

APLICACIÓN DE METODOLOGÍA PARA LA OPTIMIZACIÓN DE INVENTARIO
DE REPUESTOS DE EQUIPO ROTATIVO EN LA GERENCIA REFINERÍA DE
BARRANCABERMEJA DE ECOPETROL S.A.

ALEXANDER ZÚÑIGA VALBUENA

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

2019

APLICACIÓN DE METODOLOGÍA PARA LA OPTIMIZACIÓN DE INVENTARIO
DE REPUESTOS DE EQUIPO ROTATIVO EN LA GERENCIA REFINERÍA DE
BARRANCABERMEJA DE ECOPETROL S.A.

ALEXANDER ZÚÑIGA VALBUENA

Trabajo de grado presentado como requisito para optar el título de
Magíster en Gerencia de Mantenimiento

Director

EDWIN ALBERTO GARAVITO HERNÁNDEZ

M. Sc. Ingeniería Industrial

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

2019

DEDICATORIA

*En esta nueva etapa de mi vida que culmino lleno de esperanza,
quiero agradecer a quienes de manera directa o indirecta me ayudaron
a encontrar el camino para llegar a mi meta.*

*A Dios, en quien me apoye espiritualmente durante cada momento
para mantener firme mi mirada hacia este logro.*

*A mi madre, quien ayudó mi primera formación
y a partir de ella me hice el hombre que hoy en día soy.*

*A mi amor, quien incondicionalmente me brindó su apoyo y estímulo
durante todo el tiempo que duró la maestría.*

*A mis hijos Enmanuel y Alejandro, quienes fueron mi gran motivación, porque a
partir del ejemplo le enseñé y aprendí la importancia de trazarse objetivos claros,
de ser consistentes y constante en trabajar
y luchar por lo que se quiere alcanzar, dando el mejor esfuerzo.*

Alexander Zúñiga Valbuena

AGRADECIMIENTOS

A la Empresa Colombiana de Petróleos – ECOPETROL S.A., por haberme dado la oportunidad de participar en este proceso formativo, brindándome el apoyo necesario para sacar adelante la maestría en gerencia de mantenimiento y este proyecto de grado.

A la Universidad Industrial de Santander y el departamento de Ingeniería Mecánica, por haber aportado a mi formación, nuevas herramientas que mejoran mi desempeño profesional y haber reforzado valores como honestidad, puntualidad, oportunidad, tenacidad que me ayudaron a crecer de manera integral como persona.

Al Alma Mater le ofrezco mis más sinceros sentimientos de gratitud, por la formación recibida, que me hacen sentir orgulloso de formar parte de la Universidad Industrial de Santander.

Al ingeniero Edwin Alberto Garavito Hernández, por su excelente aporte en el desarrollo de este proyecto.

El Autor

TABLA DE CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	20
1. GENERALIDADES DEL PROYECTO	23
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	23
1.2 OBJETIVOS.....	23
1.2.1 Objetivo General	23
1.2.2 Objetivos Específicos.....	24
1.3 JUSTIFICACIÓN DEL PLAN PROPUESTO	24
2. MARCO TEÓRICO	28
2.1 DEFINICIONES Y CONCEPTOS GENERALES.....	32
2.1.1 Mantenimiento	32
2.1.2 Mantenimiento correctivo	32
2.1.3 Mantenimiento preventivo	32
2.1.4 Mantenimiento predictivo	33
2.1.5 Confiabilidad	33
2.1.6 Mantenibilidad	33
2.1.7 Disponibilidad.....	33
3. DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA	34
3.1 IDENTIFICACIÓN DE FAMILIA DE ACTIVOS.....	35
3.1.1 Criterios de clasificación.	35
3.1.2 Datos característicos de equipos rotativos.....	36
3.1.3 Sub-clasificación de familia de activos.....	37
3.2 CICLO DE CORRIDA ENTRE INTERVENCIONES MAYORES.....	38

3.3 RESULTADOS OBTENIDOS.....	47
3.3.1 Compresores reciprocantes	47
3.3.2 Bombas centrifugas	55
3.3.3 Compresores centrífugos.....	64
3.3.4 Turbinas de propósito especial	70
3.3.5 Turbinas de propósito general	78
3.3.6 Compresores de alta velocidad.....	86
3.3.7 Ventiladores	93
3.3.8 Turboexpansores	102
3.3.9 Sistemas de actuación válvulas de corredera.....	106
3.4 RESUMEN GENERAL	110
4. CONCLUSIONES	114
5. RECOMENDACIONES	116
BIBLIOGRAFÍA	118
ANEXOS.....	CONSULTAR CD

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Matriz para la valoración de riesgos RAM.	30
Figura 2. Mapa conceptual proceso de optimización bodega de materiales GRB.	34
Figura 3. Recomendaciones de repuestos para demanda planeada y no planeada.	44
Figura 4. Tiempo de vida esperada para componentes seleccionados.	46
Figura 5. Compresor reciprocante.	49
Figura 6. Estrategia definida para el mantenimiento de compresores reciprocantes.	50
Figura 7. Bomba centrífuga y sus partes.	56
Figura 8. Estrategia definida para el mantenimiento de bombas centrífugas.....	57
Figura 9. Compresor centrífugo.	65
Figura 10. Estrategia definida para el mantenimiento compresores centrífugos. ..	66
Figura 11. Turbina de propósito especial.	70
Figura 12. Estrategia definida para el mantenimiento turbinas de propósito especial.	71
Figura 13. Turbina de propósito general.	79
Figura 14. Estrategia definida para el mantenimiento turbinas de vapor de propósito general.....	80
Figura 15. Estrategia definida para compresores centrífugos de alta velocidad.	86
Figura 16. Ventilador flujo Centrifugo.....	94
Figura 17. Estrategia definida para el mantenimiento de ventiladores centrífugos y axiales.....	95
Figura 18. Estrategia de mantenimiento turboexpansores.....	103
Figura 19. Estrategia definida para el mantenimiento a sistemas de actuación de válvulas de corredera.....	107

Figura 20. Resumen dimensionamiento bodega de materiales según estrategia de mantenimiento de equipo rotativo.111

Figura 21. Relación valor actual de la bodega de materiales versus dimensionamiento bodega de materiales según estrategia de mantenimiento de equipo rotativo.112

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Días de parada no programada de equipo rotativo 2016 a 2018.	25
Tabla 2. Datos recopilados para compresores reciprocantes.	36
Tabla 3. Clasificación definida para compresores reciprocantes.	37
Tabla 4. Modos de falla equipo rotativo Norma ISO 14224.	40
Tabla 5. Modos de falla equipo rotativo Norma ISO 14224.	41
Tabla 6. Estrategia para un compresor recíprocante.	42
Tabla 7. Partes recomendadas Demanda no planeada para un compresor Hyper para 1 año.....	51
Tabla 8. Partes recomendadas demanda no planeada para un compresor estándar para 1 año.....	52
Tabla 9. Partes recomendadas demanda planeada para un compresor Hyper para un ciclo entre Overhaules.	53
Tabla 10. Partes recomendadas demanda planeada para un compresor estándar para un ciclo entre Overhaules (6 años).	54
Tabla 11. Valor de materiales para la estrategia de compresores recíprocos.	55
Tabla 12. Cantidad materiales demanda no planeada bombas tipo OH.	58
Tabla 13. Cantidad materiales demanda no planeada bombas tipo BB.	59
Tabla 14. Cantidad materiales demanda no planeada bombas tipo VS.	60
Tabla 15. Cantidad de materiales demanda planeada bombas tipo OH.	61
Tabla 16. Cantidad materiales demanda planeada bombas tipo BB.	62
Tabla 17. Cantidad materiales demanda planeada bombas tipo VS.	63
Tabla 18. Valor de materiales para bombas centrífugas.....	64
Tabla 19. Cantidad materiales para un compresor centrífugo <7000 HP.	67
Tabla 20. Cantidad materiales para un compresor centrífugo entre 7000 HP y 9000 HP.....	68

Tabla 21. Cantidad materiales para 1 compresor centrifugo mayor a 9000 HP.....	69
Tabla 22. Valor de materiales para la estrategia de compresores Centrífugos.	69
Tabla 23. Cantidad materiales para una turbina Propósito Especial < 8000 HP....	72
Tabla 24. Cantidad materiales para una turbina Propósito Especial entre 9000 y 15000 HP.....	74
Tabla 25. Cantidad materiales para una turbina Propósito Especial > 15000 HP..	76
Tabla 26. Valor de materiales para la estrategia de turbinas propósito especial. ..	78
Tabla 27. Cantidad materiales para una turbina Propósito General <500 HP.	81
Tabla 28. Cantidad materiales para turbinas propósito general entre 500 y 1000 HP.	82
Tabla 29. Cantidad materiales turbina propósito general entre 1050 y 1500 HP...	84
Tabla 30. Valor de materiales para la estrategia de turbinas de vapor de propósito general.....	85
Tabla 31. Cantidad de materiales para la estrategia de compresores API 672 marca FS Elliott.	87
Tabla 32. Cantidad de materiales para la estrategia de compresores API 672 marca Ingersoll Rand.....	89
Tabla 33. Valor de materiales para la estrategia de compresores de alta velocidad API 672.	93
Tabla 34. Cantidad de materiales demanda no planeada ventiladores (Centrifugal Fan).	96
Tabla 35. Cantidad de materiales demanda no planeada ventiladores (Axial Flow Fans).....	96
Tabla 36. Cantidad materiales demanda no planeada Cooling Tower.....	97
Tabla 37. Cantidad de materiales demanda no planeada Aerial Cooler.	97
Tabla 38. Cantidad materiales demanda planeada ventiladores (Centrifugal Fan).	99
Tabla 39. Cantidad de materiales demanda planeada ventiladores (Axial Flow Fans).....	99
Tabla 40. Cantidad materiales demanda planeada Cooling Tower.....	99

Tabla 41. Cantidad de materiales demanda planeada Aerial Cooler.	100
Tabla 42. Valor de materiales para la estrategia de ventiladores.	102
Tabla 43. Lista de repuestos para un Expansor-compresor.	103
Tabla 44. Lista de repuestos para un Expansor-Generador.	104
Tabla 45. Valores de materiales para la estrategia de Expansor y Compresor. ..	106
Tabla 46. Lista de repuestos para un Skid Neumático.....	107
Tabla 47. Lista de repuestos para un Skid Hidráulico.....	108
Tabla 48. Valor de materiales para la estrategia de los sistemas de actuación de válvulas de corredera.....	109
Tabla 49. Resumen dimensionamiento bodega de materiales según estrategia de mantenimiento de equipo rotativo.	110
Tabla 50. Resumen valor total de la bodega Vs estimado de demanda planeada y no planeada a través del desarrollo del ejercicio.	112

LISTA DE ANEXOS

(Ver anexos adjuntos en el CD, el cual puede consultar en la Base de Datos de la Biblioteca de la Universidad Industrial de Santander)

Anexo A. Lista de familias de equipo rotativo y clasificación por API.

Anexo B. Clasificación de bombas centrifugas por API 610/ISO 1379.

Anexo C. Tiempo medio entre fallas Shell Global Solutions.

Anexo D. Tiempo medio entre fallas Ellipse 2007 a 2014.

Anexo E. Tiempo medio entre fallas SAP 2017 a 2018.

Anexo F. Muestra de la clasificación de acuerdo con Norma ISO 14224.

Anexo G. Equipos rotativos criticos de la gerencia refinería de Barrancabermeja.

GLOSARIO

AMCA: Air Movement and Control Association.

API: American Petroleum Institute.

BLAP: estándares API 689 e ISO 14224 para ventiladores centrífugos.

BLAX: estándares API 689 e ISO 14224 para ventiladores de flujo axial.

BB1, BB2, BB3, BB4 y BB5: estándar API 610 para clasificar bombas centrífugas entre apoyos (Between Bearings).

CBT: tarea basada en la condición (Condition Based Task).

CMMS: software o sistema de gestión de mantenimiento computarizado (Computerized Maintenance Management Software).

CMT: tarea de monitoreo de la condición (Condition Monitoring Task).

COCE: estándares API 689 e ISO 14224 para compresores centrífugos.

GRB: Gerencia Refinería Barrancabermeja.

HOJA DE RUTA: Elemento de SAP que agrupa un conjunto de actividades (operaciones) de mantenimiento a ejecutar en un objeto técnico (equipo o ubicación técnica).

HYPER: tipo de compresor reciprocante que opera a presiones mayores a 3000 PSig y hasta 60000 PSig.

ICO: Inversión de Continuidad Operativa.

IPF: función de protección instrumentada (Instrumented Protective Function).

KPIs: indicadores claves de desempeño (Key Performance Indicators).

OH1, OH2, OH3, OH4, OH5 y OH6: abreviatura utilizada en el estándar API 610 para clasificar bombas centrífugas en voladizo (OverHung).

OVERHAUL: termino en inglés para referirse a una intervención mayor o general de un equipo.

RCA: análisis de causa raíz (Root Cause Analysis).

RCM: mantenimiento centrado en confiabilidad (Reliability Centered Maintenance).

RCS: repuestos centrados en confiabilidad (Reliability Centered Spares).

RFT: correr hasta la falla (Run To Failure), la cual hace referencia a intervenciones de tipo correctivo planeado.

SOLOMON: estudio Benchmarking para mejora de desempeño en compañías de la industria de la energía, gas y petróleo.

TBT: tarea basada en el tiempo (Time Based Task), la cual hace referencia a intervenciones de tipo preventivo.

TGs: turbogeneradores.

TMEF: Tiempo Medio Entre Fallas.

TRM: Tasa Representativa del Mercado.

VS1, VS2, VS3, VS4, VS5, VS6 y VS7: estándar API 610 para clasificar bombas centrífugas verticales de sumidero (Vertical Sump).

RESUMEN

TÍTULO: APLICACIÓN DE METODOLOGÍA PARA LA OPTIMIZACIÓN DE INVENTARIO DE REPUESTOS DE EQUIPO ROTATIVO EN LA GERENCIA REFINERÍA DE BARRANCABERMEJA DE ECOPETROL S.A.¹

AUTORES: ALEXANDER ZUÑIGA VALBUENA.²

PALABRAS CLAVES: CONFIABILIDAD, EQUIPOS ROTATIVOS, FAMILIA DE EQUIPO ROTATIVO, INVENTARIO DE MATERIALES, DEMANDA PLANEADA, DEMANDA NO PLANEADA, GESTIÓN DE ACTIVOS, INDICADORES DE GESTIÓN.

DESCRIPCIÓN O CONTENIDO:

Las empresas de primer mundo cada vez, ven más atractivo tener sistemas que se adapten a sus necesidades, que le permitan tener una mayor disponibilidad de sus equipos y a su vez unos costos más bajos, identificar los costos asociados a la cadena productiva no es suficiente, se debe razonar sobre la relación que estos tienen con la mejora de los indicadores claves de desempeño como días de parada no programada, pues la lógica nos indica (a priori) que una mejora en dichos indicadores debe verse reflejado en la disminución de los costos asociados al equipo rotativo y por lo tanto año a año las metas deben ir optimizando estos valores, hasta que la relación costo/beneficio sea óptima.

Este trabajo busca de una forma sencilla definir la composición y valor óptimo de la bodega de materiales a partir de la estrategia de confiabilidad establecida activo por activo, para después validar si lo que tiene la bodega de materiales hoy en día corresponde con las necesidades definidas, y dependiendo del resultado realizar los ajustes necesarios para garantizar el cumplimiento de la estrategia de confiabilidad, con sus planes de mantenimiento (demanda planeada) y de mitigación para solucionar eventos de falla (demanda no planeada).

Para lograr lo anterior, se inicia con la validación, activo por activo, de la estrategia de confiabilidad para ajustar y mejorar los planes de mantenimiento a través de inclusión de nuevas tareas producto de la revisión de los RCM, tareas TBT (Time Based Task), CBT (Condition Based Task), CMT (Condition Monitoring Task) o RTF (Run To Failure), cambios en frecuencias, alcances y tipo de mantenimiento a ejecutar sobre los equipos rotativos.

Se continua con la definición de la composición y el valor anual requerido de repuestos en bodega para cumplir totalmente las estrategias de confiabilidad definidas.

¹ Trabajo de grado.

² Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Maestría en Gerencia de Mantenimiento. Director: Edwin Alberto Garavito Hernández, M. Sc. en Ingeniería Industrial.

SUMMARY

TITLE: APPLICATION OF METHODOLOGY FOR THE OPTIMIZATION OF INVENTORY OF ROTARY EQUIPMENT SPARE PARTS IN THE BARRANCABERMEJA REFINERY MANAGEMENT OF ECOPETROL S.A.³

AUTHOR: ALEXANDER ZÚÑIGA VALBUENA.⁴

KEYWORDS: RELIABILITY, ROTATING EQUIPMENT, FAMILY OF ROTATING EQUIPMENT, INVENTORY OF MATERIALS, PLANNED DEMAND, UNPLANNED DEMAND, ASSET MANAGEMENT, MANAGEMENT INDICATORS.

DESCRIPTION OR CONTENTS:

First world companies lately are more attracted to have systems that adapt to their needs, which allow them to have a greater availability of their equipment and at the same time lower costs, identifying the costs associated with the productive chain is not enough, one must reason about the relation that these have with the improvement of the key indicators of performance like days of non programmed stop, because the logic indicates us (a priori) that an improvement in said indicators must be reflected in the decrease of the associated costs to the rotating team and therefore year after year the goals should be optimizing these values, until the cost / benefit ratio is optimal.

This work seeks in a simple way to define the composition and optimal value of the warehouse of materials from the reliability strategy established active by asset, and then validate if what has the materials warehouse today corresponds to the defined needs, and depending on the result, make the necessary adjustments to ensure compliance with the reliability strategy, with its maintenance plans (planned demand) and mitigation plans to solve failure events (unplanned demand).

To achieve the above, it begins with the validation, active by asset, of the reliability strategy to adjust and improve the maintenance plans through the inclusion of new tasks product of the revision of the RCM, tasks TBT (Time Based Task) , CBT (Condition Based Task), CMT (Condition Monitoring Task) or RTF (Run To Failure), changes in frequencies, scope and type of maintenance to be performed on rotating equipment.

The definition of the composition and the required annual value of spare parts in the warehouse continue to fully meet the defined reliability strategies.

³ Bachelor Thesis.

⁴ Faculty of Engineering Physics and Mechanics. Mechanical Engineering School. Magister in Maintenance Management. Director: Edwin Alberto Garavito Hernández, M. Sc. Industrial Engineering.

INTRODUCCIÓN

La Autoridad de Equipo Rotativo de la Gerencia Refinería de Barrancabermeja ha venido desarrollando estrategias para mejorar la confiabilidad de los activos, apalancándose en metodologías como RCM (Reliability Centered Maintenance), RCA (Root Cause Analysis), IPF (Instrumented Protective Function), entre otras, adoptadas desde el año 2000 cuando se inició el proceso de optimización con la asistencia de Shell Global Solutions.

Pero esta evolución y transformación requiere el fortalecimiento continuo de los procesos internos a través de la integración de estas metodologías de confiabilidad con las áreas de soporte, buscando generar una cadena de valor que permita sostener los resultados obtenidos y generar oportunidades de optimización de los costos de mantenimiento.

Es aquí donde se introduce el concepto de Reliability Centered Spares R.C.S o repuestos centrados en la confiabilidad, metodología que busca identificar y validar la composición y valor óptimo de la bodega de materiales a partir de la Estrategia de Confiabilidad definida para las familias de activos de la refinería de Barrancabermeja.

En concordancia con la política integral de Ecopetrol, la Autoridad Técnica tiene entre sus objetivos salvaguardar la integridad de los activos, con el objeto de maximizar el retorno al negocio; optimizar los costos sobre el ciclo de vida de los activos denominados equipo rotativo, de acuerdo con los estándares y regulaciones vigentes en materia de seguridad de procesos, salud ocupacional y medio ambiente, asegurando el conocimiento de nuestra gente y el fortalecimiento de sus competencias; la implementación de buenas prácticas de ingeniería, mantenimiento, confiabilidad y proyectos; y la aplicación de nuevas tecnologías y

metodologías en equipo rotativo, mediante la gestión integral por familias de activos industriales.

Lo anterior se apalanca en la estrategia de equipo rotativo, la cual está enfocada al logro para el año 2022 de tres objetivos fundamentales:

- Disponibilidad operacional afectada en máximo 0.221% por equipo rotativo y global de la refinería de 97%.
- Costos de mantenimiento en el primer cuartil de Solomon para el grupo de Latinoamérica.
- Cero (0) incidentes de seguridad de procesos en equipo rotativo.

De aquí la importancia de la optimización de los costos de la bodega de materiales, pues éste es uno de los pilares de la optimización de costos de la refinería.

La primera parte de éste ejercicio consiste en la validación, activo por activo, de la estrategia de confiabilidad y mantenimiento que posteriormente se convierte en hojas de ruta en el CMMS (Computerized Maintenance Management Software) adoptado por Ecopetrol S.A.

Este paso permite ajustar y mejorar los planes de mantenimiento a través de cambios en frecuencias, alcances y tipo de mantenimiento a ejecutar sobre los equipos rotativos.

La segunda parte consiste en definir la composición y el valor anual requerido de repuestos en bodega para cumplir totalmente las estrategias de confiabilidad definidas. Al final de este paso se obtiene, para cada familia de activos, el listado de repuestos con el tipo de estrategia según RCM, tareas TBT (Time Based Task), CBT (Condition Based Task), CMT (Condition Monitoring Task) o RTF (Run To Failure), y la cantidad de repuestos recomendada para demanda planeada (plan de

mantenimiento) y demanda no planeada (stock de seguridad más equipos con estrategia a falla – RTF). Esto se puede considerar el valor óptimo para la estrategia.

En este paso se deberá confirmar la cantidad de equipos existentes en refinería para cada familia de activos, así como la cantidad para cada subcategoría, y de éstos, cuántos equipos corresponden a equipos principales (que operan continuamente) y a equipos de respaldo o stand by. Con estos datos y el listado de repuestos se podrá estimar el valor óptimo de bodega para el cumplimiento de la estrategia de confiabilidad.

La tercera parte se valida si las cantidades y materiales reales disponibles en la bodega de materiales de la refinería, corresponden con las necesidades identificadas por la estrategia de confiabilidad. Esto permitirá identificar y definir acciones para ajustar la bodega de materiales, donde aplique.

En esta etapa se incluye el ajuste de los repuestos recomendados para demanda planeada (plan de mantenimiento) y demanda no planeada (stock de seguridad más equipos con estrategia a falla – RTF) específicos para cada activo a partir de la estrategia genérica.

1. GENERALIDADES DEL PROYECTO

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El control de inventario de repuestos es esencial para muchas organizaciones, debido a que el exceso de éste implica altos costos de sostenimiento y, a su vez, la falta de repuestos, tiene un gran impacto en el desempeño de las operaciones. El inventario de repuestos, a diferencia del inventario de materias primas, producto en proceso y producto terminado, debe ser conservado en bodega para soportar las operaciones de mantenimiento y, de esta manera, proteger la producción de la ocurrencia de posibles fallas en los equipos. Sin embargo, conservar grandes cantidades de inventario, representa un alto costo de almacenamiento y de capital, además, que puede generar un costo asociado a la obsolescencia de los repuestos.

Actualmente en la Gerencia Refinería de Barrancabermeja, el inventario de repuestos por concepto de equipo rotativo representa el 50% del valor total de materiales conservados en bodega, con tendencia al incremento. Dado lo anterior, surge la necesidad de implementar un sistema de control de inventarios, con el fin de determinar la cantidad óptima de repuestos a conservar en bodega para el cumplimiento de la estrategia de confiabilidad definida por la compañía.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo General. Definir la metodología para calcular el costo óptimo de inventarios para la especialidad de equipo rotativo en la gerencia refinería de Barrancabermeja.

1.2.2 Objetivos Específicos.

- Clasificar los equipos rotativos de la gerencia refinería Barrancabermeja de acuerdo con la norma ISO 14224(API689).
- Definir para cada familia de equipo rotativo los repuestos requeridos con demanda planeada y no planeada de acuerdo a la estrategia específica de cada familia.
- Calcular el valor promedio de repuestos por familia de equipo rotativo para determinar el valor del inventario que permita cumplir la estrategia de confiabilidad.
- Validar si las existencias actuales corresponden con los requerimientos identificados mediante la metodología propuesta en esta tesis de grado.

1.3 JUSTIFICACIÓN DEL PLAN PROPUESTO

En ECOPETROL S.A., se desarrollan planes y estrategias con el objetivo de disminuir los costos operacionales, mejorar la confiabilidad y mantener la disponibilidad de los equipos. Este trabajo busca generar un impacto económico positivo, debido a que permite gestionar de forma adecuada el cumplimiento de la estrategia de confiabilidad para la especialidad de equipo rotativo

Se busca la entrega de un objeto intermediador de conocimiento para calcular el valor óptimo de la bodega de materiales para los equipos rotativos haciendo explícita la secuencia de pasos que nos permita el aprendizaje organizacional.

La tabla 1 presenta los días de parada no programada de las unidades por concepto de equipo rotativo y que afectaron la producción de los departamentos por no disponibilidad de los repuestos requeridos.

Tabla 1. Días de parada no programada de equipo rotativo 2016 a 2018.

Unidad	Fch Reg Shdwn	Días	Categoría	Razón	Causa Raíz	Descripción
TG-2952: TURBOGENERADORES	16/01/2018 7:09	14.48	1b. Mantenimiento o paradas No Planeado	R02 Oportunidad de Mantenimiento	Causa inmediata: oscilación anormal del barraje de válvulas de turbina.	Se realiza parada del SG2952 para realizar inspección al sistema de barraje de válvulas de la turbina debido a incremento en la oscilación de dicho barraje.
U-1110: TTO DE ACEITE NAFT. CON H2	01/08/2018 6:51	11.03	1b. Mantenimiento o paradas No Planeado	R02 Oportunidad de Mantenimiento	En investigación.	El día 31 de julio de 2018 se saca de servicio la unidad de tratamiento nafténico, debido a que se requiere intervenir el C-1101/02B, ya que presenta pase por los sellos de las válvulas No.3 y 4 hacia el D-1110.
U-1110: TTO DE ACEITE NAFT. CON H2	23/07/2018 6:44	3.17	1a. Mantenimiento o Paradas Planeadas	R99 Otras	Mantenimiento del SC-1101/02AB	El día 19 de julio se saca de servicio la unidad de tratamiento nafténico debido a mantenimiento del SC-1101/02AB
U-1120: TTO DE CERAS CON H2	01/08/2018 6:54	10.88	1b. Mantenimiento o paradas No Planeado	R02 Oportunidad de Mantenimiento	En investigación.	El día 31 de julio de 2018 se saca de servicio la unidad de tratamiento de cera, debido a que se requiere intervenir el C-1101/02B, ya que presenta pase por los sellos de las válvulas No.3 y 4 hacia el D-1110.
U-1120: TTO DE CERAS CON H2	23/07/2018 6:41	3.92	1a. Mantenimiento o Paradas Planeadas	R99 Otras	Mantenimiento programado del SC-1101/02AB.	El día 19 de julio sale de servicio la unidad de tratamiento de cera por mantenimiento del C-1101/02AB.
B-2403: Caldera	11/01/2017 6:19	10.75	1b. Mantenimiento o paradas No Planeado	R10 Falla de Equipos	Posible daño en la chumacera lado acople.	Falla de la Chumacera lado acople de la Turbina del ventilador SUF2403, se encontró acople dañado.
U-1600: HYDEAL	03/04/2017 6:46	6.88	1b. Mantenimiento o paradas No Planeado	R10 Falla de Equipos	En investigación CI: Disparo C1601B	C-1601B presento disparo a las 11:27pm por altos valores de vibraciones en el sistema de monitoreo Bentley. Personal de mecánica realiza el retiro de los sensores y se encontró uno de ellos en falla, también reportaron la chumacera rayada. El equipo queda desacoplado y con SAS instalado.

Unidad	Fch Reg Shdwn	Días	Categoría	Razón	Causa Raíz	Descripción
U-2250: POLIETILE NO II	23/06/2017 7:56	2.11	1b. Mantenimiento o paradas No Planeado	R10 Falla de Equipos	En investigació n	Debido a la no disponibilidad de carga, por oportunidad se realiza la reparación del sello de gas de la 3ra etapa del C2252 (línea de venteo congelada y escape da gas por el cárter del compresor C2251/52).nto, se alinea vapor de 400 Psig y a las 12:48 del mediodía se verifica pase entre separadores.
U-2450: TURBOEX PANDER	27/09/2017 9:40	24.25	1b. Mantenimiento o paradas No Planeado	R10 Falla de Equipos	En investigació n posible desbalanceo de la máquina que genera roce interno lo cual impide su giro.	El día 25 de septiembre luego de la puesta de servicio del EXP-2451 se evidencia parada súbita a las 12:04 pm del equipo sin causa aparente se revisan condiciones operativas, se procede a poner en servicio el equipo mediante procedimiento pero no se evidencia giro de la máquina.
U-2450: TURBOEX PANDER	27/03/2017 8:27	19.69	1b. Mantenimiento o paradas No Planeado	R10 Falla de Equipos	Falla de en sellos de aceite del SC-2450	El día 24 de marzo desde las horas de la madrugada se evidencia perdida de nivel de aceite en la consola del SC-2450, a las 7:20am se decide parar la unidad por evidencia de aceite en la carcasa del compresor y bajo nivel de la consola de aceite, se realiza procedimiento de puesta del sistema de aceite de sello de la maquina pero no se obtienen resultados positivos, se define intervenir la máquina para revisar los sellos.
U-2450: TURBOEX PANDER	22/08/2017 6:40	2.17	1b. Mantenimiento o paradas No Planeado	R10 Falla de Equipos	Se encontró suelto el impulsor de la bomba, se encuentra en investigació n la causa básica.	El día 20 de agosto a las 11 am sale de servicio la unidad de turboexpander por falla de la SP-2453B del condensador de superficie del SC-2450.
U-2450: TURBOEX PANDER	10/07/2017 8:51	2.58	1b. Mantenimiento o paradas No Planeado	R10 Falla de Equipos	por definir	El día 8 de julio se presenta escape de aceite de lubricación en la entrada a la NP-2490, reforzadora de amina hacia la T-2490 se debe parar la bomba para corregir esta falla.
U-470: ACIDO (CRUDOS)	21/06/2017 8:23	18.82	1b. Mantenimiento o paradas No Planeado	R10 Falla de Equipos	Altas vibraciones lado compresor	La unidad sale de servicio por falla del compresor SC485, la valoración inicial indica incremento en las vibraciones, superior 5 mils.

Unidad	Fch Reg Shdwn	Días	Categoría	Razón	Causa Raíz	Descripción
U-470: ACIDO (CRUDOS)	02/10/2017 17:03	4.95	1b. Mantenimiento o paradas No Planeado	R02 Oportunidad de Mantenimiento	Daño en rodamiento por vibración excesiva	Debido a la parada de la unidad por los trabajos en el H472, se define por oportunidad realizar el cambio en los rodamientos del UI480. Durante la inspección se evidenció desgaste del eje, por esta razón cambia el alcance ya que fue necesario fabricar el eje del equipo.
B-2951: Caldera	28/09/2016 6:28	10.09	1b. Mantenimiento o paradas No Planeado	R10 Falla de Equipos	Causa inmediata: falla de rodamiento de la turbina. Causa básica: en investigación.	Se realiza apagada de la caldera SB2951 al detectarse escape de aceite por el lado empuje de la turbina del ventilador. Al realizar desmonte de la chumacera, se encuentra dicho componente con desprendimiento del babit.
TG-2953: TURBOGENERADORES	14/10/2016 7:09	4.08	1b. Mantenimiento o paradas No Planeado	R10 Falla de Equipos	Causa inmediata: falla del actuador del sistema de gobernación. Causa básica: en investigación.	Se realiza retiro del actuador del sistema de gobernación de la turbina para realizar reparación y pruebas en el taller del fabricante, como resultado de las pruebas realizadas al sistema el día 6 de octubre de 2016.
U-2450: TURBOEXPANDER	05/09/2016 8:11	13.31	1a. Mantenimiento o Paradas Planeadas	R99 Otras	inspección preventiva del acople del SC-2450	Salida de servicio de la unidad de turboexpander para inspección del acople del SC-2450.
U-470: ACIDO (CRUDOS)	22/08/2016 19:37	10.17	1b. Mantenimiento o paradas No Planeado	R10 Falla de Equipos	Operación inadecuada del equipo.	La unidad sale de servicio debido a la alta vibración del compresor SC485 por falla en componentes internos.

Fuente: ECOPETROL S.A. Histórico de eventos de parada no programadas. [En línea]. [Consultado el: 01 de septiembre de 2018].

2. MARCO TEÓRICO

El desarrollo de las técnicas de confiabilidad comienza en la segunda guerra mundial, como una respuesta a los rápidos desarrollos tecnológicos y a las intensas exigencias sobre los equipos donde se busca analizar sistemáticamente la causa de las fallas e incorporar los resultados en diseños mejorados.⁵

Con esta metodología se busca evaluar la confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad de sistemas u equipos reparables a través del tratamiento estadístico de su historial de fallas y reparaciones

La confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad, son prácticamente las únicas medidas técnicas y científicas, fundamentadas en cálculos matemáticos, estadísticos y probabilísticos, que tiene el mantenimiento para su análisis y su evaluación integral y específica; es a través de la técnica del CDM que se puede planear, dirigir, ejecutar y controlar totalmente la gestión y operación del mantenimiento.⁶

La confiabilidad depende de las fallas, la mantenibilidad de las reparaciones o de la eliminación de fallas o de los mantenimientos que se puedan realizar y la disponibilidad de ambos, de las fallas y reparaciones.

La metodología CDM, consiste en poder predecir el comportamiento futuro de los equipos como fallas o reparaciones (tiempos y fechas de ocurrencia), los tiempos

⁵ DU, Junrong. Evaluation of equipment reliability, availability and maintainability in an oil sands processing plant. [En línea]. Tesis de Maestría en Ingeniería Aplicada. Vancouver: University of British Columbia, 2008. 143 p. [Consultado el: 15 de septiembre de 2018]. Disponible en: <https://open.library.ubc.ca/cIRcle/collections/ubctheses/24/items/1.0067176>

⁶ MORA GUTIÉRREZ, Alberto. Mantenimiento Industrial Efectivo. Medellín: COLDI Editores, 2009. 340 p. ISBN: 958-33-8218-3.

útiles (duración y días en que ocurrirán), los mantenimientos planeados para su programación.

El análisis de criticidad es una metodología que permite jerarquizar y clasificar sistemas, instalaciones y equipos, en función del impacto global, con el fin de optimizar el proceso de asignación de recursos económicos, humanos y técnicos.

Realizando el análisis se define un alcance y propósito a través del establecimiento de criterios de importancia mediante un método de evaluación con el que se persigue jerarquizar los sistemas seleccionados.

El riesgo se define como la probabilidad por la consecuencia, donde la probabilidad es el número de fallos en un tiempo determinado y la consecuencia es el impacto operacional por la flexibilidad más los costos de mantenimiento más el impacto por HSE.

Los criterios definidos para el análisis de la probabilidad es la ocurrencia en términos de tiempo en la industria o al interior de la organización, tomando la ocurrencia al interior de la organización como un efecto mayor.

Los criterios definidos para el análisis de la consecuencia son: el impacto a las personas (Seguridad), costos operacionales o de mantenimiento (Económicas), impactos ambientales, imagen de la empresa y afectación a los clientes.

La figura 1, representa la herramienta con la cual se hace la valoración del riesgo.

Figura 1. Matriz para la valoración de riesgos RAM.

MATRIZ PARA VALORACIÓN DE RIESGOS ESTRATÉGICOS DE LOS MACROPROCESOS DE ECOPETROL										
CONSECUENCIAS					PROBABILIDAD					
Personas	Económicas USD	Ambientales	Imagen de la Empresa	Clientes		A Prácticamente imposible que ocurra el próximo año Ha ocurrido en la industria hace más de 10 años	B Poco probable que ocurra el próximo año Ha ocurrido en los últimos 10 años en ECOPETROL o en la industria	C Es posible que ocurra el próximo año Ha ocurrido en los últimos 5 años	D Bastante probable que ocurra el próximo año Ha ocurrido en el último año	E Ocurrirá con alto nivel de certeza el próximo año Ha ocurrido más de una vez en el último año
Una o más fatalidades	Catastrófica > \$10M	Masivo	Internacional	Veto a ECOPETROL como proveedor	5	M	M	H	H	VH
Incapacidad permanente (Parcial o Total)	Grave \$1M a \$10M	Mayor	Nacional	Pérdida de participación en el mercado	4	L	M	M	H	H
Incapacidad Temporal (> 1 día)	Severo \$100K a \$1M	Localizado	Regional	Pérdida de clientes y/o desabastecimiento	3	N	L	M	M	H
Lesión menor (Sin incapacidad)	Importante \$10K a \$100K	Menor	Local	Implica quejas y/o reclamos	2	N	N	L	L	M
Lesión leve (Primeros auxilios)	Marginal < \$10K	Leve	Interna	Genera riesgos de incumplir cualquiera de las especificaciones acordadas con el cliente	1	N	N	N	L	L
Ninguna lesión	Ninguna	Ningún Efecto	Ningún Impacto	Sin efectos	0	N	N	N	N	N

Fuente: ECOPETROL S.A. Instructivo para Uso de la Matriz RAM - ECP-DRI-I-007. Bogotá D.C.: La Compañía, 2008. 13 p.

En cuanto a los costos de mantenimiento, Luis Navarro Elola, Ana Clara Pastor Tejedor y Jaime Miguel Mugaburu, se refieren a la importancia y el cómo influye estos gastos en las finanzas. Dichos autores desglosan en cuatro bloques que se mencionan a continuación.⁷

Estos costos de mantenimiento lo componen diferentes aspectos entre los cuales cabe resaltar la mano de obra indirecta, las amortizaciones tanto de instalaciones productivas como de los edificios, los alquileres, seguros, materiales necesarios para realizar el mantenimiento preestablecido ya sea preventivo, predictivo, “hard time” etc.

⁷ NAVARRO ELOLA, Luis; PASTOR TEJEDOR, Ana y MUGABURU LACABRERA, Jaime. Gestión Integral De Mantenimiento. Barcelona: Marcombo S.A. 1997. 116 p. ISBN: 9788426711212.

Dicho esto, es posible concluir que estos gastos pueden garantizar un buen estado de los equipos o instalaciones a mediano y largo plazo, por lo que no es buena idea hacer muchas reducciones en su presupuesto, ya que supone un ahorro inmediato para la empresa, pero las reales consecuencias de no hacerlo son en su mayoría de costos mucho mayores.

Los costos variables se caracterizan porque depende o son proporcionales a la producción realizada, entre los cuales podemos encontrar los embalajes, portes, mano de obra directa, materias primas, energía, etc. y los costos variables de mantenimiento (la mano de obra y los materiales necesarios para el mantenimiento correctivo).

Entonces se puede deducir que a mayor uso de los equipos o instalaciones se eleva la probabilidad de que aparezcan daños o averías y se tenga que recurrir al mantenimiento correctivo.

Revisando estos los costos financieros desde el punto de vista de mantenimiento están ligados tanto a los repuestos de almacén (valor) como a las amortizaciones de las máquinas duplicadas (sistemas redundantes o “stand by”) para asegurar la producción no se vaya a detener.

No se deben olvidar dichos costos a los cuales se recurren por tener estos equipos, ya sea para poder hacerle un mantenimiento al equipo que se encuentra trabajando y no parar la producción, o para que apoye la producción en caso de una avería inesperada.

Los costos de fallo se refieren a todos aquellos costos que la empresa asume por motivos directamente relacionados con el mantenimiento.

2.1 DEFINICIONES Y CONCEPTOS GENERALES

Los conceptos básicos tratados en el desarrollo del proyecto relacionados con la gestión de mantenimiento, optimización del inventario de las bodegas de materiales, criticidad, se definen:

2.1.1 Mantenimiento. La combinación de todas las acciones técnicas y de gestión destinadas a mantener un elemento, o restaurarlo, a un estado en el que este pueda ejecutar las funciones requeridas (ISO 14224-2016).

De igual manera también se puede definir como "la combinación de todas las acciones técnicas, administrativas y de gestión, durante el ciclo de vida de un elemento destinadas a conservarlo o devolverlo a un estado en el cual pueda desarrollar la función requerida". (UNE-EN 13306-2017)

2.1.2 Mantenimiento correctivo. Mantenimiento realizado luego del reconocimiento de una falla y con el fin de llevar el ítem a un estado en el cual pueda realizar una función requerida.

2.1.3 Mantenimiento preventivo. Mantenimiento realizado en intervalos predeterminados o de acuerdo a criterios prescritos y con el fin de reducir la probabilidad de falla o la degradación de la funcionalidad del ítem.

2.1.4 Mantenimiento predictivo. Mantenimiento basado en la condición que se efectúa realizando pronóstico derivado del análisis y la evaluación de los parámetros significativos de la degradación de un ítem.

2.1.5 Confiabilidad. Es la probabilidad de que un ítem pueda desempeñar una función requerida bajo condiciones dadas y por un intervalo de tiempo establecido.

También se emplea como una medida de la confiabilidad del desempeño. Estudia la longevidad y el fallo de los equipos, empleando principios científicos y matemáticos para una mayor comprensión, identificando con ello mejoras que puedan introducirse para eliminar o en su defecto minimizar las consecuencias de los fallos.

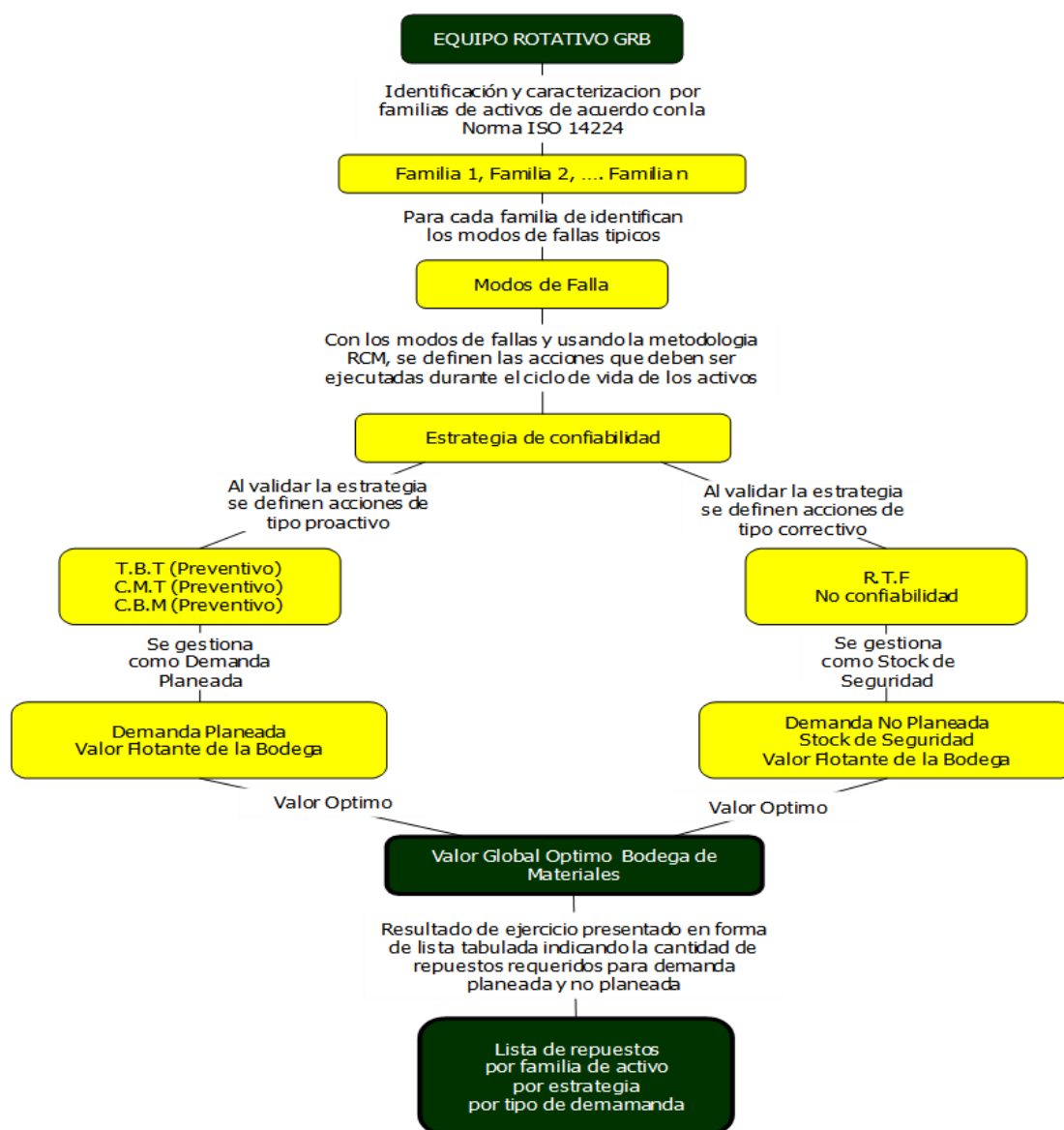
2.1.6 Mantenibilidad. Capacidad de un ítem bajo condiciones dadas de uso, de ser conservado o restaurado a un estado en el cual realice una función requerida, cuando se realiza mantenimiento bajo condiciones dadas y empleando procedimientos y recursos determinados. La mantenibilidad también se emplea como una medida del desempeño.

2.1.7 Disponibilidad. Es la probabilidad de que el equipo funcione satisfactoriamente en el momento que sea requerido y en condiciones estables. Estado en el cual se desempeña una función requerida bajo condiciones dadas en un instante o intervalo determinado de tiempo, asumiendo que se proveen los recursos externos requeridos. Depende de aspectos combinados de confiabilidad, mantenibilidad y soporte del mantenimiento. Los recursos externos requeridos, fuera de los de mantenimiento, no afectan la disponibilidad del ítem.

3. DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA

En la figura 2 se presenta el modelo conceptual para el desarrollo del ejercicio de validación del dimensionamiento y valor de la bodega de materiales para el cumplimiento de la estrategia de mantenimiento definida para los activos de la GRB.

Figura 2. Mapa conceptual proceso de optimización bodega de materiales GRB.



Para obtener el dimensionamiento y valor de la bodega requerida para el cumplimiento de la estrategia de mantenimiento se deben realizar las actividades descritas a continuación.

3.1 IDENTIFICACIÓN DE FAMILIA DE ACTIVOS

La identificación de la familia de activos se realiza de acuerdo a los estándares del instituto americano del petróleo API debido a que bajo estas normas se rigen ampliamente las industrias del petróleo y gas. Estas normas definen unas exigencias mínimas que estas industrias deben cumplir.

3.1.1 Criterios de clasificación. Para mantenimiento resulta relevante la medición de resultados, el registro de datos sistemáticos y ordenados bajo un único criterio para administrarlo como un negocio. La no continuidad de los registros, imposibilita establecer mecanismos de comparación con otras industrias de clase mundial.

Estos registros permiten alimentar cálculos; que serán elementos fundamentales en la toma de decisiones.

Esta norma internacional brinda una base para la recolección de datos de confiabilidad y mantenimiento en las diferentes áreas de la industria del petróleo y gas.

Ecopetrol S.A adopto la clasificación de los equipos rotativos de acuerdo con la norma ISO 14224 como herramienta para registrar eventos y experiencias, debido a que esta determina perfectamente los límites que constituyen cada equipo y lo toma dividiéndolo de mayor a menor jerarquía como clase, sistema, subsistema, ítem mantenible y componente de detalle y adicionalmente está orientada al registro

de fallas y alineada con las preguntas que se hacen en los RCM "¿Qué se puede hacer para prevenir los fallos?"

3.1.2 Datos característicos de equipos rotativos. La recopilación y validación de los datos característicos de los equipos rotativos a partir de la información disponible en el CMMS.

Con este ejercicio se valida la clasificación según API o estándar que aplique para cada equipo, marca o fabricante, potencia, tipo de transmisión (acople directo, poleas, cadena o caja de engranajes) y clasificación operativa (único, principal o auxiliar). En la tabla 2 se presenta el ejemplo de validación y recopilación de datos para compresores reciprocantes.

Tabla 2. Datos recopilados para compresores reciprocantes.

Ubicac.técnica	Tipo Equipo API	Pot.	Tipo Transmisión	Clasif. Operativa
RFB-2450-COMP-GASC-SC2453A	API 618	1000	Reductor	Principal
RFB-2450-COMP-GASC-SC2453B	API 618	1000	Acople directo	Auxiliar
RFB-2760-COMP-CDGA-SC2752A	API 618	800	Acople directo	Principal
RFB-2760-COMP-CDGA-SC2752B	API 618	800	Acople directo	Auxiliar
RFB-4100-SRFR-ETIL-SC4103A	API 618		Reductor	Principal
RFB-4100-SRFR-ETIL-SC4103B	API 618		Reductor	Auxiliar
RFB-4100-SRFR-PROP-SC4104A	API 618		Reductor	Principal
RFB-4100-SRFR-PROP-SC4104B	API 618		Reductor	Auxiliar
RFB-4100-SIND-ETIL-SC4109	API 618	500	Acople directo	Único
RFB-4500-STRA-MERO-SC4501A	API 618		Acople directo	
RFB-4500-STRA-MERO-SC4501B	API 618		Acople directo	
RFB-U560-SRFR-QUII-SC556	API 618		Acople directo	Único
RFB-2650-COMP-HIDR-SC2652A	API 618	1385	Acople directo	Principal
RFB-2650-COMP-HIDR-SC2652B	API 618	1385	Reductor	Auxiliar
RFB-2650-COMP-HIDR-SC2652C	API 618	1385	Acople directo	Principal
RFB-2650-SFRA-ACIM-SC2653A	API 618	600	Acople directo	Principal

Ubicac.técnica	Tipo Equipo API	Pot.	Tipo Transmisión	Clasif. Operativa
RFB-2650-SFRA-ACIM-SC2653B	API 618	600	Acople directo	Auxiliar
RFB-1100-COMP-HDFR-SC1101/2A	API 618	750	Acople directo	Principal
RFB-1100-COMP-HDRE-SC1101/2B	API 618	750	Acople directo	Auxiliar
RFB-1600-COMP-HCAR-SC1601A	API 618	500	Reductor	Principal
RFB-1600-COMP-HCAR-SC1601B	API 618	500	Reductor	Auxiliar
RFB-1700-SEST-GASC-SC1701	API 618	50	Acople directo	Único
RFB-2200-COMP-AIR1-SC2201/02	API 618	1250	Acople directo	Único
RFB-2200-COMP-AIR2-SC2203	API 618	1500	Acople directo	Único
RFB-2200-COMP-AIR2-SC2204	API 618	1500	Acople directo	Único
RFB-2250-COMP-AIR1-SC2251/52	API 618	1250	Acople directo	Único
RFB-2250-COMP-AIR2-SC2253	API 618	5000	Acople directo	Único

Fuente: ECOPETROL S.A. Caracterización equipos reciprocantes. [En línea]. [Consultado el: 01 de septiembre de 2018].

3.1.3 Sub-clasificación de familia de activos. Para los procesos de producción se cuenta con una gran variedad de compresores reciprocantes en cuanto a su número de etapas y tamaños, dado lo anterior se clasificaron de acuerdo con sus características de diseño como lo muestra la tabla 3.

Tabla 3. Clasificación definida para compresores reciprocantes.

SUBCLASIFICACIÓN PARA INVENTARIO
Compresor reciprocante Estándar - Refrigeración (baja potencia)
Compresor reciprocante Estándar - 1 Tiro
Compresor reciprocante Estándar - 2 Tiros
Compresor reciprocante Estándar - 3 Tiros
Compresor reciprocante Estándar - 4 Tiros
Compresor reciprocante - Hyper
Compresor reciprocante Estándar - Reductores de velocidad
Compresor reciprocante Estándar - Lubricación a cilindros

3.2 CICLO DE CORRIDA ENTRE INTERVENCIONES MAYORES

Una de las actividades que los ingenieros de confiabilidad e integridad de equipo rotativo deben asegurar en forma anticipada, es la definición del plan de mantenimiento del siguiente año, considerando información estadística y de desempeño de los equipos la cual se va recolectando mes a mes, mediante la ronda de monitoreo del ingeniero.

Esta información permite planificar la cantidad de intervenciones de mantenimiento que se requieren, de acuerdo con la estrategia de mantenimiento definida (basada en tiempo, por condición o a falla), para cada equipo y para cada uno de los modos de falla que presenten.

Este “plan de mantenimiento” permite realizar una aproximación de las horas hombre (HH) requeridas, así como del material necesario, buscando con ello obtener un porcentaje de equipo rotativo disponible que asegure la continuidad de los procesos operacionales de las plantas de la refinería de Barrancabermeja.

Después de realizado este ejercicio, se hace un ajuste con el presupuesto aprobado, que básicamente corresponde al presupuesto de la vigencia anterior (año anterior) más un porcentaje de incremento relacionado con la inflación.

Para el caso de la refinería de Barrancabermeja los costos de mantenimiento a equipo rotativo, cantidad de eventos de falla y días de parada no programada ocasionados por equipo rotativo.

Al realizarse el ajuste de la “planeación de mantenimiento”, de acuerdo con el presupuesto aprobado, se incrementa la probabilidad de solicitud de presupuestos adicionales durante la vigencia fiscal, esto buscando asegurar el cumplimiento de las estrategias de mantenimiento definidas para los activos de equipo rotativo, que

pueden clasificarse en: tareas basadas en el tiempo (TBT), tareas basadas en la condición (CBT) o tareas a falla (RTF), según los resultados de la aplicación de la metodología S-RCM.

Como resultado de este ejercicio se definen las cantidades requeridas de repuestos para lo que se ha denominado “demanda planeada”, de acuerdo con el alcance para cada frecuencia de mantenimiento. La “demanda planeada” está compuesta por los repuestos requeridos para intervenciones de tipo preventivo y predictivo.

La norma ISO 14224 define los modos de falla para cada familia de activos, estos modos de falla permiten la construcción de una base de información para estadísticamente analizar el comportamiento de los equipos e identificar las causas de fallas y con ello implementar las estrategias de mantenimiento que se deban implementar a lo largo de la vida útil de los activos.

Las tablas 4 y 5 representan los modos de falla que contempla la norma ISO 14224, allí se define el efecto por el cual una falla es observada. Estas tablas plantean los modos de falla más relevantes para las diferentes familias de equipos rotativos.

Para el caso de los compresores reciprocantes, para los cuales desde la estrategia de confiabilidad se definieron tres frecuencias de intervención (anuales, trianuales y cada seis años).

En la tabla 6 se presenta el planteamiento de la estrategia de mantenimiento para un compresor reciprocante.

Tabla 4. Modos de falla equipo rotativo Norma ISO 14224.

Equipment class (see Table A.4) ^a								Failure modes			
Cranes	Heat Exchangers	Heaters and boilers	Piping	Vessels	Winches	Turrets	Swivels	Description of failure mode	Examples	Code ^b	Type ^c
X	X	X	X	X	X			Abnormal instrument reading	False alarm, faulty instrument indication	AIR	2 (3)
X			X		X			Breakdown	Breakdown	BRD	3 (1)
	X			X				Insufficient heat transfer	Cooling/heating below acceptance	IHT	2
	X	X	X	X			X	External leakage process medium	Oil, gas, condensate, water	ELP	3
X	X	X		X			X	External leakage utility medium	Lubricant, cooling water, barrier oil	ELU	3
						X	X	Fail to connect	Fail to connect	FCO	1
X						X	X	Fail to function as intended	General operation failure	FTI	1(2)
X					X	X	X	Fail to rotate	Failure to rotate	FRO	1
X					X			Fail to start on demand	Fail to start on demand	FTS	1
					X			Fail to stop on demand	Fail to stop on demand	STP	1

Fuente: INTERNACIONAL STANDARDS ORGANIZATION. Petroleum, petrochemical and natural gas industries — Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment. ISO 14224. 2 ed. Ginebra: ISO, 2006. 178 p.

Tabla 5. Modos de falla equipo rotativo Norma ISO 14224.

Equipment class (see Table A.4) ^a								Failure modes			
Cranes	Heat Exchangers	Heat exchangers and boilers	Piping	Vessels	Winches	Turrets	Swivels	Description of failure mode	Examples	Code ^b	Type ^c
						X		Fall to disconnect	Fall to disconnect when demanded	FDC	2
		X						Insufficient heat transfer	Missing, or too low, heat transfer	IHT	2
X	X	X	X				X	Internal leakage	Leakage internally process or utility fluids	INL	3
							X	Low oil supply pressure	Low oil supply pressure	LBP	2
					X			Low output	Performance below specifications	LOO	2
X					X			Load drop	Load drop	LOA	2
						X		Loss of buoyancy	Loss of buoyancy in idle position	LOB	2
						X		Mooring failure	Mooring failure	MOF	2
X					X	X		Noise	Excessive noise	NOI	3
X		X	X		X			Overheating	Overheating	OHE	3
	X	X	X	X			X	Plugged/choked	Flow restriction due to contamination, objects, wax etc.	PLU	3
			X				X	Power/signal transmission failure	Power/signal transmission failure	PTF	2
X					X			Slippage	Wire slippage	SLP	2
X					X			Spurious operation	Unexpected operation	SPO	2
X	X	X	X	X	X	X	X	Structural deficiency	Material damages (cracks, wear, fracture, corrosion)	STD	3
X	X	X	X	X	X	X	X	Parameter deviation	Monitored parameter exceeding limits, e.g. High/Low alarm	PDE	2 (3)
X			X		X			Vibration	Excessive vibration	VIB	3
X	X	X	X	X	X	X	X	Minor in-service problems	Loose items, discoloration, dirt	SER	3
X	X	X	X	X	X	X	X	Other	Failure modes not covered above	OTH	-
X	X	X	X	X	X	X	X	Unknown	Too little information to define a failure mode	UNK	-

Fuente: INTERNACIONAL STANDARDS ORGANIZATION. Petroleum, petrochemical and natural gas industries — Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment. ISO 14224. 2 ed. Ginebra: ISO, 2006. 178 p.

Tabla 6. Estrategia para un compresor reciprocante.

EQUIPO	TIPO DE INTERVENCIÓN	
SC2253	Preventivo Anual:	Reparación General 6 Años:
	Realizar retorqueo de pernos de anclaje	Realizar lavado de la base para eliminar aceite y suciedad
	Realizar retorqueo puntos de lubricación a cilindros	Realizar inspección, limpieza y pintura de Base civil - Reparar Base Civil según condición.
	Realizar cambio filtros sistema lubricación de cárter	Realizar reparación de válvulas duales de los cilindros
	Realizar prueba de arranque automático bomba de lubricación del cárter	Realizar reparación de sellos de gas
	Realizar pruebas IPFs	Realizar metrología de los plunger
	Preventivo Trianual:	Realizar cambio de camisa según inspección/calibración
	Realizar lavado de la base para eliminar aceite y suciedad	Realizar cambio componentes acople plunger patín
	Realizar reparación de válvulas dual de los cilindros	Realizar cambio de cuñas de lubricación
	Realizar reparación de sellos de gas	Realizar cambio de cojinetes de bancada y biela
	Realizar metrología de la camisa	Realizar medida de flexión, torcedura y crush de las bielas
	Realizar metrología de los plunger	Inspeccionar y calibrar muñones del cigüeñal
	Cambiar componentes de acople con el patín por condición.	Realizar retorqueo de pernos de anclaje
	Inspección puntos de lubricación	Calibrar holguras del patín
	Realizar inspección cuñas de lubricación/ reparar por condición.	Inspeccionar estado de las zapatas del patín/ajustar run out
		Realizar lavado, limpieza del cárter
	Realizar retorqueo de pernos de anclaje	Realizar cambio total del aceite
	Calibrar holguras del patín	Realizar cambio de los puntos de lubricación a cilindros
	Realizar inspección punto de lubricación a cilindros y cambiar por condición.	Reapretar todas las tuercas de las barras fijas y hacer marca
		Revisar/cambiar zapatas planas de los yokes
	Realizar prueba de arranque automático bomba de lubricación del cárter	Realinear los yokes
		Reparar sello de aceite del cigüeñal
	Realizar pruebas IPFs	Soplar todas las líneas de lubricación y reapretar todas las conexiones
	Reparación General 12 Años:	
	Realizar lavado de la base para eliminar aceite y suciedad	Realizar inspección de los soportes, reparación de los que presenten falla.
	Realizar reparación de válvulas dual de los cilindros	
	Realizar reparación de sellos de gas	Realizar limpieza interna de todas las tuberías de gas asociadas al compresor para eliminar presencia de grasa y partículas.
	Realizar metrología de la camisa	
	Realizar metrología de los plunger	
	Cambiar componentes de acople con el patín por condición.	Mantenimiento de todas las válvulas de seguridad asociadas al compresor
	Inspección puntos de lubricación	
	Inspeccionar, calibrar y realizar ensayos no destructivos al Cigüeñal	Realizar prueba de arranque automático bomba de lubricación del cárter
	Realizar inspección cuñas de lubricación/ reparar por condición.	Mantenimiento de toda la instrumentación
		Realizar pruebas IPFs
	Realizar retorqueo de pernos de anclaje	Realizar pruebas en vacío de la máquina.
	Calibrar holguras del patín	
	Realizar inspección punto de lubricación a cilindros y cambiar por condición.	
	Realizar chequeo de línea de las bancadas	
	Realizar prueba de arranque automático bomba de lubricación del cárter	
	Realizar pruebas IPFs	

Fuente: ECOPETROL S.A. Caracterización equipos reciprocantes. [En línea].
[Consultado el: 01 de septiembre de 2018].

Para la intervención de seis años (overhaul), no se requiere comprar y mantener en bodega anualmente los repuestos correspondientes a este alcance, sin embargo, si se requiere saber cuál es el valor promedio que considera la compra de estas partes; para este efecto, se usa un factor de anualización para calcular el valor promedio de la bodega de materiales que corresponde a la fracción equivalente para el ciclo de corrida, en este caso del ejemplo el factor de los repuestos de overhaul sería $1/6$.

Para repuestos que no se requieren en bodega por su baja rotación y alto valor (un cilindro de un compresor), se definió incluirlos como demanda planeada anualizando el valor usando como factor datos estadísticos de TMEF referentes o experiencias propias de la GRB. Como ejemplo, el cigüeñal se anualizó usando como factor $1/30$, es decir, se estima que cada 30 años se puede presentar una falla de esta parte por lo que deberá ser reemplazada.

Los referentes de TMEF utilizados para este ejercicio, y tal como lo recomienda Heinz Bloch, fueron tomados utilizando diferentes guías como OREDA.⁸

En la figura 3 se presenta un ejemplo de fuente de información que fue utilizada como referente para definir la frecuencia de cambio de repuestos para demanda planeada, de acuerdo con información estadística disponible en el libro *Improving Machinery Reliability*.⁹

La escala propuesta por el autor corresponde con la frecuencia de cambio de las partes donde 1 es baja frecuencia (1 vez entre 6-8 años) y 5 es alta frecuencia (1 vez entre 1-2 años).

⁸ OREDA. Offshore Reliability Data Handbook. Hovik, Noruega: La Compañía, 2002. 835 p.

⁹ BLOCH, Heinz. *Improving Machinery Reliability*. Third Edition. Practical Machinery Management for Process Plants. Volumen 1. Houston, USA: Gulf Publishing Company, 1998. 680 p. ISBN: 0-88415-661-3.

Figura 3. Recomendaciones de repuestos para demanda planeada y no planeada.

Principal Component Failures Experienced by Major Machinery and Recommended Spare Parts			
Machinery and Component	Frequency	S/U Spares	Post S/U Spares
<i>Gear-speed increasers</i>			
Bearings	3	full set	full set
Bull gear	2	full spare	full spare
Pinion	2	full spare	full spare
Coupling	2	1 spare	1 spare
Oil seals	1	1 set	1 set
<i>Reciprocating compressors</i>			
Crankshaft	1	—	—
Cylinders, liners	2	1 set	1 set
Piston rods	2	partial	partial
Valves	5	2 sets	1 set
Crosshead guides	3	1 set	1 set
Crossheads	2	—	—
Crankshaft bearings	2	1 set	1 set
Connecting rods	1	—	—
Connecting-rod bearings	1	1 set	1 set
Lubricators	2	1 unit	1 unit
Pistons	2	—	—
Piston rings	2	1 set	partial set
<i>Centrifugal compressors</i>			
Bearings (journal)	4	1 full set	1 full set
Rotors (shafts/impellers)	3	spare rotor	spare rotor
Labyrinth packing	3	1 full set	1 full set
Bearings (thrust)	2	disc and pads	pads
Couplings	2	full spare	full spare
Seals	5	1 full, 1 wear part set	1 wear part set
<i>Steam turbines</i>			
Gland packing	4	full set	full set
Interstage packing	4	full set	full set
Bearings	4	full set	full set
Rotors	3	full spare	full spare
Nozzles	2	partial set	partial set
Diaphragms	2	—	—
Admission valves	2	packing 2 sets	packing 1 set
Governor	3	full spare	full spare
Hydraulic actuator	2	rebuild kit	rebuild kit
Governor drive gear	4	full spare	full spare
Turning gear	1	—	—
Nozzle-ring bolting	2	full set	full set
Trip throttle valve	1	internals	internals
<i>Electric motors</i>			
Bearings	3	1 set	1 set
Oil seals	2	1 set	1 set
Stator	3	1 unit	1 unit
Rotor	1	—	—
Fan	2	1 unit	1 unit
<i>Gas turbines</i>			
Combustors	3	full set	full set
Compressor rotor	2	full rotor	full rotor

Fuente: BLOCH, Heinz. Improving Machinery Reliability. Third Edition. Practical Machinery Management for Process Plants. Volumen 1. Houston, USA: Gulf Publishing Company, 1998. 680 p. ISBN: 0-88415-661-3.

Por otra parte, la “demanda no planeada” corresponde con el stock de seguridad que minimice el impacto en la disponibilidad operacional producto de eventos de falla y aquellos repuestos donde la estrategia de confiabilidad consideró con mejor relación costos/beneficios llevar una parte hasta la falla - RTF (Run To Failure).

En este caso, se considera que la demanda no planeada es el valor fijo de la bodega de materiales que cubre todos los eventos de falla, bien sea por no confiabilidad o por estrategia de partes que corren a falla (RTF).

Los criterios establecidos para determinar los repuestos requeridos en la demanda no planeada se establecen en:

- Tiempo medio entre fallas de las familias de activos.
- A: Costo de pedido por ítem.
- V: Costo unitario del ítem.
- r: Costo anual de almacenamiento= Costo de operar en bodega/Valor total del inventario.

Costo de operar en bodega= mano de obra, insumos, servicios públicos, seguros, instalaciones, infraestructura, impuestos, equipos, entre otros.

- Demanda esperada de consumo para el año o el consumo mensual promedio *12. $E(D)$.

Tomar mínimo las tres últimas órdenes de compra para hallar el promedio del Lead Time. Debe ser en meses o fracción.

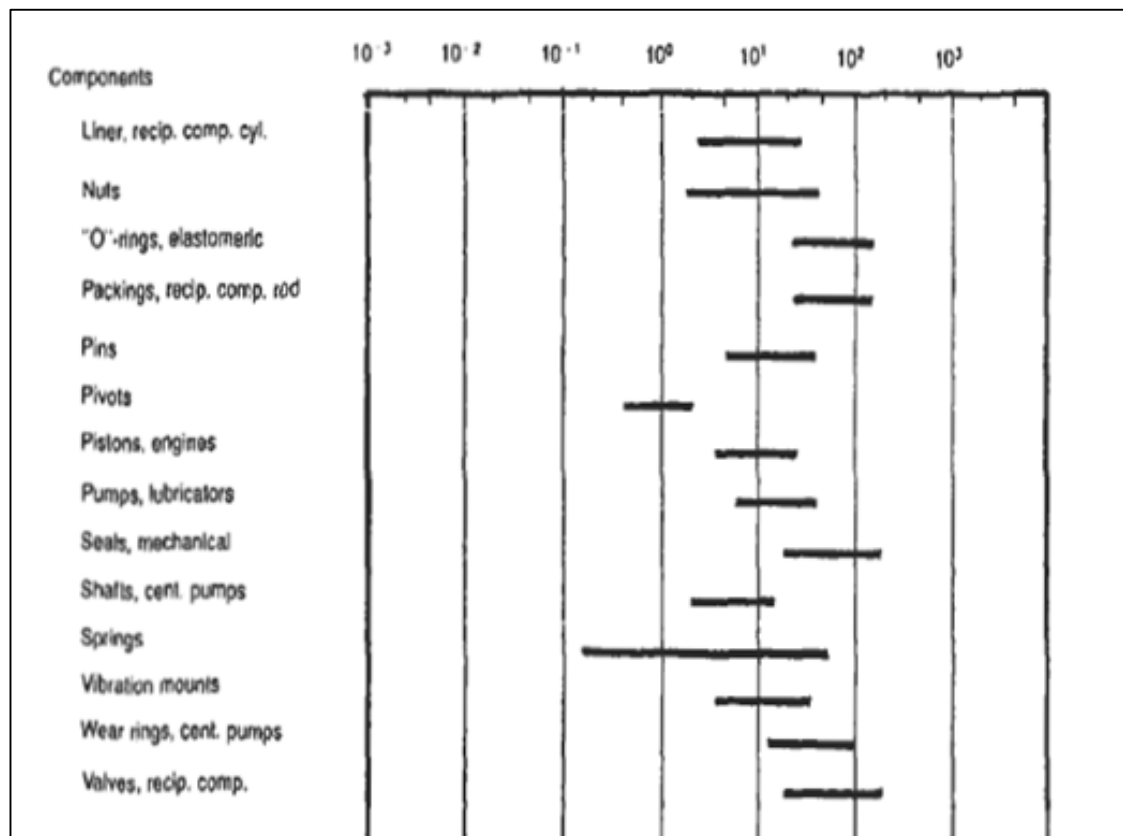
- Consumo mensual promedio: mínimo 36 meses, ideal 60 meses.
- Cantidad económica: corresponde a la cantidad que minimice los costos asociados a la administración del inventario (costo de comprar y costo de almacenar).

En esta parte del ejercicio aún no se ha tenido en cuenta los tiempos de entrega (lead time) de las partes para el stock de seguridad; posteriormente se deberá

verificar esto para la definición de los parámetros de re-orden y el stock mínimo que deberá mantenerse en bodega de materiales con el fin de cumplir la estrategia y que garantice la disponibilidad de materiales equivalente a la demanda no planeada anualizada en este documento.

En la Figura 4 se observan los rangos de tiempo de vida esperada para diferentes componentes seleccionados.

Figura 4. Tiempo de vida esperada para componentes seleccionados.



Fuente: BLOCH, Heinz. Improving Machinery Reliability. Third Edition. Practical Machinery Management for Process Plants. Volumen 1. Houston, USA: Gulf Publishing Company, 1998. 680 p. ISBN: 0-88415-661-3.

Para la determinación de los tiempos medios entre fallas de los equipos rotativos la información fue tomada de tres fuentes:

- Sistema de gestión de mantenimiento computarizado Ellipse, SAP, en la cual se registraron 1584 eventos de falla desde el año 2007 a 2014 y 636 del 2017 y 2018. Ver anexo D y anexo E
- Tiempo medio entre fallas típicos Shell global solutions. Ver anexo C.
- Tiempo de vida esperada tablas de Bloch.

Las recomendaciones de tiempo medios entre fallas de Shell, el tiempo de vida esperada de Bloch, el tiempo medio de entre fallas de equipos rotativos de la gerencia refinería de Barrancabermeja y con un componente adicional criticidad de los equipos por ASP extraído de SAP, determinaron el tiempo estimado para el cálculo de los repuestos requeridos para la demanda planeada de los equipos rotativos en la gerencia refinería de Barrancabermeja.

3.3 RESULTADOS OBTENIDOS

Una vez concluido el ejercicio de cálculo de valor de la bodega de materiales para la estrategia de equipo rotativo, los resultados obtenidos para cada familia de activos se muestran a continuación.

3.3.1 Compresores recíprocos. Los compresores recíprocos son máquinas de desplazamiento positivo en la que los volúmenes sucesivos de gas son confinados al interior de una cámara, reduciendo el volumen de la cámara a través de un pistón y aumentando la presión del gas en función de la relación del volumen inicial y del volumen final de la cámara elevándolo a una presión mayor.

Estos compresores funcionan bajo el principio adiabático mediante el cual ingresa el gas por las válvulas de admisión, se retiene y se comprime con el pistón al interior de un cilindro y el fluido del gas se entrega a través de las válvulas de descarga.

Este método de compresión de gases se basa en la conversión de energía cinética en energía potencial, al acelerar el fluido a una velocidad superior y luego al disminuirla transforma la energía cinética acumulada en energía potencial.

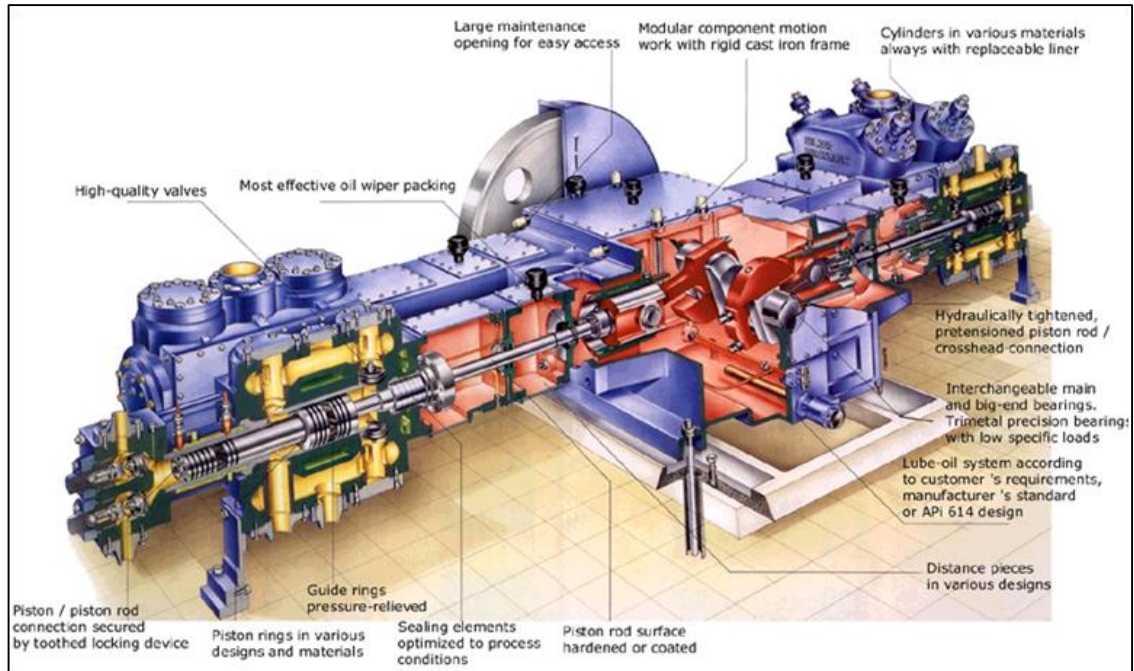
El elemento básico de compresión consiste en un solo cilindro en el que un lado del pistón es la que actúa sobre el gas (simple efecto). En otras unidades la compresión se realiza en ambos lados del pistón (doble efecto), actuando de la misma forma que si tuviéramos dos elementos básicos de simple efecto trabajando en paralelo dentro de una misma carcasa.

En la Figura 5 se presenta un compresor recíprocante con sus partes principales.

Para definir el valor de los repuestos se clasificaron los compresores recíprocantes de acuerdo con la cantidad de tiros. Un tiro (del inglés Throw) es un conjunto biela-patín-pistón que corresponde con la cantidad de cilindros instalados.

- Compresor recíprocante Estándar - 1 Tiro
- Compresor recíprocante Estándar - 2 Tiros
- Compresor recíprocante Estándar - 3 Tiros
- Compresor recíprocante Estándar - 4 Tiros
- Compresor recíprocante - Hyper
- Reductores de velocidad
- Lubricación a cilindros

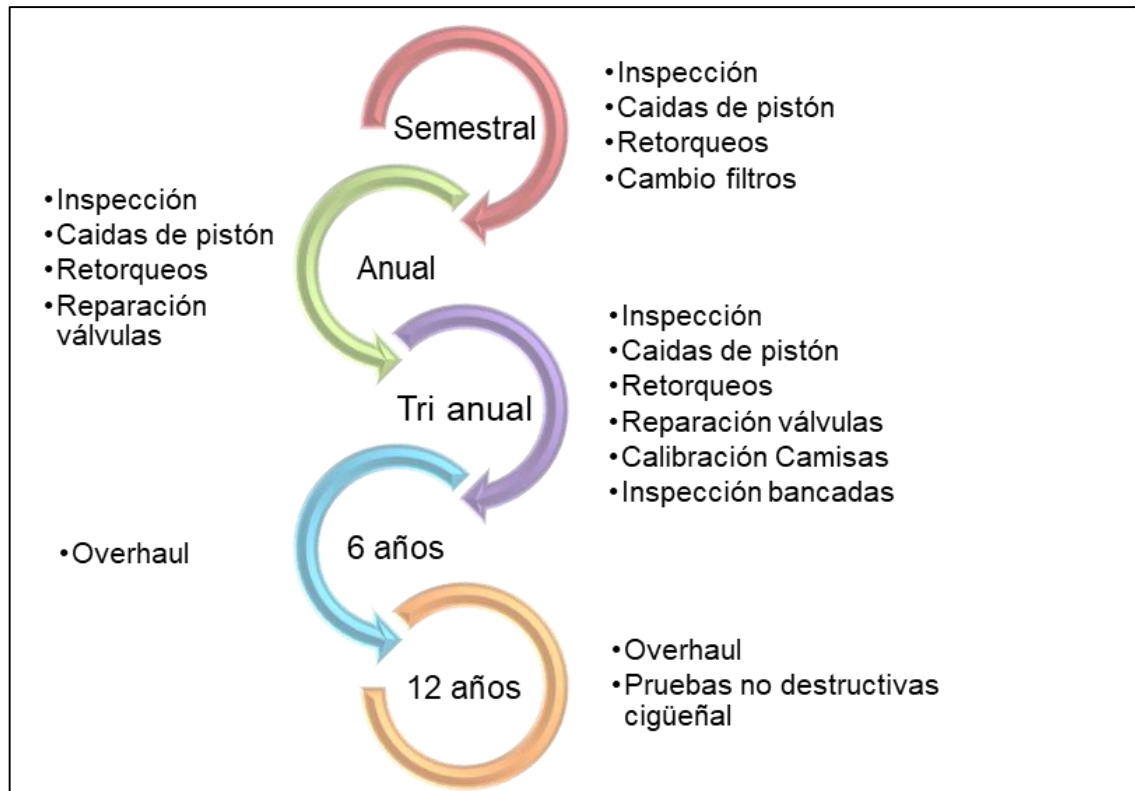
Figura 5. Compresor reciprocante.



Fuente: HOWDEN GROUP. Howden Thomassen Compressors. Rheden, Países Bajos: La Compañía, 2012. 16 p.

En la Figura 6 se presenta de forma esquemática la estrategia de mantenimiento definida para los compresores reciprocantes, la cual fue usada para la definición de los repuestos requeridos por demanda planeada.

Figura 6. Estrategia definida para el mantenimiento de compresores recíprocos.



La estrategia para los repuestos de demanda no planeada requeridos en bodega de materiales para los compresores Hyper puede verse en la tabla 7 y los compresores estándar en la tabla 8.

Tabla 7. Partes recomendadas Demanda no planeada para un compresor Hyper para 1 año.

UBICACIÓN	REPUESTO	CANT.	UBICACIÓN	REPUESTO	CANT.
CARTER	Main Bearings Complete	2	CILINDROS	Plate cyl yoke base bearing	1
	Thrust Shoe (Cap)	1		Head Outer	-
	Shims Set	1		Compression ring	3
	Gasket Frame Top Cover	-		Wedge back up ring	3
	Crankshafts	-		O-ring	3
	Gasket cover to baffle	-		Cylinders	2
	Gasket baffle to frame	-		Stud outer head flange	-
	Glass oil level gauge	1		nut outer head flange stud	-
	Outboard bearing -pillow block	1		Spacer outer head flange stud	-
	Filter frame lube oil	1		stud frame end plug	-
	Distance pieces	-		nut frame end plug stud	-
	Connecting rod complete	1		washer frame end stud nut	-
	Crankpin bearings set	1		stud disch conn flange	-
	Connecting rod pin bushing	1		nut disch conn flange stud	-
	Bolt conn rod	1		Valve-dual	2
	nut bolt	1		Valve-dual repair kit	2
	shim connecting rod set	1		Sleeve cyl outer end	2
PATÍN	Crosshead Complete	-		Packing case	2
	Crosshead pin bushing	1		spacer cyl bottom end	2
	Crosshead shoes	1		Plug cyl frame end	-
	Shim crosshead shoes	1		Packing plunger vent	-
	Sleeve crosshead pin pull in	1		rings renewal	2
	Gasket crosshead cover	-		Gasket renewal	2
	Pin crosshead	1		Case plg coolant pkg complete	2
	Cap crosshead pin	1		Gland coolant case	-
YOKE PATÍN AUXILIAR	Tie Rod-Cyl yoke to Fr Ext	-		O-ring gland	2
	Nut tie rod	-		Seal plunger coolant oil	2
	Plate yoke base BRG-Fixed	1		Tube cyl lubricator	2
	Nut Cyl flange stud	-		cone ring lubr tube	2
	Stud Cylinder flange	-		Adapter cyl lubr tube	2
	Yoke Cylinder drive	-		Sleeve cyl lubr tube	2
	Stud-rod clamping flange	1		gland nut lubr tube	2
	Shoe-cyl drive yoke	1		Plunger	2
	Shim drive yoke to shoe	1		Packing rings set	2
	Guide drive yoke to shoe	1		thrust bloc & adapter assembly	2
	Shim drive yoke show guide	1		sleeve-plg connection	-
	Rod Cyl drive	-		insert-plunger	2
	Stud Drive rod	-		lock nut plg connection	2
	nut drive rod stud	-		split collar-plg conn	2
	Lock drive rod stud nut	-		spring	2
	Dowel drive rod stud	1		flange plg clamping	-
				set screw flg adjusting	-
LUBRICACIÓN A CARTER	Filter Elements Lube System	2		nut jam	2
	Filter Cover Seals Oil System	-			
	Filter Back-Up Rings Oil System	1			
	Filter O Rings	1			

Tabla 8. Partes recomendadas demanda no planeada para un compresor estándar para 1 año.

UBICACIÓN	REPUESTO	CANT.	CANT.	CANT.	CANT.
		1 TIRO	2 TIRO	3 TIRO	4 TIRO
CARTER	Main Bearings Complete	1	2	2	3
	Thrust Shoe (Cap)	1	1	1	1
	Shims Set	1	1	1	1
	Gasket Frame Top Cover	-	-	-	-
	Crankshafts	-	-	-	-
	Gasket cover to baffle	-	-	-	-
	Gasket baffle to frame	-	-	-	-
	Glass oil level gauge	1	1	1	1
	Outboard bearing (pillow block)	1	1	1	1
	Filter frame lube oil	1	1	1	1
	Distance pieces	-	-	-	-
	Connecting rod complete	1	1	1	2
	Crankpin bearings set	1	1	1	2
	Connecting rod pin bushing	1	1	1	2
	shim connecting rod set	1	1	1	2
PATÍN	Crosshead Complete	-	-	-	-
	Crosshead pin bushing	1	1	1	2
	Crosshead shoes	1	1	1	2
	Shim crosshead shoes (set)	1	1	1	2
	Gasket crosshead cover	-	-	-	-
CILINDROS	Pin crosshead	1	1	1	1
	Cylinders	-	-	-	-
	Intermediate partition packing cases	-	2	3	4
	Intermediate partition packing rings set	1	2	3	4
	Cylinder gaskets	1	1	3	4
	Cylinder screws or bolt studs and nuts set	-	-	-	-
	Cylinder liners or Cylinder sleeves	1	2	3	4
	Cylinder heads	-	-	-	-
	Packing cases	-	-	-	-
	Packing case flange	-	-	-	-
	Piston rings set	1	2	3	4
	Wear bands (Rider rings) Set	1	2	3	4
	packing rings	1	2	3	4
	Oil wiper (scraper) packing	1	1	1	2
	Pistons	1	2	3	4
	Piston rods and tailrods	1	2	3	4
	Piston nut	1	2	3	4
	Suction valves complete	-	-	-	-
	Discharge valves complete	-	-	-	-
	Kit reparacion válvula succión	1	4	4	8
	Suction Valve springs set	1	4	4	8
	Kit de reparacion válvula descarga	1	4	4	8
	Discharge Valve springs set	1	4	4	8
	Crab	2	4	6	8
	Pocket or Clearance pocket	-	-	-	-
	Kit pocket	1	1	1	1
	Unloaders (valve actuator)	-	-	-	-
	Unloaders kit	1	1	1	1
	Unloader Gasket (valve actuator) set	1	1	1	1
LUBRICIÓN A CARTER	Filter Elements Lube System	2	2	2	2
	Filter Cover Seals Oil System	-	-	-	-
	Filter Back-Up Rings Oil System	1	1	1	1
	Filter O Rings	1	1	1	1

Los repuestos para la demanda planeada pueden verse en las tablas 9 y 10, para partes planeadas a ciclos operativos de entre 18 y 30 años.

Tabla 9. Partes recomendadas demanda planeada para un compresor Hyper para un ciclo entre Overhaules.

UBICACIÓN	REPUESTO	CANT.	UBICACIÓN	REPUESTO	CANT.
CARTER	Main Bearings Complete	5	CILINDROS	Plate cyl yoke base bearing	10
	Thrust Shoe (Cap)	2		Head Outer	5
	Shims Set	10		Compression ring	20
	Gasket Frame Top Cover	6		Wedge back up ring	20
	Crankshafts*	1		O-ring	20
	Gasket cover to baffle	2		Cylinders*	5
	Gasket baffle to frame	2		Stud outer head flange	28
	Glass oil level gauge	0		nut outer head flange stud	28
	Outboard bearing -pillow block	1		Spacer outer head flange stud	28
	Filter frame lube oil	0		stud frame end plug	28
	Distance pieces*	1		nut frame end plug stud	28
	Connecting rod complete	1		washer frame end stud nut	28
	Crankpin bearings set	3		stud disch conn flange	28
	Connecting rod pin bushing	3		nut disch conn flange stud	28
	Bolt conn rod	6		Valve-dual	5
	nut bolt	6		Valve-dual repair kit	10
	shim connecting rod set	6		Sleeve cyl outer end	10
PATÍN	Crosshead Complete*	1		Packing case	10
	Crosshead pin bushing	3		spacer cyl bottom end	10
	Crosshead shoes	6		Plug cyl frame end	10
	Shim crosshead shoes	6		Packing plunger vent	10
	Sleeve crosshead pin pull in	3		rings renewal	10
	Gasket crosshead cover	18		Gasket renewal	10
	Pin crosshead	3		Case plg coolant pkg complete	5
	Cap crosshead pin	6		Gland coolant case	0
YOKE PATÍN AUXILIAR	Tie Rod-Cyl yoke to Fr Ext	10		O-ring gland	10
	Nut tie rod	10		Seal plunger coolant oil	10
	Plate yoke base BRG-Fixed	10		Tube cyl lubricator	10
	Nut Cyl flange stud	38		cone ring lubr tube	10
	Stud Cylinder flange	38		Adapter cyl lubr tube	10
	Yoke Cylinder drive	3		Sleeve cyl lubr tube	10
	Stud-rod clamping flange	28		gland nut lubr tube	10
	Shoe-cyl drive yoke	5		Plunger	5
	Shim drive yoke to shoe	6		Packing rings set	10
	Guide drive yoke to shoe	5		thrust bloc & adapter assembly	10
	Shim drive yoke show guide	5		sleeve-plg connection	10
	Rod Cyl drive	5		insert-plunger	10
	Stud Drive rod	10		lock nut plg connection	5
	nut drive rod stud	10		split collar-plg conn	10
	Lock drive rod stud nut	10		spring	10
	Dowel drive rod stud	10		flange plg clamping	5
LUBRICACIÓN A CARTER	Filter Elements Lube System	12		set screw flg adjusting	20
	Filter Cover Seals Oil System	1		nut jam	40
	Filter Back-Up Rings Oil System	6			
	Filter O Rings	6			

Tabla 10. Partes recomendadas demanda planeada para un compresor estándar para un ciclo entre Overhaules (6 años).

UBICACIÓN	REPUESTO	CANT. 1 TIRO	CANT. 2 TIRO	CANT. 3 TIRO	CANT. 4 TIRO
CARTER	Main Bearings Complete	3	4	5	6
	Thrust Shoe (Cap)	2	2	2	2
	Shims Set	6	8	10	12
	Gasket Frame Top Cover	6	6	6	8
	Crankshafts*	1	1	1	1
	Gasket cover to baffle	2	2	2	2
	Gasket baffle to frame	2	2	2	2
	Glass oil level gauge	0	0	0	0
	Outboard bearing (pillow block)	1	1	1	1
	Filter frame lube oil	0	0	0	0
	Distance pieces*	1	1	1	1
	Connecting rod complete	1	1	1	1
	Crankpin bearings set	1	2	3	4
	Connecting rod pin bushing	1	2	3	4
	shim connecting rod set	1	2	3	4
PATÍN	Crosshead Complete*	1	1	1	1
	Crosshead pin bushing	1	2	3	4
	Crosshead shoes	2	4	6	8
	Shim crosshead shoes (set)	1	2	3	4
	Gasket crosshead cover	6	12	18	24
CILINDROS	Pin crosshead	1	2	3	4
	Cylinders*	1	1	1	1
	Intermediate partition packing cases	2	4	6	8
	Intermediate partition packing rings set	2	4	6	8
	Cylinder gaskets	6	12	18	24
	Cylinder screws or bolt studs and nuts set	1	2	3	4
	Cylinder liners or Cylinder sleeves	1	2	3	4
	Cylinder heads	1	2	3	4
	Packing cases	1	2	3	4
	Packing case flange	1	2	3	4
	Piston rings set	12	24	36	48
	Wear bands (Rider rings) Set	12	24	36	48
	packing rings	2	4	6	8
	Oil wiper (scraper) packing	2	4	6	8
	Pistons	0	0	0	0
	Piston rods and tailrods	1	2	3	4
	Piston nut	1	2	3	4
	Suction valves complete	2	8	14	16
	Discharge valves complete	2	8	14	16
	Kit reparacion válvula succión	4	16	28	32
	Suction Valve springs set	4	16	28	32
	Kit de reparacion válvula descarga	4	16	28	32
	Discharge Valve springs set	4	16	28	32
	Crab	4	16	28	32
	Pocket or Clearance pocket	2	2	4	4
	Kit pocket	2	2	4	4
	Unloaders (valve actuator)	2	4	6	8
	Unloaders kit	4	8	12	16
	Unloader Gasket (valve actuator) set	4	8	12	16
LUBRICIÓN A CARTER	Filter Elements Lube System	12	12	12	12
	Filter Cover Seals Oil System	1	1	1	1
	Filter Back-Up Rings Oil System	6	6	6	6
	Filter O Rings	6	6	6	6

El valor total de materiales requerido para el cumplimiento de la estrategia actual de mantenimiento de los compresores reciprocantes es de **\$20.976.000.000**.

En la tabla 11 se presenta el resumen de la demanda planeada y no planeada por cada sub-clasificación de compresores reciprocantes.

Tabla 11. Valor de materiales para la estrategia de compresores recíprocos.

Familia	Valor Total	Valor Total	Valor Total	Valor Total Estrategia
	Demanda Planeada Equipos OP	Demanda Planeada Equipos SB	Demanda No Planeada	
Compresor - 1 Tiro	\$118000000	\$30000000	\$431000000	\$579000000
Compresor - 2 Tiros	\$1363000000	\$487000000	\$3961000000	\$5811000000
Compresor - 3 Tiros	\$835000000	\$313000000	\$2080000000	\$3228000000
Compresor - 4 Tiros	\$734000000	\$122000000	\$2791000000	\$3647000000
Compresor - Hyper	\$1533000000	\$0	\$5487000000	\$7020000000
Reductores de velocidad	\$139000000	\$24000000	\$345000000	\$508000000
Lubricación a cilindros	\$65000000	\$16000000	\$102000000	\$183000000
TOTALES				\$20976000000

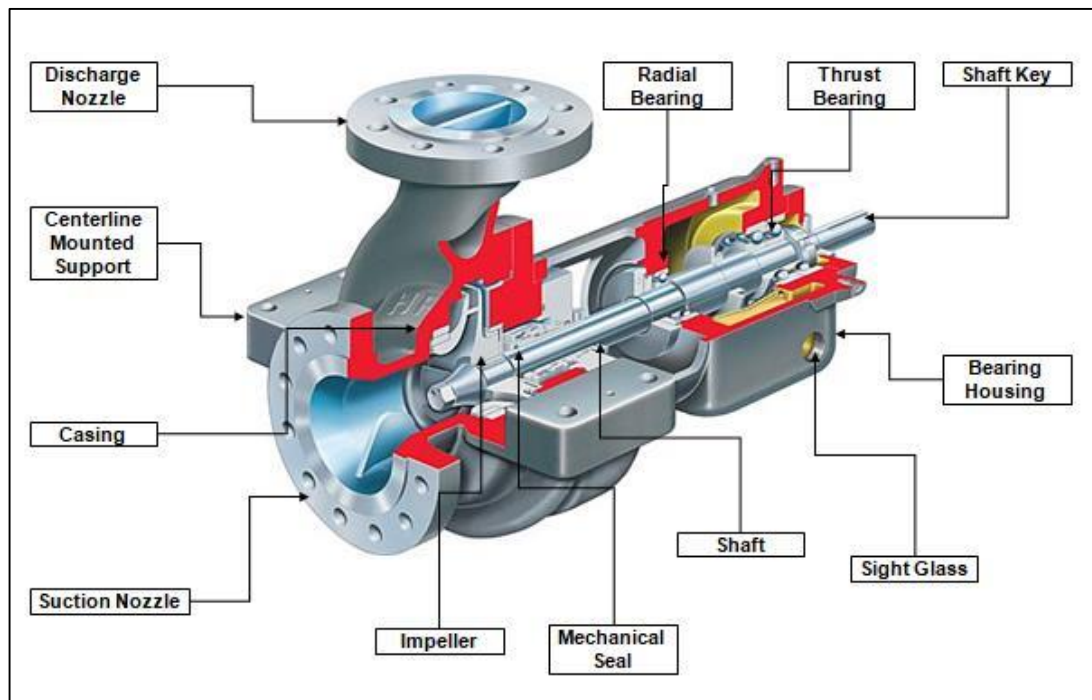
3.3.2 Bombas centrífugas. Una bomba centrífuga es una máquina que transforma la energía mecánica en hidráulica. Esta transformación es llevada a cabo por medio de un elemento móvil denominado impulsor, el cual gira al interior de otro elemento estático denominado cuerpo o carcasa de la bomba.

El impulsor y la carcasa disponen de un orificio anular para la entrada del líquido. Cuando el impulsor gira, imprime al líquido una velocidad y una presión que se adiciona a la que tenía a la entrada.

El fluido que se encuentra en el lado de succión es forzado a entrar al impulsor mediante presión atmosférica, u otra presión externa, al mismo tiempo que la fuerza centrífuga lo desplaza del centro hacia el exterior del impulsor, durante esta fase se imprime al líquido una gran velocidad debido a la fuerza centrífuga generada por la rotación del impulsor. Después de que el fluido sale del impulsor, la carcasa por su

geometría transforma la velocidad en presión. En la figura 7 se presenta una bomba centrífuga con sus partes principales.

Figura 7. Bomba centrífuga y sus partes.



Fuente: BOILERSINFO. Centrifugal Pump Components. [En línea]. [Consultado el: 13 de noviembre de 2018]. Disponible en: <https://boilersinfo.com/centrifugal-pump-components/>

El ejercicio de bombas centrífugas fue realizado clasificándolas de acuerdo con el estándar API 610 como:

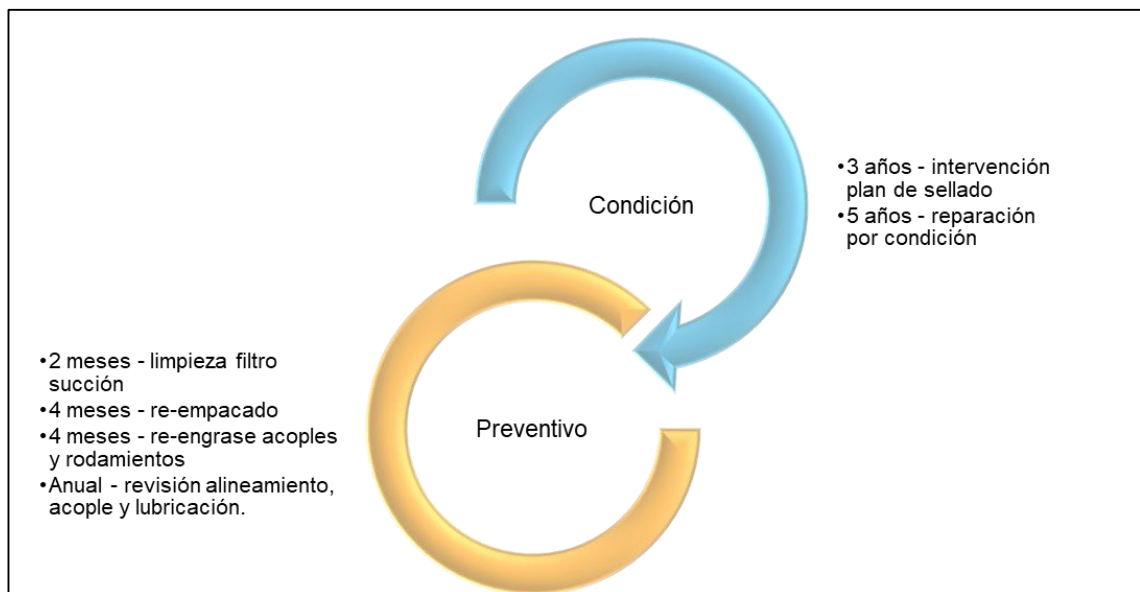
- API 610: OH1 y OH2
- API 610: OH3 a OH5
- API 610: OH6
- API 610: BB1 y BB2

- API 610: BB3
- API 610: BB4 y BB5
- API 610: VS1 y VS6
- API 610: VS2, VS3 y VS7
- API 610: VS4 y VS5

En algunos casos fue necesaria una sub-clasificación por potencia del equipo, buscando con ello agrupar los precios de partes y componentes en rangos cercanos de forma que el ejercicio permitiera obtener un valor más ajustado al real de bodega.

En la figura 8 se presenta de forma esquemática la estrategia definida para las bombas centrífugas, la cual fue usada para la definición de los repuestos requeridos por demanda planeada.

Figura 8. Estrategia definida para el mantenimiento de bombas centrífugas.



En las tablas 12, 13 y 14 se presentan los listados de repuestos por demanda no planeada requeridos para el cumplimiento de la estrategia de confiabilidad. En las tablas 15, 16 y 17 se presentan los repuestos requeridos por demanda planeada.

Tabla 12. Cantidad materiales demanda no planeada bombas tipo OH.

REPUESTOS	OH1 y OH2	OH3 a OH5	OH6
Bearing bracket	-	-	-
Bearing bracket Gasket	3	1	1
Case	-	-	-
Case Wear Rings	3	1	-
Casing Gasket Set	3	1	1
Coupling	-	-	-
Coupling Shims Set	2	-	1
Coupling Shims Set & Screws	1	-	-
Cover & Diffuser	-	-	1
Gear box housing	-	-	-
Gear Gasket Set	-	-	1
Gear High Speed Set	-	-	-
Gear Low Speed Set	-	-	-
Head	-	-	-
Impeller	-	-	-
Impeller Wear Rings	3	1	-
Mechanical Seal Complete	-	-	-
Oil Filter Set	-	-	-
Oil Pump Internal/External	-	-	-
Oil Ring	3	-	-
Oil Seal Set	3	1	1
Primary Face and Secondary O´ring Mechanical Seal Set	3	1	1
Radial ball bearings	3	1	1
Shaft	-	-	-
Shaft High Speed	-	-	1
Shaft Intermediate	-	-	-
Shaft Low Speed	-	-	-
Shaft sleeve	3	1	1
Thrust ball bearings	3	1	1

Tabla 13. Cantidad materiales demanda no planeada bombas tipo BB.

REPUESTOS	BB1 y BB2	BB3	BB4 y BB5
Bearing bracket	-	-	-
Bearing bracket Gasket	2	1	1
Case Wear Rings	2	1	1
Casing Gasket Set	2	1	1
Coupling	-	-	-
Coupling Shims Set	2	1	1
Down Case	-	-	-
Impeller	-	-	-
Impeller Wear Rings	2	1	1
Mechanical Seal Complete	-	-	-
Oil Ring	2	1	1
Oil Seal Set	2	1	1
Primary Face and Secondary O´ring Mechanical Seal Set	2	1	1
Radial ball bearings	1	-	-
Radial hydrodynamic bearing	-	-	-
Shaft	-	-	-
Shaft sleeve	2	1	1
Thrust ball bearings	2	-	1
Thrust hydrodynamic bearing	-	-	-
Thrust hydrodynamic bearing pads	-	-	-
Upper Case	-	-	-

Tabla 14. Cantidad materiales demanda no planeada bombas tipo VS.

REPUESTOS	VS1 y VS6	VS2, VS3 y VS7	VS4 y VS5
Bearing bracket	-	-	-
Bearing bracket Gasket	2	2	-
Bowls	-	-	-
Bowls Assembly	-	-	-
Bushings	2	2	1
Case Wear Rings	2	2	-
Casing Gasket Set	2	2	1
Column Assembly	-	-	-
Coupling	-	-	-
Coupling Shims Set	-	-	1
Discharge Head Assembly	-	-	-
Discharge Pipe	-	-	-
Gas Seal	-	-	1
Impeller	-	-	-
Impeller Wear Rings	2	2	-
Mechanical Seal Complete	-	-	-
Primary Face and Secondary O´ring Mechanical Seal Set	2	2	-
Shaft	-	-	-
Shaft sleeve	2	2	-
Spider or Spider bushing	-	-	-
Thrust ball bearings	2	2	1
Volute	-	-	-

Tabla 15. Cantidad de materiales demanda planeada bombas tipo OH.

REPUESTOS	OH1 y OH2	OH3 a OH5	OH6
Bearing bracket	3	-	-
Bearing bracket Gasket	-	-	-
Case	3	1	2
Case Wear Rings	-	-	-
Casing Gasket Set	-	-	-
Coupling	3	1	1
Coupling Shims Set	-	-	-
Coupling Shims Set & Screws	-	-	-
Cover & Diffuser	-	-	-
Gear box housing	-	-	1
Gear Gasket Set	-	-	1
Gear High Speed Set	-	-	1
Gear Low Speed Set	-	-	1
Head	3	1	1
Impeller	3	1	1
Impeller Wear Rings	-	-	-
Mechanical Seal Complete	3	1	1
Oil Filter Set	-	-	1
Oil Pump Internal/External	-	-	1
Oil Ring	-	-	-
Oil Seal Set	-	-	-
Primary Face and Secondary O´ring Mechanical Seal Set	-	-	-
Radial ball bearings	-	-	-
Shaft	3	1	-
Shaft High Speed	-	-	-
Shaft Intermediate	-	-	1
Shaft Low Speed	-	-	1
Shaft sleeve	-	-	-
Thrust ball bearings	-	-	-

Tabla 16. Cantidad materiales demanda planeada bombas tipo BB.

REPUESTOS	BB1 y BB2	BB3	BB4 y BB5
Bearing bracket	2	1	1
Bearing bracket Gasket	-	-	-
Case Wear Rings	-	-	-
Casing Gasket Set	-	-	-
Coupling	2	1	1
Coupling Shims Set	-	-	-
Down Case	2	1	1
Impeller	2	1	1
Impeller Wear Rings	-	-	-
Mechanical Seal Complete	2	1	1
Oil Ring	-	-	-
Oil Seal Set	-	-	-
Primary Face and Secondary O´ring Mechanical Seal Set	-	-	-
Radial ball bearings	-	-	-
Radial hydrodynamic bearing	1	1	1
Shaft	2	1	1
Shaft sleeve	-	-	-
Thrust ball bearings	-	-	-
Thrust hydrodynamic bearing	-	1	-
Thrust hydrodynamic bearing pads	-	1	-
Upper Case	2	1	1

Tabla 17. Cantidad materiales demanda planeada bombas tipo VS.

REPUESTOS	VS1 y VS6	VS2, VS3 y VS7	VS4 y VS5
Bearing bracket	-	-	1
Bearing bracket Gasket	-	-	-
Bowls	2	1	-
Bowls Assembly	-	1	-
Bushings	-	-	-
Case Wear Rings	-	-	-
Casing Gasket Set	-	-	-
Column Assembly	2	2	1
Coupling	2	2	1
Coupling Shims Set	-	-	-
Discharge Head Assembly	2	2	-
Discharge Pipe	-	-	1
Gas Seal	-	-	
Impeller	2	2	1
Impeller Wear Rings	-	-	-
Mechanical Seal Complete	2	2	-
Primary Face and Secondary O´ring Mechanical Seal Set	-	-	-
Shaft	2	2	1
Shaft sleeve	-	-	-
Spider or Spider bushing	2	2	1
Thrust ball bearings	-	-	-
Volute	-	-	1

En la tabla 18 se presenta el resumen de la demanda planeada y no planeada por cada sub-clasificación de compresores reciprocantes.

El valor total de materiales requerido para el cumplimiento de la estrategia actual de mantenimiento de las bombas centrifugas es de **\$35.079.000.000**.

Tabla 18. Valor de materiales para bombas centrífugas.

Clasificación Bombas por API 610	Total Demanda Planeada	Total Demanda No Planeada	Total Estrategia
API 610: BB1 y BB2	\$1379000000	\$4238000000	\$5617000000
API 610: BB3	\$1031000000	\$2245000000	\$3276000000
API 610: BB4 y BB5	\$172000000	\$563000000	\$735000000
API 610: OH1 y OH2	\$4117000000	\$16079000000	\$20196000000
API 610: OH3 a OH5	\$233000000	\$720000000	\$953000000
API 610: OH6	\$172000000	\$838000000	\$1010000000
API 610: VS1 y VS6	\$637000000	\$1880000000	\$2517000000
API 610: VS2, VS3 y VS7	\$134000000	\$343000000	\$477000000
API 610: VS4 y VS5	\$97000000	\$201000000	\$298000000
Total general	\$7972000000	\$27107000000	\$35079000000

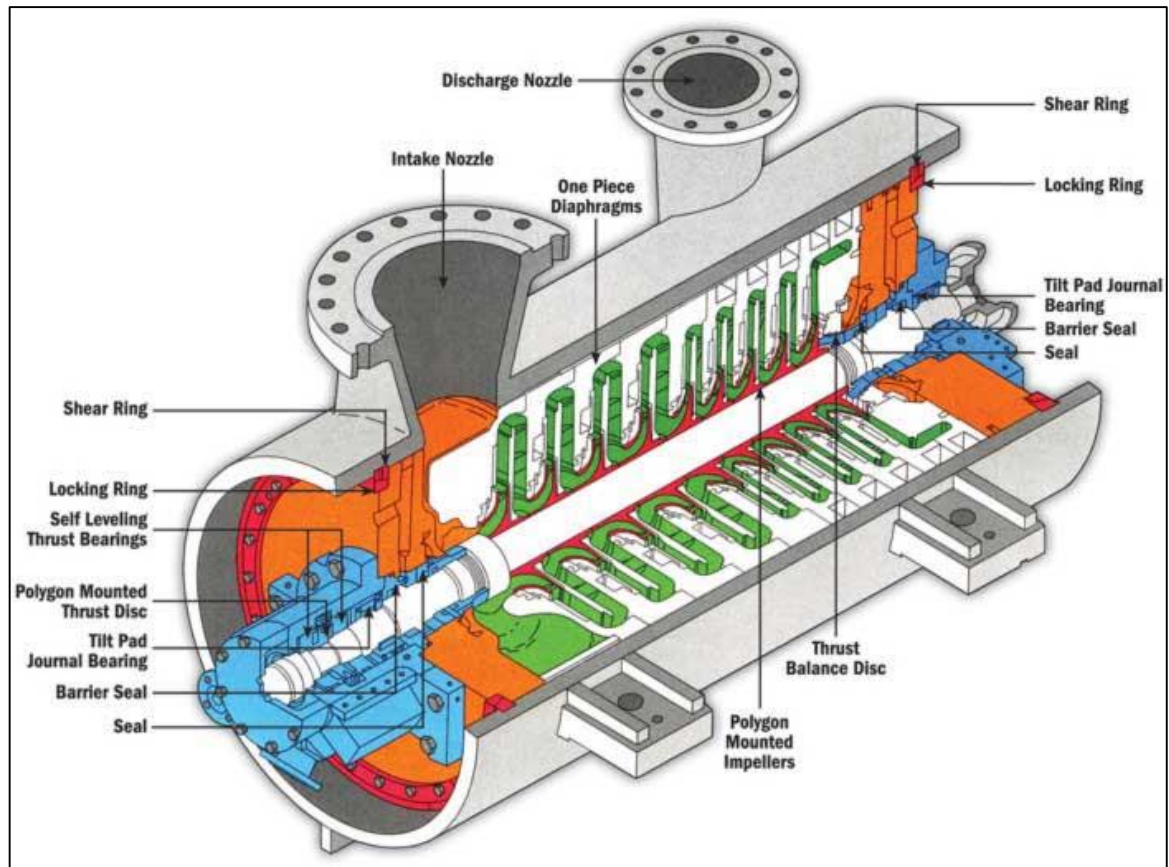
3.3.3 Compresores centrífugos. El compresor centrífugo es una máquina rotativa en la cual el gas ingresa cerca de su eje en forma axial, este gas es comprimido por la acción dinámica de los alabes giratorios de uno o más impulsores y es expulsado radialmente por la fuerza centrífuga impresa por el movimiento del impulsor.

El aire sale a gran velocidad del impulsor y posteriormente es tomado por el difusor donde la energía cinética del aire se transforma en energía potencial en forma de presión; el o los impulsores logran esta transmisión de energía variando el momento y la presión del gas. El momento (relativo a la energía cinética) se convierte en energía de presión útil al perder velocidad el gas en el difusor del compresor u otro impulsor.

El caudal mínimo de un compresor centrífugo está limitado principalmente por el flujo en la última etapa.

En la figura 9 se presenta un compresor centrífugo con sus partes principales.

Figura 9. Compresor centrífugo.



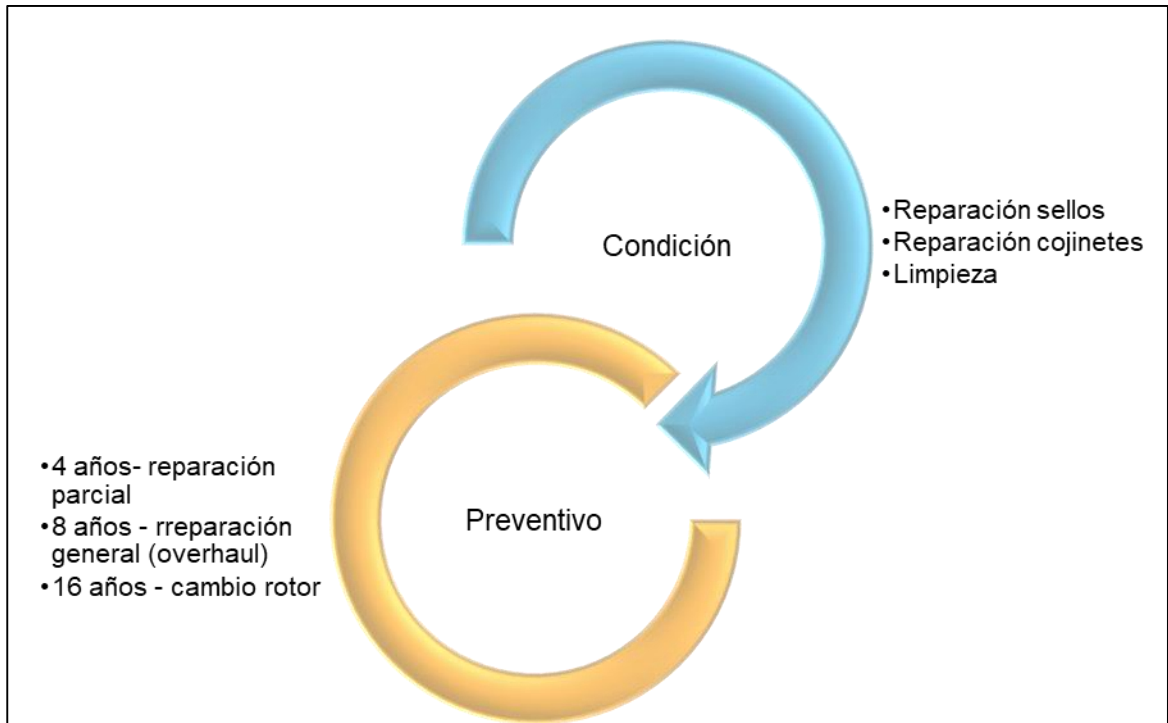
Fuente: BLOCH, Heinz. Compressor Lubrication Best Practices. [En línea]. [Consultado el: 10 de septiembre de 2018]. Disponible en: <https://www.machinerylubrication.com/Read/488/compressor-lubricants>.

Para definir el valor de los repuestos se clasificaron los compresores centrífugos de acuerdo con su potencia.

- Compresor centrifugo menor a 7000 HP.
- Compresor centrifugo entre 7000 y 9000 HP.
- Compresor centrifugo mayor a 9000 HP.

En la figura 10 se presenta de forma esquemática la estrategia definida para los compresores centrífugos, la cual fue usada para la definición de los repuestos requeridos por demanda planeada.

Figura 10. Estrategia definida para el mantenimiento compresores centrífugos.



La estrategia para los repuestos requeridos en bodega de materiales se definió de forma general un compresor estándar. En las Tablas 19, 20 y 21 se presentan la estrategia de repuestos para compresores centrífugos.

Tabla 19. Cantidad materiales para un compresor centrífugo <7000 HP.

Repuestos	Cantidad Demanda Planeada (Pvo+Pd)	Cantidad Demanda No Planeada (RTF + Fallas)
Bearing	3	3
Capscrew	20	
Caulking lead	1	
Collar, retaining	1	
Coupling, shaft, flexible	1	
Coupling, shaft, rigid	1	
Deflector, dirt and liquid	4	
Diaphragm, assembly	4	
Disc pack, flexible set	1	
Disc, thrust	1	1
Housing, labyrinth seal.	1	
Lining, friction	1	
Nut, self-locking, hexagon	1	
Oring, gasket, key, nut, bolt, screw, washer, shim, spring	1	
Pad	5	5
Ring, bearing, thrust	1	1
Ring, impeller intake	4	
Seal ring assembly, labyrinth	12	
Sello seco	2	2
Sello isocarbon	2	2
Sello de carbones	2	2
Sello de laberinto	2	2
Sello pelicula fluida	2	2
Shell, bearing thrust	2	
Shell, plain bearing	2	
Seal, oil	3	
Rotor assembly	1	

Tabla 20. Cantidad materiales para un compresor centrífugo entre 7000 HP y 9000 HP.

Repuestos	Cantidad Demanda Planeada (Pvo+Pd)	Cantidad Demanda No Planeada (RTF + Fallas)
Bearing	3	3
Capscrew	20	
Caulking lead	1	
Collar, retaining	1	
Coupling, shaft, flexible	1	
Coupling, shaft, rigid	1	
Deflector, dirt and liquid	4	
Diaphragm, assembly	6	
Disc pack, flexible set	1	
Disc, thrust	1	
Nut, self-locking, hexagon	1	
Oring, gasket, key, nut, bolt, screw, washer, shim	1	
Pad	5	5
Ring, bearing, thrust	1	1
Retainer	1	
Seal ring assembly, labyrinth	12	
Sello isocarbon	2	2
Sello de laberinto	2	2
Sello pelicula fluida	2	2
Seal, oil	3	

Tabla 21. Cantidad materiales para 1 compresor centrífugo mayor a 9000 HP.

Repuestos	Cantidad Demanda Planeada (Pvo+Pd)	Cantidad Demanda No Planeada (RTF + Fallas)
Bearing	3	3
Capscrew	20	
Collar, retaining	1	
Coupling, shaft, rigid	1	
Deflector, dirt and liquid	4	
Diaphragm, assembly	8	
Disc, thrust	1	
Nut, self-locking, hexagon	1	
Oring, gasket, key, nut, bolt, screw, washer, shim		
Pad	5	5
Ring, bearing, thrust	1	1
Retainer	1	
Seal ring assembly, labyrinth	12	
Sello de laberinto	2	2
Seal, oil	3	

El valor total de materiales requerido para el cumplimiento de la estrategia actual de mantenimiento de los compresores centrífugos es de **\$10.080.000.000**, dicho valor no incluye el valor de los rotores nuevos que se encuentran en bodega.

En la Tabla 22 se presenta el resumen de la demanda planeada y no planeada por cada sub-clasificación de compresores centrífugos.

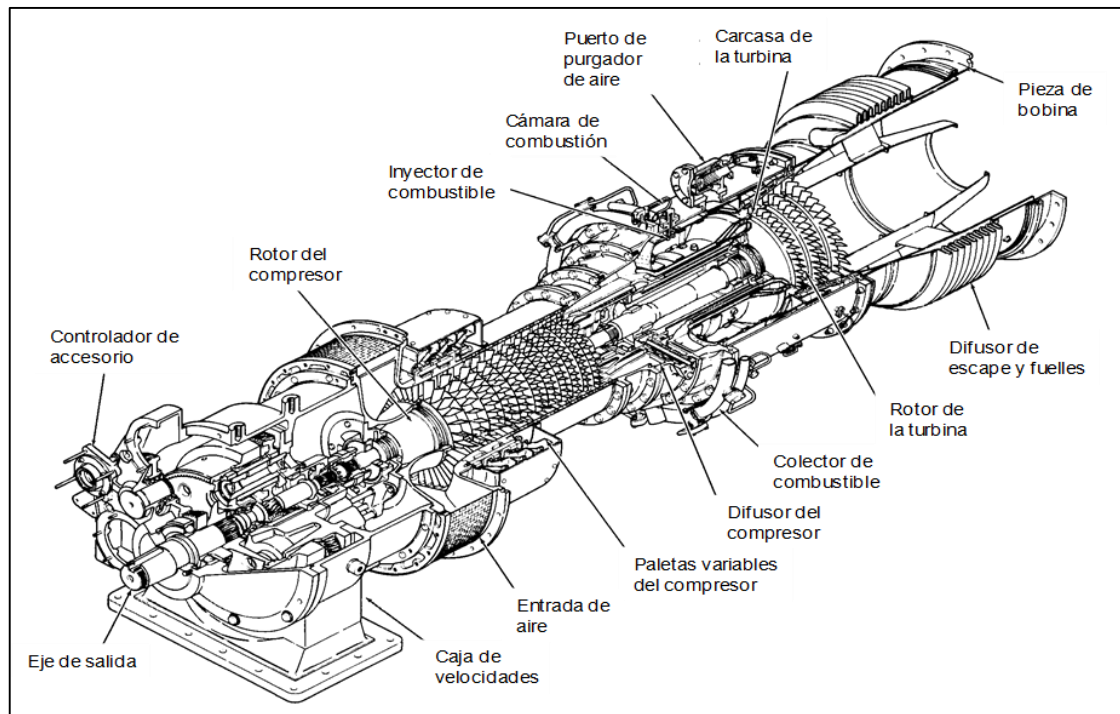
Tabla 22. Valor de materiales para la estrategia de compresores Centrífugos.

Familia	Valor Total Demanda Planeada Equipos OP	Valor Total Demanda No Planeada	Valor Total Estrategia
Compresor centrífugo menores a 7000 Hp	\$2057000000	\$4884000000	\$6941000000
Compresor centrífugo entre 7000 y 9000 Hp	\$1045000000	\$1745000000	\$2790000000
Compresor centrífugo mayor a 9000 Hp	\$143000000	\$206000000	\$349000000
TOTALES			\$10080000000

3.3.4 Turbinas de propósito especial. Las turbinas de propósito especial son máquinas rotativas, el aire aspirado a la presión atmosférica, se comprime mediante un compresor, durante este proceso se eleva su temperatura, el aire es conducido a la cámara de combustión, en la cámara de combustión se inyecta el combustible que arde en forma continuada y suave; los gases calientes de la combustión se expanden en los álabes de la turbina, es allí donde se desarrolla el trabajo útil y posteriormente salen a la atmósfera a través del conducto de escape; una vez en servicio la turbina se acciona el compresor; el ciclo desarrollado se conoce como ciclo Brayton; tanto la compresión como la expansión se realizan en una sola etapa.

En la figura 11 se presenta una turbina de propósito especial con sus partes principales.

Figura 11. Turbina de propósito especial.



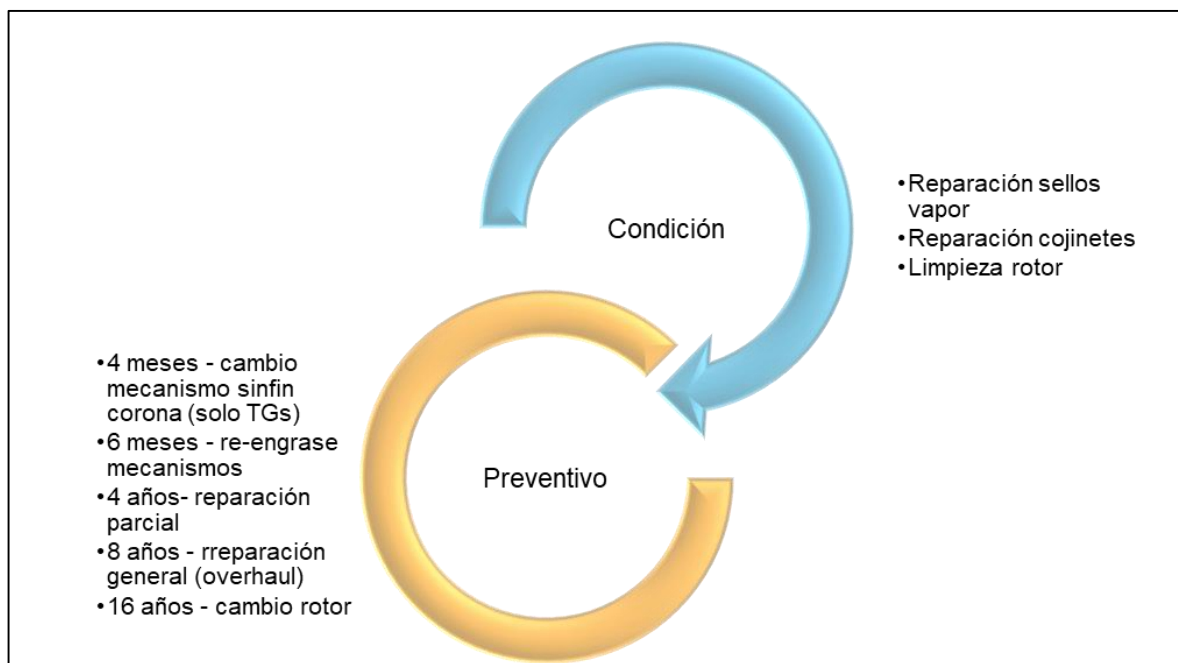
Fuente: GENERAL ELECTRIC COMPANY. Power Plants Specifications. Atlanta, USA: La Compañía, 2017. 18 p.

Para definir el valor de los repuestos se clasificaron las turbinas de acuerdo con su potencia.

- Turbina de propósito especial (menor a 8000 HP).
- Turbina de propósito especial (9000-15000 HP).
- Turbina de propósito especial (mayor que 15000 HP).

En la figura 12 se presenta de forma esquemática la estrategia definida para las turbinas de vapor de propósito especial, la cual fue usada para la definición de los repuestos requeridos por demanda planeada.

Figura 12. Estrategia definida para el mantenimiento turbinas de propósito especial.



La estrategia para los repuestos requeridos en bodega de materiales se definió de forma general una turbina estándar. En las tablas 23, 24 y 25 se presentan los

repuestos requeridos para el cumplimiento de la estrategia definida para esta familia de activos.

Tabla 23. Cantidad materiales para una turbina Propósito Especial < 8000 HP.

Repuestos	Cantidad Demanda Planeada (Pvo+Pd)	Cantidad Demanda No Planeada (RTF + Fallas)
Anillo de toberas	1	
Arandela axial	1	
Collar, thrust	1	1
Corona del sin fin	1	1
Deflector-vapor	2	
Diafragma, assembly ;diaphragm	6	
Oil pump assembly	1	
packing assembly interetapas	6	
stuffing box ;box packing sellos externos	2	
Ring, retaining ;ring nozzle	15	
Seal oil, assembly	3	
Pad bearing	1	1
Bearing	3	3
Worm ;turning gear worm, dwg:le133050a,	1	1
Lining friction	1	
Bolt	20	
Housing bearing ;primary relay	1	
Governor ;		
Pin ;valve lever pin,	1	
Plunger, actuator ;assembly, fig.4-7, it	1	
Empaques restriccion	1	1
Valve pilot	1	1
Linkage assembly	1	
Bushing ;for pilot valv,	2	1
Bushing ;for relay valve,	2	1
Actuator, mechanical ;	1	
Set ring piston	1	1
Tren de válvulas		
Set resorte tren de válvulas	1	1

Repuestos	Cantidad Demanda Planeada (Pvo+Pd)	Cantidad Demanda No Planeada (RTF + Fallas)
Rod, piston, linear actuating cylinder ;	2	
Bujes barraje gob.	2	1
Gear ;camshaft gear,	1	
Seat, valve ;	5	1
Stem, valve ;	5	1
Bar, lifting ;lifting bar. Item 64	2	
Válvula trip		
Asiento del resorte	1	
Asiento válvula	1	1
Packing box, trip valve	1	1
Piston de válvula de disparo	1	
Ring, oil control ;body ring, type st. S	1	1
Seal ring, metal ;material: bronze	1	1
Spring ;	1	
Valve & stem assembly	1	
Disparo completo		
Plate ;body trigger;	1	1
Plug, trip ;item 14, according to part I	1	1
Spring ;emergency spring, item 1979,	1	1
Trip, assembly ;	1	
Stopper, emergency ;		
trigger ;emergency trigger kit	1	1
trigger ;emergency trigger kit	1	1
filtro de vapor	1	
pickup, speed ;	1	
turning gear kit	1	

Tabla 24. Cantidad materiales para una turbina Propósito Especial entre 9000 y 15000 HP.

Repuestos	Cantidad Demanda Planeada (Pvo+Pd)	Cantidad Demanda No Planeada (RTF + Fallas)
Anillo de toberas	1	
Arandela axial	1	
Collar, thrust	1	1
Corona del sin fin	1	1
Deflector-vapor	2	
Diafragma, assembly ;diaphragm	6	
Oil pump assembly	1	
packing assembly interetapas	6	
stuffing box ;box packing sellos externos	2	
Ring, retaining ;ring nozzle	15	
Seal oil, assembly	3	
Pad bearing	1	1
Bearing	3	3
Worm ;turning gear worm, dwg:le133050a,	1	1
Lining friction	1	
Bolt	20	
Housing bearing ;primary relay	1	
Governor ;		
Pin ;valve lever pin,	1	
Plunger, actuator ;assembly, fig.4-7, it	1	
Empaques restriccion	1	1
Valve pilot	1	1
Linkage assembly	1	
Bushing ;for pilot valv,	2	1
Bushing ;for relay valve,	2	1
Actuator, mechanical ;	1	
Set ring piston	1	1
Tren de válvulas		
Set resorte tren de válvulas	1	1
Rod, piston, linear actuating cylinder ;	2	
Bujes barraje gob.	2	1
Gear ;camshaft gear,	1	
Seat, valve ;	5	1

Repuestos	Cantidad Demanda Planeada (Pvo+Pd)	Cantidad Demanda No Planeada (RTF + Fallas)
Stem, valve ;	5	1
Bar, lifting ;lifting bar. Item 64	2	
Válvula trip		
Asiento del resorte	1	
Asiento válvula	1	1
Packing box, trip valve	1	1
Piston de válvula de disparo	1	
Ring, oil control ;body ring, type st. S	1	1
Seal ring, metal ;material: bronze	1	1
Spring ;	1	
Valve & stem assembly	1	
Disparo completo		
Plate ;body trigger;	1	1
Plug, trip ;item 14, according to part I	1	1
Spring ;emergency spring, item 1979,	1	1
Trip, assembly ;	1	
Stopper, emergency ;		
trigger ;emergency trgger kit	1	1
trigger ;emergency trgger kit	1	1
filtro de vapor	1	
pickup, speed ;	1	
turning gear kit	1	

Tabla 25. Cantidad materiales para una turbina Propósito Especial > 15000 HP.

Repuestos	Cantidad Demanda Planeada (Pvo+Pd)	Cantidad Demanda No Planeada (RTF + Fallas)
Anillo de toberas	1	
Arandela axial	1	
Collar, thrust	1	1
Corona del sin fin	1	1
Deflector-vapor	2	
Diafragma, assembly ;diaphragm	6	
Oil pump assembly	1	
PACKING ASSEMBLY interetapas	6	
STUFFING BOX ;BOX PACKING sellos externos	2	
Ring, retaining ;ring nozzle	15	
Seal oil, assembly	3	
Pad bearing	1	1
Bearing	3	3
Worm ;turning gear worm, dwg:le133050a,	1	1
Lining friction	1	
Bolt	20	
Housing bearing ;primary relay	1	
Governor ;		
Pin ;valve lever pin,	1	
Plunger, actuator ;assembly, fig.4-7, it	1	
Empaques restriccion	1	1
Valve pilot	1	1
Linkage assembly	1	
Bushing ;for pilot valv,	2	1
Bushing ;for relay valve,	2	1
Actuator, mechanical ;	1	
Set ring piston	1	1
Tren de válvulas		
Set resorte tren de válvulas	1	1
Rod, piston, linear actuating cylinder ;	2	
Bujes barraje gob.	2	1
Gear ;camshaft gear,	1	
Seat, valve ;	5	1
Stem, valve ;	5	1

Repuestos	Cantidad Demanda Planeada (Pvo+Pd)	Cantidad Demanda No Planeada (RTF + Fallas)
Bar, lifting ;lifting bar. Item 64	2	
Válvula trip		
Asiento del resorte	1	
Asiento válvula	1	1
Packing Box, Trip Valve	1	1
Piston de válvula de disparo	1	
Ring, oil control ;body ring, type st. S	1	1
Seal ring, metal ;material: bronze	1	1
Spring ;	1	
Valve & stem assembly	1	
Disparo completo		
Plate ;body trigger;	1	1
Plug, trip ;item 14, according to part I	1	1
Spring ;emergency spring, item 1979,	1	1
Trip, assembly ;	1	
Stopper, emergency ;		
trigger ;emergency trigger kit	1	1
trigger ;emergency trigger kit	1	1
Filtro de vapor	1	
Pickup, speed ;	1	
turning gear kit	1	

El valor total de materiales requerido para el cumplimiento de la estrategia actual de mantenimiento de las turbinas de propósito especial es de **\$12.243.000.000**.

En la tabla 26 se presenta el resumen de la demanda planeada y no planeada por cada sub-clasificación de turbinas de propósito especial.

Tabla 26. Valor de materiales para la estrategia de turbinas propósito especial.

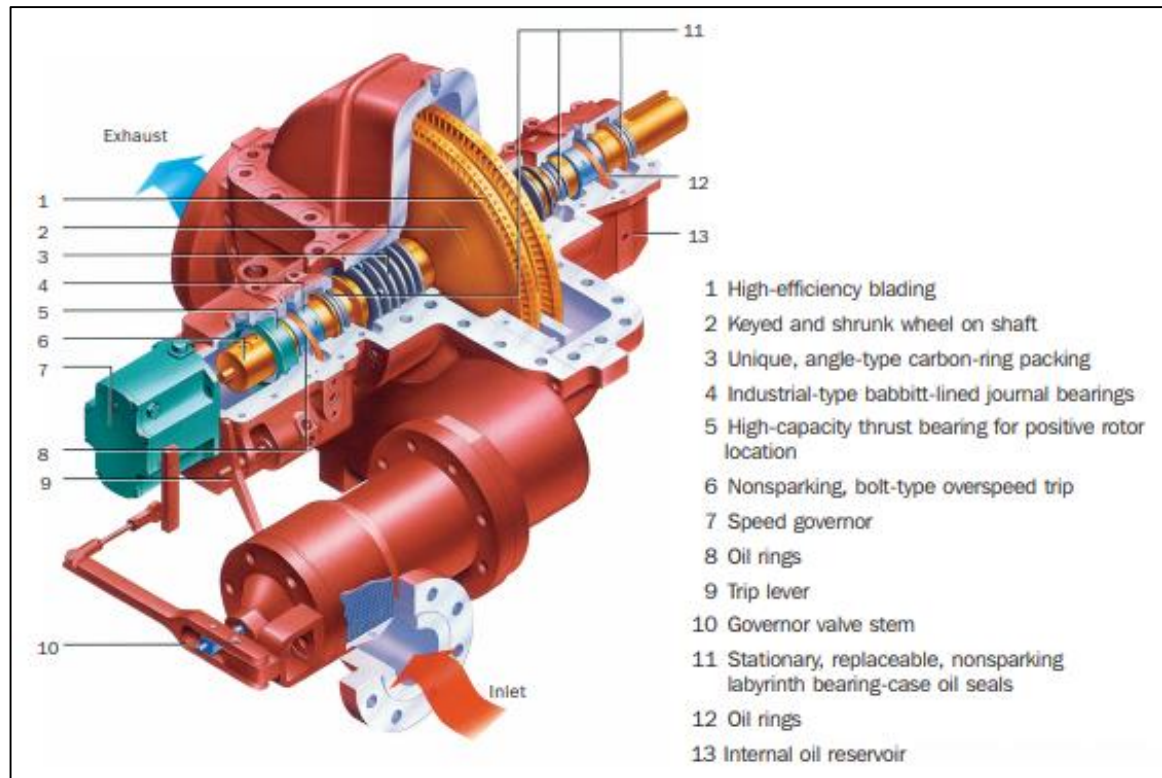
Familia	Valor Total Demanda Planeada Equipos OP	Valor Total Demanda No Planeada	Valor Total Estrategia
Turbina de propósito especial (menor a 8000 HP)	\$2043000000	\$3523000000	\$5566000000
Turbina de propósito especial (9000-15000 HP)	\$1616000000	\$2865000000	\$4481000000
Turbina de propósito especial (mayor que 15000 HP)	\$671000000	\$1525000000	\$2196000000
TOTALES			\$12243000000

3.3.5 Turbinas de propósito general. Una turbina es una máquina rotativa, que transforma la energía de un flujo de vapor en energía mecánica a través de un intercambio de cantidad de movimiento entre el fluido de trabajo y el rotor. El rotor es el órgano principal de la turbina, que consta de un eje un acople y una o varias ruedas con álabes los cuales tienen una forma particular para poder realizar el intercambio energético.

Las turbinas de vapor son un tipo específico de turbinas de expansión, poseen características de velocidad variable, permitiendo concordar los requisitos de energía con las cargas reales pueden ahorrar gran cantidad de energía en ciertas aplicaciones de procesos.

En la figura 13 se presenta una turbina de propósito general con sus partes principales.

Figura 13. Turbina de propósito general.



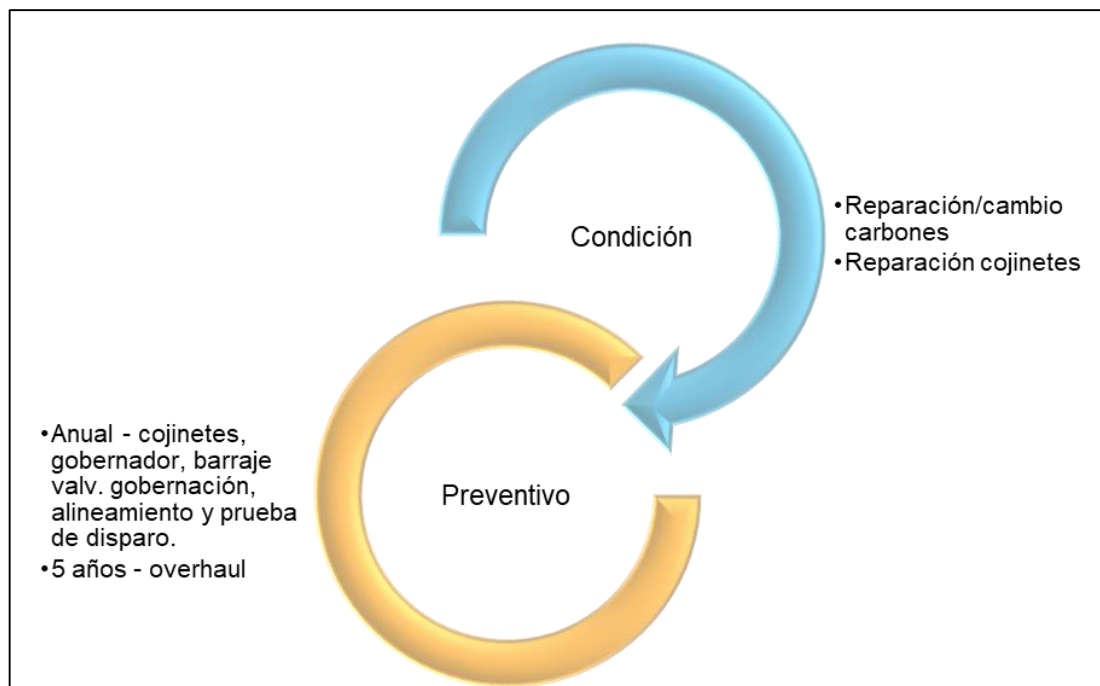
Fuente: DRESSER RAND INC. Single-stage Steam Turbines. SST 500/700. Houston, USA: La Compañía, 2007. 6 p.

Para definir el valor de los repuestos se clasificaron las turbinas de acuerdo con su potencia.

- Turbinas propósito general (menor a 500 HP)
- Turbinas propósito general (550 y 1000 HP)
- Turbinas propósito general (1050 y 1500 HP)

En la figura 14 se presenta de forma esquemática la estrategia definida para las turbinas de vapor de propósito general, la cual fue usada para la definición de los repuestos requeridos por demanda planeada.

Figura 14. Estrategia definida para el mantenimiento turbinas de vapor de propósito general.



La estrategia para los repuestos requeridos en bodega de materiales se definió de forma general para una turbina estándar. En las tablas 27, 28 y 29 se presentan los listados de repuestos requeridos por demanda planeada y no planeada para el cumplimiento de la estrategia de mantenimiento de las turbinas de propósito general.

Tabla 27. Cantidad materiales para una turbina Propósito General <500 HP.

Repuestos	Cantidad Demanda Planeada (Pvo+Pd)	Cantidad Demanda No Planeada (RTF + Fallas)
Baffle, oil	2	2
Bearing sleeve	2	2
Bearing ball	3	3
Cap, end	1	
Housing, bearing	2	
Gear	1	1
Gear and shaft assembly, helical	1	
Gear, spur	1	
Gear, worm	1	1
Gear, worm wheel	1	
Nozzle, valve	3	
Nut, self-locking, hexagon	1	
Plate, retaining, shaft	1	
Pump, lubricant transfer	1	
Ring, carbon	2	2
Ring, nozzle	1	
Ring, retaining	1	
Rotor-turbine, assembly	1	
Seal ring, labyrinth	2	
Shaft	1	1
Turbine wheel torque converter	1	
Spring, helical, compression, valve trip	1	
Stem, valve trip	1	1
Strainer	1	
Lever, trip, assembly	1	
Plate, retainer safety trip valve.	1	
Plunger, trip	1	1
Spring trip	1	1
Trigger	1	
Valve, trip overspeed assy.	1	
Stem, fluid valve	1	
Bushing	1	
Cap, valve	1	
Collar, retaining	1	
Connecting rod, piston	1	
COUPLING gob	1	1
Coupling, shaft, flexible	1	1
Kit, governor overspeed	1	1
Emergency governor, assembly	1	
Disc, valve	1	1
Disc,emergency governor assy.	1	
Filter element, fluid	1	1
Gearbox, assembly gob	1	
Governor, turbine engine	1	

Repuestos	Cantidad Demanda Planeada (Pvo+Pd)	Cantidad Demanda No Planeada (RTF + Fallas)
Lever assembly, manual control	1	
Nut	1	
Packing, preformed	1	
Pin, drive, guided	1	
Piston	1	1
Plate, partition	1	
Plate, valve seat	1	1
Rod, continuous thread	1	
Seal ring, nonmetallic	1	
Seat, valve	1	
Sleeve	1	
Spacer, ring	1	
Strainer, overspeed steam	1	
Valve & stem assembly	1	
Valve, safety relief	1	
Valve, throttle	1	
Washer, thrust	1	

Tabla 28. Cantidad materiales para turbinas propósito general entre 500 y 1000 HP.

Repuestos	Cantidad Demanda Planeada (Pvo+Pd)	Cantidad Demanda No Planeada (RTF + Fallas)
Baffle, oil	2	2
Bearing sleeve	2	2
Bearing ball	3	3
Cap, end	1	
Housing, bearing	2	
Gear	1	1
Gear and shaft assembly, helical	1	
Gear, spur	1	
Gear, worm	1	1
Gear, worm wheel	1	
Nozzle, valve	3	
Nut, self-locking, hexagon	1	
Plate, retaining, shaft	1	
Pump, lubricant transfer	1	
Ring, carbon	2	2
Ring, nozzle	1	
Ring, retaining	1	

Repuestos	Cantidad Demanda Planeada (Pvo+Pd)	Cantidad Demanda No Planeada (RTF + Fallas)
Rotor-turbine, assembly	1	
Seal ring, labyrinth	2	
Shaft	1	1
Turbine wheel torque converter	1	
Spring, helical, compression, valve trip	1	
Stem, valve trip	1	1
Strainer	1	
Lever, trip, assembly	1	
Plate, retainer safety trip valve.	1	
Plunger, trip	1	1
Spring trip	1	1
Trigger	1	
Valve, trip overspeed assy.	1	
Stem, fluid valve	1	
Bushing	1	
Cap, valve	1	
Collar, retaining	1	
Connecting rod, piston	1	
COUPLING gob	1	1
Coupling, shaft, flexible	1	1
Kit, governor overspeed	1	1
Emergency governor, assembly	1	
Disc, valve	1	1
Disc,emergency governor assy.	1	
Filter element, fluid	1	1
Gearbox, assembly gob	1	
Governor, turbine engine	1	
Lever assembly, manual control	1	
Nut	1	
Packing, preformed	1	
Pin, drive, guided	1	
Piston	1	1
Plate, partition	1	
Plate, valve seat	1	1
Rod, continuous thread	1	
Seal ring, nonmetallic	1	
Seat, valve	1	
Sleeve	1	
Spacer, ring	1	
Strainer, overspeed steam	1	
Valve & stem assembly	1	
Valve, safety relief	1	
Valve, throttle	1	
Washer, thrust	1	

Tabla 29. Cantidad materiales turbina propósito general entre 1050 y 1500 HP.

Repuestos	Cantidad Demanda Planeada (Pvo+Pd)	Cantidad Demanda No Planeada (RTF+Fallas)
Baffle, oil	2	2
Bearing sleeve	2	2
Bearing ball	3	3
Cap, end	1	
Housing, bearing	2	
Gear	1	1
Gear and shaft assembly, helical	1	
Gear, spur	1	
Gear, worm	1	1
Gear, worm wheel	1	
Nozzle, valve	3	
Nut, self-locking, hexagon	1	
Plate, retaining, shaft	1	
Pump, lubricant transfer	1	
Ring, carbon	2	2
Ring, nozzle	1	
Ring, retaining	1	
Rotor-turbine, assembly	1	
Seal ring, labyrinth	2	
Shaft	1	1
Turbine wheel torque converter	1	
Spring, helical, compression, valve trip	1	
Stem, valve trip	1	1
Strainer	1	
Lever, trip, assembly	1	
Plate, retainer safety trip valve.	1	
Plunger, trip	1	1
Spring trip	1	1
Trigger	1	
Valve, trip overspeed assy.	1	
Stem, fluid valve	1	
Bushing	1	
Cap, valve	1	
Collar, retaining	1	
Connecting rod, piston	1	
COUPLING gob	1	1
Coupling, shaft, flexible	1	1
Kit, governor overspeed	1	1
Emergency governor, assembly	1	
Disc, valve	1	1
Disc,emergency governor assy.	1	
Filter element, fluid	1	1
Gearbox, assembly gob	1	

Repuestos	Cantidad Demanda Planeada (Pvo+Pd)	Cantidad Demanda No Planeada (RTF+Fallas)
Governor, turbine engine	1	
Lever assembly, manual control	1	
Nut	1	
Packing, preformed	1	
Pin, drive, guided	1	
Piston	1	1
Plate, partition	1	
Plate, valve seat	1	1
Rod, continuous thread	1	
Seal ring, nonmetallic	1	
Seat, valve	1	
Sleeve	1	
Spacer, ring	1	
Strainer, overspeed steam	1	
Valve & stem assembly	1	
Valve, safety relief	1	
Valve, throttle	1	
Washer, thrust	1	

El valor total de materiales requerido para el cumplimiento de la estrategia actual de mantenimiento de las turbinas de propósito general es de **\$10.946.000.000**.

En la tabla 30 se presenta el resumen de la demanda planeada y no planeada por cada sub-clasificación de turbinas de propósito general.

Tabla 30. Valor de materiales para la estrategia de turbinas de vapor de propósito general.

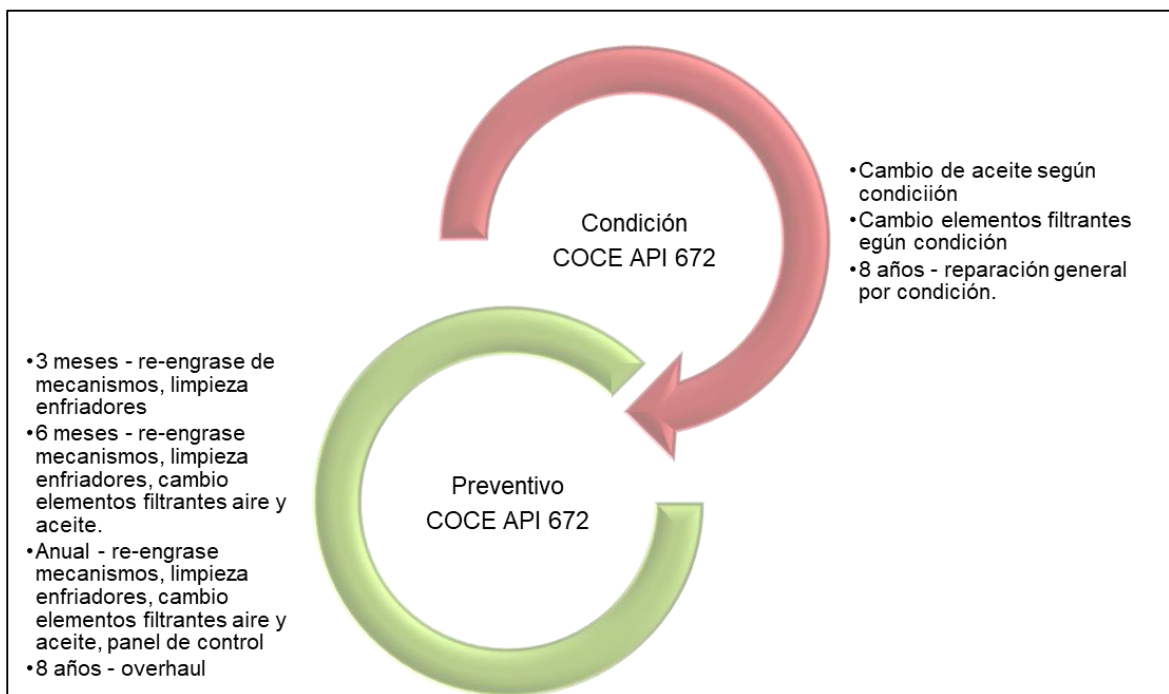
Familia	Valor Total Demanda Planeada Equipos OP	Valor Total Demanda No Planeada	Valor Total Estrategia
Turbinas propósito general (menor a 500 hp)	\$2278000000	\$4932000000	\$7210000000
Turbinas propósito general (550 y 1000 hp)	\$1079000000	\$2335000000	\$3414000000
Turbinas propósito general (1050 y 1500 hp)	\$102000000	\$220000000	\$322000000
TOTALES			\$10946000000

3.3.6 Compresores de alta velocidad. Para definir el valor de los repuestos se clasificaron los compresores centrífugos de alta velocidad de acuerdo con la marca del fabricante.

- Compresores FS Elliott
- Compresores Ingersoll Rand

En la figura 15 se presenta de forma esquemática la estrategia definida para los compresores centrífugos de alta velocidad (API 672), la cual fue usada para la definición de los repuestos requeridos por demanda planeada.

Figura 15. Estrategia definida para compresores centrífugos de alta velocidad.



En las tablas 31 y 32 se presentan los repuestos requeridos para cumplir la demanda planeada y no planeada de los compresores centrífugos de alta velocidad API 672.

Tabla 31. Cantidad de materiales para la estrategia de compresores API 672 marca FS Elliott.

Repuestos FS Elliott	Cantidad Demanda Planeada (Pvo+Pd)	Cantidad Demanda No Planeada (RTF + Fallas)
Gear, helical ;(drive), item 3		1
Bearing, journal ;f/ bull gear, item 5	16	1
Shim set ;f/ axial clearance, (bullgear	8	1
Seal oil, assembly ;seal split, coupling	8	1
O-ring ;f/ seal housing, item 13	64	1
O-ring ;f/ back plate/ casing, item 16	16	1
Seal ring, nonmetallic ;seal, carbon rin	8	1
Repair kit, seal ;f/ carbon seal ring	1	1
Bearing, thrust ;impeller side, cw rotat	8	1
Bearing, thrust ;coupling side, ccw rota	16	1
Bearing, thrust ;impeller side, cw rotat	8	1
Coupling, shaft, flexible ;f/ principal		1
Shim assortment ;f/ difusser gap adjusti		1
Shim assortment ;f/ casing gap adjusting		1
Pump, oil lubricating. ;main oil pump, i	8	1
Motor assembly, electric ;f/ auxiliary o		1
Casing ;f/ first stage, item 21		1
Casing ;f/ second stage, item 29		1
Diffuser ;f/ first stage, item 20		1
Diffuser ;f/ second stage, item 28		1
Plate ;back plate, first stage, item 19	8	1
Plate ;back plate, second stage, item 27	8	1
Rotor assembly ;low speed rotor, 1st sta	8	1
Rotor assembly ;high speed rotor, 2nd st	8	1
Breather, oil ;oil mist eliminator. Item	8	1
Filter ;f/ oil mist eliminator, item 1	8	1
Cooler, oil ;assembly, item 141		1
Valve, expansion ;thermostatic valve. Si		1

Repuestos FS Elliott	Cantidad Demanda Planeada (Pvo+Pd)	Cantidad Demanda No Planeada (RTF + Fallas)
Pump, oil lubricating. ;auxiliary oil pu	8	1
Valve, safety relief ;f/ lubrication pum		1
Valve, safety relief ;f/ lubrication sis		1
Filter assembly, fluid ;oil filter duple	8	1
Filter element, fluid ;lubrication filte	32	1
Gasket ;clousure, f/lubrication filter,	32	1
Seal, backup ring ;clousure gkt, (o-ring	16	1
Gasket ;front & rear, intercooler, item	32	1
Gasket ;side sealing gasket, intercooler	16	1
Gasket ;rear sealing gasket, intercooler	8	1
Valve, air pressure relief ;f/ air seal,		1
Valve, check ;discharge check valve		1
Insert ;f/ discharge check valve		1
Filter assembly, fluid ;inlet air filter	8	1
Panel ;f/ filter element 1st stage	16	1
Panel ;f/ filter element 2nd stage	16	1
Parts kit, lubricant pump ;major kit, f/	8	1
Valve, transfer ;assembly, f/ lubricatio	8	1
Valve, regulating, system pressure ;f/ l		1
Core assembly, fluid cooler ;intercooler		1
Core assembly, fluid cooler ;intercooler		1
Valve ;intercooler/aftercooler drain val		1
Case, gear ;f/ compressor fselliot model		1
Coupling, shaft, flexible ;size: 375, t	8	1
Pin, roll ;item 22	16	1
Lubricating oil, air compressor ;turbo b	0	1
Nut, self-locking, hexagon ;for 263 dbz-	8	1
Screw, cap, socket head ;for 350 serie 7	8	1
Hub, coupling, flexible ;std. For 375 se	16	1
Plug, orifice ;7/32" d	8	1
Disc pack, flexible set ;size:375 series	16	1
Washer ;bevel, mat.zinc plated for 375 s	96	1
Ring, retaining ;(carbon seal)	24	1
Plate, cover ;(l.s. pinion)	8	1
Plug, orifice ;1/8" d		1
Nozzle, spray ;item, 55		1
O-ring ;"o" ring (vibration probe)		1

Repuestos FS Elliott	Cantidad Demanda Planeada (Pvo+Pd)	Cantidad Demanda No Planeada (RTF + Fallas)
Adapter,assembly,pump transmission. ;dwg	8	1
Plug, orifice ;1/4" d		1
Probe ;vibration		1
Shim ;shim (brass)	32	1
Screw, cap, hexagonal head ;size:3/8 in,		1
Screw, cap, hexagonal head ;size:5/16 in		1
Screw, cap, hexagonal head ;size:5/16 in		1
Screw, cap, hexagonal head ;size:1/2 in,		1
Screw, cap, hexagonal head ;size:3/8 in,		1
Screw, cap, hexagonal head ;size:3/8 in,		1
Regulator, pressure ;range: 0-10 psig,		1
Casing ;3rd. Stage		1
Diffuser ;3rd. Stage		1
Plate ;back plate, 3rd. Stage	8	1
Spacer, coupling, shaft ;size-c: 5 in.,c		1
Bolt, machine ;mat.zinc plated, for 375	96	1
Fastener, kit ;seal 1/2-13	8	1
Screw, cap, hexagonal head ;screw,cap, s		1
Screw, cap, hexagonal head ;size:1/4"-20		1
Plate ;plate back. 1st. Stage	8	1
Plate ;back plate 2nd. Stage	8	1
Seal ;seal,shaft, item 8	8	1
Adapter ; oil pump.		1
Connector ;axial probe		1

Tabla 32. Cantidad de materiales para la estrategia de compresores API 672 marca Ingersoll Rand.

Repuestos Ingersoll Rand	Cantidad Demanda Planeada (Pvo+Pd)	Cantidad Demanda No Planeada (RTF + Fallas)
Diffuser, air supply ;fm,c700, stg 1, dw		1
Diffuser, air supply ;fm, c700, stg 2, d		1
Diffuser, air supply ;fm, c700, stg 3, d		1
Head ;cc700, stg 1, dwg:23601719		1

Repuestos Ingersoll Rand	Cantidad Demanda Planeada (Pvo+Pd)	Cantidad Demanda No Planeada (RTF + Fallas)
Head ;cc700 stg 2,		1
Head ;cc700, stg 3		1
Rotor, centrifugal compressor ;c700, s/a	8	1
Rotor, centrifugal compressor ;c700, s/a	8	1
Rotor, centrifugal compressor ;c700, s/a	8	1
Bullgear, compressor ;cc700, 60hz		1
Seal ;seal, teflon, cv2, bg, dwg:1x17560	8	1
Pump, oil lubricating. ;pump, oil, assy,	8	1
Bearing, plain, assembly ;cv2, stg 1,	8	1
Bearing, plain, assembly ;cv2, stg 2,	8	1
Bearing, plain, assembly ;cv2, stg 3,	8	1
Bearing, thrust ;cv2, stg 1,2,3,	24	1
Bearing, thrust ;cc700, bg.	16	1
Ring, retaining ;dwg:184a13cxur575	24	1
Ring ;ring set, stg1/2/3	24	1
Seal ;seal security, cv1, stg 1,2,3	48	1
Shim, bearing ;cv2/2cc, stg 1/2/3, dwg:3	24	1
O-ring ;number:2-262, base polymer:viton	64	1
O-ring ;number:2-243, base polymer:viton	48	1
O-ring ;number:2-161, base polymer:viton	8	1
O-ring ;number:2-254, base polymer:viton	72	1
O-ring ;number:2-259, base polymer:viton	64	1
O-ring ;number:2-037, base polymer:viton	120	1
O-ring ;number:2-248, base polymer:viton	64	1
O-ring ;number:2-253, base polymer:viton	48	1
O-ring ;number:2-388, base polymer:viton	16	1
O-ring ;number:2-386, base polymer:viton	40	1
O-ring ;number:2-385, base polymer:viton	16	1
O-ring ;number:2-383, base polymer:viton	32	1
O-ring ;number:2-390, base polymer:viton	8	1
O-ring ;number:2-115, base polymer:viton	8	1
Seal, threads ;dia:3/8 in, viton, dwg:1x	120	1
Shim stock, laminated ;	24	1
Shim stock, laminated ;	24	1
Coupling, shaft, flexible ;no bored	16	1
Coupling, clamp, pipe ;size: 6 in. Victa	8	1
Coupling, clamp, pipe ;size:8 in. Victau	8	1
Coupling, clamp, pipe ;size:10 in. Victa	8	1

Repuestos Ingersoll Rand	Cantidad Demanda Planeada (Pvo+Pd)	Cantidad Demanda No Planeada (RTF + Fallas)
Gasket ;size:6 in type:vitaulic	8	1
Gasket ;size:8 in type:vitaulic	8	1
Gasket ;size:10 in type:vitaulic	8	1
Sensor, temperature ;	24	1
Sensor, temperature ;rtd,rosemount	8	1
Sensor, temperature ;rtd,rosemount	24	1
Sensor, temperature ;	24	1
Probe, proximity ;dwg:1x36346	8	1
Adapter ;adapter,probe, dwg:3x4734	48	1
Filter element, fluid ;oil element filte	16	1
Mist eliminator ;demister element	8	1
Filter element, intake air cleaner ;elem	64	1
Strainer, sediment ;strainer, tsf	8	1
Indicator, sight flow ;indicador sight f	8	1
Expansion joint, pipe ;size:4 in, operat		1
Expansion joint, pipe ;size:6 in, operat		1
Expansion joint, pipe ;expansion joint 8		1
Lubricating oil, engine ;techtrolgold (d	8	1
Sensor, proximity ;probe proximity, 1x35	48	1
Element, mist eliminator ;demister eleme	16	1
Heater, fluid, industrial ;armts-3605t2,		1
Positioner, electro-pneumatic ;input sig		1
Valve, inlet guide vanes ;type:igv, size		1
Valve, butterfly ;size:4 in, class:150,		1
Hub, coupling, flexible ;item 1 & 2		1
Adapter ;item 3		1
Spool piece ;item 4, long.:12 in.		1
Disc pack, flexible set ;item 5	16	1
Washer, flat ;item 6	192	1
Nut, self-locking, hexagon ;item 7		1
Screw, cap, hexagonal head ;item 8		1
Bolt, machine ;item 9		1
Ring ;buffer ring, item 10		1
Filter element, intake air cleaner ;pref	48	1
Filter element, fluid ;	192	1
Filter element, intake air cleaner ;afte	48	1
Transmitter, pressure ;model idp10, i/a	8	1
Transmitter, level ;model 3051, gage pre	8	1

Repuestos Ingersoll Rand	Cantidad Demanda Planeada (Pvo+Pd)	Cantidad Demanda No Planeada (RTF + Fallas)
Transmitter, pressure ;model 3051, gage	8	1
Transmitter, pressure ;model 3051, gage	8	1
Transmitter, pressure ;model 3051, gage	24	1
Transmitter, pressure ;model 3051, gage	8	1
Sensor, temperature ;model 0068, platinu	8	1
Thermowell ;process conn..1-1/2 in, clas	8	1
Sensor, temperature ;model 0068, platinu	8	1
Thermowell ;process conn..1-1/2 in, clas	8	1
Sensor, temperature ;type:rtd, a65, 100	8	1
Sensor, temperature ;model 0068, platinu	8	1
Thermowell ;process conn..1-1/2 in, clas	8	1
Sensor, temperature ;embedment rtd senso	0	1
Transducer system, proximity ;type 3300	16	1
Sensor, proximity ;type 3300 xl nsv, pro	8	1
Sensor, proximity ;type 3300 xl nsv, pro	8	1
Sensor, proximity ;type 3300 xl nsv, pro	8	1
Switch, thermostatic ;model:sk 3110000,	8	1
Filter regulator ;type:dfr. Aluminum bod	16	1
Switch assembly ;model gpsk-1, max. Surg	8	1
Transmitter, pressure ;model eja430a gau	8	1
Transmitter, pressure ;model ivm30, i/a	8	1
Valve, safety relief ;model 19000, inlet		1
Valve, regulating, temperature ;type:cf,		1
Valve, safety relief ;type 2478, size:3/		1
Element oil filter c910	16	1
Element oil filter c911	16	1
Element, mist eliminator	8	1
Element, inlet air filter pref	48	1
Element, inlet air filter afte c910	48	1
Element, inlet air filter afte c911	48	1
Element, inlet air filter pref	72	1
Element, inlet air filter afte	72	1

El valor total de materiales requerido para el cumplimiento de la estrategia actual de mantenimiento de los compresores de alta velocidad es de \$ **6.784.000.000**.

En la tabla 33 se presenta el resumen de la demanda planeada y no planeada por cada sub-clasificación de compresores de alta velocidad API 672.

Tabla 33. Valor de materiales para la estrategia de compresores de alta velocidad API 672.

Familia	Valor Total Demanda Planeada Equipos OP	Valor Total Demanda No Planeada	Valor Total Estrategia
FS elliott	\$667000000	\$1940000000	\$ 2607000000
Ingersoll Rand	\$2303000000	\$ 1874000000	\$ 4177000000
TOTALES			\$ 6784000000

3.3.7 Ventiladores. Los ventiladores son máquinas rotativas que transmiten energía para mantener un flujo continuo de aire y generar la presión que se eleva a un máximo de 2 PSig.

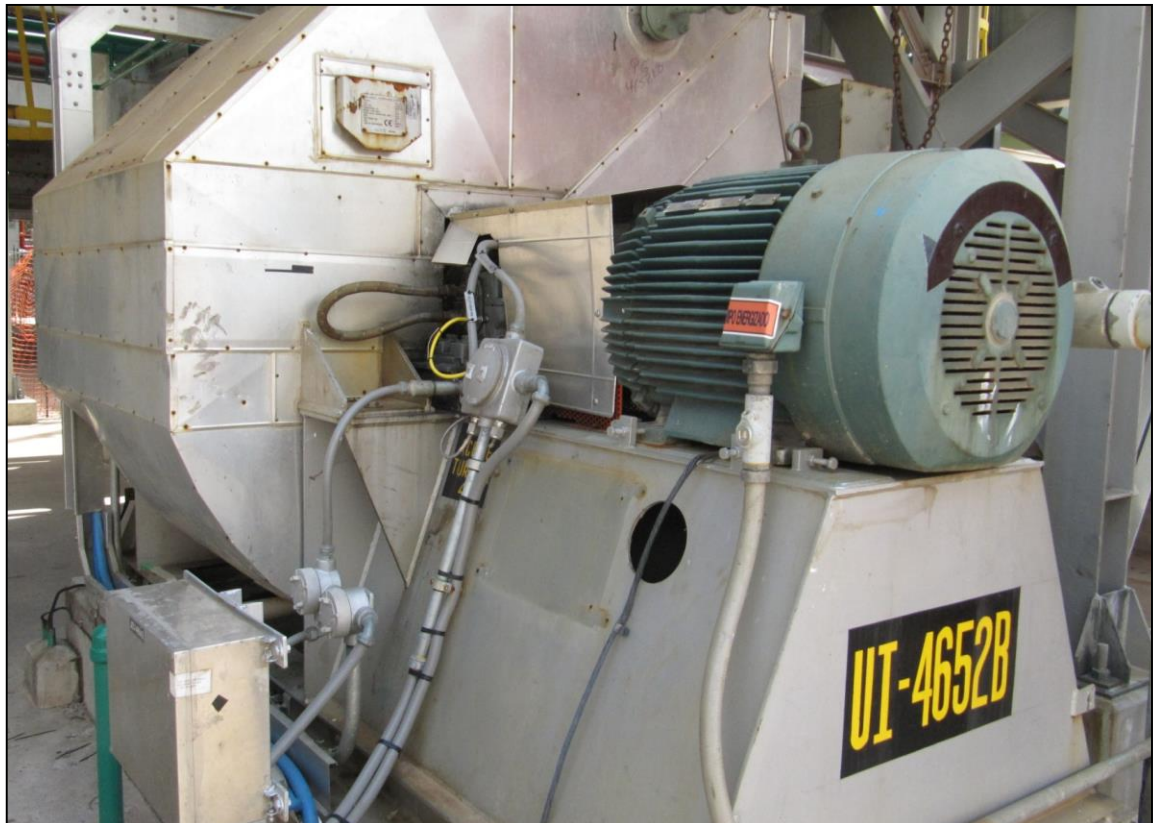
Los ventiladores se clasifican como de flujo axial y centrífugos. En los ventiladores axiales el aire se desplaza en la misma dirección del eje de rotación mientras que en los ventiladores centrífugos el aire es desplazado perpendicularmente al eje.

Los ventiladores de flujo axial son usados generalmente en aplicaciones de baja resistencia debido a que pueden mover grandes cantidades de aire a baja presión mientras que los ventiladores centrífugos se usan en trabajos donde se requieren una carga más alta.

En general los ventiladores centrífugos son más sencillos de controlar, ofrecen una mayor rigidez y poco ruido respecto a los de flujo axial. La eficiencia no cae con

mucha rapidez bajo condiciones diferentes a la de diseño. En la figura 16 se presenta un ventilador centrífugo.

Figura 16. Ventilador flujo Centrifugo.



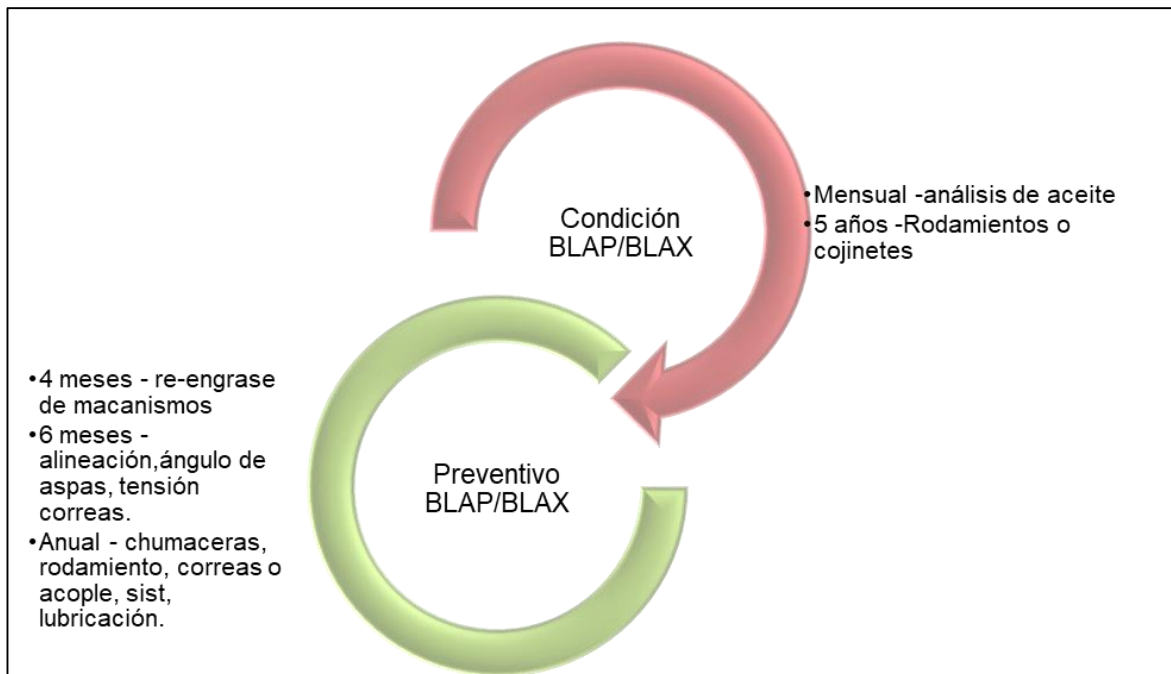
La familia de ventiladores fue dividida de la siguiente forma:

- Centrifugal Fans.
- Axial Flow Fans (extractores).
- Cooling Tower.
- Aerial Cooler (radiadores/intercambiadores).

En algunos casos fue necesario subdividir la anterior clasificación de acuerdo con la potencia de cada máquina buscando con ello una menor desviación entre los valores de los repuestos y obtener una mejor aproximación del valor requerido en la bodega de materiales.

En la figura 17 se presenta de forma esquemática la estrategia definida para ventiladores centrífugos y axiales, la cual fue usada para la definición de los repuestos requeridos por demanda planeada.

Figura 17. Estrategia definida para el mantenimiento de ventiladores centrífugos y axiales.



En las tablas 34, 35, 36 y 37 se presentan los repuestos requeridos para cumplir la demanda no planeada; en las tablas 38, 39, 40 y 41 se presentan los repuestos para la demanda planeada de los ventiladores.

Tabla 34. Cantidad de materiales demanda no planeada ventiladores (Centrifugal Fan).

Repuestos Centrifugal Fans	< 100HP	≥ 100 HP
Acople	-	1
Bearing half sleeve	-	1
Bearing, unit ball shaft, diameter:1-1/4 inch	-	1
Bearing, unit ball shaft, diameter:2 inch	-	1
Bearings	-	-
Belts	-	-
Housing bearing unit	1	1
Impeller	1	-
O-ring sello de aceite	-	1
Reducer box	1	-
Retainer seal retainer	-	1
Seal plain encased	1	-
Seal, dust seal	-	1

Tabla 35. Cantidad de materiales demanda no planeada ventiladores (Axial Flow Fans).

Repuestos Axial Flow Fans	< 50 HP	≥ 50 HP
Bearing, roller, self-aligning bearing	-	1
Belt, v	-	-
Bolt, adjusting bolt propeller 5/8 x 1"	-	-
Impeller fan	1	-
Propeller propeller assy diameter: 54"	-	1
Shaft 316 stainlees steel	-	1
Sheave sandline sheave driver dia: 15"	-	1
Sheave sandline; sheave driver dia: 11	-	1
Spacer, bearing dwg- cc57 / item 32"	-	1
Vane, actuator; vane; guide dwg cc57/it"	-	1

Tabla 36. Cantidad materiales demanda no planeada Cooling Tower.

Repuestos, Cooling Tower	100 - 125 HP	225 HP
Bearing, roller, cylindrical	-	1
Bearing, roller, cylindrical item 6004"	-	1
Bearing, roller, self-aligning	1	1
Bearing, roller, tapered	4	2
Bearing, roller, thrust	-	2
Cone, tapered roller bearing	-	2
Coupling, shaft, flexible	-	1
Fan, axial blade assembly	1	1
Gear	1	1
Gear set, bevel matched	1	2
Impeller, fan, axial	-	1
O-ring	1	1
Pinion & shaft	1	1
Pump, oil lubricating.	1	1
Ring,distance,tolerance	1	1
Seal, oil	1	1
Seal, plain	1	1
Shaft	1	1
Stop, mechanical	1	1
Switch, liquid level	1	1
Switch, thermostatic	1	1

Tabla 37. Cantidad de materiales demanda no planeada Aerial Cooler.

Repuestos , Aerial Cooler	Acople directo reductor	10-20 HP Poleas	30 HP Poleas	40-50 HP Poleas
Bearing, roller, spherical size.id:70 mm	-	1	-	-
Bearing, sleeve tools tie	-	-	1	-
Bearing, unit	-	-	-	1
Bearing, unit ball shaft diameter: 65 mm	-	-	1	-
Belt synchronous belt	-	1	-	-
Belt, timing	-	-	-	1
Belt, v trade size:3/5v-1700 outer circ	-	-	1	-
Blade, impeller, fan	-	-	1	-
Bolt, machine clamp	-	1	-	-
Bolt, machine size 12 mm	-	1	-	-
Bushing, tapered dimension:30.20 hole 6	-	-	-	1

Repuestos , Aerial Cooler	Acople directo reductor	10-20 HP Poleas	30 HP Poleas	40-50 HP Poleas
Bushing, tapered dimension:45.45 hole 7	-	-	-	1
Clamp rod end clamp	-	1	-	-
Coupling, shaft, flexible	1	-	-	-
Gear assembly, speed decreaser	1	-	-	-
Hinge bolt size: 24 mm.	-	1	-	-
Housing, bearing unit shaft dia.: 80 mm	-	-	-	1
Housing, bearing unit upper bearing	-	1	-	-
Hub w/posotioner	-	-	1	-
Impeller, fan, axial	1	-	-	-
Insert, flexible coupling	1	-	-	-
Lockwasher material: stanley steel	-	1	-	-
Mount, resilient recessed	-	1	-	-
Mount, resilient threaded	-	1	-	-
Nut, clamp size: 8 mm.	-	1	-	-
Nut, plain, hexagon screw size:16 mm	-	1	-	-
Pulley, gearbelt dimension:hta p 36-14	-	-	-	1
Pulley, gearbelt dimension:hta p216-14	-	-	-	1
Push button	-	-	1	-
Ring, retaining	-	-	1	-
Rod rod end class 10000 heavy duty	-	1	-	-
Screw, machine	-	-	1	-
Shaft for forced draft fan	-	1	-	-
Shaft length:2134 mm	-	-	-	1
Shaft length:2137 mm.	-	-	-	1
Shaft, straight	-	-	1	-
Sprocket, synchronous large diameter pu	-	1	-	-
Sprocket, synchronous pitch sprockets:1	-	1	-	-
Stud, continuous thread size:16 mm	-	1	-	-
Washer resilient	-	1	-	-
Washer, flat size 5/8 in	-	1	-	-

Tabla 38. Cantidad materiales demanda planeada ventiladores (Centrifugal Fan).

Repuestos Centrifugal Fans	< 100HP	≥ 100 HP
Acople	-	1
Bearing half sleeve	-	1
Bearing, unit ball shaft, diameter:1-1/4 inch	-	1
Bearing, unit ball shaft, diameter:2 inch	-	1
Bearings	1	-
Belts	1	-
Housing bearing unit	1	1
Impeller	1	-
O-ring sello de aceite	-	1
Reducer box	1	-
Retainer seal retainer	-	1
Seal plain encased	1	-
Seal, dust seal	-	1

Tabla 39. Cantidad de materiales demanda planeada ventiladores (Axial Flow Fans).

Repuestos Axial Flow Fans	< 50 HP	≥ 50 HP
Bearing, roller, self-aligning bearing	-	1
Belt, v	-	1
Bolt, adjusting bolt propeller 5/8 x 1"	-	1
Impeller fan	1	-
Propeller propeller assy diameter: 54"	-	1
Shaft 316 stainlees steel	-	1
Sheave sandline sheave driver dia: 15"	-	1
Sheave sandline; sheave driver dia: 11	-	1
Spacer, bearing dwg- cc57 / item 32"	-	1
Vane, actuator; vane; guide dwg cc57/it"	-	1

Tabla 40. Cantidad materiales demanda planeada Cooling Tower.

Repuestos, Cooling Tower	100 - 125 HP	225 HP
Bearing, roller, cylindrical	-	1
Bearing, roller, cylindrical item 6004"	-	1
Bearing, roller, self-aligning	1	1

Repuestos, Cooling Tower	100 - 125 HP	225 HP
Bearing, roller, tapered	4	2
Bearing, roller, thrust	-	2
Cone, tapered roller bearing	-	2
Coupling, shaft, flexible	-	1
Fan, axial blade assembly	1	1
Gear	1	1
Gear set, bevel matched	1	2
Impeller, fan, axial	-	1
O-ring	1	1
Pinion & shaft	1	1
Pump, oil lubricating.	1	1
Ring, distance, tolerance	1	1
Seal, oil	1	1
Seal, plain	1	1
Shaft	1	1
Stop, mechanical	1	1
Switch, liquid level	1	1
Switch, thermostatic	1	1

Tabla 41. Cantidad de materiales demanda planeada Aerial Cooler.

Repuestos , Aerial Cooler	Acople directo reductor	10-20 HP Poleas	30 HP Poleas	40-50 HP Poleas
Bearing, roller, spherical size.id:70 mm	-	1	-	-
Bearing, sleeve tools tie	-	-	1	-
Bearing, unit	-	-	-	1
Bearing, unit ball shaft diameter: 65 mm	-	-	1	-
Belt synchronous belt	-	1	-	-
Belt, timing	-	-	-	1
Belt, v trade size:3/5v-1700 outer circ	-	-	1	-
Blade, impeller, fan	-	-	1	-
Bolt, machine clamp	-	1	-	-
Bolt, machine size 12 mm	-	1	-	-
Bushing, tapered dimension:30.20 hole 6	-	-	-	1
Bushing, tapered dimension:45.45 hole 7	-	-	-	1
Clamp rod end clamp	-	1	-	-
Coupling, shaft, flexible	1	-	-	-
Gear assembly, speed decreaser	1	-	-	-
Hinge bolt size: 24 mm.	-	1	-	-
Housing, bearing unit shaft dia.: 80 mm	-	-	-	1

Repuestos , Aerial Cooler	Acople directo reductor	10-20 HP Poleas	30 HP Poleas	40-50 HP Poleas
Housing, bearing unit upper bearing	-	1	-	-
Hub w/posotioner	-	-	1	-
Impeller, fan, axial	1	-	-	-
Insert, flexible coupling	1	-	-	-
Lockwasher material: stanley steel	-	1	-	-
Mount, resilient recessed	-	1	-	-
Mount, resilient threaded	-	1	-	-
Nut, clamp size: 8 mm.	-	1	-	-
Nut, plain, hexagon screw size:16 mm	-	1	-	-
Pulley, gearbelt dimension:hta p 36-14	-	-	-	1
Pulley, gearbelt dimension:hta p216-14	-	-	-	1
Push button	-	-	1	-
Ring, retaining	-	-	1	-
Rod rod end class 10000 heavy duty	-	1	-	-
Screw, machine	-	-	1	-
Shaft for forced draft fan	-	1	-	-
Shaft length:2134 mm	-	-	-	1
Shaft length:2137 mm.	-	-	-	1
Shaft, straight	-	-	1	-
Sprocket, synchronous large diameter pu	-	1	-	-
Sprocket, synchronous pitch sprockets:1	-	1	-	-
Stud, continuous thread size:16 mm	-	1	-	-
Washer resilient	-	1	-	-
Washer, flat size 5/8 in	-	1	-	-

El valor total de materiales requerido para el cumplimiento de la estrategia actual de mantenimiento de los ventiladores de la GRB es de **\$2.320.000.000**.

En la tabla 42 se presenta el resumen de la demanda planeada y no planeada por cada sub-clasificación de ventiladores.

Tabla 42. Valor de materiales para la estrategia de ventiladores.

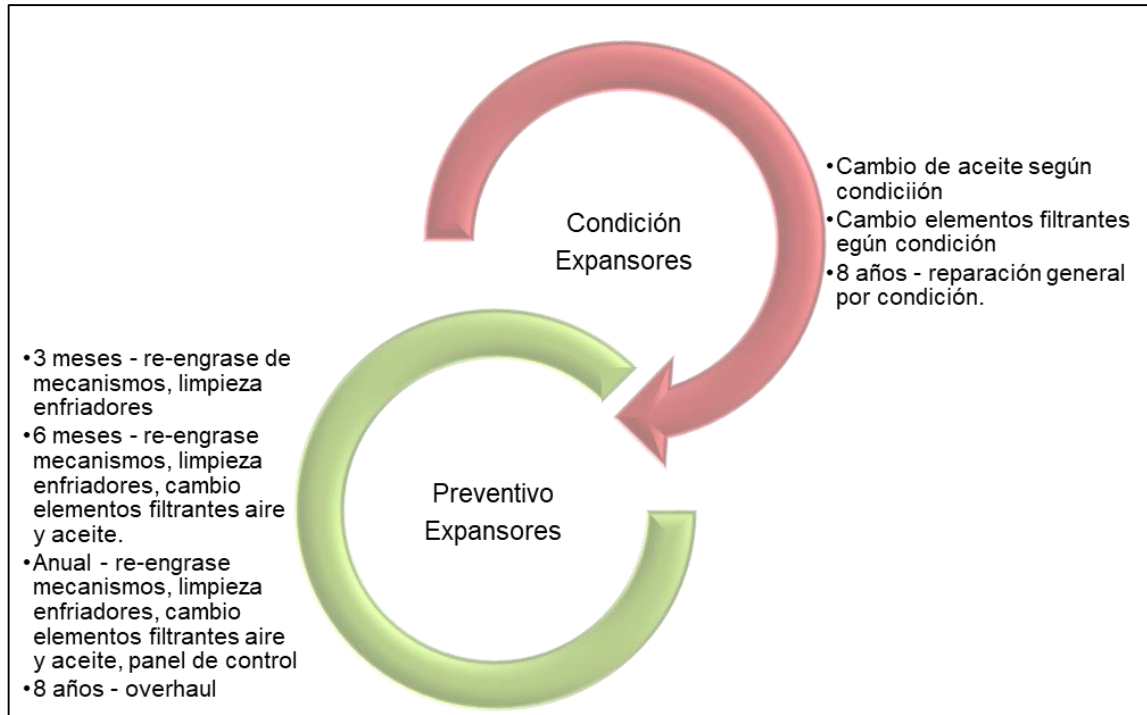
Familia	Valor Total Demanda Planeada	Valor Total Demanda No Planeada	Valor Total Estrategia
Centrifugal Fans $\geq$ 100 HP (Calderas)	\$ 451000000	\$ -	\$ 451000000
Centrifugal Fans < 100HP	\$ 57000000	\$ 82000000	\$ 139000000
Axial Flow Fans (extractores) < 50 hp	\$ 1320000	\$ -	\$ 1320000
Axial Flow Fans (extractores) $\geq$ 50 hp	\$ 20000000	\$ -	\$ 20000000
Aerial Cooler (Acople directo/reductor)	\$ 25000000	\$ 320000	\$ 25320000
Aerial Cooler 40 - 50 hp (Transmision por poleas)	\$ 133000000	\$ 1810000	\$ 134810000
Aerial Cooler 30 hp (Transmision por poleas)	\$ 399000000	\$ 1600000	\$ 400600000
Aerial Cooler 10-20 hp, (Transmision por poleas)	\$ 67000000	\$ 230000	\$ 67230000
Cooling Tower 100 - 125 hp	\$ 640000000	\$ -	\$ 640000000
Cooling Tower 225 hp	\$ 441000000	\$ -	\$ 441000000
Totales	\$2234	\$86000000	\$2320000000

3.3.8 Turboexpansores. Para definir el valor de los repuestos se clasificaron los turboexpansores en dos categorías:

- Tipo 1: Expansor – Compresor (2 unidades).
- Tipo 2: Expansor – Generador (1 unidad).

En la figura 18 se presenta de forma esquemática la estrategia definida para turboexpansores, la cual fue usada para la definición de los repuestos requeridos por demanda planeada.

Figura 18. Estrategia de mantenimiento turboexpansores.



La estrategia para los repuestos requeridos por estas dos categorías se presenta en las Tablas 43 y 44.

Tabla 43. Lista de repuestos para un Expansor-compresor.

REPUESTO	Cantidad	REPUESTO	Cantidad
shaft	1	journal bearing support drain	1
thrust washer & pins	2	drain gasket	1
bearing, front	1	tachometer pick-up insert	1
bearing, back	1	labyrinth seal spacer	1
expander rotor	1	heat barrier retainer	1
nozzle adjusting ring & pin	1	shim (heat barrier insert)	1
nozzle segments & pin	6	rotor follower	1
nozzle cover & pin	1	shim (rotor follower)	1
nozzle fixed ring	1	shim (impeller follower)	1
piston ring	1	o-ring 3/8 ID x 1/2 OD x 1/16 W	1

REPUESTO	Cantidad	REPUESTO	Cantidad
heat barrier wall	1	o-ring 3/8 ID x 1/2 OD x 1/16 W	2
nozzle actuator assembly	1	o-ring 3/8 ID x 1/2 OD x 1/16 W	2
back labyrinth seal	1	o-ring 1/2 ID x 5/8 OD x 1/16 W	1
compressor impeller	1	o-ring 5/8 ID x 3/4 OD x 1/16 W	1
impeller follower	1	o-ring 1" ID x 1-1/8 OD x 1/16 W	1
compressor inlet spacer	1	o-ring 2-1/4 ID x 2-7/16 OD x 3/32 W	1
retaining washer (comp. end)	1	o-ring 7" ID x 7-1/4 OD x 1/8 W	1
retaining screw (both ends)	2	o-ring 2-7/8 ID x 3-1/4 OD x 3/16 W	1
back rotor seal	1	o-ring 10-1/2 ID x 10-7/8 OD x 3/16 W	1
back impeller seal	1	o-ring 13-1/2 ID x 14" OD x 1/4 W	1
shaft seal ring	1	o-ring 17" ID x 17-1/2 OD x 1/4 W	1
oil slinger	1		

Tabla 44. Lista de repuestos para un Expansor-Generador.

Repuesto	Cantidad
cover ;cover and plug for nozzle	1
segment, nozzle ;nozzle segment and pin	5
ring ;adjustment ring and plug nozzle	1
ring ;fixed nozzle ring	1
ring, piston ;item:93	1
seal ring assembly, labyrinth ;ring, lab	1
wheel ;expander wheel	1
screw, machine ;retaining screw	1
lockwasher ;washer, retaining	1
seal ;rear seal, wheel expander	1
lockwasher ;bearing pressure washer	1
bearing, sleeve ;bearing,drive groovn. i	1
bearing, sleeve ;bearing, load groovng.	1
seal ring, metal ;ring, mating l/s shaft	1
pinion shaft ;item:292	1
gear ;low speed gear assembly	1
seal ring, nonmetallic ;seal,rexnor. 1-2	1
bearing, ball radial contact ;size.id:65	2

Repuesto	Cantidad
seal ;raco seal furon	2
seal ;raco seal furon	1
pump ;lube oil pump	2
case ;expander case	1
diffuser ;expander case diffuser	1
diffuser ;extension - expander case diff	1
gasket ;gasket extension - expander casa	2
spacer seal ;labyrinth seal spacer	1
actuator, mechanical ;actuator assembly	1
nozzle ;nozzle actuator rod - lower	1
seal ;raco seal furon	1
case, gear ;item:282, (part of item 278)	1
cover ;gear case cover	1
cover ;high speed end cover	1
cover ;l.s. front bearing cover	1
cover ;l.s. back bearing cover	2
tachometer ;tachometer pick-up	1
probe ;vibration probe (26017-01 bently	4
parts kit, lubricant pump ;repair kit pu	1
regulator, pressure ;oil pressure regula	1
filter ;element, filter oil	6
filter ;safety filter	4
filter ;element,filter gas	8
o-ring ;oring nitrile 2-253	1
o-ring ;oring nitrile 2-253	1
ring, retaining ;retaining ring n5000-55	1
ring, retaining ;retaining ring n5100-20	1
o-ring ;oring nitrile 2-252	1
o-ring ;oring nitrile 2-136	1
o-ring ;oring nitrile 2-261	1
bearing, ball deep groove ;size.id:65 mm	2

El valor total de materiales requerido para el cumplimiento de la estrategia actual de mantenimiento de Turboexpansores de \$ **3.240.000.000**.

En la tabla 45 se presenta el resumen de la demanda planeada y no planeada por cada sub-clasificación de los Turboexpansores.

Tabla 45. Valores de materiales para la estrategia de Expansor y Compresor.

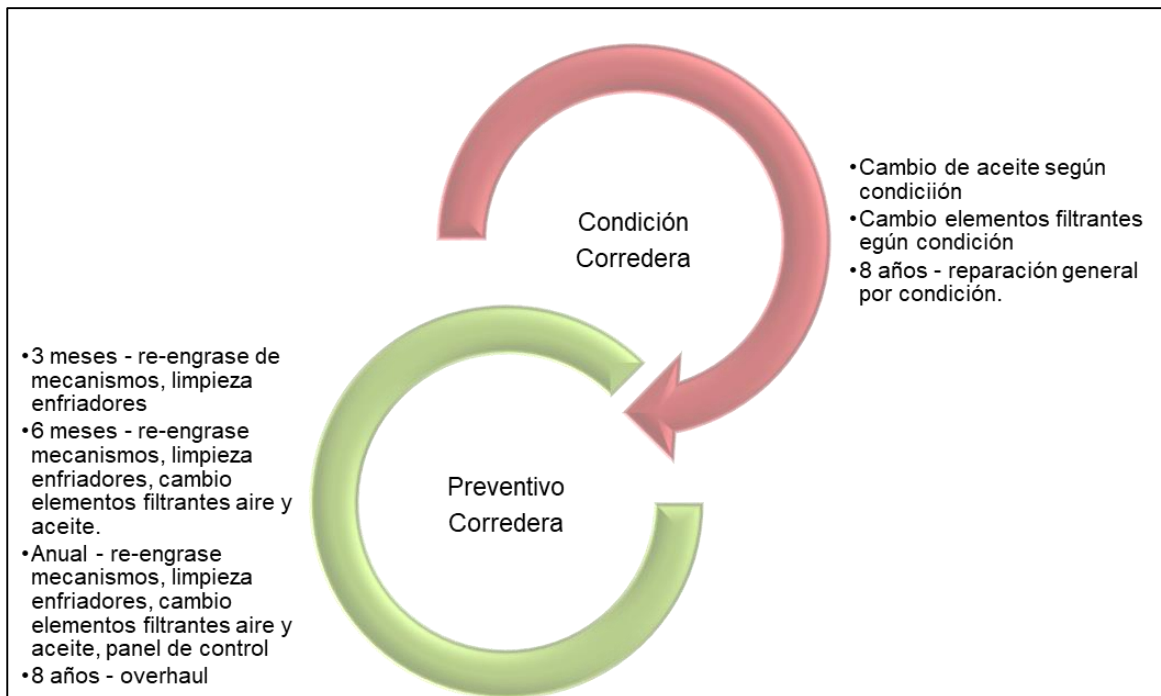
Familia	Valor Total Demanda Planeada	Valor Total Demanda No Planeada	Valor Total Estrategia
Expansor-compresor	\$297000000	\$1635000000	\$1932000000
Expansor-generator	\$177000000	\$1131000000	\$1308000000
TOTALES	\$474000000	\$2766000000	\$3240000000

3.3.9 Sistemas de actuación válvulas de corredera. Para definir el valor de los repuestos se clasificaron los Skids en dos categorías:

- Tipo 1: Skid neumático (2 unidad).
- Tipo 2: Skid hidráulico (12 unidades).

En la figura 19 se presenta de forma esquemática la estrategia definida para los sistemas de actuación de las válvulas de corredera, la cual fue usada para la definición de los repuestos requeridos por demanda planeada.

Figura 19. Estrategia definida para el mantenimiento a sistemas de actuación de válvulas de corredera.



La estrategia para los repuestos requeridos por estas dos categorías se presenta en las tablas 46 y 47.

Tabla 46. Lista de repuestos para un Skid Neumático.

Repuesto	Cantidad
Válvula solenoide ASCO	1
Sensor de posición	1

Tabla 47. Lista de repuestos para un Skid Hidráulico.

Repuesto	Cantidad
Relay 24VDC P& B	1
Solid State Relay P & B	1
Cylinder Seal Kit Parker	2
Set of O-ring Buna	2
Display Assembly, #1920F040GR1 Peerless	1
DVC "A" Board, #1920F500GR1 Peerless	1
DVC "B" Board with Backup, #1920F510GR2 Peerless	1
Tarjeta análoga	2
24 Volt Power Supply, #2938578 Peerless	1
AC Voltage Surge Suppressor Kit Peerless	1
Servo Amplifier Board TEI	2
Servo Diagnostic Board TEI	1
Power Supply (110VAC/15VDC) TEI	1
Filter Element, #932615Q Parker	1
Filter Elements, #932619Q Parker	2
Position Feedback Transducer MTS	1
Feedback Transducer MTS	2
Accumulator Seal Kit Parker	2
Hydraulic Pump, #PVP16-304R2P12 Parker	2
Electric Motor, 5HP @ 1750 RPM, 460V/3/60Hz	2
Pressure Relief Valve, RV1-10-S-O-30 Vickers	2
Check Valve CP100-3-B-0-005 Compact	2
PO Check Valve, CP452-2-B-0-065-S Compact	2
Check Valve, CP102-1-B-0-005 Compact	1
Pressure Switch, 232P43C6 ITT	3
Pressure Switch, #12SHSM4F (SPDT) UE	1
Pressure Gage Wika	7
2.5" Dial Pressure gauge, #63-1008S-L-02B-	4
Sequence Valve, CP240-1-B-0-A-D Compact	1
Pressure Transmitter, #TX200A19S1M446	4
Breather LHA	1

Repuesto	Cantidad
Strainer LHA	1
Servo Valve Parker	1
Manual Select Valve, MRV3-10-K-0 Vickers	1
Directional Control Valve Parker	1
Solenoid Valve, SV1E-10-3-0-110A	1
SOLENOID VALVE, SV1E-10-3-0-24D	2
Manual Shut-off Valve CP-612-1-B-0 Compact	2
Manual Valve CP610-1-B-O-R Compact	4

El valor total de materiales requerido para el cumplimiento de la estrategia actual de mantenimiento de los Skids es de **\$1.708.000.000.**

En la tabla 48 se presenta el resumen de la demanda planeada y no planeada por cada sub-clasificación de los Skids de válvulas de corredera.

Tabla 48. Valor de materiales para la estrategia de los sistemas de actuación de válvulas de corredera.

Familia	Valor Total Demanda Planeada	Valor Total Demanda No Planeada	Valor Total Estrategia
Skid hidráulico	\$272000000	\$1429000000	\$1701000000
Skit Neumatico	\$800000	\$6400000	\$7200000
TOTALES	\$272800000	\$1435000000	\$1708000000

3.4 RESUMEN GENERAL

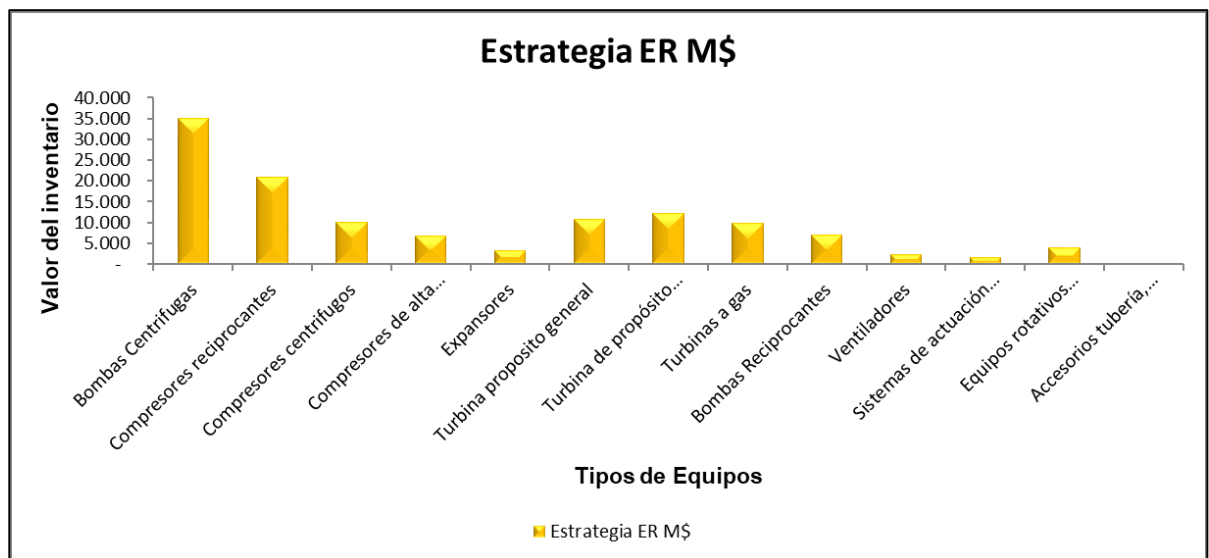
En la tabla 49 se presenta un resumen del valor total de la bodega de materiales para el cumplimiento de la estrategia de confiabilidad, identificándose el estimado de los repuestos recomendados para demanda planeada (plan de mantenimiento) y demanda no planeada (stock de seguridad más equipos con estrategia a falla – RTF), para la especialidad de equipo rotativo.

Tabla 49. Resumen dimensionamiento bodega de materiales según estrategia de mantenimiento de equipo rotativo.

Familias de Activos	Norma	Total Demanda Planeada	Total Demanda No Planeada	Total Estrategia
Bombas Centrífugas	API-610	\$ 8000000000	\$ 27100000000	\$ 35100000000
Compresores Reciprocantes	API-618	\$ 5800000000	\$ 15176000000	\$ 20976000000
Turbina de propósito Especial	API-612	\$ 4330000000	\$ 7913000000	\$ 12243000000
Turbinas propósito General	API-611	\$ 3459000000	\$ 7487000000	\$ 10946000000
Turbinas de Gas	API-616	\$ 10000000000	\$ 0,0	\$ 10000000000
Compresores Centrífugos	API-617	\$ 3245000000	\$ 6835000000	\$ 10080000000
Compresores de Alta Velocidad	API-672	\$ 2970000000	\$ 3814000000	\$ 6784000000
Bombas de desplazamiento positivo		\$ 7000000000		\$ 7000000000
Otros (Equipos rotativos especiales y menores)		\$ 4000000000		\$ 4000000000
Expansores	API-617	\$ 474000000	\$ 2766000000	\$ 3240000000
Ventiladores	API-673	\$ 2234000000	\$ 86000000	\$ 2320000000
Sistemas Actuación Válvulas Corredera		\$ 273000000	\$ 1435000000	\$ 1708000000
TOTALES		\$ 51785000000	\$ 72612000000	\$ 124397000000

En la figura 20 se presenta el valor de la bodega de materiales de acuerdo al dimensionamiento desarrollado a través del ejercicio planteado.

Figura 20. Resumen dimensionamiento bodega de materiales según estrategia de mantenimiento de equipo rotativo.



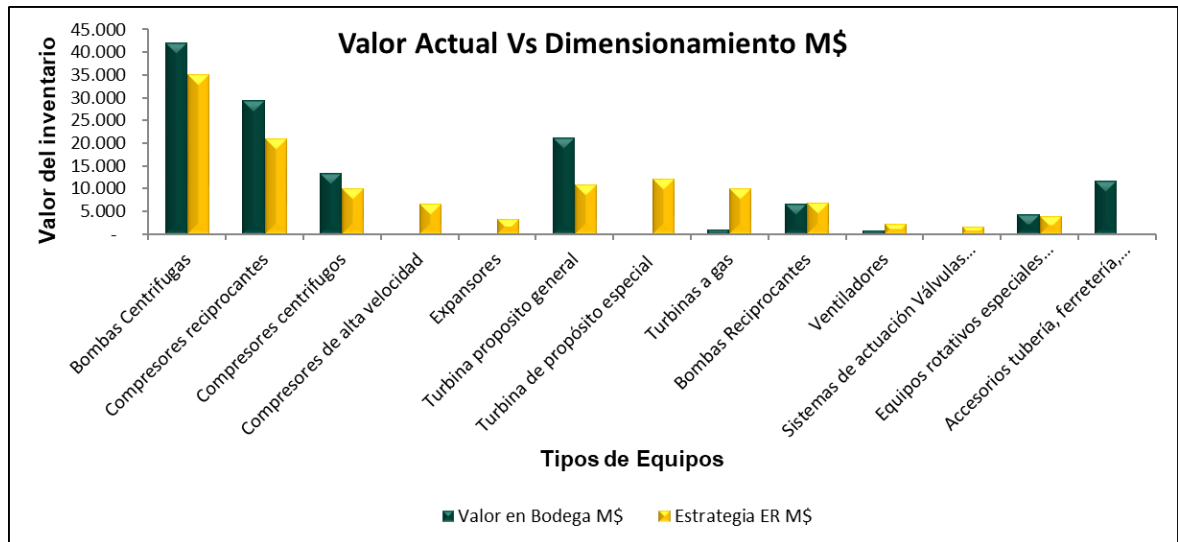
En la tabla 50 se presenta el resumen del valor total de la bodega de materiales actual versus el valor estimado obtenido del ejercicio desarrollado para el cumplimiento de la estrategia de confiabilidad para la especialidad de equipo rotativo.

En la figura 21 se observa la relación existente entre el costo de la bodega de materiales actualmente disponible y los valores de materiales requeridos para la ejecución de la estrategia de confiabilidad de la especialidad de equipo rotativo.

Tabla 50. Resumen valor total de la bodega Vs estimado de demanda planeada y no planeada a través del desarrollo del ejercicio.

Familias de Activos	Valor en Bodega \$	Valor en Bodega M\$	Estrategia ER M\$
Bombas Centrífugas	\$ 42.172.383.535,00	\$ 42.172	\$ 35.100
Compresores reciprocantes	\$ 29.583.059.527,00	\$ 29.583	\$ 20.976
Compresores centrífugos	\$ 13.432.230.305,00	\$ 13.432	\$ 10.080
Compresores de alta velocidad			\$ 6.784
Expansores			\$ 3.240
Turbina proposito general	\$ 21.251.006.890,00	\$ 21.251	\$ 10.946
Turbina de propósito especial			\$ 12.243
Turbinas a gas	\$ 1.000.000,00	\$ 1.000	\$ 10.000
Bombas Reciprocantes	\$ 6.684.967.245,00	\$ 6.685	\$ 7.000
Ventiladores	\$ 852.617.545,00	\$ 853	\$ 2.320
Sistemas de actuación Válvulas Corredera			\$ 1.708
Equipos rotativos especiales (Extrusores, reactores, secadores, chiller, agitadores, etc)	\$ 4.264.957.331,00	\$ 4.265	\$ 4.000
Accesorios tubería, ferretería, consumibles, otras especialidades.	\$ 11.825.990.091,00	\$ 11.826	0
Total	\$ 130.068.212.469,00	\$ 131.067	\$ 124.397

Figura 21. Relación valor actual de la bodega de materiales versus dimensionamiento bodega de materiales según estrategia de mantenimiento de equipo rotativo.



Los valores estimados utilizados para el cálculo de la estrategia fueron tomados del sistema de gestión de mantenimiento SAP. Dichos valores en pesos colombianos no tienen incluido el impacto que genera la variación incremental del último año en la TRM (Tasa Representativa del Mercado), pudiendo ser mayor en la fecha real en que se compran los repuestos.

Los rotores de repuestos de los compresores centrífugos y turbinas a vapor especiales, definidos dentro de la estrategia de confiabilidad como un Stock de Seguridad dentro de la demanda no planeada, no están aún incluidos dentro de este estimado, dado que hoy en día se reparan dentro del portafolio de Paradas de Planta y no entran dentro de las cuentas financieras del inventario de la bodega. No obstante, está en revisión la inclusión de estos repuestos reparados como Renovación de Materiales, que entrarían a ser parte del Inventario de la Bodega.

4. CONCLUSIONES

De acuerdo con la revisión de la existencia actual de los repuestos correspondientes a la especialidad de equipo rotativo de la bodega de materiales en la gerencia refinera de Barrancabermeja y del ejercicio desarrollado, podemos concluir:

El valor actual del inventario de la bodega de materiales por concepto de equipo rotativo en la gerencia refinera de Barrancabermeja no es el óptimo para el cumplimiento de la estrategia de confiabilidad definida debido a que el ejercicio arroja un valor de 124.397 Vs 130.068 Millardos.

La metodología desarrollada para calcular el costo óptimo de inventarios por concepto de equipo rotativo garantiza la disponibilidad de los repuestos requeridos para el cumplimiento de la estrategia definida sin incrementar el valor actual de la bodega de materiales en la gerencia refinera de Barrancabermeja.

El costo total del inventario de la bodega de materiales de la gerencia refinera Barrancabermeja se reduce en un 5% que equivalen a 5.671 Millardos aplicando las recomendaciones sugeridas a través del desarrollo del proyecto.

Las existencias actuales de repuestos para las familias de equipos como: Bombas centrifugas, compresores reciprocantes, compresores centrifugos, turbinas de propósito general, ventiladores y accesorios en general no corresponden con los requerimientos identificados mediante la metodología propuesta ya que no garantizan la entrega a operar en forma oportuna de los equipos rotativos.

Se destaca la importancia de la implementación del retiro de los repuestos que no corresponden a la especialidad de equipo rotativo puesto que su valor actual corresponde al 9% del costo total de los materiales por concepto de equipo rotativo.

La definición de los repuestos de equipo rotativo requeridos con demanda planeada y no planeada para el cumplimiento de la estrategia identifico la ausencia de partes de equipos que deben ser solicitados en compra una vez sean consumidos y teniendo en cuenta el tiempo de entrega del fabricante

5. RECOMENDACIONES

Desincorporar los repuestos disponibles en bodega que no sean requeridos para la operación, correspondientes a equipos actualizados por ICOS o proyectos o que no correspondan a la estrategia de operación actual (fuera de servicio) de la Refinería.

Catalogar kit de repuestos para sellos mecánicos que contengan repuestos que deban ser reemplazados en cada intervención, como empaquetaduras, anillos en O, prisioneros, cuñas.

Evaluar la implementación de vehículos comerciales para los materiales de alta rotación.

Asegurar la gestión de reposición de materiales en Bodega de acuerdo con los parámetros de reposición definidos para cumplir la Estrategia de Confiabilidad.

Validar si las cantidades y materiales reales disponibles en la bodega de la refinería, corresponden con las necesidades identificadas por la estrategia de confiabilidad.

Planificar el consumo de los materiales disponibles en bodega No Stock, clasificación tipo U (a usuario), de acuerdo con el plan de mantenimiento día a día y Paradas de Planta en 2018 a 2022.

Elaborar Política de Gestión de Activos para el manejo de Inventario de Bodega No Stock.

Instalar los equipos de reposición (ICOs) disponibles en la bodega de proyectos.

BIBLIOGRAFÍA

BLOCH, Heinz. Compressor Lubrication Best Practices. [En línea]. [Consultado el: 10 de septiembre de 2018]. Disponible en: <https://www.machinerylubrication.com/Read/488/compressor-lubricants>.

_____. Improving Machinery Reliability. Third Edition. Practical Machinery Management for Process Plants. Volumen 1. Houston, USA: Gulf Publishing Company, 1998. 680 p. ISBN: 0-88415-661-3.

BOILERSINFO. Centrifugal Pump Components. [En línea]. [Consultado el: 13 de noviembre de 2018]. Disponible en: <https://boilersinfo.com/centrifugal-pump-components/>

CIANDRINI, Chiara, et al. Fault detection and prognosis methods for amonitoring system of rotating electrical machines. [En línea]. En: 2010 IEEE International Symposium on Industrial Electronics (ISIE), 2010, 6 p. ISIE.2010.5637762. [Consultado el: 23 de octubre de 2018]. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/251965680>

DRESSER RAND INC. Single-stage Steam turbines. SST 500/700. Houston, USA: La Compañía, 2007. 6 p.

DU, Junrong. Evaluation of equipment reliability, availability and maintainability in an oil sands processing plant. [En línea]. Tesis de Maestría en Ingeniería Aplicada. Vancouver: University of British Columbia, 2008. 143 p. [Consultado el: 15 de septiembre de 2018]. Disponible en: <https://open.library.ubc.ca/cIRcle/collections/ubctheses/24/items/1.0067176>

ECOPETROL S.A. Caracterización equipos reciprocantes. [En línea]. [Consultado el: 01 de septiembre de 2018].

_____. Histórico de eventos de parada no programadas. [En línea]. [Consultado el: 01 de septiembre de 2018].

_____. Instructivo para Uso de la Matriz RAM - ECP-DRI-I-007. Bogotá D.C.: La Compañía, 2008. 13 p.

GENERAL ELECTRIC COMPANY. Power Plants Specifications. Atlanta, USA: La Compañía, 2017. 18 p.

GONZÁLEZ FERNÁNDEZ, Francisco. Auditoría del mantenimiento e indicadores de gestión. Madrid: Fundación Confemetal Editorial, 2004. 259 p. ISBN: 84-96169-36-7.

HOWDEN GROUP. Howden Thomassen Compressors. Rheden, Países Bajos: La Compañía, 2012. 16 p.

INTERNACIONAL STANDARDS ORGANIZATION. Petroleum, petrochemical and natural gas industries — Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment. ISO 14224. 2 ed. Ginebra: ISO, 2006. 178 p.

MORA GUTIÉRREZ, Alberto. Mantenimiento Industrial Efectivo. Medellín: COLDI Editores, 2009. 340 p. ISBN: 958-33-8218-3.

_____. Mantenimiento: planeación, ejecución y control. México: Alfaomega grupo editorial, 2009. 528 p.

MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Edición en español. Leicester: Aladon Ltd, 2004. 446 p. ISBN 09539603-2-3.

NAVARRO ELOLA, Luis; PASTOR TEJEDOR, Ana y MUGABURU LACABRERA, Jaime. Gestión Integral De Mantenimiento. Barcelona: Marcombo S.A. 1997. 116 p. ISBN: 9788426711212.

NGUYEN, DuyQuang y BAJAJEWICZ, Miguel. Optimization of Preventive Maintenance in Chemical Process Plants. [En línea]. En: Industrial and Engineering Chemistry Research, 2010, vol. 49, no. 9, pp. 4329-4339. [Consultado el: 05 de noviembre de 2018]. Disponible en: <https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/ie901433b>

OREDA. Offshore Reliability Data Handbook. Hovik, Noruega: La Compañía, 2002. 835 p.

PORRAS, Eric y DEKKER, Rommert. An inventory control system for spare parts at a refinery: An empirical comparison of different re-order point methods. [En línea]. En: European Journal of Operational Research, 2008, vol. 184, no. 1, pp. 101-132. [Consultado el: 15 de octubre de 2018]. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/222708533>