales	Jerarquiza las actividades de mantenimiento, logrando su reducción en el tiempo.	Su razón de calificación al riesgo la hace una de las tácticas más seguras.
Proporciona el completo conocimiento de las fallas reales y potenciales de las máquinas, así como de sus causas		Todas las actividades de mantenimiento se analizan en un contexto de costo / beneficio		

Fuente: MORA GUTIERREZ, Alberto. Mantenimiento estratégico para empresas de servicios o industriales, Primera Edición. Editorial AMG. Medellín. 2005

Las siete preguntas del RCM son:

1. ¿Funciones y parámetros asociados al equipo en su ambiente operacional normal?
2. ¿De qué manera puede fallar y no cumplir con las funciones anteriores?
3. ¿Cuál o cuáles son las causas inmediatas básicas? ¿Cuál es su causa raíz?
4. ¿Qué pasa y que impactos genera cada falla funcional?
5. ¿Cuál es la importancia de cada falla?
6. ¿Cómo se puede predecir, prevenir o eliminar cada falla?
7. ¿Qué controles se deben ejecutar para controlar la falla, si no hay tareas que permitan anticiparse a ella o desaparecerla?

Figura 8. Pasos para la implementación de RCM

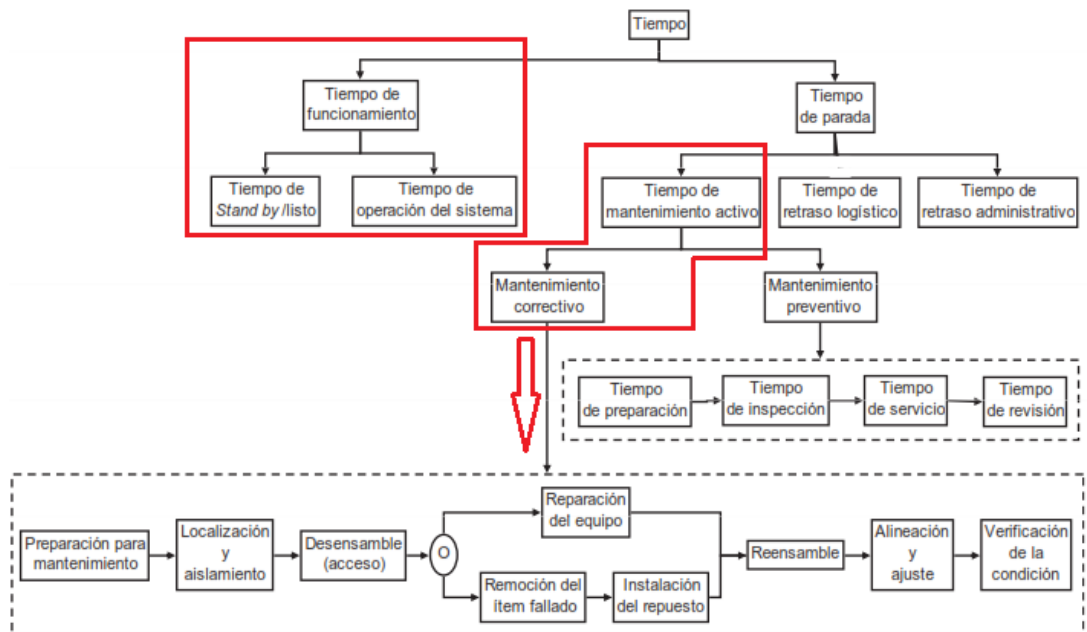


Fuente: MORA GUTIERREZ, Alberto. Mantenimiento estratégico para empresas de servicios o industriales, Primera Edición. Editorial AMG. Medellín. 2005

4.4.2 Indicadores de confiabilidad. Para el caso de estudio y teniendo en cuenta el proceso de llenado de cilindros por demanda, se debe identificar los indicadores de disponibilidad y confiabilidad que más apliquen al proceso.

Teniendo en cuenta el ciclo general de actividades de reparaciones correctivas y/o mantenimiento planeados⁹, se pueden identificar los parámetros que afectan los tiempos para calcular los indicadores de disponibilidad. Se toman los tiempos de funcionamiento (operación del equipo y tiempo listo, disponible pero no produce) y tiempo de parada. Dentro del tiempo de parada solo se toman los tiempos por mantenimiento correctivo y los tiempos de mantenimiento preventivo se incluyen en el tiempo listo, ya que esas actividades se realizan en tiempo muerto de producción.

Figura 9. Clasificación del tiempo para disponibilidad del equipo



Fuente: MORA GUTIERREZ, Alberto. Mantenimiento, Planeación, ejecución y Control, Primera Edición. Editorial Alfaomega, México. 2009 Pág. 114. ISBN 978-958-682-769-0.

⁹ MORA GUTIERREZ, Alberto. Mantenimiento, Planeación, ejecución y Control, Primera Edición. Editorial Alfaomega, México. 2009 Pág. 114.

Para el análisis de la información es necesario realizar un estudio estadístico de toda la información posible sobre causas de falla, tiempo de reparaciones, horas de operación equipos, con el fin de verificar el estado del mantenimiento de los equipos y las acciones correctivas por medio de herramientas como el diagrama de Pareto, RCA y FMECA.

4.5 MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL

El TPM (Mantenimiento Productivo Total) se origina en Japón después de la segunda guerra mundial, como respuesta a mejorar la calidad de los productos. El objetivo es involucrar a todos los trabajadores de la compañía desde el último colaborador hasta la alta dirección, estableciendo un sistema para prevenir las pérdidas, con una filosofía de cero accidentes, cero defectos y cero fallos.

El TPM busca mantener los equipos en su estado original y para eso se implementan diferentes técnicas o métodos de mantenimiento como el LILA, (Limpieza, Inspección, Lubricación, Ajuste).

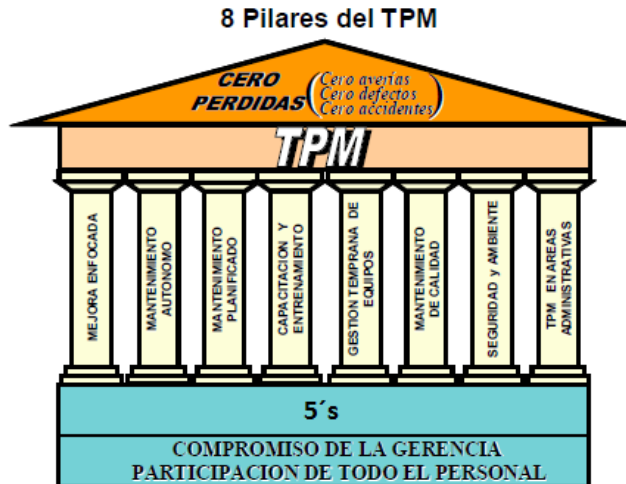
Existen 8 pilares que soportan el TPM y la empresa debe encaminar esfuerzos a desarrollar los que más los afecte. Sin embargo, las bases de esos 8 pilares es una metodología llamada 5´s originaria de Japón. Se denomina así por la primera letra en japonés de las actividades a desarrollar.

Las 5´s son:

- | | | |
|----------------------------|------------|-------------------------|
| 1. Clasificar | (Seiri) | Útil / no útil |
| 2. Organizar | (Seiton) | Área organizada |
| 3. Limpieza | (Seiso) | Área siempre limpia |
| 4. Estandarizar | (Seiketsu) | Normas y procedimientos |
| 5. Mantener la disciplina. | (Shitsuke) | Mejora continua. |

Para una mejor comprensión las 5´s se pueden asociar a la palabra **COLEM**.

Figura 10. Pilares del TPM



Fuente: Rodríguez, Paredes Francis. TPM, RCO o ambos? [en línea]. Perú. Instituto de Ingeniería Aplicada Sept. 2008 [Consultado 15 enero 2020]. Disponible en: <https://imc-peru.com/articulos/RCMyTPM.pdf>

Para la implementación de TPM en una empresa se deben seguir 12 pasos:

1. Declaración de la alta gerencia.
2. Educación introductoria.
3. Estructura traslapada
4. Establecimiento de políticas y directrices.
5. Elaboración del plan maestro.
6. Lanzamiento del programa.
7. Establecer pilares básicos.
8. Control inicial.
9. Mantenimiento de la calidad.
10. Gestión administrativa
11. Seguridad y medio ambiente.
12. Implementación TPM

5. MARCO LEGAL

Las plantas ASU, de Messer Colombia S.A, están certificadas bajo las normas ISO 9001:2008, ISO 14001:2004, OHSAS 18001:2004, FSSC 22000 y BPM del INVIMA.

Sin embargo, para el caso en estudio de la regional Barranquilla, por ser una estación de llenado que distribuye oxígeno y aire medicinal, está certificado en Buena prácticas de Manufactura (BPM) de gases medicinales del INVIMA, los productos industriales se rigen por procedimientos estandarizados de la compañía.

El aire y el oxígeno medicinales son tratados como medicamentos ya que interactúan de forma directa con el cuerpo humano. Por tal razón son vigilados en su producción, almacenamiento y distribución por el INVIMA. La reglamentación de las BPM tiene como objetivo disminuir los riesgos inherentes a toda producción farmacéutica que no puedan prevenirse completamente mediante el control definitivo de los productos.¹⁰

Las exigencias de las BPM son:

1. Procesos de fabricación definidos claramente.
2. Comprobación de las etapas críticas de los procesos de fabricación y todo cambio significativo que se haya introducido en dichos procesos.
3. Que se tengan todos los medios necesarios: personal capacitado y calificado, infraestructura y espacio apropiado, equipos y servicios adecuados, materiales, envases y etiquetas correctas, procedimientos e instrucciones aprobados, almacenamiento y transporte apropiado, personal, laboratorios y

¹⁰ MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL. Res.N° 4410 de 2009, Por el cual se expide el Reglamento Técnico que contienen el Manual de Buenas Prácticas de Manufactura de Gases Medicinales. 17 noviembre de 2009

equipos adecuados para efectuar controles durante el proceso de producción.

4. Procedimientos en lenguaje claro e inequívoco.
5. Registros claros de la producción.
6. Trazabilidad de los lotes de producción.
7. Almacenamiento y distribución sean los adecuados para reducir cualquier riesgo que afecta la calidad.
8. Estudio de las quejas y análisis de causas de los defectos de calidad para evitar que se repitan.

6. DESARROLLO DEL PLAN DE TRABAJO

6.1 ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO ACTUAL

Messer Colombia S.A, en su operación de mantenimiento maneja el esquema de tercerización de todas las actividades de prestación de servicios de mantenimiento mecánico, eléctrico e instrumentación preventivo y correctivo de las instalaciones y equipos a nivel nacional.

Para esto, se plantea una estrategia de mantenimiento donde se estable la secuencia y clasificación de las actividades, que permiten realizar una gestión adecuada de mantenimiento.

Existen cuatro actividades principales en la estrategia de mantenimiento para los equipos e instalaciones así:

1. Mantenimiento Preventivo: se genera a partir de las recomendaciones del fabricante. Se establece un plan maestro de mantenimiento basado en frecuencias. Después de realizar el plan maestro un programador realiza las órdenes de mantenimiento preventivo, basándose en las rutinas MP2. Luego las ordenes son enviadas a cada uno de los supervisores en las plantas de Cali, Bogotá y Barranquilla para su ejecución.
2. Mantenimiento Correctivo: Toda actividad imprevista en los equipos que **afecta la producción** de llenado de gases del aire.
3. Solicitudes de mantenimiento: son todas las actividades que no se catalogan como preventivas o correctivas pero que si causan un tiempo de horas hombre de mantenimiento. Se clasifican en:

Capacitaciones: Cursos de reentrenamiento alturas, charlas de seguridad, capacitaciones en temas de seguridad, equipos, etc.

Proactivas de mantenimiento: propuestas o sugerencias del equipo de mantenimiento para solucionar fallas reiterativas. Inspección visual, revisión, registro de datos.

Solicitudes de Planta: Daños o fallas en los equipos que no afectan el proceso productivo y se atienden con el recurso actual. Cambio de accesorios, repuestos, instalación de equipos, cambio de instrumentación, cambio de flexibles dañados, guayas, mantenimientos extremos fríos y calientes.

CAR: Puntos de auditorías interna de Messer que generan una clasificación de riesgo por seguridad y producción. Dependiendo del nivel se clasifica el tiempo de cierre.

Mejoramientos: Optimización de procesos productivos o de equipos. Cambio de tecnología.

Acompañamientos: Se realiza acompañamiento en las actividades críticas de llenado gases del aire como acetileno. Así mismo, todo contratista externo, debe estar acompañado de un técnico del outsourcing.

Labores Operativas: Limpieza y aseo de las áreas de mantenimiento y planta. Todas las actividades que ayudan a la operación.

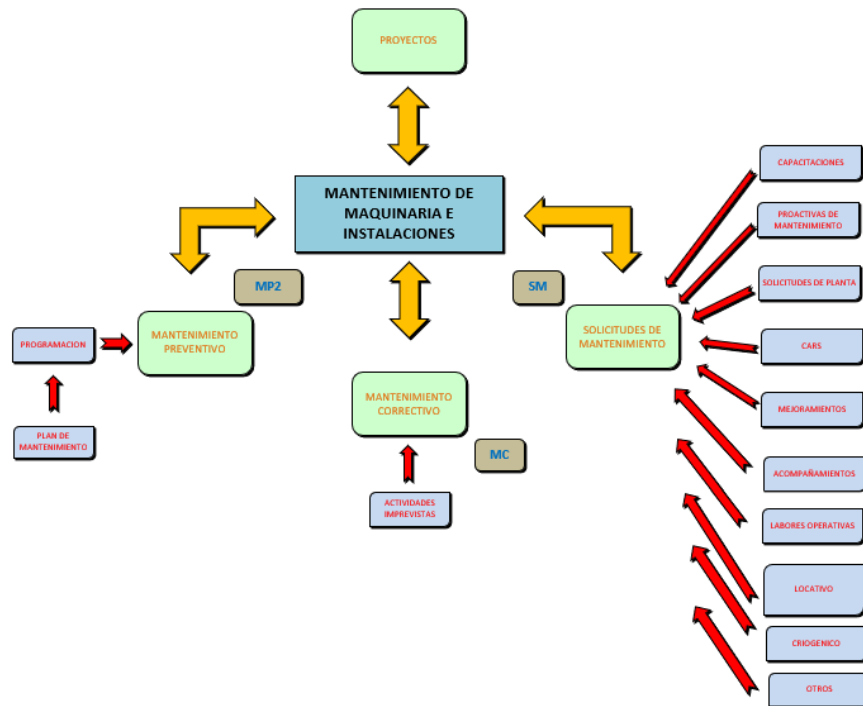
Locativo: Conservación de todos los activos e instalaciones físicas de la compañía. Reparaciones menores ajenas al proceso productivo. Cambio de lámparas, pintura, demarcación de seguridad, soldaduras de mantenimiento.

Criogénico: Toda actividad que se realiza en las bombas criogénicas, tanques y vaporizador.

Otros: Son los tiempos ajenos al mantenimiento. Permisos, vacaciones, licencias, incapacidades médicas, calamidad doméstica.

4. Proyectos: Se generan a partir de la necesidad de Messer y requieren un presupuesto adicional al de mantenimiento. Se ejecuta con ayuda del outsourcing mantenimiento y/o personal externo.

Figura 11. Estrategia de mantenimiento Messer. Área cilindros



Fuente: MESSER COLOMBIA S.A. Bitácora mantenimiento, 2020

Finalmente, la información de mantenimiento es recopilada en una bitácora en Excel, para su análisis y toma de decisiones.

6.2 EFECTO DEL LÍQUIDO EN LA BOMBA CRIOGÉNICA

La bomba criogénica reciprocante marca ACD modelo NDPD, esta diseñada para trabajar con los siguientes líquidos: Oxígeno, Argón y Nitrógeno, cada uno a diferentes grados de temperatura.

Los gases se caracterizan por una curva de saturación, en la cual se puede determinar el estado del gas acuerdo la presión y temperatura. Si la condición de un líquido criogénico esta muy cerca de la presión de vapor, cualquier cambio en la temperatura o presión, producirá que el líquido hierva generando burbujas que pueden dañar la bomba por erosión o picaduras. Así mismo, si se genera gran cantidad de burbujas de gas, estas no se podrán bombear, disminuyendo el flujo de la bomba.

Por otro lado, por seguridad y con el fin de evitar daño en los sellos de copa que generen fugas de líquido, se debe garantizar una temperatura mínima de -100°C en el retorno del extremo frío. Para esto se instala una protección de arranque en seco, el cual consta de una termocupla tipo T y un controlador de temperatura que condiciona el accionamiento del motor hasta que no alcance esa temperatura.

6.3 RENDIMIENTO DE LA BOMBA CRIOGÉNICA Y CONSUMOS DE LOS GASES DEL AIRE.

El rendimiento de la bomba se ve afectado por diferentes factores al interior del tanque como la presión y el nivel, además de la temperatura ambiente. Para estandarizar los valores se toma el promedio de los años 2018 y 2019.

Así mismo, se compara el rendimiento teórico con el real. Un punto que puede generar una diferencia son las pérdidas ocasionadas por mala operación, distancia de tuberías, accesorios, fugas.

Temperatura media Barranquilla 2018 y 2019 = 28°C¹¹

Presión tanque Nitrógeno 2018 y 2019 = 7 Bar

Presión tanque Argón 2018 y 2019 = 12 Bar

Tabla 9. Características de la bomba criogénica ACD NDPD

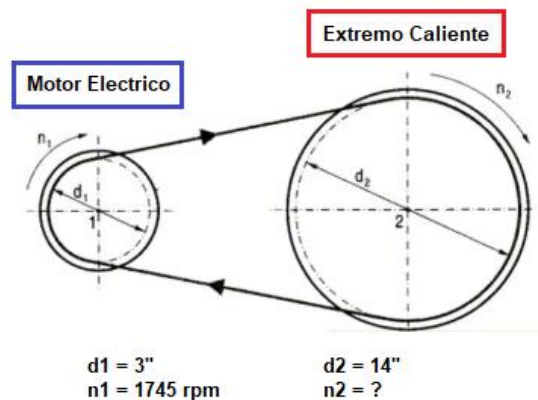
Descripción	Medida
Diámetro pistón extremo frio	1.2 in (30 mm)
Recorrido pistón extremo caliente	1.26 in (32 mm)
Máxima presión de entrada	300 psig (20 bar)
Flujo máximo	2.74 gpm (10.4 l/m)
Máxima presión de descarga	4000 psig (267 bar)
Mínimo NPSP requerido	2 psi (0.14 bar)

Fuente: Autor

Teniendo en cuenta la Tabla 9. el flujo máximo de la bomba teórico es de 10.4 l/m lo que es equivalente a **0.624 m³/h**.

Con las condiciones de instalación real, se procede a verificar el flujo de la bomba de la siguiente manera.

Figura 12. Relación de transmisión bomba criogénica



Fuente: Autor

¹¹ TUTIEMPO.NET [Sitio Web]. España. [Consulta 15 enero 2020]. Disponible en: <https://www.tutiempo.net/clima/ws-800280.html>

Aplicando la fórmula de la relación de transmisión de poleas,

$$n_1 \times d_1 = n_2 \times d_2 \quad [1]$$

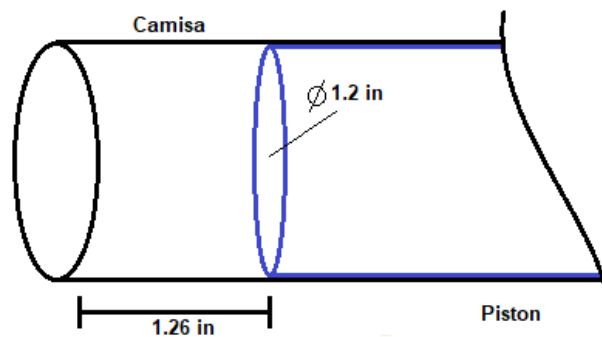
Se calculan las rpm del extremo caliente

$$n_2 = 374 \text{ rpm} = 22440 \text{ rev/h}$$

La bomba es de funcionamiento recíprocante, el volumen desplazado siempre va ser el mismo, por lo tanto se calcula por medio de la ecuación de volumen de un cilindro.

$$V = \pi \cdot r^2 \cdot h \quad [2]$$

Figura 13. Cámara volumétrica extremo frío



Fuente: Autor

Reemplazando los valores en la ecuación [2],

$$V = \pi \cdot (0.6 \text{ in})^2 \cdot (1.26 \text{ in})$$
$$V = 1,43 \text{ in}^3 = 23,43 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

Para determinar el flujo de líquido desplazado en una hora se multiplica el volumen por las revoluciones del extremo caliente.

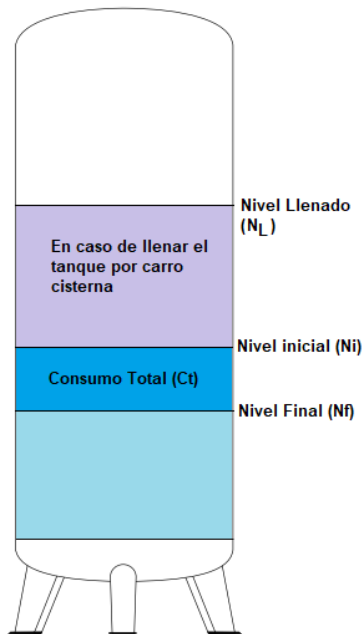
$$V_{desplazado} = 22440 \times (22,616 \times 10^{-6}) = 0.52 \text{ m}^3/h$$

Este valor es el mismo indiferentemente del líquido criogénico que se este llenando.

El volumen desplazado es líquido, por lo tanto, se debe convertir a volumen gaseoso. Para esto, se usa una aplicación APP llamada Linde Gas converter, la cual permite realizar la conversión a la temperatura más aproximada de Barranquilla.

Para poder cuantificar las pérdidas que se presentan en el proceso de llenado, se busca una relación entre el nivel del tanque antes y después del llenado. Este registro se lleva a diario por parte del operador y verificado por el jefe de producción.

Figura 14. Niveles del tanque para cálculo de pérdidas



$$Ct = Ni + Nl - Nf \quad (Kg) \quad [3]$$

En caso de no recibir producto en el día $N_L = 0$

En caso de recibir producto $N_L = \text{kg recibidos}$.

El total de m^3 llenados en cilindros es T_L

Como las medidas son el Kg, el T_L se multiplica por el factor de conversión (ver tabla 10)

Fuente: Autor

Tabla 10. Factor de conversión de gas a Kg Líquido

Producto	Factor de conversión a 28°C de 1 m ³ gaseoso a kg líquido
Nitrógeno	1.134
Argón	1.618
Oxígeno	1.296

Fuente: Aplicación Linde Gas Converter. Disponible en: http://www.linde-gas.com/en/news_and_media/linde_apps/gas_converter.html

$$\text{Consumo real } (C_r) = C_t - T_L \text{ (Kg)} \quad [4]$$

Por lo tanto, la pérdida en función de líquido criogénico es:

$$\% \text{ pérdida} = \frac{C_r}{C_t} \quad [5]$$

Estos registros se deben llevar de forma diaria para hacer un consolidado a final de mes y así llevar un control de producción con indicadores y tendencias.

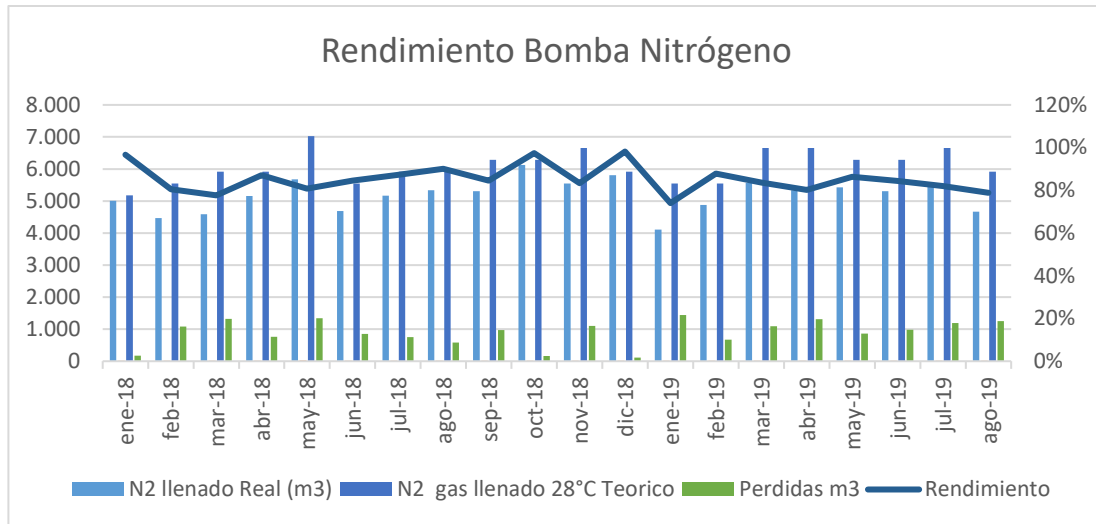
A continuación, se realiza un ejemplo de las relaciones anteriormente descritas para ver el comportamiento de la bomba de nitrógeno en el año 2018 y finales de agosto 2019.

Figura 15. Rendimiento bomba nitrógeno.

	ene-18	feb-18	mar-18	abr-18	may-18	jun-18	jul-18	ago-18	sep-18	oct-18	nov-18	dic-18	ene-19	feb-19	mar-19	abr-19	may-19	jun-19	jul-19	ago-19
N2 llenado Real (m3)	5.007	4.467	4.591	5.154	5.680	4.691	5.165	5.332	5.309	6.124	5.550	5.807	4.105	4.874	5.568	5.341	5.426	5.306	5.460	4.666
Horas Bomba N2	14	15	16	16	19	15	16	16	17	17	18	16	15	15	18	18	17	17	18	16
Litros llenados N2 líquido teórico	7280	7800	8320	8320	9880	7800	8320	8320	8840	8840	9360	8320	7800	7800	9360	9360	8840	8840	9360	8320
N2 gas llenado 28°C Teórico	5176	5546	5916	5916	7025	5546	5916	5916	6285	6285	6655	5916	5546	5546	6655	6655	6285	6285	6655	5916
Perdidas m3	169	1.079	1.325	762	1.345	855	751	584	976	161	1.105	109	1.441	672	1.087	1.314	859	979	1.195	1.250
Rendimiento	97%	81%	78%	87%	81%	85%	87%	90%	84%	97%	83%	98%	74%	88%	84%	80%	86%	84%	82%	79%
Flujo Bomba m3/h	0,52																			

Fuente: Autor

Figura 16. Grafica rendimiento bomba nitrógeno



Fuente: Autor

En la gráfica anterior se puede evidenciar que el rendimiento de la bomba es óptimo, en promedio se mantiene sobre el 85%. Sin embargo, se debe cuantificar en forma eficiente las pérdidas, no por culpa de la bomba, si no de los factores externos.

6.4 MATRIZ DE CRITICIDAD PARA EL PROCESO DE LLENADO GASES DEL AIRE

Para el caso en estudio, se va a emplear el modelo de factores ponderados basado en el concepto del riesgo. Este modelo determina la criticidad del equipo cuantitativamente, multiplicando la probabilidad o frecuencia de falla por la suma de las consecuencias de la misma.

$$CTR = FF \times C \quad [6]$$

Donde:

CTR = Criticidad total por riesgo.

FF = Frecuencia de falla (falla/año)

C = Consecuencias de los eventos de fallo.

Las consecuencias de los eventos de fallos (C), se obtiene de la siguiente expresión:

$$C = IO + FO + CM + SHA \quad [7]$$

Siendo,

IO = Factor de impacto en la operación.

FO = Factor de flexibilidad operacional.

CM = Factor de costo de mantenimiento.

SHA = Factor de impacto en seguridad, higiene y ambiente.

Por lo tanto,

$$CTR = FF \times (IO + FO + CM + SHA) \quad [8]$$

Figura 17. Matriz de criticidad



Fuente: PERTUZ, Alberto. Taller de análisis de criticidad, Especialización Gerencia de Mantenimiento, Barranquilla, 2019.

Los factores ponderados para el análisis de criticidad son:

Cuadro 1. Factores ponderados basados en riesgo

Frecuencia de falla (FF)	Pobre mayor a 10 fallas/año	4
	Promedio 1 – 10 fallas/año	3
	Buena 0.5 – 1 fallas/año	2
	Excelente menos de 0.5 falla/año	1
Impacto Operacional (IO)	Perdida de todo el despacho	10
	Parada del sistema o subsistema y tiene repercusión en otros sistemas	7
	Impacta en niveles de inventario o calidad	4
	No genera ningún efecto significativo sobre operaciones y producción	1
Flexibilidad Operacional (FO)	No existe opción de producción y no hay función de repuesto	4
	Hay opción de repuesto compartido/almacén	2
	Función de repuesto disponible	1
Costo de mantenimiento (CM)	Mayor o igual a 1.000.000	2
	Inferior a 1.000.000	1
Impacto en Seguridad, Ambiente Higiene (SAH)	Afecta la seguridad humana tanto externa como interna y requiere la notificación a entes externos de la organización.	8
	Afecta el ambiente/instalaciones	7
	Afecta las instalaciones causando daños severos	5
	Provoca daños menores (ambiente/seguridad)	3
	No provoca ningún tipo de daño a personas, instalaciones o al ambiente.	1

Fuente: BORRAS, Carlos. Taller de criticidad activos, Especialización Gerencia de Mantenimiento, Barranquilla, 2019.

Los equipos que intervienen en el llenado de los gases del aire y la tasa de fallas para el año 2019 son:

Tabla 11. Equipos proceso llenado gases del aire

Equipo	N° fallas 2019
Tanque Estacionario	1
Bomba Criogénica	12
Vaporizador	0
Rack Llenado	18
Cilindro	0

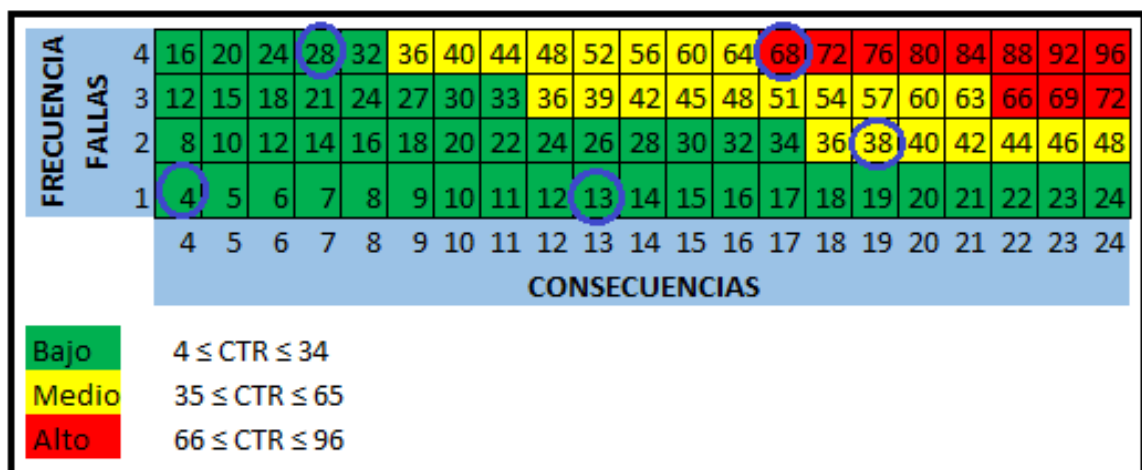
Fuente: Autor, Bitácora mantenimiento 2019.

Cuadro 2. Valores de criticidad equipos proceso llenado gases del aire

EQUIPO	FF	IO	FO	CM	SAH	C	CTR	TIPO MTTO
TANQUE ESTACIONARIO	2	10	4	2	3	19	38	Preventivo
BOMBA CRIOGENICA	4	10	4	2	1	17	68	TBM CBM RCM
VAPORIZADOR	1	7	4	1	1	13	13	Correctivo
RACK LLENADO	4	4	1	1	1	7	28	Autónomo
CILINDROS	1	1	1	1	1	4	4	

Fuente: Autor

Figura 18. Matriz de criticidad, equipos proceso llenado gases del aire.



Fuente: Autor

Teniendo en cuenta los resultados de la matriz de criticidad, el equipo con mayor criticidad por sus consecuencias es la bomba criogénica. De esta manera se ratifica la importancia de mejorar la gestión de mantenimiento para este equipo.

6.5 FALLAS EN LA BOMBA CRIOGÉNICA EN LOS AÑOS 2016 – 2019

Con el fin de determinar las fallas más recurrentes que se presentaron en las bombas criogénicas durante los años 2016 al 2019, se realiza un diagrama de Pareto, el cual brindara las bases para la toma de decisiones a nivel de mantenimiento.

Tabla 12. Fallas bomba criogénica

Modo falla	Número de fallas
Desgaste sellos de copa	13
Humedad interna extremo frio	8
Desgaste anillo - racor descarga extremo frio	5
Activación de protección térmica	1
Desgaste excesivo correas	5
Empaque succión dañado	12
Perdida de vacío	1
Soltura Mecánica prensaestopas	2
Soltura Mecánica Tornillos tapa succión	3
Desgaste material (válvula 4000 psi)	1
Ralladura interna cantina	1
Rotura compensador	2

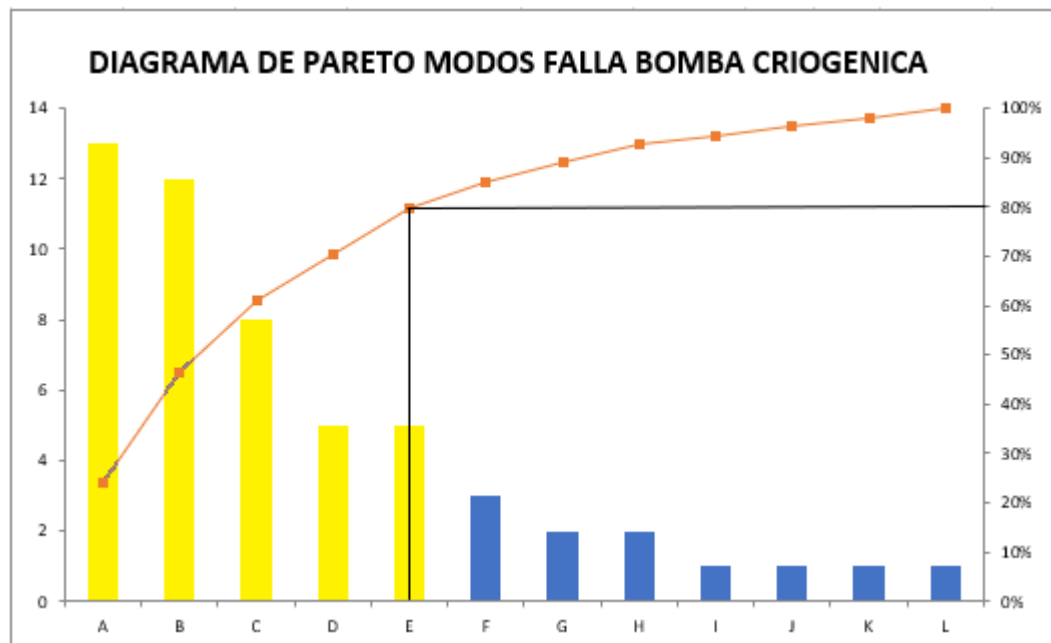
Fuente: Autor, Bitácora mantenimiento 2017 – 2019.

Tabla 13. Diagrama de Pareto para bomba criogénica

DIAGRAMA DE PARETO BOMBA CRIOGENICA BARRANQUILLA				
MODOS DE FALLAS	Item	# FALLAS	% Acumulado	
Desgaste sellos de copa	A	13	24%	13
Empaque succión dañado	B	12	46%	25
Humedad interna extremo frio	C	8	61%	33
Desgaste excesivo correas	D	5	70%	38
Desgaste anillo - racor descarga extremo frio	E	5	80%	43
Soltura Mecánica Tornillos tapa succión	F	3	85%	46
Soltura Mecánica prensaestopas	G	2	89%	48
Rotura compensador	H	2	93%	50
Desgaste material (válvula 4000 psi)	I	1	94%	51
Ralladura interna cantina	J	1	96%	52
Activación de protección térmica	K	1	98%	53
Perdida de vacío	L	1	100%	54
	Total	54		

Fuente: Autor

Figura 19. Diagrama de Pareto para bomba criogénica

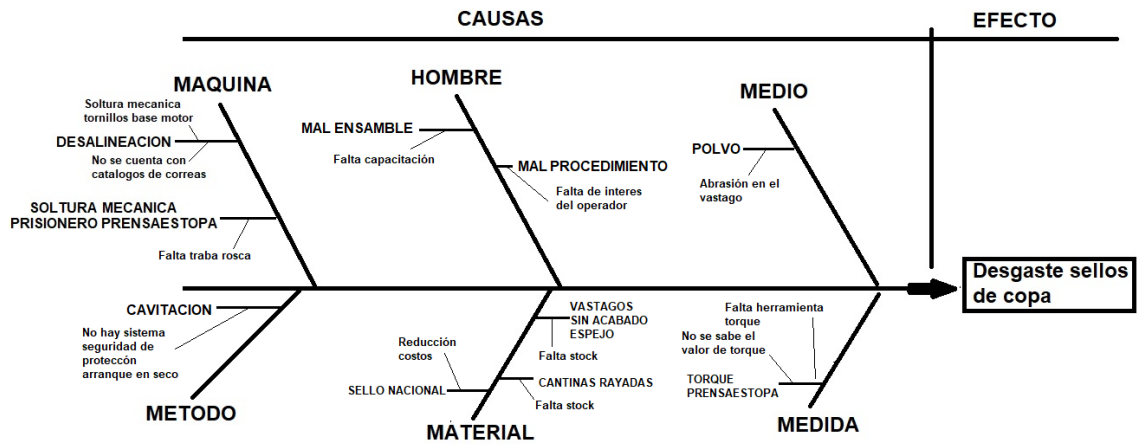


Fuente: Autor

Se puede analizar que el modo de falla más recurrente y al cual se debe prestar más atención es el desgaste de los sellos de copa.

Para analizar la causa raíz, del desgaste de los sellos de copa se realiza un diagrama de Ishikawa, apoyado de la metodología de los 5 ¿por qué?

Figura 20. . Diagrama Ishikawa



Fuente: Autor

Ahora se procede a establecer los criterios de análisis de las causas, para esto se buscará resolver las siguientes preguntas¹²:

1. Es un factor que lleva al problema?
2. Es una causa directa del problema?
3. Si se elimina la causa, se soluciona el problema?
4. Es factible de ejecutar para solucionar el problema?
5. Es medible la solución?
6. Es de bajo costo la solución?

Y se califica en una escala de 1 a 3, donde 1 es el menor beneficio y 3 el mayor.

¹² MARTINEZ LIMA, Iván [Iván Martínez Lima] (2018, Enero 21) Diagrama de Ishikawa Parte 2 – Análisis de la causa raíz.[Archivo de video] Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=w1XX49ObXxU>

Figura 21. Criterios de análisis de causas

CAUSAS	SOLUCIONES	CRITERIOS						TOTAL
		1	2	3	4	5	6	
MAQUINA								
Soltura mecánica tornillos base motor	Inspección semanal	2	1	1	3	2	3	12
No se cuenta con catálogos de correas	Realizar inventario de las correas con referencias	1	1	1	3	1	2	9
Falta traba rosca	Comprar traba rosca fuerza baja	2	2	1	3	1	2	11
HOMBRE								
Falta de capacitación en mantenimiento	Enviar al técnico al taller central para capacitación en arme y desarme de extremo fríos.	3	3	3	3	3	1	16
Falta de interés en el operador	Capacitación en el procedimiento de operación bomba	3	2	3	2	1	3	14
MEDIO								
Abrasión en el vástago	Limpieza semanal	2	2	2	3	1	2	12
MEDIDA								
Falta de herramienta torque	Compra de herramienta	3	2	2	2	1	1	11
No se sabe el valor de torque	Consultar con técnico especializado del fabricante valor del torque máximo y mínimo para ajuste de prensaestopa.	2	2	1	2	3	3	13
MATERIAL								
Falta stock cantinas	Comprar cantinas nuevas	1	1	3	2	3	1	11
Falta stock vástagos	Comprar vástagos nuevos	1	1	3	2	3	1	11
Reducción de costos	Comprar al por mayor	1	1	2	1	3	1	9
METODO								
No hay sistema de seguridad de arranque en seco	Instalación de protección de arranque en seco por medio de controlador y termocupla T	3	3	3	3	3	3	18

Fuente: Autor

De acuerdo con el resultado del análisis del diagrama de Ishikawa, la causa por la cual se desgastan los sellos de copa es que no se tiene un sistema de protección de arranque en seco para la bomba que garantice el enfriamiento del extremo frío a -100°C antes de arrancar la bomba. Con esto también se elimina el error humano.

Sin embargo, no se puede descuidar la capacitación de los colaboradores de mantenimiento en el arme y desarme de los extremos fríos, ya que es la segunda causa por la cual se desgastan los sellos de copa. Para esto se debe realizar la

coordinación para que personal técnico especializado de la marca ACD o representantes en Colombia, realicen una capacitación a todos los técnicos de mantenimiento.

6.6 DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO POR CONFIABILIDAD.

Teniendo en cuenta el resultado de la matriz de criticidad (Sección 5.4) de los equipos involucrados en el proceso de llenado de cilindros, se establece una estrategia de mantenimiento para la Bomba Criogénica basada en confiabilidad (RCM).

Para el contexto operacional de la bomba, se tienen las siguientes características:

Tabla 14. Contexto operacional bomba criogénica estación llenado Barranquilla

Característica	Observación
Lugar de Ubicación.	Estación de llenado Barranquilla
Sitio cerrado o abierto.	Abierto (Intemperie)
Temperatura ambiente (°C)	27.8
Hace parte de proceso continuo o lote	Lote
Tiene equipo redundante.	No
Turno de trabajo (Horas)	8
Promedio horas trabajadas x mes	30
Presión máxima llenado	224 Bar
Repuestos	Taller central Bogotá

Fuente: Autor

Para la taxonomía de la bomba, análisis funcional y efectos modos de falla, se utilizará una hoja de cálculo de Excel, la cual fue entregada por la Ingeniería Pilar Valderrama en clases de RCM en la Especialización de Gerencia de Mantenimiento.

Figura 22. Taxonomía bomba criogénica

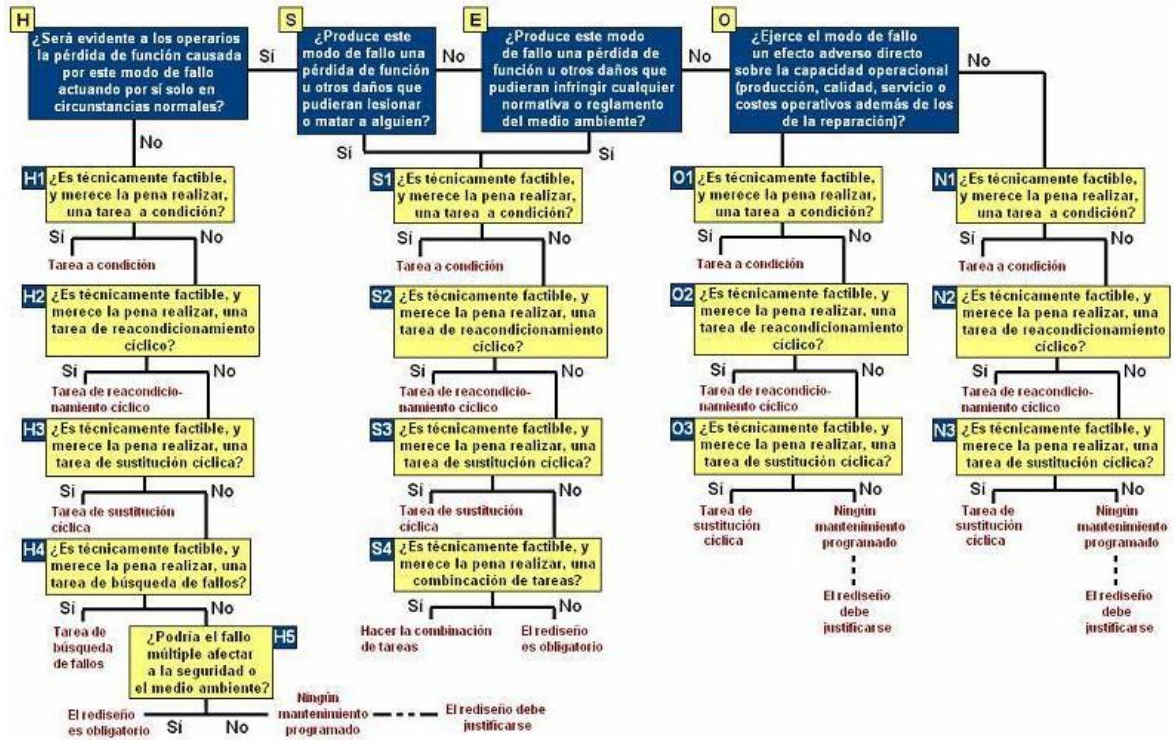


Fuente: Autor

En el anexo A, se realiza el análisis funcional, evaluación de consecuencias, selección y definición de tareas y estimación de costos de cada uno de los modos de falla identificados.

Para la evaluación de la consecuencia se seguirá el siguiente diagrama de decisión.

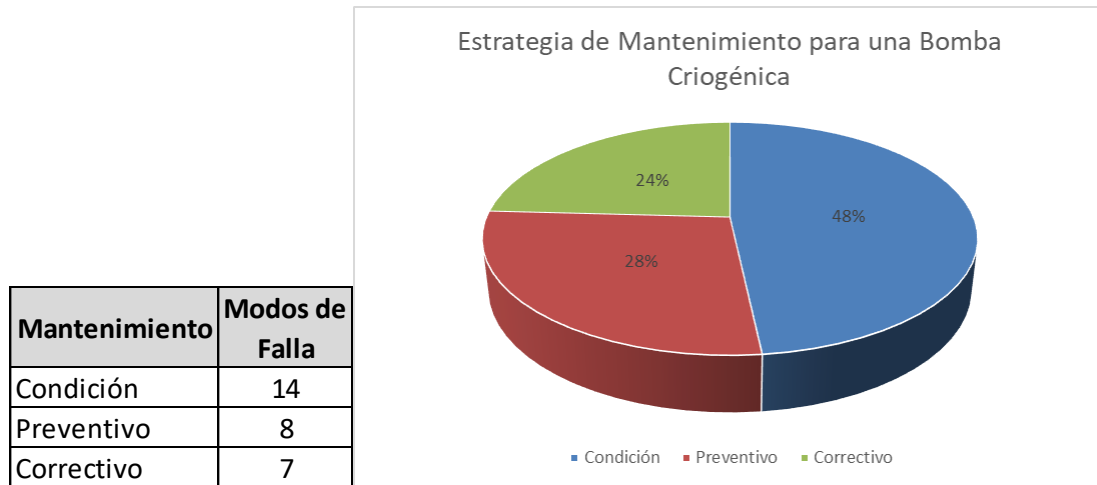
Figura 23. Diagrama decisión de consecuencias para RCM



Fuente: VALDERRAMA, Pilar. Presentación RCM, Especialización Gerencia de Mantenimiento, Barranquilla, 2019.

Después de realizar la matriz de decisión, se pudo evidenciar 29 modos de falla y 3 tipos de mantenimiento, los cuales el 48% corresponde a mantenimiento de condición (análisis de vibraciones, termografía, inspección visual de desgaste), 28% a mantenimiento preventivo y un 24% de mantenimiento correctivo (a falla).

Figura 24. Estrategia resultante de la matriz de decisión para una bomba criogénica



Fuente: Autor

Así mismo, se pudo evaluar la prioridad de los modos de fallo por medio del número prioritario de riesgo (NPR), el cual se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$NPR = Severidad \times Ocurrencia \times Detección \quad [9]$$

Para lo cual se establecieron los siguientes parámetros:

Cuadro 3. Severidad del efecto

EFEECTO	CRITERIO	NIVEL
Peligroso sin aviso	La falla afecta la operación segura del equipo. Puede poner en peligro al operador. El fallo ocurre sin previo aviso.	10
Peligroso con aviso	El fallo afecta la operación segura del equipo. El fallo ocurre con previo aviso.	9
Muy alto	Interrupción mayor en la línea de producción. El fallo ocurre con previo aviso.	8
Alto	Interrupción menor en la línea. El equipo entra en operación en el siguiente turno.	7
Moderado	Interrupción menor de la línea de producción. El equipo entra en operación en el mismo turno.	6
Bajo	Interrupción menor de la línea de producción. El equipo opera con disminución de algunas funciones.	5
Muy bajo	Interrupción menor de la línea de producción. El equipo entra en operación en poco tiempo.	4
Menor	Interrupción menor de la línea de producción. El equipo entra en operación en muy poco tiempo.	3
Muy menor	Sin interrupción de la línea de producción. Baja la eficiencia del equipo.	2
Ninguno	El modo de fallo no tiene efecto	1

Fuente. LOPEZ, de la Calle Iñaki Elexpuru, Proyecto final de carrera, "Mantenimiento FMEA del sistema de alimentación del motor Wartsila 50DF-12V", Universidad del País Vasco, Escuela Técnica Superior de Náutica y Maquinas navales, Septiembre 2017

Cuadro 4. Ocurrencia del efecto

OCURRENCIA DEL FALLO	FRECUENCIA	NIVEL
Muy alta. Muy repetitiva	Promedio mayor o igual a 10 por año	5
Alta: Fallo repetitivo	Promedio mayor a 6 y menor a 10	4
Media. Fallo ocasional	Promedio mayor a 3 y menor a 6	3
Baja. Pocos fallos	Promedio mayor a 1 y menor a 3	2
Muy baja. Muy pocos fallos	Promedio menor a 1 fallo por año	1

Fuente: LOPEZ, de la Calle Iñaki Elexpuru, Proyecto final de carrera, "Mantenimiento FMEA del sistema de alimentación del motor Wartsila 50DF-12V", Universidad del País Vasco, Escuela Técnica Superior de Náutica y Maquinas navales, Septiembre 2017

Cuadro 5. Probabilidad de detección por control de procesos

DETECCION	CRITERIO	NIVEL
Casi imposible	No existen controles conocidos para detectar el modo de fallo o la causa.	10
Muy remota	Probabilidad muy remota de que los controles vigentes detecten el modo de fallo o la causa.	9
Remota	Probabilidad muy remota que los controles vigentes detectaran el modo de fallo o la causa.	8
Muy baja	Probabilidad muy baja de que los controles vigentes detecten el modo de fallo o la causa.	7
Baja	Probabilidad baja que los controles detecten el modo de fallo	6
Moderada	Probabilidad moderada que los controles detecten el modo de fallo	5
Moderadamente alta	Probabilidad moderadamente alta de que los controles detecten el modo de fallo o la causa.	4
Alta	Probabilidad alta de que se detecte el modo de fallo o la causa.	3
Muy alta	Probabilidad alta que los controles detecten el fallo o la causa. 2	2
Detectable	Los controles detectarán el modo de fallo. Detección muy fiable	1

Fuente. LOPEZ, de la Calle Iñaki Elexpuru, Proyecto final de carrera, "Mantenimiento FMEA del sistema de alimentación del motor Wartsila 50DF-12V", Universidad del País Vasco, Escuela Técnica Superior de Náutica y Maquinas navales, Septiembre 2017

El nivel de riesgo se establece en los siguientes parámetros:

$250 \leq \text{NPR} \leq 500$ Alto.

$125 \leq \text{NPR} \leq 249$ Medio.

$1 \leq \text{NPR} \leq 124$ Bajo.

En el anexo B. se realiza la evaluación de NPR y como resultado la prioridad en que se debería atacar los 5 primero modos de falla son:

1. Desgaste de material. Sellos de copa. Extremo frio.
2. Ruptura. Empaque tapa flanche succión. Extremo frio.
3. Ruptura. Correas transmisión. Motor eléctrico.
4. Humedad. Cavitación. Válvula succión. Extremo frio.
5. Soltura. Prensaestopa. Extremo frio.

6.7 ACTIVIDADES DE TPM PARA EL MANTENIMIENTO DE LA BOMBA CRIOGÉNICA.

La metodología del TPM parte desde el compromiso del operador por mantener en buen estado de funcionamiento el equipo asignado. Para esto se debe manejar el cambio, el cual, es 20% aptitud (entrenamiento) y 80% actitud (motivación, reconocimiento.)

En la compañía se vienen realizando muchas actividades que hacen parte del TPM. Sin embargo, se van a relacionar con el fin de poder identificarlas y usarlas en un futuro como base para implementar esta metodología.

6.7.1 Mantenimiento Autónomo. Se debe realizar mantenimiento autónomo sobre los *equipos* y aplicar 5"s al *entorno*.

Enfocarse hacia cero accidentes y cero contaminación, el producto hacia cero defectos, la máquina hacia cero fallas y un lugar de trabajo organizado, ordenado y limpio.

Las siete anormalidades del mantenimiento autónomo son:

1. Condición básica.
2. Lugar de difícil acceso.
3. Fuente Contaminación (lo genera el equipo)

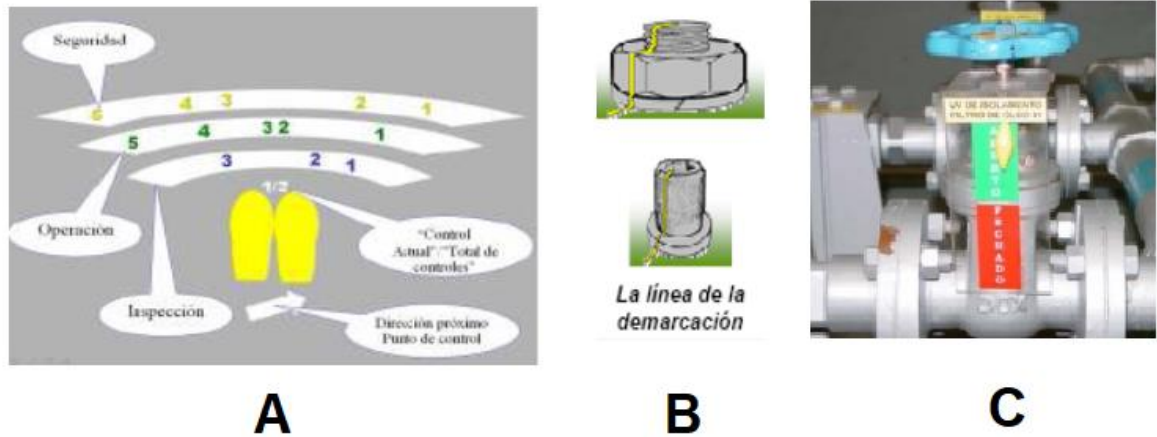
4. Falla ínfima (rayones, golpes, corrosión)
5. Lugares inseguros (condiciones inseguras)
6. Fuente de defecto calidad.
7. Orden y elementos innecesarios.

Cuadro 6. Actividades de mantenimiento autónomo

ACTIVIDAD	IMPLEMENTADAS	POR IMPLEMENTAR
5'S	Se empezó realizando unas mejoras de aseo, pintura, cambio puesto de trabajo, demarcación de pisos, clasificación de las herramientas y accesorios al taller de mantenimiento.	Caja con herramienta y repuestos críticos para mantenimiento de la bomba.
Formato Pequeñas Mejoras	Mensualmente se realizan informes de mantenimiento, donde se relacionan todas las mejoras que se efectúan a los equipos, con un registro fotográfico. (Ver anexo C)	Implementar tarjetas de TPM. Azul para el reporte de averías que pueden ser atendidas por el operador directamente y rojas para ser atendidas por personal técnico mantenimiento.
Estandarización	Se implementó un procedimiento de mantenimiento para la bomba criogénica con registro fotográfico y paso a paso de las actividades.	Fomentar el método LILA (Limpieza, Inspección, Lubricación, Ajuste) por medio de formatos establecidos.
Control visual	Identificación de tuberías con sentido de flujo	Identificar válvula tanque abierta y/o cerrada. Control visual piso

Fuente: Autor

Figura 25. Actividades de control visual por implementar



Fuente: AGUILAR, Leon, Mauricio. Presentación. Clase TPM, Especialización Gerencia de Mantenimiento. Barranquilla, 2020.

Figura 26. Taller mantenimiento antes



Fuente: Autor

Figura 27. Taller mantenimiento, después de 5´s.



Fuente: Autor

6.7.2 Mantenimiento Planeado (MP)¹³. Los objetivos del mantenimiento planeado son:

1. Maximizar la producción, mejorando la confiabilidad del equipo.
2. Minimizar los recursos, mejorando la efectividad de los costos.
3. Eliminar las averías (Correctivos).

Para lograr los objetivos se tienen cinco medidas para cero fallas:

1. Reestablecer condiciones básicas (LILA)
2. Cumplimiento de las condiciones de uso (no sobrepasar los límites de operación).
3. Eliminar el deterioro (natural o forzado).
4. Mejorar los puntos débiles de diseño.
5. Aumento de la capacidad técnica (Capacitación.).

¹³ Presentación. Clase TPM, Especialización Gerencia de Mantenimiento Ing. Mauricio Aguilar León, Barranquilla, 2020

Comparación de los seis pasos para implementar mantenimiento planeado con el estado actual de mantenimiento:

Cuadro 7. Ponderación del avance de MP en la compañía

Pasos MP	Mantenimiento Actual	Avance (%)
Diagnostico situación actual	Registro de equipos (hoja vida)	0
	Evaluar según criticidad	0
	Clasificar la avería	0
	Analizar indicadores (Ver anexo D)	100 KPI Confiabilidad Disponibilidad
	Fijar metas	100
Restaurar el deterioro	Falta implementar análisis de falla (RCA, 5W, causa efecto)	66
Estructuración del control de información y datos.	Toda la información se lleva en bitácora digital.	100
Estructuración del mantenimiento periódico (TBM)	Plan de mantenimiento basado en MP2. Las actividades se llevan por frecuencia en el plan maestro. Preventivo.	100
Estructuración del mantenimiento predictivo	No se tiene RCM, CBM en ningún equipo.	0
Evaluación de mantenimiento (Auditoria)	Se realizan auditorias de cumplimiento, pero no al área de mantenimiento.	40
Cumplimiento		58%

Fuente: Autor

6.7.3 Confiabilidad Humana. El objetivo es aumentar las habilidades en los operadores, con el fin de mejorar el desempeño en el puesto de trabajo, a través de capacitaciones y entrenamientos.

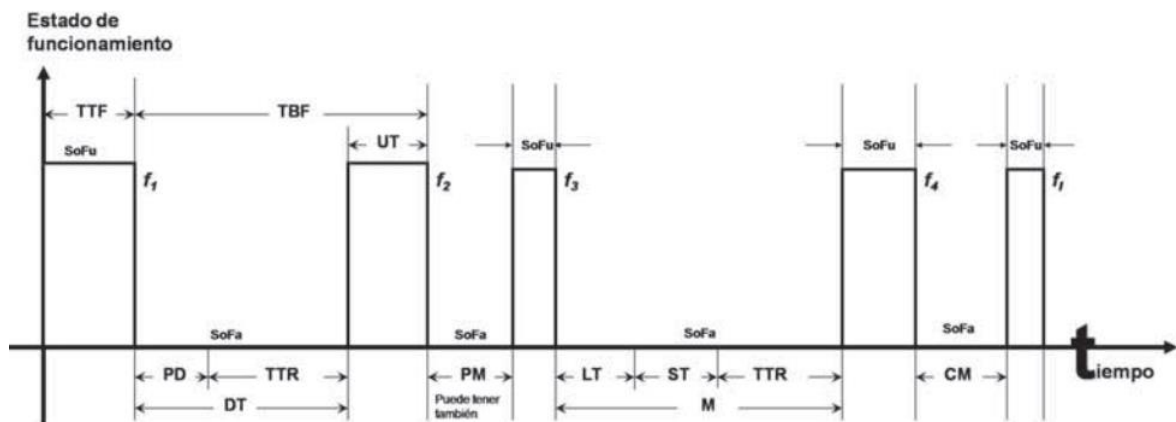
Se tiene un programa de mantenimiento teórico práctico, sobre averías, funcionamiento de las bombas criogénicas. Sin embargo, se puede implementar una matriz de conocimientos y habilidades para el programa de desarrollo y herramientas como las LUP (Lección de un punto) para el entrenamiento de habilidades.

6.8 CALCULO DE INDICADOR DE CONFIABILIDAD Y DISPONIBILIDAD PARA UN PROCESO DE LLENADO NO CONTINUO.

Los datos para tener en cuenta para el cálculo de confiabilidad y disponibilidad para un proceso de llenado no continuo o por demanda de gases del aire por medio de una bomba criogénica ACD modelo NDPD son:

6.8.1 Disponibilidad. La disponibilidad es la probabilidad de que un equipo funcione en el momento que se requiera. La disponibilidad se ve afectado por diferentes tiempos como los correctivos, logísticas, repuestos, tiempo en funcionamiento sin producir.

Figura 28. Tiempos importantes, siglas y demás convenciones que se usan en la medición y predicción CMD



Continuación Figura 28. Tiempos importantes, siglas y demás convenciones que se usan en la medición y predicción CMD.

Donde:

TTF = Time To Failure = Tiempo hasta Fallar (se usa en equipos que solo fallan una vez, no reparables).

TBF = Time Between Failures = Tiempo entre Fallas.

UT = Up Time = Tiempo Útil en el que equipo funciona correctamente.

DT = Down Time = Tiempo no operativo.

f_i = Falla i-ésima

TTR = Time To Repair = Tiempo que demora la reparación.

CM = Corrective Maintenance = Tiempo que demora la reparación correctiva o modificativa.

PM = Planned Maintenance = Mantenimientos Planeados (preventivo y/o predictivo), Moubray los denomina Tareas Proactivas.

LT = Logistical Times = Tiempos logísticos o administrativos (incluye MD (Maintenance Delays) demoras y retrasos de mantenimiento).

ST = Supplies Times = Tiempos de suministros de repuestos, insumos o de recursos humanos.

NTTR = Net Time To Repair = Tiempo Neto para la reparación, no incluye ni demoras, ni tiempos logísticos, ni tiempos de suministros, ni otros tiempos exógenos que impiden la reparación.

PD = Production Delays = Retrasos en producción para informar y notificar a mantenimiento de la no funcionalidad del equipo o sistema, o demoras en la producción por causas imputables a ella (falta de materias primas, falta de personal, etc.).

Fuente: Mora Gutiérrez, Luis. Mantenimiento, Planeación, ejecución y Control. Primera Edición. Alfaomega Grupo Editor, SA de CV, México. 2009. Pág. 70.

En nuestro caso de estudio, la operación de llenado no es continua, se presentan días en el mes en que no se usa la bomba y otros en los que, en un turno de 8 horas, solo trabaja 2 horas y queda disponible 6 horas. Teniendo en cuenta esta observación, la disponibilidad que más se aproxima es la disponibilidad operacional generalizada, la cual tiene en cuenta el tiempo ready, sin embargo, siguiendo la estrategia de mantenimiento se tienen las siguientes consideraciones:

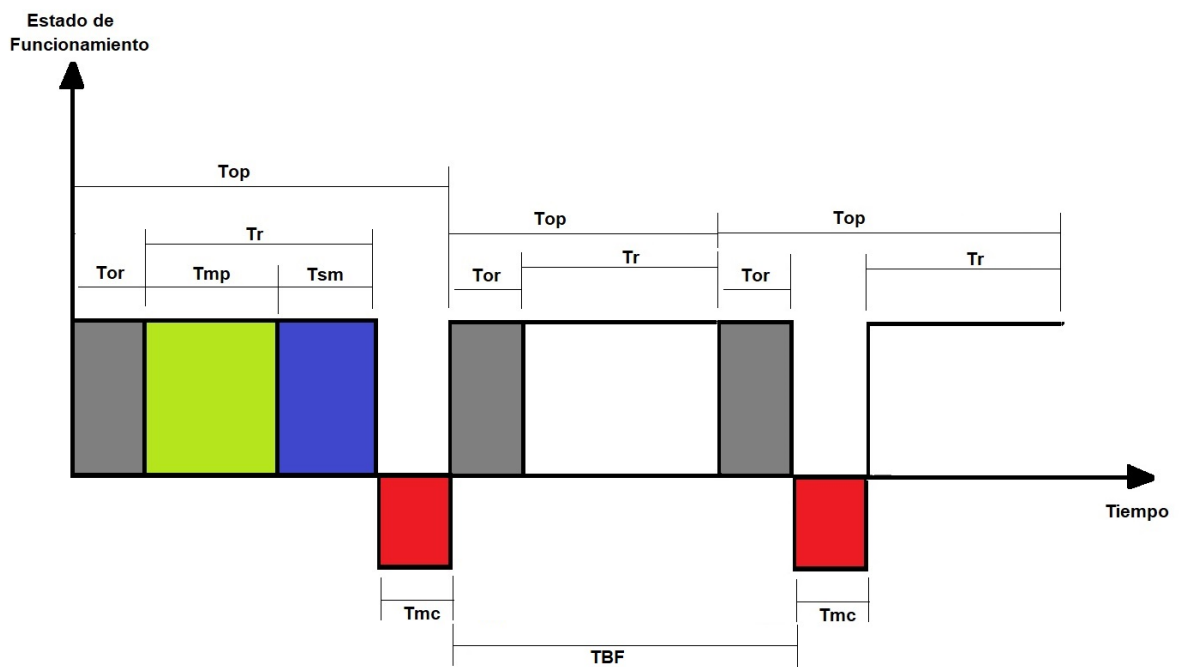
1. El tiempo de operación de la planta es: ocho (08) horas diarias de lunes a sábados. No se trabajan domingos o festivos. Por ejemplo, un mes con 24 días hábiles son:

Tiempo de operación (Top) = $8 \times 24 = 192$ horas / mes

2. Los tiempos de logística, repuestos, administrativos, están incluidos en el TTR.
3. Los tiempos de mantenimiento preventivo y solicitudes de planta, están incluidos en el tiempo ready.

La grafica de tiempos quedaría:

Figura 29. Discriminación de tiempo para caso de estudio.



Fuente: Autor

Donde;

Top = Tiempo de operación planta (se efectúa mensual, pero puede ser el que se desee evaluar)

Tor = Tiempo de operación real del equipo en el mes.

Tmp = Tiempo mantenimiento preventivo.

Tsm = Tiempo solicitud mantenimiento.

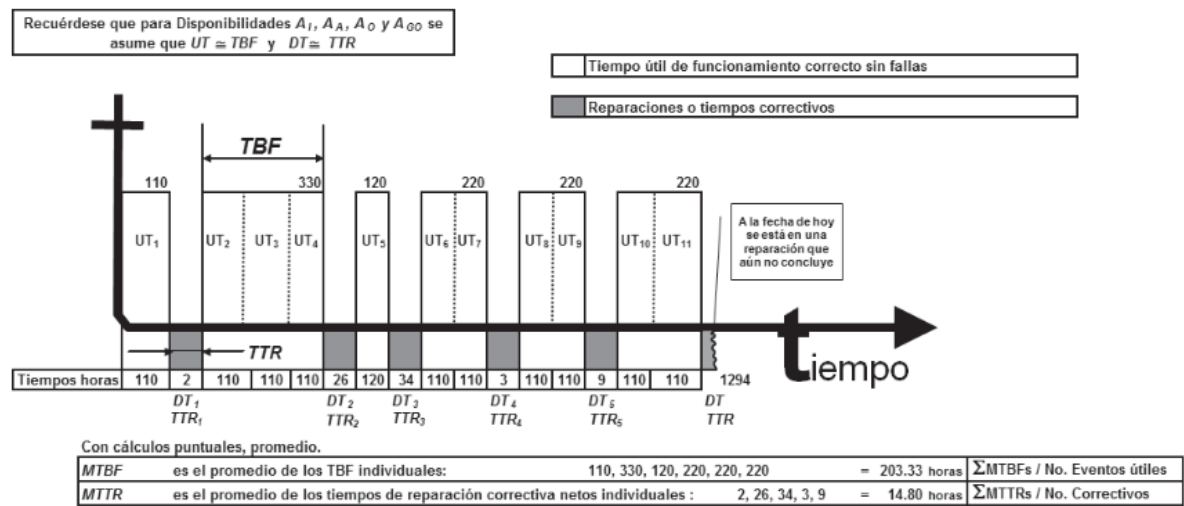
Tr = Tiempo ready.

Tmc = Tiempo mantenimiento correctivo.

TBF = Tiempo entre fallas.

Analizando la gráfica resultante, se puede evidenciar que tiene una similitud a la disponibilidad inherente, por tal motivo será utilizada para los cálculos.

Figura 30. Grafica Disponibilidad Inherente



Fuente: Mora Gutiérrez, Luis. Mantenimiento, Planeación, ejecución y Control. Primera Edición. Alfaomega Grupo Editor, SA de CV, México. 2009. Pág. 81.

$$Disponibilidad\ Inherente = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad [10]$$

Donde:

$$MTBF = \frac{Top - \Sigma Tmc}{\# fallas} \quad [11]$$

$$MTTR = \frac{\Sigma Tmc}{\# fallas} \quad [12]$$

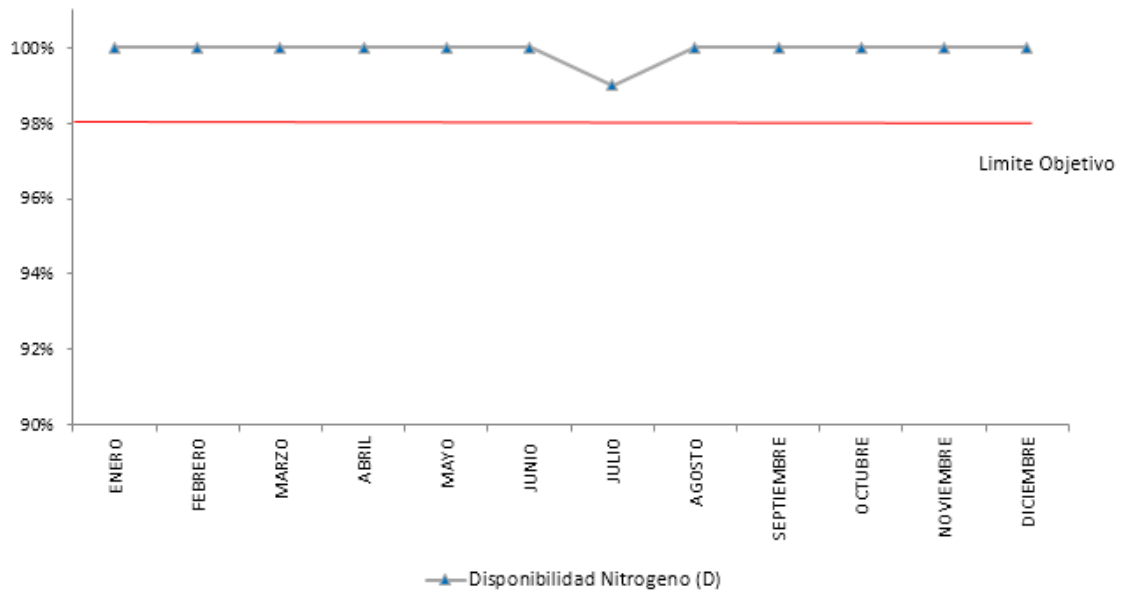
Con esta fórmula se calculan las disponibilidades mensuales de las bombas criogénicas. Por requerimiento el objetivo es mantener la disponibilidad por encima del 98%.

Figura 31. Cálculo en Excel disponibilidad bomba Nitrógeno año 2019.

	NITROGENO											
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
Días Habiles en el mes	25	24	25	24	26	23	25	25	25	26	24	25
Horas Operación Planta	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Tiempo Operación Equipo Planeado (Top)	200	192	200	192	208	184	200	200	200	208	192	200
Tiempo Operación Equipo Real (Tor)	15	15	18	18	17	17	18	16	16	11	11	12
Tiempo Mantenimiento Preventivo (Tmp)												
Tiempo Solicitud Mantenimeinto (Tsm)						5	3	3			2	17
Tiempo Ready (Tr)	185	177	182	174	191	162	177	181	184	197	179	171
Tiempo Mantenimiento Correctivo (Tmc)							2					
Numero de Fallas							1					
Tiempo Medio entre Fallas (MTBF)							198					
Tiempo Medio Reparacion (MTTR)							2					
Disponibilidad Nitrogeno (D)	100%	100%	100%	100%	100%	100%	99%	100%	100%	100%	100%	100%

Fuente: Autor

Figura 32. Disponibilidad bomba Nitrógeno año 2019

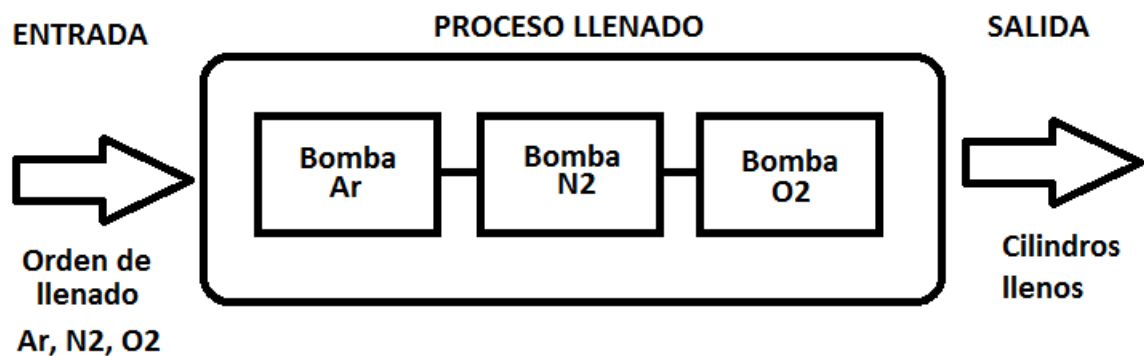


Fuente: Autor

Para revisar los datos de disponibilidad de las bombas criogénicas en el año 2019, Ver anexo E.

6.8.2 Confiabilidad. Para poder determinar si la confiabilidad del proceso de llenado es serie o paralelo, se debe analizar como un todo.

Figura 33. Diagrama de bloques para el proceso llenado gases del aire



Fuente: Autor

El proceso de llenado de los cilindros es serie, ya que no se tienen bombas backup o respaldo. Aunque el llenado no es secuencial, si se ve afectado inmediatamente al presentar una falla la bomba del producto que se esté llenado.

Teniendo en cuenta lo anterior, la confiabilidad del proceso de llenado se calcula como una estructura en serie, de la siguiente manera:

$$C_p = C_{BAr} * C_{BN2} * C_{BO2} \quad [13]$$

C_p = Confiabilidad del proceso

C_{BAr} = Confiabilidad bomba argón.

C_{BN2} = Confiabilidad bomba nitrógeno.

C_{BO2} = Confiabilidad bomba oxígeno.

Por ser un resultado multiplicativo, la confiabilidad del sistema es menor a la confiabilidad más baja de sus componentes.

Para calcular la confiabilidad, se usa la distribución exponencial, esta distribución permite modelar la fase de la vida útil de un equipo, en donde puede fallar en cualquier momento y la tasa de fallas es constante.

La ecuación de confiabilidad es:

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad [14]$$

Donde,

$$\text{Tasa de falla } (\lambda) = 1 / \text{MTBF} \quad [15]$$

t = Tiempo que se quiere evaluar

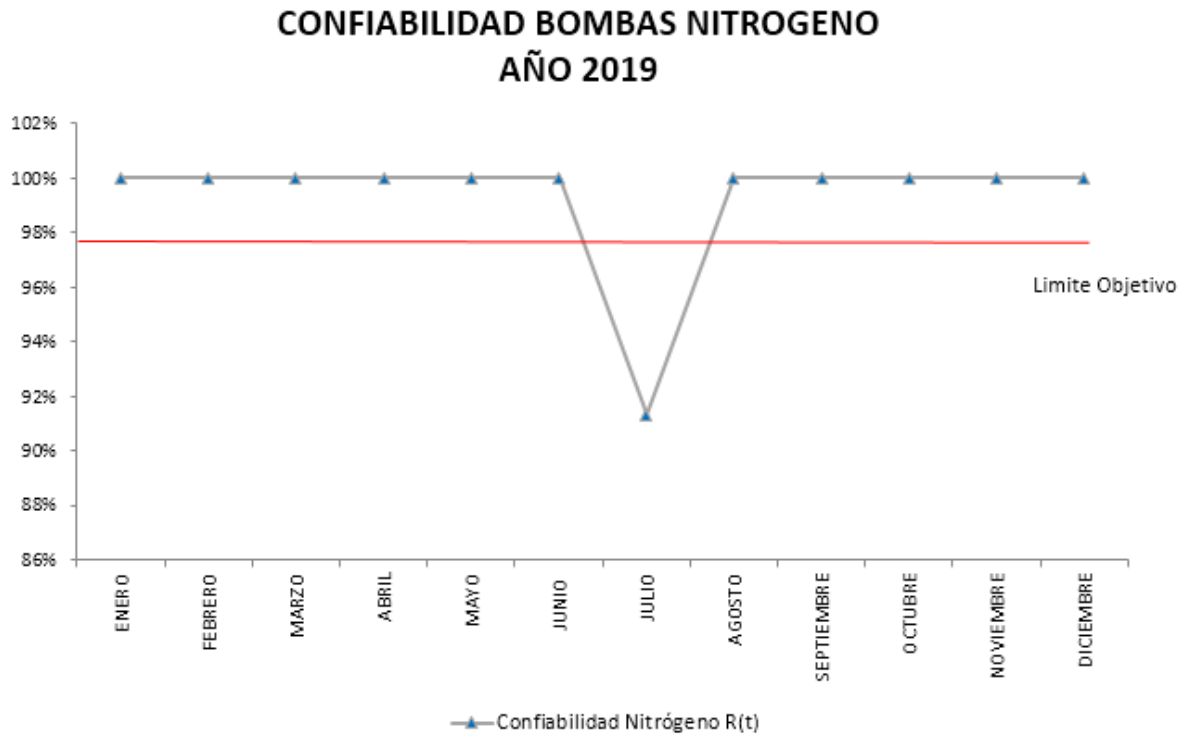
Teniendo el dato de confiabilidad, se procede a generar un indicador que muestre el comportamiento de equipo. Para este caso, se evaluará la confiabilidad de la bomba criogénica de nitrógeno en el año 2019, con punto objetivo mínimo del 98%.

Figura 34. Cálculo de confiabilidad para la bomba nitrógeno año 2019

	NITROGENO											
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
Días Hábiles en el mes	25	24	25	24	26	23	25	25	25	26	24	25
Horas Operación Planta	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Tiempo Operación Equipo Planeado (Top)	200	192	200	192	208	184	200	200	200	208	192	200
Tiempo Operación Equipo Real (Tor)	15	15	18	18	17	17	18	16	16	11	11	12
Tiempo Mantenimiento Preventivo (Tmp)												
Tiempo Solicitud Mantenimiento (Tsm)						5	3	3			2	17
Tiempo Ready (Tr)	185	177	182	174	191	162	177	181	184	197	179	171
Tiempo Mantenimiento Correctivo (Tmc)							2					
Numero de Fallas							1					
Tiempo Medio entre Fallas (MTBF)							198					
Tiempo Medio Reparación (MTTR)							2					
Disponibilidad Nitrógeno (D)	100%	100%	100%	100%	100%	100%	99%	100%	100%	100%	100%	100%
Confiabilidad Nitrógeno R(t)	100%	100%	100%	100%	100%	100%	91%	100%	100%	100%	100%	100%

Fuente: Autor

Figura 35. Confiabilidad de la bomba nitrógeno año 2019



Fuente: Autor

7. CONCLUSIONES

El mantenimiento de los equipos es la base fundamental de todo el proceso productivo, sin mantenimiento la productividad de la empresa se ve muy afectada por temas de sobre costos, calidad, incumplimiento de entregas, entre otros. Para el caso en estudio, se pudo llegar a varias conclusiones:

- En el proceso de llenado de los gases del aire, el equipo más crítico, teniendo en cuenta el histórico de fallas, es la bomba de llenado. Por eso es necesario, implementar técnicas de mantenimiento que mantengan la confiabilidad mínima del 98%. Por otro lado, si se observa el diagrama de equipos en el proceso, se puede evidenciar que la bomba de llenado es el único equipo rotativo, el cual presenta alta frecuencia de fallas y baja consecuencia, comparados con los otros equipos estáticos que presentan baja frecuencia de falla, pero alta consecuencia.
- La estrategia de mantenimiento define un mantenimiento correctivo, a toda actividad de mantenimiento que afecte el proceso productivo de llenado. Sin embargo, se debe diferenciar estas fallas con las propias del equipo, con el fin de llevar un indicador de confiabilidad real.
- En la actualidad el mantenimiento de las bombas es preventivo y correctivo. Con la implementación de RCM, se busca reducir el mantenimiento preventivo y aumentar el mantenimiento basado en condición. Así mismo, aumentar el MTBF y disminuir el MTTR, con el fin de mejorar la confiabilidad y disminuir los costos de mantenimiento.
- Dentro del diagrama de decisión de RCM, se evidencio que era necesario tener un stock mínimo de repuestos, sin embargo no se cuenta con este material y se depende mucho del taller central en Bogotá, lo que implica un tiempo muerto muy grande. Además, todos los repuestos son de importación, lo que implica una

logística mayor de planeación y gestión de recursos, por lo que se recomienda realizar un estudio de confiabilidad basada en repuestos.

- Para el manejo de información se requiere actualizar el sistema de la bitácora en Excel a un software de mantenimiento como SAP o similar que optimice el análisis, toma de decisiones y mejore la gestión de mantenimiento. Así mismo, se requiere incluir en la bitácora las horas acumuladas de los equipos al momento de la falla y de esta manera poder mantener el MTBF actualizado.
- El análisis de modos de fallos, realizado en este trabajo, corresponde al análisis de una persona, con un alto conocimiento técnico del equipo, sin embargo, solo funciona como base para realizar una implementación más avanzada, ya que no se cumplió con uno de los pasos fundamentales del RCM como la conformación de un grupo interdisciplinario de la compañía.
- Se debe realizar un análisis de causa raíz (RCA) para determinar la causa real de las altas pérdidas de gas en el llenado de los cilindros. Aunque en el trabajo se planteó un método por medio de la diferencia de nivel del tanque, no muestra la pérdida real del líquido gasificado.
- Es necesario implementar los indicadores de disponibilidad para todos los equipos y no solo para las bombas de oxígeno, como esta en la actualidad. Eso permitiría ampliar el alcance del RCM.
- Para el tipo de empresa, en donde se maneja un riesgo alto, se puede implementar otro tipo de mantenimiento como el TPM, con ayuda de esta metodología se puede generar un vínculo más cercano entre el colaborador y la compañía. La implementación es un proceso de muchos años, pero comparando las actividades que se están realizando actualmente, algunas son muy similares a las de TPM. Se recomienda a la gerencia gestionar los recursos necesarios para formalizar los pilares de mantenimiento autónomo e implementar prácticas de 5's.

- Para mejorar la capacitación y entrenamiento del personal técnico, es recomendable implementar una maqueta didáctica en corte transversal de un extremo frío con todos sus componentes internos.
- Es necesario romper paradigmas y aplicar estrategias como el GUNG-HO, para generar mayor compromiso en los operadores y contratistas que intervienen en el proceso productivo y logístico de la compañía. Hay operadores con muchos años que son resistentes al cambio, por lo tanto, se deben implementar actividades de gestión del cambio, desde la alta gerencia hasta el colaborador más nuevo.

BIBLIOGRAFÍA.

- FALLA, Albarracín Camilo Andrés. Modelo Gerencial para la Gestión de Mantenimiento en Linde Colombia S.A para los Equipos de Operación Cilindros y en Comodato para el Suministro de Gases Industriales y Medicinales. Monografía: Especialista en Gerencia de Mantenimiento. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingeniería Físico-Mecánica. Escuela de Ingeniería Mecánica. Bucaramanga. 2015.
- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS ICONTEC, Norma Técnica Colombiana NTC 1672:2008, “Cilindros de Gas, para uso Industrial. Marcado para la identificación del contenido”, Bogotá.
- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS ICONTEC, Norma Técnica Colombiana NTC 1671:2008, “Cilindros de Gas, para uso Médico. Marcado para la identificación del contenido”, Bogotá.
- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS ICONTEC, Norma Técnica Colombiana NTC 4584:2011, “Llenado de cilindros con gases comprimidos industriales y medicinales no inflamables”, Bogotá.
- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS ICONTEC, Norma Técnica Colombiana NTC 5719:2009, “Cilindros para gases. Marcación”, Bogotá.
- Instruction Handbook for Installation, Operation and Maintenance, ACD LLC. Santa Ana, CA 92705.

- LA GRAN ENCICLOPEDIA DEL PROYECTO SALON HOGAR. [Sitio WEB]. Puerto Rico: [Consulta: 10 de septiembre 2019]. Disponible en: https://www.salohogar.net/Salones/Ciencias/1-3/El_Aire/El_ aire.htm
- LOPEZ, de la Calle Iñaki Elexpuru, Proyecto final de carrera, “Mantenimiento FMEA del sistema de alimentación del motor Wartsila 50DF-12V”, Universidad del País Vasco, Escuela Técnica Superior de Náutica y Maquinas navales, Septiembre 2017.
- MESSER IBERICA DE GASES SA. [Sitio WEB] . España. [Consulta: 10 septiembre 2019]. Disponible en: <https://www.messer.es/documents/20570/1061894/Gama+de+productos+y+ ubicaciones/dbfeac3d- a445-4eb6-ba47-25514fdfa613>
- MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL. Resolución N° 4410 de 2009, Por el cual se expide el Reglamento Técnico que contienen el Manual de Buenas Prácticas de Manufactura de los Gases Medicinales. 17 de noviembre de 2009.
- MORA GUTIERREZ, Alberto. Mantenimiento Planeación, ejecución y Control. Primera Edición. Alfaomega Grupo Editor. México. 2009.
- NORMA INTERNACIONAL, ISO 14224, Primera Edición 15-07-1999. “Industrias de petróleo y gas natural – Recolección e intercambio de datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos:”
- PRAXAIR. [Sitio Web]. Argentina. [Consulta: 10 septiembre 2019]. Usos y aplicaciones del gas Nitrógeno y nitrógeno líquido por industrias. Disponible en: <http://www.praxair.com.ar/gases/nitrogen/?tab=industrias>

- PRAXAIR. [Sitio Web]. Argentina. [Consulta: 10 septiembre 2019]. Usos y aplicaciones del gas oxígeno y oxígeno líquido por industrias Disponible en: <http://www.praxair.com.ar/gases/oxygen/?tab=industrias>
- PRAXAIR. [Sitio Web]. Argentina. [Consulta: 10 septiembre 2019]. Usos y aplicaciones del argón gas y argón líquido por industrias Disponible en <http://www.praxair.com.ar/gases/argon/?tab=industrias>
- RECIPROCATING CRYOGENPUMPS AND PUMP INSTALLATIONS. Recuperado de http://www.asiaiga.org/uploaded_docs/AIGA%20089_14%20Reciprocating_Cryogenic_Pumps%20&%20Pump_Installations_Final.pdf

ANEXOS

ANEXO 1. Diagrama de decisión RCM

FASE 1. Taxonomía					FASE 2. Análisis funcional			FASE 3. Evaluación de las consecuencias				
SISTEMA	SUBSISTEMA	COMPONENTE	SUB-COMPONENTE	No. PARTE	FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODOS DE FALLA (Causas de la falla)	EFFECTOS DE LAS FALLAS (Qué sucede cuando falla)	H	S	O	Oculto
Bomba Criogénica												
	Extremo Frio											
		Pistón		2490-2	Impedir el paso de líquido por el pistón hacia el extremo caliente	Permite paso de líquido por el pistón	Desgaste de material	Fuga de líquido criogénico				
		Sellos de copa		12978-2	Impedir paso de líquido entre el sello de copa y el espaciador O-ring	Permite paso de líquido entre el sello de copa y el espaciador O-ring	Desgaste de material	Fuga de líquido criogénico			X	
		O-ring		84028	Impedir paso de líquido entre el sello de copa y el espaciador O-ring	Permite paso de líquido entre el sello de copa y el espaciador O-ring	Desgaste de material	Fuga de líquido criogénico			X	
		Anillos de compresión		2490-1	Mantener presionado el anillo de compresión con la camisa de la cámara	No mantiene presionado el anillo de compresión con la camisa	Desgaste de material Rotura de material Alineación de apertura	No levanta presión. Cavitación			X	
		Anillos expandir		2490-1	Mantener presionado el anillo de compresión con la camisa de la cámara	El anillo no expande	Pérdida de coeficiente de elasticidad	No levanta presión. Cavitación			X	
		Anillo guía		16209-2	Mantener la alineación del pistón con la camisa	No mantiene la alineación del pistón con la camisa	Desgaste de material	Desalineamiento del pistón.				X
		Separadores de sellos de copa		12979-1	Mantener la alineación de los sellos de copa	No mantiene la alineación de los sellos de copa	Error de instalación	Fuga de líquido criogénico			X	
		Prensaestopa		12976-1	Comprimir el conjunto de sellos de copa y espaciadores a un torque de 20-22 ft lb con las arandelas Belleville.	No comprime el conjunto de sellos de copa y espaciadores a un torque de 20-22 ft lb con las arandelas Belleville.	Soltura	Fuga de líquido criogénico			X	
		Cámara										
		Arandela descarga		46905-1	Mantener la estanqueidad entre el racor descarga y la base de la cámara.	Pérdida de estanqueidad en la unión del racor descarga y base de la cámara.	Desgaste de material Deformación	Fuga de líquido criogénico			X	
		Racor (Fitting) descarga		35718-1	Conectar el tubing con la descarga del extremo frío	No conecta el tubing con la descarga del extremo frío	Desgaste de material en la rosca. Incompatibilidad de rosca al racor del tubing	Fuga de líquido criogénico			X	
		Tapón cheque		10174-2	Impedir el retroceso de líquido a la cámara.	No impide el retroceso de líquido a la cámara.	Desgaste de material	Sobrepresión en la descarga del extremo frío				X
		Válvula succión		46920-1	Succionar líquido de la recámara de la cámara	No succiona líquido de la recámara de la cámara	Humedad	Cavitación			X	
		Empaque succión		16898-1	Mantener estanqueidad entre la recámara de la cámara y la tapa flanche.	No mantiene estanqueidad entre la recámara de la cámara y la tapa flanche.	Deformación excesiva Error de instalación Ruptura Material incompatible con líquido criogénico	Fuga de líquido criogénico			X	
		Válvula vacío		12678-1	Realizar vacío a la cámara.	Pérdida de vacío en la cámara.	Ruptura	Congelamiento del extremo frío.			X	
		Camisa		46923-2	Generar espacio volumétrico para la impulsión de líquido	No genera espacio volumétrico para la impulsión de líquido	Ralladuras	Fuga de líquido criogénico	X			
	Extremo Caliente											
		Polea		4 canales V x 14"	Transmitir movimiento rotacional del motor eléctrico al cigüeñal del extremo caliente	No transmite movimiento rotacional del motor eléctrico al cigüeñal del extremo caliente	Ruptura Alojamiento	Vibración Fatiga en el cigüeñal			X	
		Cigüeñal		45172-1	Convertir movimiento rotacional a lineal en el pistón.	No convierte movimiento rotacional a lineal en el pistón.	Fatiga	Ruptura del cigüeñal, deteniendo el bombeo de líquido criogénico	X			
		Biel		20969-3	Transmitir movimiento rotacional del cigüeñal a movimiento lineal del pistón.	No transmite movimiento rotacional del cigüeñal a movimiento lineal del pistón.	Fatiga	Ruptura de la biela, deteniendo el bombeo de líquido criogénico	X			
		Camisa		6325	Absorber el desgaste del pistón.	No absorbe el desgaste del pistón.	Fricción	Desgaste del babbit de la camisa. Atascamiento del pistón	X			
		Pistón		34472-1	Transmitir movimiento lineal del extremo caliente al pistón del extremo frío.	No transmite movimiento lineal del extremo caliente al pistón del extremo frío.	Alojamiento	Desgaste del pistón del extremo caliente con el pistón del extremo frío.	X			
		Chumaceras / Rodamientos		47463-2 / 48439-1	Soportar el peso del cigüeñal. Mantener la alineación del cigüeñal.	No soporta el peso del cigüeñal. No mantiene la alineación del cigüeñal.	Atascamiento corrosión	Ruido Vibración Desalineamiento Recalentamiento del cigüeñal.	X			
	Motor Eléctrico											
		Polea		3" x 4 canales	Transmitir movimiento rotacional del motor eléctrico al extremo caliente	No transmite movimiento rotacional del motor eléctrico al extremo caliente	Ruptura Alojamiento	Vibración Fatiga en el eje			X	
		Correa		3xv560	Transmitir la potencia del motor eléctrico al extremo caliente	No transmite la potencia del motor eléctrico al extremo caliente	Ruptura Alojamiento	Vibración Soltura de la correa. Detención de la bomba.			X	
		Rodamientos		6208 zz / 6206 zz	Soportar el peso del eje del rotor.	No soporta el peso del eje del rotor.	Atascamiento corrosión	Ruido Vibración Desalineamiento Recalentamiento del motor	X			
		Rotor		-	Transformar energía eléctrica en energía mecánica rotacional.	No transforma energía eléctrica en energía mecánica rotacional.	Deformación del eje. Rodamientos malos.	Alta vibración No gira el motor			X	
		Estator		-	Generar un campo magnético para hacer girar el rotor.	No genera campo magnético para hacer girar el rotor.	Bobinado abierto. Mala conexión eléctrica. Falla en la conexión eléctrica	No gira el motor			X	
		Ventilador		-	Refrigeración del motor.	No refrigera el motor.	Ruptura Alojamiento	Alta temperatura en el motor.			X	
		Protección Térmica		NR2-25 11A	Apagar el motor al sobrepasar 5 Amp de consumo.	No apaga el motor al sobrepasar 5 Amp de consumo.	Des calibración. Capacidad inadecuada.	Se apaga el motor a un consumo menor. Fallo del motor.			X	
	Misceláneos											
		Base		-	Soportar el conjunto del extremo caliente y motor eléctrico con una inclinación de 15". Mantener la alineación del extremo caliente y el motor eléctrico. Mantener la tensión en la correa del motor eléctrico y el extremo caliente.	No soporta el conjunto del extremo caliente y motor eléctrico con una inclinación de 15". No mantiene la alineación del extremo caliente y el motor eléctrico. No mantiene la tensión en la correa del motor eléctrico y el extremo caliente.	Corrosión Alojamiento	Debilitamiento de la estructura. Vibración alta.			X	
		Tubería		SANDVIK 3R60	Mantener estanqueidad en el fluido de líquido en la descarga de la bomba.	No mantiene estanqueidad en el fluido de líquido en la descarga de la bomba.	Erosión. Material inadecuado. Error de montaje. Incompatibilidad de material	Fuga de líquido criogénico			X	
		Válvula seguridad.		ACD	Despresurizar la tubería de descarga bomba al sobrepasar 4000 PSI.	No despresuriza la tubería de descarga bomba al sobrepasar 4000 PSI.	Des calibración. Material inadecuado.	Sobrepresión en tubería. Ruptura tubería. Fuga de líquido criogénico.				X

Continuación Anexo A Diagrama de decisión RCM

FASE 4. Selección de Tareas							FASE 5. Definición de tareas				
Tareas a condición	Tareas de readjustamiento cíclico	Tareas de sustitución cíclica	H. Tarea de búsqueda de fallas	S. Combinación de tareas	N/D/N. Correr a falla (Ningún mantenimiento preventivo)	N/O/N. El rediseño debe justificarse	N/S. El rediseño es obligatorio	Tareas propuestas	Frecuencia Inicial	Responsable	Tipo de tarea
		X						Cambio de los sellos de copa	500 Horas	Técnico Electromecánico	Mantenimiento Preventivo
		X						Cambio de oring	500 Horas	Técnico Electromecánico	Mantenimiento Preventivo
		X						Cambio de anillos de compresión	500 Horas	Técnico Electromecánico	Mantenimiento Preventivo
		X						Cambio de anillos expandir	500 Horas	Técnico Electromecánico	Mantenimiento Preventivo
		X						Cambio de anillo guía	500 horas	Técnico Electromecánico	Mantenimiento Preventivo
					X			Verificar sentido de instalación acuerdo manual, al momento de cambiar los sellos de copa.	N/A	Técnico Electromecánico	Mantenimiento Correctivo
X								Inspección visual y ajuste	Mensual	Técnico Electromecánico	Mantenimiento Condición
		X						Cambio de la arandela de descarga	500 Horas	Técnico Electromecánico	Mantenimiento Preventivo
					X			Cambio de racor	N/A	Técnico Electromecánico	Mantenimiento Correctivo
					X			Desmonte tapa flanche de extremo frío, desconexión de la tubería descarga, dejar descongelar extremo frío, secado interno con nitrógeno, inspección visual válvula cambio válvula succión.	N/A	Técnico Electromecánico	Mantenimiento Correctivo
		X						Cambio de empaque	500 Horas	Técnico Electromecánico	Mantenimiento Preventivo
					X			Cambio de la cantina	N/A	Técnico Electromecánico	Mantenimiento Correctivo
X								Inspección de acabado superficial tipo espejo	1200 horas / Anual	Técnico Electromecánico	Mantenimiento Condición
					X			Cambio de polea	N/A	Técnico Electromecánico	Mantenimiento Correctivo (Gestión Repuesto)
X								Análisis de vibraciones	6 meses	Especialista en Vibraciones	Mantenimiento Condición
X								Análisis de vibraciones	6 meses	Especialista en Vibraciones	Mantenimiento Condición
X								Inspección visual	6 meses	Técnico Electromecánico	Mantenimiento Condición
X								Ajuste del prisionero del pistón del extremo frío.	Mensual	Técnico Electromecánico	Mantenimiento Condición
X								Análisis de vibraciones	6 meses	Especialista en Vibraciones	Mantenimiento Condición
					X			Cambio de polea	N/A	Técnico Electromecánico	Mantenimiento Correctivo (Gestión Repuesto)
					X			Cambio de correas	N/A	Técnico Electromecánico	Mantenimiento Correctivo
X								Análisis de vibraciones	6 meses	Especialista en Vibraciones	Mantenimiento Condición
X								Análisis de vibraciones	6 meses	Especialista en Vibraciones	Mantenimiento Condición
X								Medición de bobinado	6 meses	Técnico Eléctrico	Mantenimiento Condición
X								Análisis Termográfico	6 meses	Especialista en termografía	Mantenimiento Condición
X								Medición de consumo corriente y ajuste del set de disparo.	6 meses	Técnico Eléctrico	Mantenimiento Condición
X								Inspección visual desgaste de material de la base, ajuste de tornillería del motor y extremo caliente.	Mensual	Técnico Electromecánico	Mantenimiento Condición
X								Inspección visual de corrosión.	Mensual	Técnico Electromecánico	Mantenimiento Condición
	X							Calibración del punto apertura 4000 psi	anual	Contratista Externo Calibración certificado ONAC	Mantenimiento Preventivo

Continuación Anexo A. Diagrama de decisión RCM

FASE 5. Definición de tareas				Actividad Preventiva								Actividad Correctiva								Break mínimo reparados	Procedimiento evento
Tareas propuestas	Frecuencia inicial	Responsable	Tipo de tarea	Tiempo de Actividad (h)	Numero de Personas	Horas hombre totales	Estado equipo	Costo producción (h)	Costo HH	Valor Reemplazo requerido	Costo preventivo	Tiempo de Actividad (h)	Numero de Personas	Horas hombre totales	Estado equipo	Costo producción	Costo HH	Requisito requerido	Costo correctivo		
Cambio de los sellos de copa	500 Horas	Técnico Electromecánico	Mantenimiento Preventivo	2	1	2	Disponible	-	620	2764	4014	3	1	3	Fuera de Servicio	620	2764	46.384	01 01 (01 sellos)	Manual Mantenimiento	
Cambio de string	500 Horas	Técnico Electromecánico	Mantenimiento Preventivo	3	1	3	Disponible	-	620	3500	3750	3	1	3	Fuera de Servicio	620	3500	61.750	01 01 (02 ORNG)	Manual Mantenimiento	
Cambio de anillos de compresión	500 Horas	Técnico Electromecánico	Mantenimiento Preventivo	2	1	2	Disponible	-	620	9300	10500	3	1	3	Fuera de Servicio	620	9300	109.750	01 01 (03 anillos)	Manual Mantenimiento	
Cambio de anillos expander	500 Horas	Técnico Electromecánico	Mantenimiento Preventivo	2	1	2	Disponible	-	620		12500	3	1	3	Fuera de Servicio	620	23000	128.750	01 01 (03 anillos)	Manual Mantenimiento	
Cambio de anillo guía	500 horas	Técnico Electromecánico	Mantenimiento Preventivo	2	1	2	Disponible	-	620	5000	6750	3	1	3	Fuera de Servicio	620	5000	31.750	1	Manual Mantenimiento	
Verificar sentido de instalación acuerdo manual, al momento de cambiar los sellos de copa.	N/A	Técnico Electromecánico	Mantenimiento Correctivo	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	2	1	2	Fuera de Servicio	620	N/A	6.250	N/A	Manual Mantenimiento	
Inspección visual y ajuste	Manual	Técnico Electromecánico	Mantenimiento Condición	0,25	1	0,25	Disponible	-	620	0	1562,5	3	1	3	Fuera de Servicio	620	14400	162.750	1	Manual Mantenimiento	
Cambio de la arandela de descarga	500 Horas	Técnico Electromecánico	Mantenimiento Preventivo	0,25	1	0,25	Disponible	-	620	2084	2346,5	3	1	3	Fuera de Servicio	620	2084	35.134	1	Manual Mantenimiento	
Cambio de rotor	N/A	Técnico Electromecánico	Mantenimiento Correctivo	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	2	1	2	Fuera de Servicio	620	N/A	6.250	N/A	Manual Mantenimiento	
Desmonte tapa flange de extremo frío, desconectar de la tubería de carga, dejar descongelar extremo frío, secado interno con nitrógeno, inspección visual y/o vida cambio válvula acción.	N/A	Técnico Electromecánico	Mantenimiento Correctivo	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	2	1	2	Fuera de Servicio	620	270000	2.712.500	1	Manual Mantenimiento	
Cambio de empuje	500 Horas	Técnico Electromecánico	Mantenimiento Preventivo	1,5	1	1,5	Disponible	-	620	3200	4137,5	3	1	3	Fuera de Servicio	620	3200	50.750	2	Manual Mantenimiento	
Cambio de la cámara	N/A	Técnico Electromecánico	Mantenimiento Correctivo	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	4	2	8	Fuera de Servicio	620	140000	14.000.000	1	Manual Mantenimiento	
Inspección de acabado superficial tipo espejo	1000 horas / Anual	Técnico Electromecánico	Mantenimiento Condición	2	1	2	Disponible	-	620	0	12500	4	1	4	Fuera de Servicio	620	35000	380.000	1	Manual Mantenimiento	
Cambio de pólea	N/A	Técnico Electromecánico	Mantenimiento Correctivo (Gestión Reparación)	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	2	1	2	Fuera de Servicio	620	8000	92.500	0	Manual Mantenimiento	
Análisis de vibraciones	6 meses	Especialista en Vibraciones	Mantenimiento Condición																		
Análisis de vibraciones	6 meses	Especialista en Vibraciones	Mantenimiento Condición																		
Inspección visual	6 meses	Técnico Electromecánico	Mantenimiento Condición	6	1	6	Disponible	-	620	5000	9250	8	1	8	Fuera de Servicio	620	5000	105.000	2	Manual Mantenimiento	
Ajuste del prisionero del pistón del extremo frío.	Manual	Técnico Electromecánico	Mantenimiento Condición	0,25	1	0,25	Disponible	-	620	0	1562,5	0,5	1	0,5	Fuera de Servicio	620	500	4.125	2	Manual Mantenimiento	
Análisis de vibraciones	6 meses	Especialista en Vibraciones	Mantenimiento Condición																		
Cambio de pólea	N/A	Técnico Electromecánico	Mantenimiento Correctivo (Gestión Reparación)	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	2	1	2	Fuera de Servicio	620	100000	1.012.500	1	Manual Mantenimiento	
Cambio de correa	N/A	Técnico Electromecánico	Mantenimiento Correctivo	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	2	1	2	Fuera de Servicio	620	20000	262.500	1	Manual Mantenimiento	
Análisis de vibraciones	6 meses	Especialista en Vibraciones	Mantenimiento Condición																		
Análisis de vibraciones	6 meses	Especialista en Vibraciones	Mantenimiento Condición																		
Medición de bobinado	6 meses	Técnico Eléctrico	Mantenimiento Condición	4	1	4	Disponible	-	7083	0	28333										
Análisis Termográfico	6 meses	Especialista en Termografía	Mantenimiento Condición																		
Medición de consumo corriente y ajuste del set de disparo.	6 meses	Técnico Eléctrico	Mantenimiento Condición	2	1	2	Disponible	-	7083	0	14167	1	1	1	Fuera de Servicio	7083	10000	107.083		Manual Mantenimiento	
Inspección visual diligente de material de la base, ajuste de tornillería del motor y extremo caliente.	Manual	Técnico Electromecánico	Mantenimiento Condición	0,5	1	0,5	Disponible	-	620	0	620										
Inspección visual de corrosión.	Manual	Técnico Electromecánico	Mantenimiento Condición	0,5	1	0,5	Disponible	-	620	0	620										
Calibración del punto apertura 4000 psi	anual	Operarista Externo Calibración certificado OHSAC	Mantenimiento Preventivo																		

ANEXO 2. Evaluación de NPR

SISTEMA	SUBSISTEMA	COMPONENTE	SUB-COMPONENTE	No. PARTE	FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODULO DE FALLA (Causa de la falla)	EFFECTOS DE LAS FALLAS (Qué sucede cuando falla)	S	O	D	NPR
Bomba Criogénica												
	Extremo Frio											
		Pistón		24960-2								
			Sellos de copa	12978-2	Impedir el paso de liquido por el pistón hacia el extremo caliente	Permite paso de liquido por el pistón	Desgaste de material	Fuga de liquido criogénico	9	5	10	450
			Oring	84028	Impedir paso de liquido entre el sello de copa y el espaciador Oring.	Permite paso de liquido entre el sello de copa y el espaciador Oring.	Desgaste de material	Fuga de liquido criogénico	5	1	10	50
			Anillos de compresión	24960-1	Impulsar liquido al vaporizador progresivamente hasta 224 Bar	No bombea liquido al vaporizador.	Desgaste de material Rotura de material Alineación de apertura	No levanta presión. Cavitación	6	1	10	60
			Anillos expandir	24961-1	Mantener presionado el anillo de compresión con la camisa de la cantina	El anillo no expande.	Perdida de coeficiente elasticidad	No levanta presión. Cavitación	6	1	10	60
			Anillo guía	16209-2	Mantener la alineación del pistón con la camisa	No mantienen la alineación del pistón con la camisa	Desgaste de material	Desalineamiento del pistón.	5	1	10	50
			Separadores de sellos de copa	12979-1	Mantener la alineación de los sellos de copa	No mantiene la alineación de los sellos de copa	Error de instalación	Fuga de liquido criogénico	2	1	10	20
			Prensaestopa	12976-1	Comprimir el conjunto de sellos de copa y espaciadores a un torque de 20-22 ft lb con las arandelas Belleville.	No comprime el conjunto de sellos de copa y espaciadores a un torque de 20-22 ft lb con las arandelas Belleville.	Soltura	Fuga de liquido criogénico	5	2	10	100
		Cantina										
			Arandela descarga	46905-1	Mantener la estanqueidad entre el racor descarga y la base de la cantina.	Perdida de estanqueidad en la unión del racor descarga y base de la cantina.	Desgaste de material Deformación	Fuga de liquido criogénico	2	3	10	60
			Racor (Fitting) descarga	35718-1	Conectar el tubing con la descarga del extremo frio	No conecta el tubing con la descarga del extremo frio	Desgaste de material en la rosca. Incompatibilidad de rosca al racor del tubing	Fuga de liquido criogénico	6	1	10	60
			Tapón cheque	10174-2	Impedir el retroceso de liquido a la cantina.	No impide el retroceso de liquido a la cantina.	Desgaste de material	Sobrepresión en la descarga del extremo frio	2	1	10	20
			Válvula succión	46920-1	Succionar liquido de la recamara de la cantina	No succiona liquido de la recamara de la cantina	Humedad	Cavitación	7	4	4	112
			Empaque succión	16898-1	Mantener estanqueidad entre la recamara de la cantina y la tapa flanche.	No mantiene estanqueidad entre la recamara de la cantina y la tapa flanche.	Deformación excesiva Error de instalación Ruptura Material incompatible con liquido criogénico	Fuga de liquido criogénico	4	5	10	200
			Válvula vacio	12678-1	Realizar vacio a la cantina	Perdida de vacio en la cantina.	Ruptura	Congelamiento del extremo frio.	8	1	10	80
			Camisa	46053-2	Generar espacio volumétrico para la impulsión de liquido	No generar espacio volumétrico para la impulsión de liquido	Ralladuras	Fuga de liquido criogénico	2	1	10	20

Continuación Anexo B. Evaluación de NPR

	Extremo Caliente												
	Polea		4 canales V x 14"	Transmitir movimiento rotacional del motor eléctrico al cigüeñal del extremo caliente	No transmite movimiento rotacional del motor eléctrico al cigüeñal del extremo caliente	Ruptura Aflojamiento	Vibración Fatiga en el cigüeñal	6	1	10	60		
	Cigüeñal		45172-1	Convertir movimiento rotacional a lineal en el pistón.	No convierte movimiento rotacional a lineal en el pistón.	Fatiga	Ruptura del cigüeñal, deteniendo el bombeo de liquido criogénico	9	1	10	90		
	Biela		20969-3	Transmitir movimiento rotacional del cigüeñal a movimiento lineal del pistón.	No Transmite movimiento rotacional del cigüeñal a movimiento lineal del pistón.	Fatiga	Ruptura de la biela, deteniendo el bombeo de liquido criogénico	9	1	10	90		
	Camisa		6325	Absorber el desgaste del pistón.	No absorbe el desgaste del pistón.	Fricción	Desgaste del babit de la camisa. Atascamiento del pistón	9	1	10	90		
	Pistón		34472-1	Transmitir movimiento lineal del extremo caliente al pistón del extremo frío.	No transmite movimiento lineal del extremo caliente al pistón del extremo frío.	Aflojamiento	Desacople del pistón del extremo caliente con el pistón del extremo frío.	9	1	10	90		
	Chumaceras / Rodamientos		47463-2 / 48439-1	Soportar el peso del cigüeñal. Mantener la alineación del cigüeñal.	No soporta el peso del cigüeñal. No mantiene la alineación del cigüeñal.	Atascamiento corrosión	Ruido Vibración Desalineamiento Recalentamiento del cigüeñal.	6	1	10	60		
	Motor Eléctrico												
	Polea		3" x 4 canales	Transmitir movimiento rotacional del motor eléctrico al extremo caliente	No transmite movimiento rotacional del motor eléctrico al extremo caliente	Ruptura Aflojamiento	Vibración Fatiga en el eje	6	1	10	60		
	Correa		3vx560	Transmitir la potencia del motor eléctrico al extremo caliente	No transmite la potencia del motor eléctrico al extremo caliente	Ruptura Aflojamiento	Vibración Soltura de la correa. Detención de la bomba.	4	3	10	120		
	Rodamientos		6208 zz / 6206 zz	Soportar el peso del eje del rotor. Mantener la alineación del eje del rotor.	No soporta el peso del eje del rotor. No mantiene la alineación del eje del rotor.	Atascamiento corrosión	Ruido Vibración Desalineamiento Recalentamiento del motor	6	1	10	60		
	Rotor		-	Transformar energía eléctrica en energía mecánica rotacional.	No transforma energía eléctrica en energía mecánica rotacional.	Deformación del eje. Rodamientos malos.	Alta vibración No gira el motor	9	1	10	90		
	Estator		-	Generar un campo magnético para hacer girar el rotor.	No genera campo magnético para hacer girar el rotor.	Bobinado abierto. Mala conexión eléctrica. Falla en la conexión eléctrica	No gira el motor	9	1	10	90		
	Ventilador		-	Refrigeración del motor.	No refrigera el motor.	Ruptura Aflojamiento	Alta temperatura en el motor.	6	1	10	60		
	Protección Térmica		NR2 - 25 11A	Apagar el motor al sobrepasar 5 Amp de consumo.	No apaga el motor al sobrepasar 5 Amp de consumo.	Des calibración. Capacidad inadecuada.	Se apaga el motor a un consumo menor. Daño del motor.	2	2	4	16		
	Misceláneos												
	Base		-	Soportar el conjunto del extremo caliente y motor eléctrico con una inclinación de 15". Mantener la alineación del extremo caliente y el motor eléctrico. Mantener la tensión en la correa del motor eléctrico y el extremo caliente.	No soporta el conjunto del extremo caliente y motor eléctrico con una inclinación de 15". No mantiene la alineación del extremo caliente y el motor eléctrico. No mantiene la tensión en la correa del motor eléctrico y el extremo caliente.	Corrosión Aflojamiento	Debilitamiento de la estructura. Vibración alta.	9	1	10	90		
	Tubería		SANDVIK 3R60	Mantener estanqueidad en el fluido de liquido en la descarga de la bomba.	No mantiene estanqueidad en el fluido de liquido en la descarga de la bomba.	Erosión. Material inadecuado. Error de montaje Incompatibilidad de material	Fuga de liquido criogénico	8	2	4	64		
	Válvula seguridad.		ACD	Despresurizar la tubería de descarga bomba al sobrepasar 4000 PSI.	No despresuriza la tubería de descarga bomba al sobrepasar 4000 PSI.	Des calibración. Material inadecuado	Sobrepresión en tubería. Ruptura tubería. Fuga de liquido criogénico.	1	2	10	20		

ANEXO 3. Informe Mensual de Mantenimiento

	INFORME MANTENIMIENTO	Página 1 de 5
TRABAJO REALIZADO POR: Edilson Madero – T. Electromecánico Joel Fontalvo – T. Electroinstrumentista		FECHA: ENERO 2019
PROYECTO /OBRA:	MANTENIMIENTO LINDE COLOMBIA	AREA: BARRANQUILLA
CONTRATISTA:	MECÁNICOS ASOCIADOS S.A.S.	CONTRATO No: LINDE GROUP
DISCIPLINA:	MEC - ELEC	SISTEMA: PLANTA Cód.
SUBSISTEMA:	Cód.	
DESCRIPCION / TRABAJOS REALIZADOS		
<p>Con el fin de reportar las actividades más relevantes desarrolladas en la regional de Barranquilla, me permito enviar registro fotográfico de los trabajos así:</p> <p>MANTENIMIENTO PREVENTIVO MP2</p> <ul style="list-style-type: none"> • Se cumplió en un 100% las ordenes programadas en el presente mes. • Se realizó regeneración de alúmina batería secado compresor de aire. • Observaciones de la inspección locativa: <p>MANTENIMIENTO CORRECTIVO - COMPRESOR AGA Se presenta una interrupción en el proceso de llenado de aire por fuga en el mango de segunda etapa, lo cual impedía el aumento de presión. Se procedió a desmontar el mango y cambiar por uno nuevo.</p> <p>Se recomienda el cambio del mango de primera por fuga de presión.</p> <p>SOLICITUDES DE MANTENIMIENTO</p> <p>SISTEMA DE REGENERACION DE ALUMINA Mejora en el sistema de suministro de nitrógeno para regeneración de alúmina consisten en:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Instalación de tubing 1/2" de la línea del tanque a la entrada de la regeneración, 01 válvula de paso inoxidable de 1/2", 01 manómetro mini VCP con regulador de 0- 30 PSI. <p>De esta manera se elimina el uso de los dos cilindros de nitrógeno y el riesgo de caída de cilindros por el traslado.</p> <p>COMPRESOR DE AIRE AGA Mantenimiento consistente en:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Desmonte, verificación, limpieza y montaje de las válvulas de succión y descarga de las tres etapas. • Cambio de mango de tercera etapa, por baja presión de llenado. El mango presentaba 3 ranuras equidistantes. <p>MUELLE NIKE Mantenimiento consistente en:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cambio de la electro-válvula hidráulica por una enviada de Cali, se realiza prueba de carga sin novedad, no se presenta caída de presión en cilindros. <p>TABLEROS ELECTRICOS Se realiza identificación de todos los tableros eléctricos de la planta.</p>		

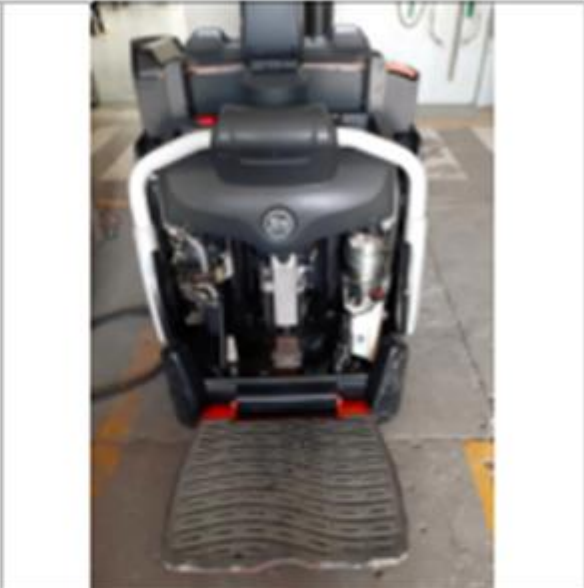
Continuación Anexo C. Informe Mensual de Mantenimiento

	INFORME MANTENIMIENTO	Página 5 de 5
--	------------------------------	----------------------

TRABAJO REALIZADO POR: Edilson Madero - T. Electromecánico Joel Fortalvo - T. Electroinstrumentista	FECHA: ENERO 2019
---	--------------------------



Mantenimiento Estibadora Eléctrica (ANTES)



Mantenimiento Estibadora Eléctrica (DESPUES)



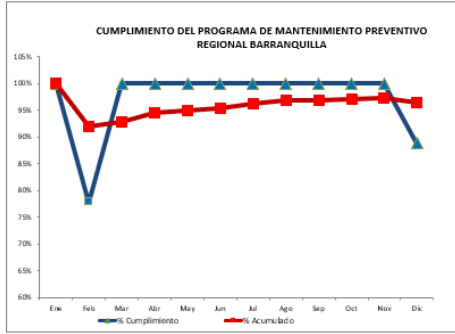
Se recomienda resarar techo de la subestación eléctrica



Se caen pedazos de loza solos, en caso de lluvia se pueden presentar filtraciones de agua.

	PROGRAMADOR / SUPERVISOR	RESPONSABLE
COMPAÑÍA		
FIRMA		
NOMBRE	Ethen David Carrascal Trana	Marcelo Borilla
FECHA	15/02/2019	

ANEXO 4. Indicadores de desempeño mensual



CUMPLIMIENTO DEL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO REGIONAL BARRANQUILLA												
Número de ordces	% CUMPLIMIENTO											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Programado	16	3	3	3	3	3	11	6	3	6	6	3
Ejecutado	16	7	3	3	3	3	11	8	3	6	6	8
% Cumplimiento	100%	78%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	88%
	% ACUMULADO											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Programado	16	25	28	37	49	45	54	62	65	71	77	84
Ejecutado	16	23	26	35	38	41	52	60	63	69	75	83
% Acumulado	100%	92%	93%	95%	95%	95%	96%	97%	97%	97%	97%	97%

OBSERVACIONES:

FEBRERO
Se programaron 3 MP2 pero el compresor de aire queda fuera de servicio por daño de cigüeñal, por lo que no se realizan las dos últimas MP2 comandadas.

NOVIEMBRE
C2019P0920 Análisis RCL. No se realiza por verificación del presurizador en jefe de planta, se reprograma para Diciembre.

DICIEMBRE
C2019P0920 Análisis RCL. Se realizó en Diciembre.
C2019P0939 Calibración Analizador Xetra. No se realizó por part de COIMET.
C2019P1000 Calibración Analizador Termico. No se realizó por part de COIMET.
C2019P1001 Calibración Analizador Show. No se realizó por part de COIMET.



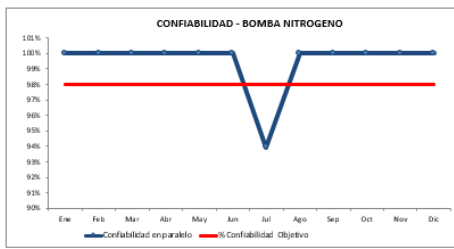
MANTENIMIENTO PREVENTIVO VS CORRECTIVO BARRANQUILLA												
Tipo de orden	Mes											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Preventivo	16	7	3	3	3	3	11	8	3	6	6	8
Correctivo	1	3	1	0	0	0	0	2	0	0	2	1
% Preventivos	94%	70%	75%	100%	100%	100%	100%	80%	100%	100%	75%	86%
% Correctivos	4%	20%	25%	0%	0%	0%	0%	20%	0%	0%	25%	14%
Total Actividades	17	10	4	3	3	3	11	10	3	6	7	7

OBSERVACIONES:

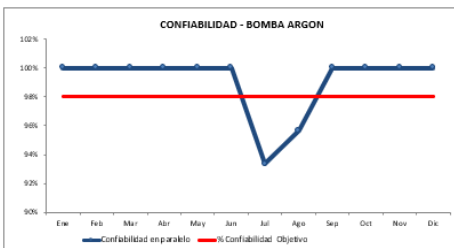
AGOSTO
Bomba PD 3000. Fuga (Mecánica). Manguera suministro N2 a válvulas de sección y retorno cristalizadas. Tiempo paradas 20 minutos.
Bomba ACD Argón. Fuga (Mecánica). Expandir en tubing salido extremo frío con rotora. Tiempo paradas 30 minutos.

NOVIEMBRE
Bomba P1100 CO2. Bobinas quemadas de la electroválvula línea llenado, no abre. Tiempo de paradas 15 minutos.
Bomba PD3000 Oxígeno. Fuga por empaque válvula cheque líneas retorno. Tiempo paradas 45 minutos.

DICIEMBRE
Bomba P1100 CO2. Fusible de fase abierto en tablero de control. No arrascaba la bomba. Tiempo de paradas 50 minutos.

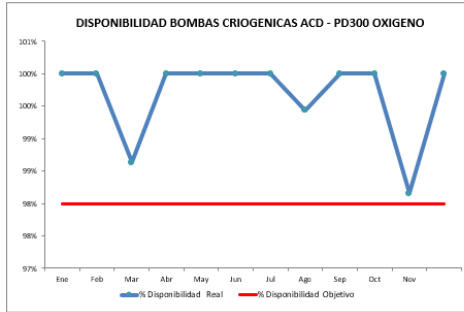


CONFIABILIDAD - BOMBA NITROGENO												
Variables	Mes											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
No. Fallas	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Tiempo de parada (Horas)	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0
Tiempo de operación (Horas)	15	15	18	18	17	17	18	16	15	11	11	12
Periodo de evaluación (MES)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
MTBF (Horas)							16,00					
MTTR (Horas)							2,00					
R. E/quehlla							93,34%					
D. E/quehlla	100%	100%	100%	100%	100%	100%	90%	100%	100%	100%	100%	100%
Confiabilidad en serie							93,34%					
Confiabilidad ca	100%	100%	100%	100%	100%	100%	84%	100%	100%	100%	100%	100%
% Confiabilidad Objetivo	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%



CONFIABILIDAD - BOMBA ARGON												
Variables	Mes											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
No. Fallas	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
Tiempo de parada (Horas)	0	0	0	0	0	0	3,5	0,5	0	0	0	0
Tiempo de operación (Horas)	18	17	18	21	20	21	18	23	20	23	20	21
Periodo de evaluación (MES)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
MTBF (Horas)							14,50	22,50				
MTTR (Horas)							3,50	0,50				
R. E/quehlla							83,34%	85,65%				
D. E/quehlla	100%	100%	100%	100%	100%	100%	84%	88%	100%	100%	100%	100%
Confiabilidad en serie							83,34%	85,65%				
Confiabilidad ca	100%	100%	100%	100%	100%	100%	93%	96%	100%	100%	100%	100%
% Confiabilidad Objetivo	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%

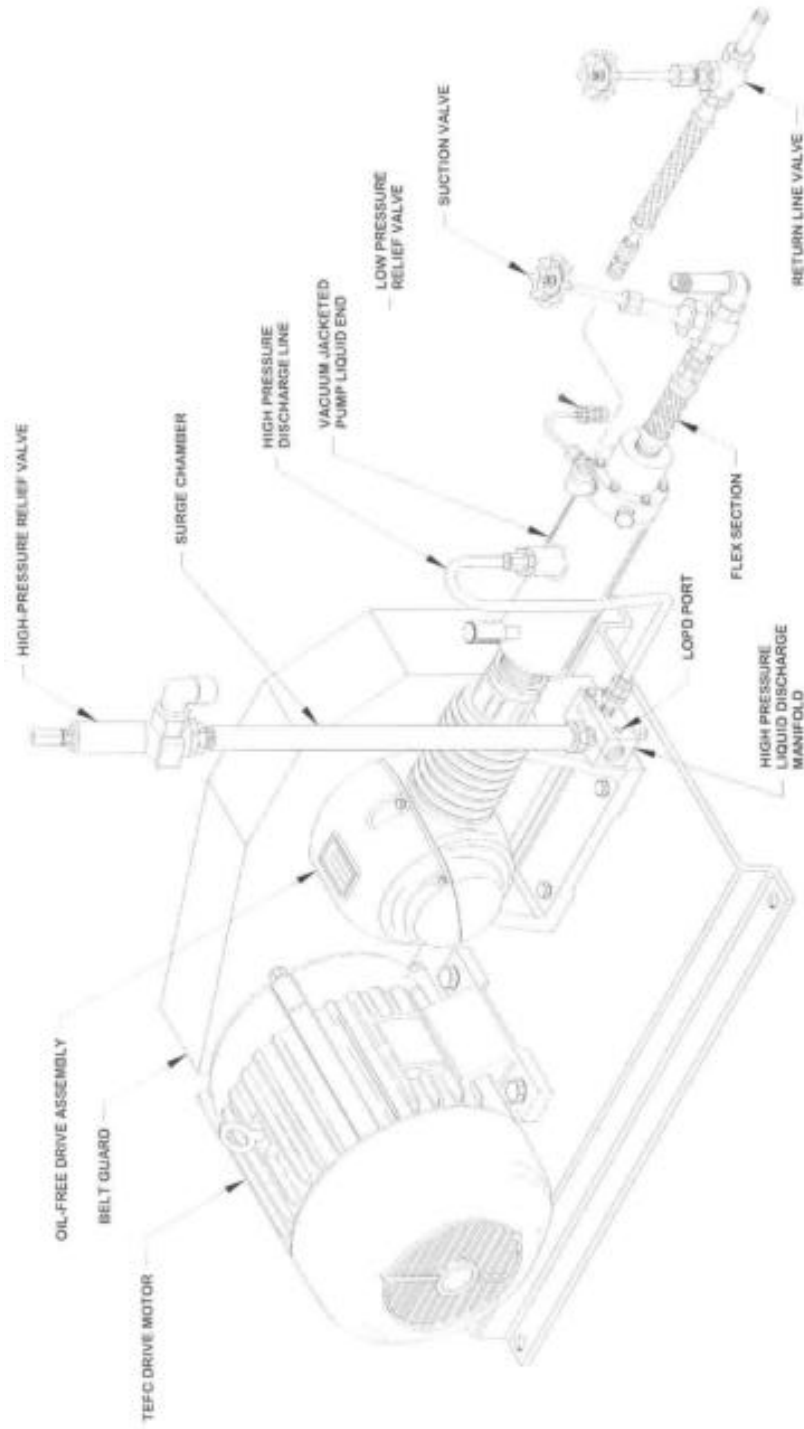
ANEXO 5. Indicadores de disponibilidad de la bomba de oxigeno



DISPONIBILIDAD DE BOMBAS CRIOGENICAS (OXIGENO) - REGIONAL BARRANQUILLA												
$\% D \text{ (Disponibilidad)} = T. \text{ Operación} / (T. \text{ Operación} + T. \text{ Parada})$												
Tiempos	Mes											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Tiempo de parada (horas)	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Tiempo de operación	29	34	36	35	33	35	43	44	40	46	40	33
No. Fallas	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0
% Disponibilidad	100%	100%	99%	100%	100%	100%	100%	99%	100%	100%	98%	100%
% Disponibilidad Objetivo	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%	98%

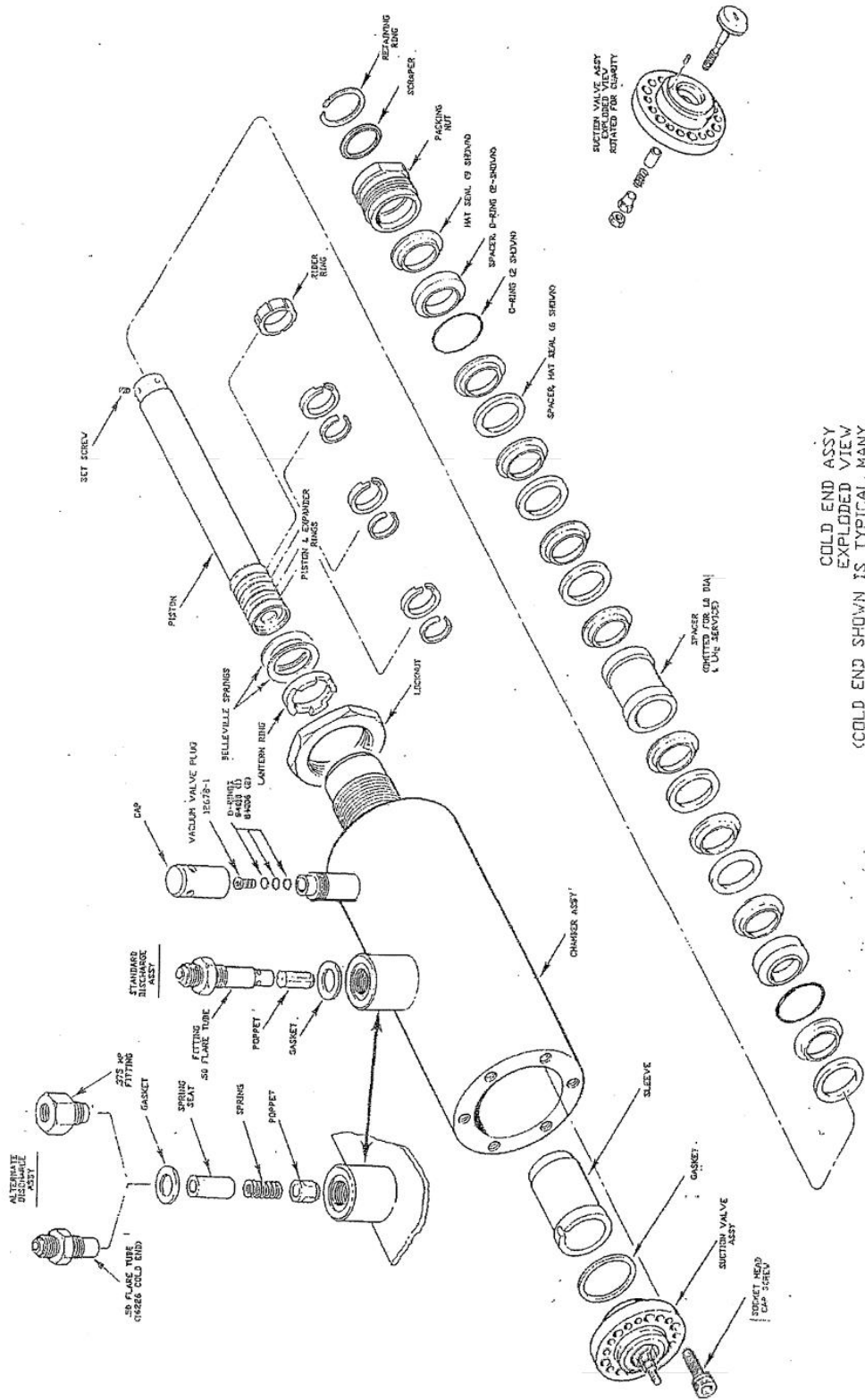
OBSERVACIONES:

ANEXO 6. Diagrama montaje bomba criogénica NDPD



Model NDPD Cylinder Filling Pump Illustration

ANEXO 7. . Diagrama de Extremo frio Bomba Criogénica NDPD



Continuación Anexo G. Diagrama de Extremo frio Bomba Criogénica NDPD

NOTES: UNLESS OTHERWISE SPECIFIED.

1. CLEAN, ASSEMBLE & EVACUATE PER PROCEDURE 33679.
2. ELECTRO-ETCH WITH "35779 (APFDASH NO. LATEST REV. LTR)".
3. ALTERNATES PERMISSIBLE ONLY FOR COLD ENDS USING 46053-1 CHAMBERS (SEE TABLE 1). 46053-1 IS OBSOLETE & IS REPLACED BY 46053-2 FOR FUTURE PRODUCTION.
4. ALTERNATE SUCTION VALVE ASSYS NOT TO BE USED FOR LH2 SERVICE (2 & -3).
5. USE -2 & -3 ASSYS FOR LH2 SERVICE.
6. FOR SEAL KIT SEE TABULATION, CLEAN FOR LOX SERVICE. TO BE PACKAGED INDIVIDUALLY AND AS A KIT.
7. TIGHTEN ITEM 24 CAP SCREWS EXACTLY TO 18-20 FT. LBS.
8. TIGHTEN DISCHARGE FITTINGS TO 5-80 FT. LBS.
9. THE DISCHARGE & SUCTION VALVES ARE LEAK TESTED PER PROCEDURES ELP-020 & ELP-021 RESPECTIVELY (REF).
10. TORQUE TO 20-22 FT. LBS.
11. THE VACUUM JACKETED CHAMBER IS EVACUATED TO LESS THAN 10 MICRONS USING T12682-2 TOOL.
12. LUBE THREAD LIGHTLY W/ P/N 1463-1.
13. SEE DRAWING 54630 FOR THICKNESS DATA FOR KHK REQUIREMENT.
14. LUBRICATE O-RINGS WITH OXYGEN COMPATIBLE GREASE.
15. USE 13 ASSEMBLY TO CONVERT 3979-1 FROM PREVIOUS HAT SEAL DESIGN TO UPGRADED RING ENERGIZED SEAL DESIGN.
16. FOR SPECIAL KHK CERTIFIED COMENDES INCLUDE "K" IN THE PART NUMBER SUFFIX.
17. SEE TABLE 1 FOR CHAMBER & SLEEVE PART NUMBERS.

52146-1 FITTING, DISCH. (3/8 M/P) -3
46883-1 FITTING, DISCH. (1/2 FLARE) -1, -2, -4, -5, -8
46905-1 GASKET, DISCH.
46842-1 POPPET, DISCH. 9
15756-3 SUCTION VALVE 4, 7, 9
0.0517050
POPPET TRAVEL (REF)

INSTALLATION ALTERNATE ITEMS 3, 4

REVISIONS

LTR	REV DESCRIPTION	DATE	APPROVED
AM	SEE ECN	12/5/12	KM/ML

101-3 52146-1 FITTING, DISCH. (3/8 M/P)
41-1, -2, -4, -5 46883-1 FITTING, DISCH. (1/2 FLARE)
2 46842-1 POPPET, DISCH.

4 16 15756-3 SUCT. VALVE ASSY

ITEM NUMBERS ALTERNATE PART NUMBERS

3 ACCEPTABLE ALTERNATES

BASIC DASH NO. (TABLE 1) 35779-K (IF REQ'D)

1 OR 2 DIGIT DASH NO.

P/N EXAMPLE: 35779-1K
DASH 1 CONFIG

KHK CERTIFICATION REQ'D

DASH NO.	DISCHARGE FITTING	FLUID	USE SEAL KIT	DISCHARGE POPPET MATERIAL	CHAMBER (ITEM 15)		SLEEVE (ITEM 17)	
					STANDARD	KHK	STANDARD	KHK
-1	-1K	1/2" FLARE	1/2/LO2/LAR	-10				
-2	-2K	1/2" FLARE	LH2	-11				
-3	-3K	3/8" M/P	LH2	-11	CTFE 15% GLASS FILLED	46053-2	25461-1K	
-4	-4K	1/2" FLARE	C2H4	-12				
-5	-5K	1/2" FLARE	1/2/LO2/LAR	-10	MONEL			

BASIC DASH NO. (TABLE 1) 35779-K

ITEM	DESCRIPTION	QTY	UNIT	REVISION
1	101743 POPPET, DISCHARGE, APD/MPD/NDPD	28	EA	
2	52146-1 FITTING, DISCH. (3/8 M/P)	37	EA	
3	46883-1 FITTING, DISCH. (1/2 FLARE)	37	EA	
4	46905-1 GASKET, DISCH.	37	EA	
5	46842-1 POPPET, DISCH.	9	EA	
6	15756-3 SUCTION VALVE ASSY	16	EA	
7	0.0517050 POPPET TRAVEL (REF)	16	EA	
8	46883-1 FITTING, DISCH. (3/8 M/P)	37	EA	
9	46842-1 POPPET, DISCH.	9	EA	
10	46905-1 GASKET, DISCH.	37	EA	
11	46883-1 FITTING, DISCH. (3/8 M/P)	37	EA	
12	46842-1 POPPET, DISCH.	9	EA	
13	15756-3 SUCTION VALVE ASSY	16	EA	
14	0.0517050 POPPET TRAVEL (REF)	16	EA	
15	46883-1 FITTING, DISCH. (3/8 M/P)	37	EA	
16	46842-1 POPPET, DISCH.	9	EA	
17	46905-1 GASKET, DISCH.	37	EA	
18	46883-1 FITTING, DISCH. (3/8 M/P)	37	EA	
19	46842-1 POPPET, DISCH.	9	EA	
20	46905-1 GASKET, DISCH.	37	EA	
21	46883-1 FITTING, DISCH. (3/8 M/P)	37	EA	
22	46842-1 POPPET, DISCH.	9	EA	
23	15756-3 SUCTION VALVE ASSY	16	EA	
24	0.0517050 POPPET TRAVEL (REF)	16	EA	
25	46883-1 FITTING, DISCH. (3/8 M/P)	37	EA	
26	46842-1 POPPET, DISCH.	9	EA	
27	46905-1 GASKET, DISCH.	37	EA	
28	46883-1 FITTING, DISCH. (3/8 M/P)	37	EA	
29	46842-1 POPPET, DISCH.	9	EA	
30	46905-1 GASKET, DISCH.	37	EA	
31	46883-1 FITTING, DISCH. (3/8 M/P)	37	EA	
32	46842-1 POPPET, DISCH.	9	EA	
33	15756-3 SUCTION VALVE ASSY	16	EA	
34	0.0517050 POPPET TRAVEL (REF)	16	EA	
35	46883-1 FITTING, DISCH. (3/8 M/P)	37	EA	
36	46842-1 POPPET, DISCH.	9	EA	
37	46905-1 GASKET, DISCH.	37	EA	
38	46883-1 FITTING, DISCH. (3/8 M/P)	37	EA	
39	46842-1 POPPET, DISCH.	9	EA	
40	46905-1 GASKET, DISCH.	37	EA	
41	46883-1 FITTING, DISCH. (3/8 M/P)	37	EA	
42	46842-1 POPPET, DISCH.	9	EA	
43	15756-3 SUCTION VALVE ASSY	16	EA	
44	0.0517050 POPPET TRAVEL (REF)	16	EA	
45	46883-1 FITTING, DISCH. (3/8 M/P)	37	EA	
46	46842-1 POPPET, DISCH.	9	EA	
47	46905-1 GASKET, DISCH.	37	EA	
48	46883-1 FITTING, DISCH. (3/8 M/P)	37	EA	
49	46842-1 POPPET, DISCH.	9	EA	
50	46905-1 GASKET, DISCH.	37	EA	
51	46883-1 FITTING, DISCH. (3/8 M/P)	37	EA	
52	46842-1 POPPET, DISCH.	9	EA	
53	15756-3 SUCTION VALVE ASSY	16	EA	
54	0.0517050 POPPET TRAVEL (REF)	16	EA	
55	46883-1 FITTING, DISCH. (3/8 M/P)	37	EA	
56	46842-1 POPPET, DISCH.	9	EA	
57	46905-1 GASKET, DISCH.	37	EA	
58	46883-1 FITTING, DISCH. (3/8 M/P)	37	EA	
59	46842-1 POPPET, DISCH.	9	EA	
60	46905-1 GASKET, DISCH.	37	EA	
61	46883-1 FITTING, DISCH. (3/8 M/P)	37	EA	
62	46842-1 POPPET, DISCH.	9	EA	
63	15756-3 SUCTION VALVE ASSY	16	EA	
64	0.0517050 POPPET TRAVEL (REF)	16	EA	
65	46883-1 FITTING, DISCH. (3/8 M/P)	37	EA	
66	46842-1 POPPET, DISCH.	9	EA	
67	46905-1 GASKET, DISCH.	37	EA	
68	46883-1 FITTING, DISCH. (3/8 M/P)	37	EA	
69	46842-1 POPPET, DISCH.	9	EA	
70	46905-1 GASKET, DISCH.	37	EA	
71	46883-1 FITTING, DISCH. (3/8 M/P)	37	EA	
72	46842-1 POPPET, DISCH.	9	EA	
73	15756-3 SUCTION VALVE ASSY	16	EA	
74	0.0517050 POPPET TRAVEL (REF)	16	EA	
75	46883-1 FITTING, DISCH. (3/8 M/P)	37	EA	
76	46842-1 POPPET, DISCH.	9	EA	
77	46905-1 GASKET, DISCH.	37	EA	
78	46883-1 FITTING, DISCH. (3/8 M/P)	37	EA	
79	46842-1 POPPET, DISCH.	9	EA	
80	46905-1 GASKET, DISCH.	37	EA	
81	46883-1 FITTING, DISCH. (3/8 M/P)	37	EA	
82	46842-1 POPPET, DISCH.	9	EA	
83	15756-3 SUCTION VALVE ASSY	16	EA	
84	0.0517050 POPPET TRAVEL (REF)	16	EA	
85	46883-1 FITTING, DISCH. (3/8 M/P)	37	EA	
86	46842-1 POPPET, DISCH.	9	EA	
87	46905-1 GASKET, DISCH.	37	EA	
88	46883-1 FITTING, DISCH. (3/8 M/P)	37	EA	
89	46842-1 POPPET, DISCH.	9	EA	
90	46905-1 GASKET, DISCH.	37	EA	
91	46883-1 FITTING, DISCH. (3/8 M/P)	37	EA	
92	46842-1 POPPET, DISCH.	9	EA	
93	15756-3 SUCTION VALVE ASSY	16	EA	
94	0.0517050 POPPET TRAVEL (REF)	16	EA	
95	46883-1 FITTING, DISCH. (3/8 M/P)	37	EA	
96	46842-1 POPPET, DISCH.	9	EA	
97	46905-1 GASKET, DISCH.	37	EA	
98	46883-1 FITTING, DISCH. (3/8 M/P)	37	EA	
99	46842-1 POPPET, DISCH.	9	EA	
100	46905-1 GASKET, DISCH.	37	EA	

AGI
COLD END ASSEMBLY
DPD/NDPD/DIA 1.20/4000 PSI
MAX W.P. (-1 & -5) IN 2, LO2 & LAR,
(-2 & -3) LH2, (-4) C2H4 SERVICE

SCALE: 1:1.5 REVISION: 35779
B 15275

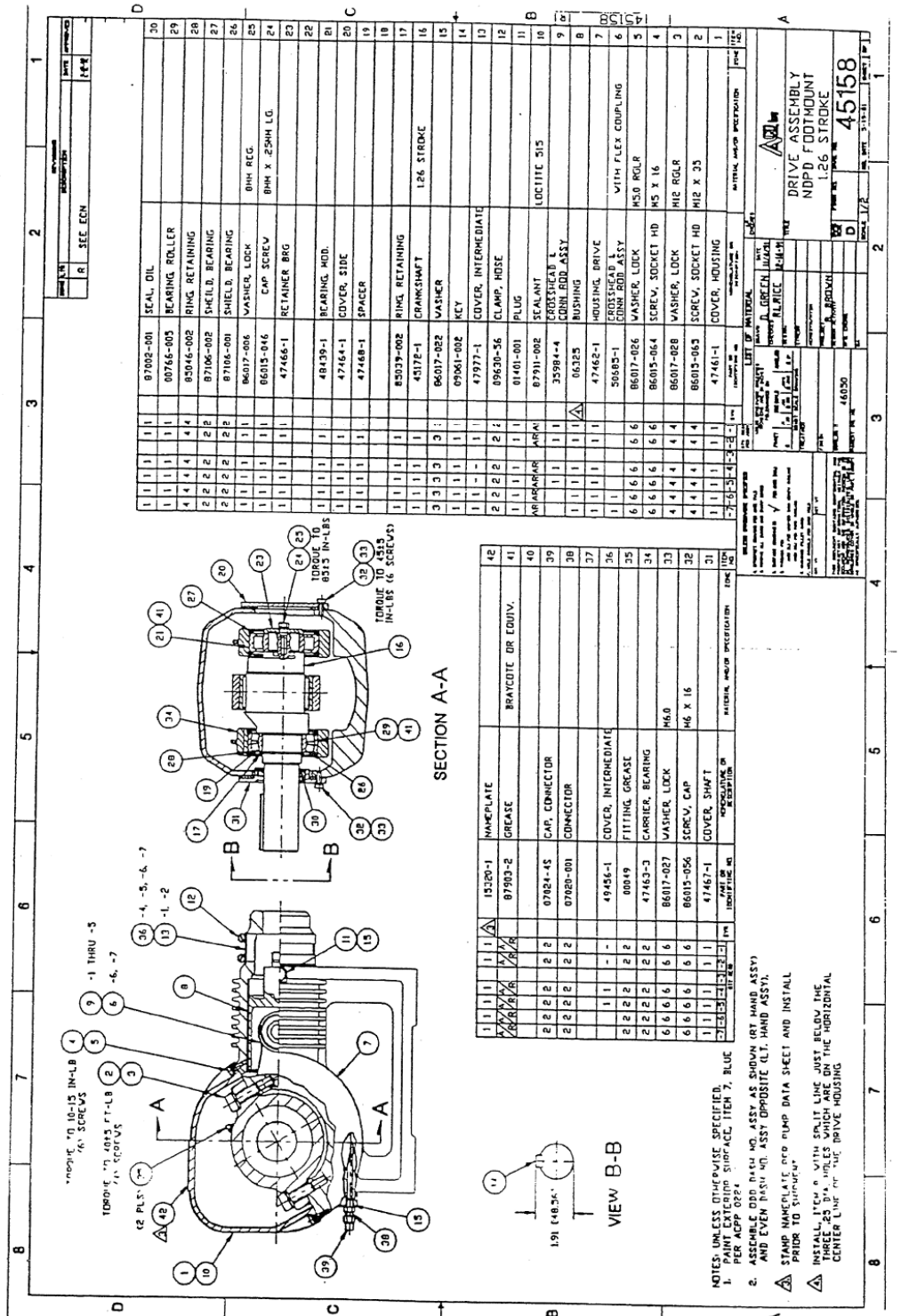
Continuación Anexo G. Diagrama de Extremo frio Bomba Criogénica NDPD

COLD END ASSEMBLY 1.2 DIA 4,000 PSI
35779-1 Rev. T

Item	Part No.	Description	Qty
1	10171-1	NUT LOCK	1
2	46842-1	* POPPET DISCHARGE	1
3	46905-1	* GASKET, DISCHARGE	1
4	46883-1	FITTING, DISCHARGE 1/2 FLARE	1
5	24960-1	* PISTON RING ASSY 1.2000 DIA	3
7	12976-1	NUT PACKING	1
8	12979-1	SPACER, HAT SEAL	6
9	48783-3	* SPRING, BELLEVILLE	2
11	12979-2	SPACER HAT SEAL	2
12	16209-1	* RING, RIDER	1
14	16272-1	PISTON, DPD, NDPD, APD, 1.20 DIA	1
15	46053-2	CHAMBER ASSEMBLY, APD, DPD, 1.20	1
16	46920-1	SUCTION VALVE ASSY, 1.0 & 1.2	1
17	25461-1	SLEEVE-1.2020 DIA APD	1
18	15763-1	SPACER HAT SEAL	1
20	15767-1	RING LANTERN	1
21	12978-2	* HAT SEAL, 1.20 NOMINAL DIA	9
23	15796-1	* GASKET	1
24	15822-1	SCREW-SOC. HD. CAP	6
25	85017	* RING, RETAINING	1
26	86004	* RING, SCRAPER	1
27	84028	* O RING	2
28	99004-022	SCREW SET	1

* Indicates Recommended Spare Parts
(Available as Kit 49779-1)

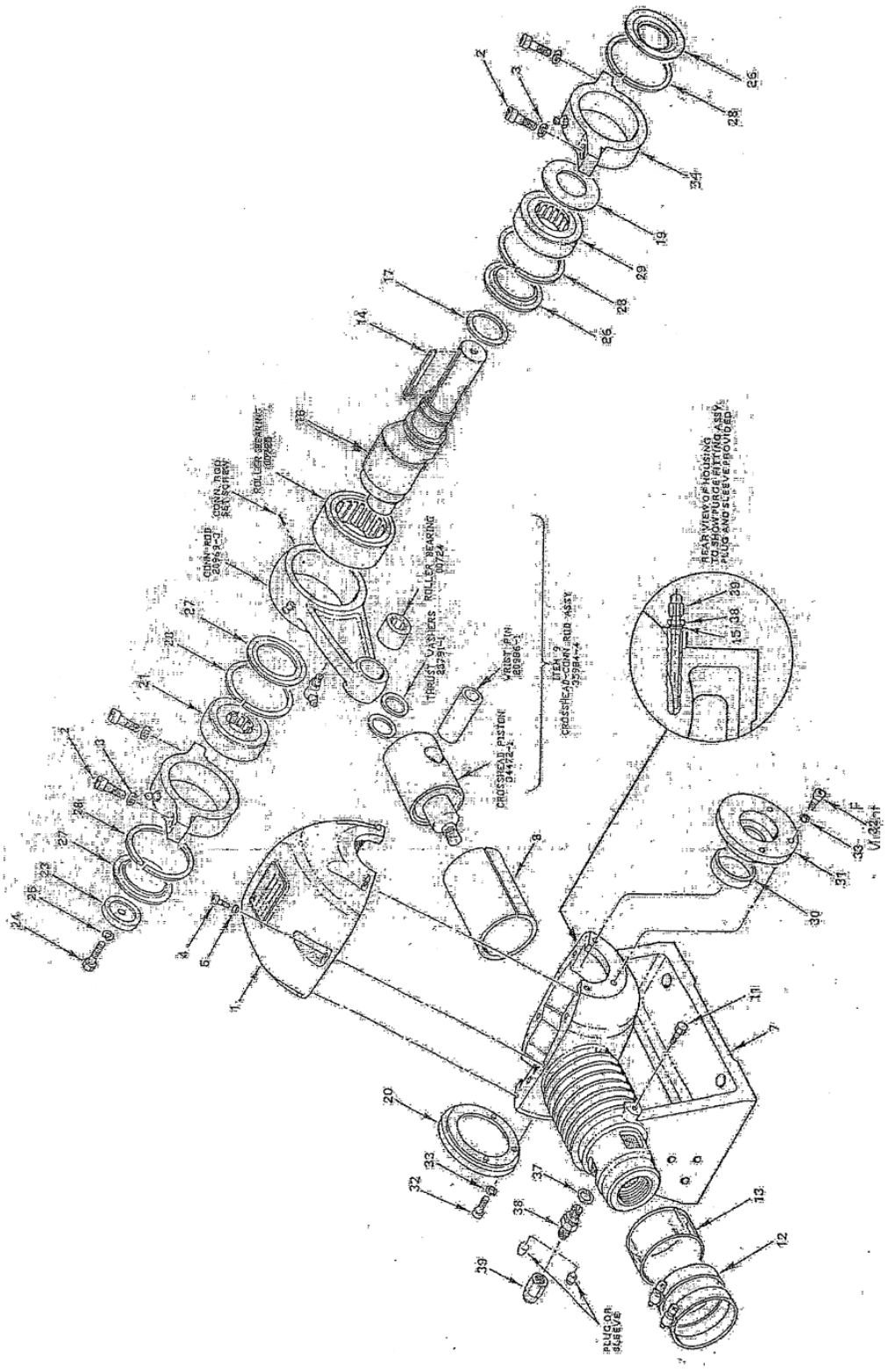
ANEXO 8. Diagrama de Extremo Caliente Bomba Criogénica NDPD



NOTE: USE LESS GREASE SPECIFIED.
 1. PAINT EXTERIOR SURFACE, ITEM 7, BLUE PER ACPP 0224.
 2. ASSEMBLE ODD HAND MD. ASSY AS SHOWN (RT HAND ASSY) AND EVEN HAND MD. ASSY OPPOSITE (LT. HAND ASSY).
 3. STAMP MANIFOLD AND PUMP DATA SHEET AND INSTALL PRIOR TO SHIPMENT.
 4. INSTALL LUBES WITH 50% OIL LINE JUST BELOW THE HORIZONTAL CENTER LINE OF THE DRIVE HOUSING.

DRIVE ASSEMBLY
 NDPD FOOTMOUNT
 1.26 STROKE
45158

Continuación Anexo H. Diagrama de Extremo Caliente Bomba Criogénica NDPD



Continuación Anexo H. Diagrama de Extremo Caliente Bomba Criogénica NDPD

**DRIVE ASSEMBLY NDPD, FOOTMOUNT 1.26 STROKE
ASSEMBLY 45158-1 thru -5, Rev. S**

Item	Part No.	Description	Qty
1	47461-1	COVER, HOUSING, NDPD PUMP	1
2	86015-065	SCREW CAP	4
3	86017-028	WASHER, LOCK	4
4	86015-064	SCREW CAP	6
5	86017-026	WASHER, LOCK	6
7	47462-1	DRIVE HOUSING NDPD PUMP	1
8	06325	** BUSHING	1
9	35984-4	* CROSSHEAD PISTON & ROD ASSY, DPD	1
10	87911-002	** GASKET SEALANT COMPOUND	A/R
11	01401-001	PLUG	1
12	09630-56	CLAMP HOSE	2
13	47977-1	** COVER- INTERMEDIATE	1
14	09061-002	KEY SHAFT	1
15	86017-022	WASHER, COPPER	3
16	45172-1	CRANKSHAFT 1.25 STROKES, NDPD	1
17	85039-002	** RING, RETAINING	1
19	47468-1	SPACER, BEARING NDPD PUMP	1
20	47464-1	COVER, SIDE NDPD PUMP	1
21	48439-1	** BEARING, MODIFIED - NDPD	1
23	47466-1	RETAINER, BEARING NDPD PUMP	1
24	86015-046	SCREW CAP	1
25	86017-006	WASHER, LOCK	1
26	87106-001	* SEAL BEARING	2
27	87106-002	* SEAL BEARING	2
28	85046-002	RING, RETAINING	4
29	00766-005	** BEARING, ROLLER	1
30	87002-001	** SEAL, OIL	1
31	47467-1	COVER, SHAFT NDPD PUMP	1
32	86015-056	SCREW CAP	6
33	86017-027	WASHER, LOCK	6
34	47463-3	CARRIER, BEARING NDPD PUMP	2
35	00049	FITTING, GREASE	2
36	49456-1	COVER- INTERMEDIATE	1
38	07020-001	CONNECTOR, MALE	2
39	07024-4S	CAP	2
41	87903-2	** GREASE	A/R
42	15320-1	NAMEPLATE, RECIPROCATING PUMP	1

* Indicates Recommended Spare Parts

** Spares also available as kit PN 48032-1 (oxygen compatible).