



**DISEÑO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN CONFIABILIDAD
PARA EL AREA DE SANDBLASTING DE INDUSTRIAS ASTIVIK S.A**

**JORGE ANTONIO CERRO VÉLEZ
JOSE LUQUEZ BAQUERO**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA
CARTAGENA DE INDIAS D. T. Y C.**

2012



**DISEÑO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN CONFIABILIDAD
PARA EL AREA DE SANDBLASTING DE INDUSTRIAS ASTIVIK S.A**

**JORGE ANTONIO CERRO VÉLEZ
JOSE LUQUEZ BAQUERO**

**Director
VLADIMIR QUIROZ MARIANO**

**MONOGRAFÍA DE MINOR EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL PARA
OPTAR AL TÍTULO DE:**

INGENIERO MECÁNICO

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERIA MECÁNICA
CARTAGENA DE INDIAS D. T. Y C.**

2012

Nota de aceptación

Firma presidente del jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Cartagena, 15 de Noviembre de 2012.

DEDICATORIA

*A nuestros padres Antonio Rafael Cerro Ávila, Nidia Estella Vélez ,
Disnalda Baquero Calderon y José luquez Casadiego
Por darnos la mejor muestra de su amor,
Una buena educación.*

RESUMEN

En la empresa Industrias Astivik s.a encontramos diferentes áreas de trabajo, como por ejemplo el departamento comercial, departamento de presupuestos, departamento de contabilidad y el departamento de operaciones. Cada uno de estos cumpliendo con tareas específicas para lograr una empresa completamente organizacional y firmemente estructurada. El departamento de operaciones en una empresa debe de tener en cuenta varios factores, como por ejemplo los costos de operación, manejo de tiempo en las operaciones, entre otros; Aquí el sandblasting juega un papel muy importante y es controlado por el departamento de operaciones el cual decide el cronograma de trabajo, turnos de personal. Como también mide y controla la cantidad de consumibles diarios a gastar y el rendimiento por turno del sandblasting.

El mantenimiento es el protagonista en todo este proceso de sandblasting, ya que sin este no se pudieran preservar los activos que llevan a cabo este proceso y sin un correcto plan de mantenimiento no se podría exigir el mayor posible rendimiento. Con la ausencia de un plan de mantenimiento basado en confiabilidad se aumentaría la frecuencia de fallas de los equipos, los paros no planeados, la disponibilidad de estos disminuirían, por lo cual traería pérdidas en reparaciones costosas por una no oportuna acción de mantenimiento, como también conllevaría a disminuir la producción del proceso.

ABSTRACT

At Industrias astivik s.a company we find out different work areas, such as the sales department, department budgets, accounting department and the operations department. Each of these meeting accomplish specific tasks for a fully structured organizational and firmly. The operations department in a company must take into account several factors, including operating costs, time management in operations, among others. Here the sandblasting plays an important role and is controlled by the operations department which decides the work schedule, personnel shifts. As also measured and controlled amount of daily consumables to spend and shift performance by sandblasting.

Maintenance plays a very important role in this process of sandblasting, because without this could not preserve the assets that perform this process without a proper maintenance plan could not require the highest possible performance. With the absence of a maintenance plan based on reliability would increase the frequency of equipment failures, unplanned shutdowns, the availability of these would decrease, which would be lost on costly repairs by not timely maintenance action, as well lead to lower production process.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	15
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	17
2. JUSTIFICACIÓN	18
3. OBJETIVOS	20
3.1 GENERAL	20
3.2 ESPECIFICO	20
4. DISEÑO METODOLÓGICO	21
5. GLOSARIO	22
5.1 MANTENIMIENTO	22
5.2 FMEA	24
5.3 WEIBULL	25
5.4 PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO	28
5.5 SANDBLASTING	30
5.6 PARETTO	32
5.7 MATRIZ RAM	34
5.8RCM	36
5.10 MANTENIBILIDAD	39
6. MARCO CONCEPTUAL	42
7. ASPECTOS GENERALES DE LA EMPRESA ASTIVIK S. A	45
7.1 RESEÑA HISTORICA	45
7.2 VISIÓN Y MISIÓN	46

8. DESCRIPCIÓN FOTOGRAFICA DE LOS EQUIPOS DEL AREA DE SANDBLASTING EN LA EMPRESA ASTIVIK S.A	48
8.1. MATRIZ RAM DE LOS EQUIPOS DE SANDBLASTING	54
8.2. CONCLUSIONES DE LA MATRIZ RAM	56
9. DEFINICION DE LA HERRAMIENTA FMEA PARA LOS EQUIPOS CRITICOS DEL AREA DE SANDBLASTING.	57
9.1. ANALISIS DEL COMPORTAMIENTO ACTUAL DE FALLAS EN LOS EQUIPOS DE SANDBLASTING	58
9.2. FMEA DEL EQUIPO CRÍTICO	59
9.3 WEIBULL APLICADO AL COMPRESOR DEL AREA DESANBLASTING	82
10. DEFINICION DEL MODELO RCM DE MANTENIMIENTO EN EL AREA DE SANDBLASTING	99
10.1 PLAN DE MANTENIMIENTO AL EQUIPO CRÍTICO DEL AREA DE SANDBLASTING	101
PRESUPUESTO	105
CONCLUSIONES	106
BIBLIOGRAFIA	110
ANEXOS	112

LISTA DE ILUSTRACIONES

	pág.
ILUSTRACIÓN 1. COMPRESOR 1600	48
ILUSTRACIÓN 2. COMPRESOR 1600	48
ILUSTRACIÓN 3. COMPRESOR 1100	48
ILUSTRACIÓN 4 COMPRESOR 1100	49
ILUSTRACIÓN 5. COMPRESOR 750-1	50
ILUSTRACIÓN 6. COMPRESOR 750-1	50
ILUSTRACIÓN 7. COMPRESOR 750-2	51
ILUSTRACIÓN 8. COMPRESOR 750-2	51
ILUSTRACIÓN 9. COMPRESOR 600	52
ILUSTRACIÓN 10. COMPRESOR 600	52
ILUSTRACIÓN 11. TOLVAS	53
ILUSTRACIÓN 12. MANGUERAS	53

LISTA DE TABLAS

	pág.
TABLA 1. MATRIZ RAM	54
TABLA 2. MATRIZ RAM DE LAS MANGUERAS	55
TABLA 3. MATRIZ RAM DE LAS BOQUILLAS	55
TABLA 4. MATRIZ RAM EQUIPO COMPRESOR	56
TABLA 5. CRITERIOS DE PROBABILIDAD DEL FMEA	58
TABLA 6. CRITERIOS DEL DET DEL FMEA	58
TABLA 7. ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO DE COMPRESORES	59
TABLA 8 FMEA DEL SISTEMA DE LUBRICACIÓN	60
TABLA 9. FMEA DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN	63
TABLA 10. FMEA DEL SISTEMA ELÉCTRICO	68
TABLA 11. FMEA DEL SISTEMA DE ADMISIÓN Y ESCAPE DE AIRE	70
TABLA 12. FMEA DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN	72
TABLA 13. FMEA DEL SISTEMA DE GENERACIÓN DE POTENCIA	74
TABLA 14. FMEA DEL SISTEMA DE TOMA DE COMBUSTIBLE	77
TABLA 15. FMEA DEL SISTEMA DE COMPRESIÓN	81
TABLA 16. COMPORTAMIENTO HISTÓRICO COMPRESOR 600 CFM	83
TABLA 17. . COMPORTAMIENTO HISTÓRICO COMPRESOR 750-1 CFM	83
TABLA 18. COMPORTAMIENTO HISTÓRICO COMPRESOR 1100 CFM	84

TABLA 19. COMPORTAMIENTO HISTÓRICO COMPRESOR 750-2 CFM	84
TABLA 20. COMPORTAMIENTO HISTÓRICO COMPRESOR 1600 CFM	85
TABLA 21. VALORES DE MTBF Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE WEIBULL	90
TABLA 22. TABLA DE FUNCIONES Y ESTANDARES DE FUNCIONAMIENTO DE LOS SISTEMAS DEL COMPRESOR	99
TABLA 23. PLAN DE MANTENIMIENTO DE COMPRESOR	101

LISTA DE GRÁFICOS

	PÁG.
GRÁFICO 1. RESULTADO DEL ANÁLISIS DE FALLA DEL SISTEMA DE LUBRICACIÓN	¡Error! Marcador no definido.
GRÁFICO 2. RESULTADO DEL ANÁLISIS DE FALLA DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN	67
GRÁFICO 3. RESULTADO DEL ANÁLISIS DE FALLA DEL SISTEMA DE ADMISIÓN Y ESCAPE DE AIRE	71
GRÁFICO 4. RESULTADO DEL ANÁLISIS DE FALLA DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN	73
GRÁFICO 5. RESULTADO DEL ANÁLISIS DE FALLA DEL SISTEMA DE GENERACIÓN DE POTENCIA	¡Error! Marcador no definido.
GRÁFICO 6. RESULTADO DEL ANÁLISIS DE FALLA DEL SISTEMA DE TOMA DE COMBUSTIBLE	80
GRÁFICO 7. RESULTADO DEL ANÁLISIS DE FALLA DEL SISTEMA DE COMPRESIÓN	82
GRÁFICO 8. FALLAS DE LOS EQUIPOS	86
GRÁFICO 9. TIEMPOS FUERA DE LA OPERACIÓN	87
GRÁFICO 10. CONFIABILIDAD COMPRESOR 1600	¡Error! Marcador no definido.
GRÁFICO 11. CONFIABILIDAD Y NO CONFIABILIDAD DEL EQUIPO DEL EQUIPO COMPRESOR 1100	¡Error! Marcador no definido.
GRÁFICO 12. CONFIABILIDAD Y NO CONFIABILIDAD DEL EQUIPO COMPRESOR 750-1.	¡Error! Marcador no definido.
GRÁFICO 13. CONFIABILIDAD Y NO CONFIABILIDAD DEL EQUIPO COMPRESOR 750-2.	¡Error! Marcador no definido.

GRÁFICO 14. CONFIABILIDAD Y NO CONFIABILIDAD DEL EQUIPO COMPRESOR 600 **¡Error! Marcador no definido.**

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo a. INFORME FINAL DE INVESTIGACION	113
Anexo b. DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS DEL AREA DE SANDBLASTING	114

INTRODUCCIÓN

El objetivo de un plan de mantenimiento es adquirir la máxima disponibilidad y fiabilidad de una planta, a corto plazo y largo plazo, con el mínimo costo; En el siguiente trabajo de investigación pretende mostrar un análisis de todos los fallos de los equipos del área de SANDBLASTING en la empresa ASTIVIK S. A. Se requiere un estudio detallado de los sistemas que la componen; Es fundamental para desarrollar a cabo este estudio utilizar herramientas propias del mantenimiento industrial como FMEA y la distribución WEIBULL que buscan analizar los fallos y definir la tasa de fallos de los equipos respectivamente. En el desarrollo del estudio en mención se puede ver gráficamente un modelo de identificación de los equipos críticos a través de la Matriz RAM, la identificación de tasa de fallos de la maquinaria con sus porcentajes de criticidad y las conclusiones del estado actual de mantenimiento de cada equipo.

Esta investigación se realiza a los equipos del área de Sandblasting y se estudia este proceso en específico en la empresa ASTIVIK S. A, en el cual se quiere dar solución a los problemas de mantenimiento preventivo, correctivo y predictivo a través de la elaboración de un plan de mantenimiento; en su elaboración se tuvo en cuenta la información suministrada por la empresa sobre los datos para el desarrollo del plan de mantenimiento. Se logro desarrollar en su totalidad las acciones de mantenimiento a cada una de las partes que componen los equipos críticos del área de Sandblasting.

Se requiere en la empresa un desarrollo más global que incluya la información sobre el buen uso de la misma por parte del supervisor de personal del área de mantenimiento, además de una caracterización de los procesos del área de Sandblasting que defina los responsables de los informes de mantenimiento preventivo, correctivo y preventivo.

Al terminar el estudio se pueden trazar planes para aumentar la disponibilidad, y confiabilidad de los equipos, tomar medidas de control al mantenimiento de los equipos, y controlar el uso excesivo de la maquinaria; se encontró que el área de sanblasting tenía falencias específicamente con respecto a los compresores, equipos importantes e imprescindibles, debido al mal uso y la exposición de los equipos en el entorno.

El mayor beneficio que obtiene la empresa con este estudio es el desarrollo del plan de mantenimiento que permitirá obtener mayores utilidades con el menor costo de operación y la definición de pautas a seguir con respecto a cada elemento de un activo en específico para establecer los diferentes tipos de mantenimiento a realizar a cada activo.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

¿Por medio de la elaboración de un plan de mantenimiento y el análisis de fallas se podrá aumentar la confiabilidad de los equipos del área de sandblasting en la empresa ASTIVIK S. A?

2. JUSTIFICACIÓN

Astivik S. A. es una empresa líder en el sector de reparación naval, por lo cual implementando un plan de mantenimiento otras empresas del sector podrán ver la usabilidad y beneficios económicos tratando de imitar este proceso otorgando un reconocimiento a la empresa por sus buenas practicas de mantenimiento; este proyecto ayuda a crear un instrumento de medición para la recolección de datos de cada equipo y los estudios de confiabilidad podrán mostrar la solución a corto y largo plazo plasmados en el plan de mantenimiento.

A través de la realización del plan de mantenimiento se Identifican las fallas aun no conocidas, evaluando su criticidad, donde se definen los fallos potenciales, esto orienta a la empresa a adoptar políticas de mantenimiento o repuestos, en la búsqueda sistemática de tipos de fallos, sus causas y sus efectos para luego priorizar las acciones a tomar. La importancia de elaborar el inventario de la maquinaria del área de sandblasting nos permite clasificar los equipos por su criticidad a través de la herramienta FMEA, recopilando la información de las características de las fallas y ejercer un control preventivo, correctivo y predictivo según sea el caso. Impacta a corto plazo porque permite determinar los equipos críticos del área de sandblasting, a mediano por el control al mantenimiento preventivo, correctivo y a largo plazo por los estudios detallados de las fallas de la maquinaria y los controles predictivos que aun no se conocían sobre los modos de falla

Nuestro interés en la realización del plan de mantenimiento del área de sandblasting es lograr implementar el análisis de las fallas y confiabilidad en los equipos analizados, con esto podemos utilizar los instrumentos de mantenimiento capaces de determinar la frecuencia, paradas, impactos, fallas, modos de falla y confiabilidad de las máquinas y anticiparnos para que la

empresa obtenga un mayor margen de utilidad, traducido en menores costos de mantenimiento por reparaciones o daños permanentes en la maquinaria.

3. OBJETIVOS

3.1 GENERAL

Diseñar un plan de mantenimiento basado en confiabilidad para los Equipos del área de sandblasting en la empresa ASTIVIK S. A tomando acciones preventivas, correctivas y predictivas con respecto a los equipos a través de las herramientas Matriz RAM, WEIBULL Y FMEA para una mejor preservación, funcionamiento y confiabilidad de estos.

3.2 ESPECIFICO

- Analizar la información de cada equipo para jerarquizar la criticidad de los mismos según su función específica por medio de la MATRIZ RAM con el fin de atacar el equipo crítico del área de sandblasting de la empresa industrias ASTIVIK s.a.
- Determinar las acciones preventivas, predictivas y correctivas a realizar para cada elemento de los equipos por medio de la herramienta FMEA para diseñar un plan de mantenimiento óptimo.
- Pronosticar el comportamiento de las fallas por medio de la herramienta Weibull con el fin de conocer la probabilidad de falla de los compresores del área de sandblasting de la empresa industrias ASTIVIK S.A

4. DISEÑO METODOLÓGICO

Desarrollar un plan de mantenimiento a través de una investigación cuantitativa cuya finalidad es descriptiva, analítica y evaluativa, por definir el proceso, analizar datos numéricos y evaluar los niveles de criticidad de los equipos del estudio. La recopilación de la información se realiza directamente en conjunto con los ejecutores de las labores del área de sandblasting y confirmados por el jefe de mantenimiento.

El plan de acción del plan de mantenimiento es aplicativo a través de las herramientas WEIBULL Y FMEA donde se realizan los estudios de confiabilidad y análisis de fallas; el tipo de estudio es acerca de la confiabilidad y análisis de fallas; el área de estudio es el mantenimiento; el universo y la muestra poblacional son los equipos del área de Sandblasting, la recopilación de datos se realiza por medio de entrevistas y visitas al área de trabajo en la empresa ASTIVIK S. A.

El plan de tabulación y análisis de datos estadísticos se hacen a través de diagramas, tablas de inventario, criticidad, fórmulas estadísticas aplicadas en las herramientas de mantenimiento en el análisis de fallas, confiabilidad de la maquinaria y gráficas porcentuales.

5. GLOSARIO

5.1 MANTENIMIENTO¹

En el libro *La gestión de mantenimiento: guía para el Responsable de la conservación locales e instalaciones*, escrito por José María de Bona, hace referencia principalmente al concepto de mantenimiento y el análisis de que se entiende por mantenimiento. Se realizan conclusiones del tema y se hacen unas recomendaciones mostrando la relación que existe entre mantenimiento y confiabilidad. Este texto cuenta con un análisis e interpretación de estudios realizados en los cuales se expone una comparación entre lo que se entiende por mantenimiento y un resumen objetivo sobre lo que se debe de estudiar a momento de realizar un mantenimiento a la maquinaria. En el texto no se teoriza sobre el mantenimiento como ciencia ni se dice como se debe trabajar técnicamente en un área concreta, se explica la forma en la que el mantenimiento se puede resolver, ósea, como se gestiona el mantenimiento en una empresa.

El mantenimiento se describe comúnmente como. “Lo que hay que hacer para que las cosas funcionen correctamente o en su defecto para que las averías duren lo menos posibles. La primera conclusión es que los responsables de mantenimiento deben entender y tener presente que realizan un trabajo que está de alguna manera al servicio de otra cosa, como por ejemplo podemos hablar de la producción en una factoría o de una calefacción en una comunidad. La segunda conclusión se trata de que es conveniente que los responsables del mantenimiento conozcan los problemas que se derivan de las averías para hacer que su trabajo sea lo más eficaz posible. Como tercera conclusión tenemos la importancia de la eficacia la cual debe entenderse desde el punto de vista de la incidencia que las averías pueden tener, con un límite marcado

¹[Gestión del mantenimiento. Guía para el responsable de la conservación de locales e instalaciones][José María de Bona][Editorial Fundación Confemetal][Madrid, España][ISBN: 9788489786813]

por su coste; lo que se gaste en mantenimiento debe relacionarse con el problema que se presente resolver.

Cuando a alguien le encarga “El mantenimiento de...”, tiene que pensar en la incidencia de las averías y el coste asumible. La avería es consustancial con la existencia de un equipo, elemento o instalación, y por tanto no hay que asustarse ni pretender erradicarlas como si de una epidemia se tratara. La organización que diseñemos para resolver el problema no puede plantearse con estas premisas. Cada acción destinada a evitar averías o a resolverlas tiene un coste lo que significa que deben elegirse aquellas que guardan relación con la repercusión de la posible avería. Tampoco hay que dejar a un lado el coste inicial de la instalación a mantener el coste de reposiciones de los elementos mantenidos.

Como agregado a lo que define el autor existen 3 tipos de mantenimiento que basta con mencionar su objetivo y su importancia; estos son mantenimiento preventivo, correctivo, y predictivo. El primero busca solucionar los fallos antes de que ocurran, para esto se requieren medidas que busquen disminuir las fallas de los equipos, el segundo soluciona las fallas cuando se produce el daño, lo cual es costoso para la empresa y detenta de personal especialista para su arreglo por lo cual no es una opción viable en términos de costo beneficio, y por último y no menos importante el mantenimiento predictivo el cual permite predecir el comportamiento de la maquinaria para aumentar la capacidad de trabajo o tener criterio en la toma de decisiones.

En resumen es importante tener claro cuáles son las características de servicio a prestar, las posibilidades sobre instalación: fiabilidad de sus componentes, del conjunto, redundancias, facilidad de acceso a los elementos, facilidad de manejo de la instalación, el abastecimiento de los suministros necesarios (Agua, Energía eléctrica, Etc.), abastecimientos alternativos, la previsión de los tiempos de inoperatividad por revisiones, la facilidad de repuestos, los

conocimientos del personal que la va a mantener y ajustar todos los costes de mantenimiento de acuerdo a lo anterior.

5.2 FMEA²

En el libro *Fiabilidad y seguridad: su aplicación en procesos industriales* escrito por Antonio Creus Solé, se muestra una definición FMEA, como un método que hay que realizar en todas las empresas para aplicar una filosofía por lo cual explorar el proceso de análisis modal de fallos y los efectos del mismo. Demuestra la tesis de que el FMEA se utiliza fundamentalmente en los equipos, donde se analizan las consecuencias en el sistema de todos los posibles fallos que pueden afectar a uno de sus componentes, identifica los tipos de fallo que tienen consecuencias importantes y determina los medios de detección para cada tipo de fallo.

El FMEA puede ser incluso más detallado que un árbol de fallos ya que debe considerarse cada tipo de fallo de cada componente. Por ejemplo, considerando el caso del fallo de un relé, entre los tipos de fallo que pueden experimentar figuran: contactos cerrados pegados, contactos abiertos pegados, contactos de apertura lenta, contactos de cierre lento, contactos en cortocircuito, contactos martilleando, con contacto intermitente, formación de arcos en los contactos, bobina del relé en circuito abierto, bobina de relé en cortocircuito, resistencia alta de la bobina, resistencia baja de la bobina, sobrecalentamiento de la bobina, histéresis excesiva de la bobina. En el caso de rotura de una termo resistencia las causas pueden ser: mala fabricación, vibraciones, daños en el transporte, material defectuoso, golpe de cuerpo extraño, y en el caso de mal funcionamiento de un controlador electrónico, mala fabricación, vibraciones, fuente de alimentación averiada, hardware de control defectuoso, humedad, corrosión galvánica, sobre sollicitación

² [Fiabilidad y seguridad: su aplicación en procesos industriales] [Antonio Creus Solé] [Madrid, España] [2005] ISBN 84-247-1362-9.

electrónica, ionización, etc. Debido al gran detalle que ofrece el método deben prepararse listas de comprobación para cada tipo de equipo o de sistema.

$$\text{RIESGO} = \text{Probabilidad de Fallo} * \text{Grado de severidad}$$

El FMEA puede ampliarse incluyendo la probabilidad de cada modo de fallo y priorizando sus acciones correctivas, método que recibe el nombre de AMFEC (Análisis modal de fallos, efectos y criticidad del proceso) FMECA (Failure Modes, effects and criticality analysis). Para ello se calcula el llamado número de riesgo prioritario (RPN – Risk priority number), que multiplica tres parámetros severidad (s), Ocurrencia (o) y detección (D) a los que se ha dado un valor numérico de 1 a 10 o de 1 a 5.

$$\text{RPN} = \text{S} * \text{O} * \text{D}$$

Donde, S: grado de severidad con escala de 1 a 10 o 1 a 5 donde 1= el usuario no se ha enterado del fallo. 10= existe un peligro grave o no se cumplen los reglamentos de seguridad. O= Factor de ocurrencia de fallo con escala 1 a 10 (o 1 a 5), en el que 1= 1 fallo/100.000 y 10 = 1 fallo / 10. D= factor de detectabilidad con escala de 1 a 10 o 1 a 5 e el que 1= se encuentra siempre el fallo y 10 el fallo no es detectado por el usuario.

Por medio del FMEA se puede conocer la probabilidad de que el modo de fallo cause el fallo del sistema, o bien, de lugar a una pérdida significativa de su función. Indica la severidad de los efectos del fallo y sus valores pueden ser 100%= pérdida real. 50% pérdida probable, 20% pérdida posible, y 10% pérdida nula.

5.3 WEIBULL³

³ [Fiabilidad Industrial] [EulàliaGrifulPonsati][Segunda Edición][Ediciones UPC][2001][Barcelona, España][ISBN 84-8301-734-2] Págs. 41-42-43.

En el libro Fiabilidad Industrial, escrito por Eulàlia Griful Ponsat, se modelan las tasas de fallos no constantes, crecientes y decrecientes. Se describen gráficos de probabilidad como herramienta para validar el modelo weibull y estimar sus parámetros. Se expone brevemente el modelo de estimación de la máxima verosimilitud y se proponen estimadores para los parámetros basados en este método.

Este es un artículo que cuenta con un enfoque específico, complementado por una investigación y tomando también la experiencia.

La función de fiabilidad de una variable aleatoria T = “tiempo de vida de un dispositivo” de una distribución de Weibull (alfa y beta).

$$R(t) = \Pr(T > t) = \exp\left[-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta\right], \quad t \geq 0$$

Donde alfa y beta son parámetros positivos, alfa es un parámetro de escala y beta un parámetro de perfil o de forma. Nótese que cuando beta=1, se obtiene una distribución exponencial de lambda= 1/alfa. Existen 4 funciones de fiabilidad con el mismo parámetro alfa=1 y distintos valores de beta. La función de riesgo de weibull es:

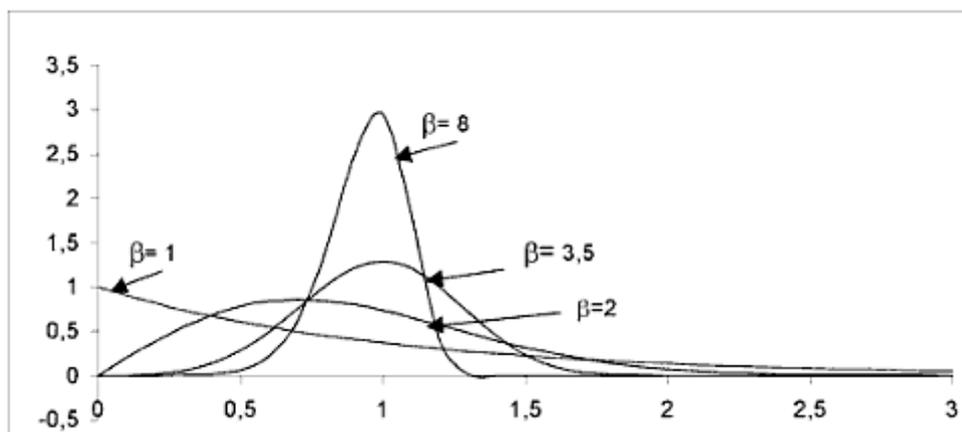
$$h(t) = \beta\alpha^{-\beta}t^{\beta-1}$$

Si beta es menor a 1 la función de riesgo o tasa de fallo disminuye al aumentar el tiempo. Este comportamiento es propio de los fallos prematuros. Productos con esta tasa de fallos suelen ser verificados en fábrica para que los fallos no se produzcan en el mercado.

Si beta es igual a 1, (modelo exponencial) la función de riesgo es constante, una tasa de fallos constante es una característica de los fallos ocasionales. En

esta situación el número de fallos y el momento en que ocurren no depende del tiempo que el dispositivo funciona.

Si beta es mayor a 1 la función de riesgo es creciente. Esto indica que los fallos son debido al envejecimiento, a la fatiga o al desgaste. En particular si 1 es menor a beta y este a su vez es menor a 2, la función de riesgo crece linealmente con el tiempo; para beta menor a 2 crece poco al principio y rápido posteriormente, es decir, el intervalo de tiempo en el cual se produce un fallo es cada vez menor. Es recomendable que los dispositivos con tasa de fallo creciente tengan un plan de mantenimiento preventivo. A continuación se exponen gráficamente las tres situaciones de weibull, creciente decreciente y constantes.



Se puede concluir mencionando un ejemplo que reúne lo aquí explicado. Ejemplo: si t es el tiempo de vida del tambor de una lavadora, que se distribuye según un modelo de weibull con parámetros $\alpha = 10$ años y $\beta = 2$. El parámetro $\alpha = 10$ años indica que un 36,8 de las bobinas duraran más de 10 años puesto que es percentil de 0.632 de la distribución del tiempo de vida. El parámetro $\beta = 2$ indica que tiene una función de riesgo linealmente creciente con el tiempo. Esto indica que los fallos son debidos al envejecimiento. La vida media de las bobinas, aplicando la formula es:

$$\mu = \alpha \Gamma(1+(1/\beta)) = 10 \Gamma(1+(1/2)) = 10 \times 0,886 = 8,86 \text{ años}$$

La mediana de la distribución es.

$$t_{0,5} = -\alpha [-\ln(1-0,5)]^{1/\beta} = 10 [0,6931]^{1/2} = 8,32 \text{ años}$$

Lo que indica que la mitad de las bobinas duraran 8.32 años. La varianza de la distribución es:

$$\text{Var}(T) = \alpha^2 [\Gamma(1+(2/\beta)) - [\Gamma(1+(1/\beta))]^2] = 21,5 \text{ años}^2$$

Y la desviación estándar es de 4.64 años.

5.4 PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO⁴

En el libro Diseño y gestión de cocinas escrito por Eduardo Montes se presenta el plan de mantenimiento predictivo como un sistema de planificación de las operaciones de mantenimiento donde no ha de plantearse una vez se ha finalizado el diseño de la planta, y se hayan situado en ella las diversas instalaciones, sino que se trata de una acción que debe contemplarse desde el mismo momento en que se comienza a pensar en el diseño y la dotación de la maquinaria.

Se presenta un contenido descriptivo y analítico porque deduce los efectos del mantenimiento preventivo en las empresas.

Una misma instalación puede necesitar distintas operaciones de mantenimiento en periodos diferentes, por lo que en general resulta más correcto determinar la frecuencia de cada una de las distintas operaciones de mantenimiento de una

⁴ [Diseño y gestión de cocinas] [Eduardo Montes][Ediciones Díaz Santos] [España][2005] ISBN 84-7978-698-1 pág. 481-484

instalación, en lugar de precisar la frecuencia global del mantenimiento. La periodicidad de ejecución de cada operación variará en función de la frecuencia expresada en forma de unidad de tiempo o unidad de uso (Como sucede, por ejemplo, en la revisión de los diferentes componentes de la maquina lavavajillas) y sobre todo en función de las recomendaciones de los fabricantes. Se tendrá. Por tanto especial precaución en solicitarles documentación técnica al efecto en el momento de la adquisición y en consultarla para estructurar el plan.

A continuación se presentan algunas recomendaciones sobre la periodicidad y las acciones a realizar.

1. DIARIA

1.1 Reposición de jabón y toallas de un solo uso en los lavamanos de la cocina y aseos.

1.2 Control del nivel de sal de las descalcificadoras.

1.3 Revisión de vajilla y otros utensilios de cristal, porcelana o loza.

2. TRIMESTRAL: Revisión general de las máquinas lavavajillas.

3. MENSUAL. Comprobación del estado de los parámetros de la cocina (Suelo, paredes, techos y protecciones), carpintería, puntos de iluminación, fontanería y grifería.

4. SEMESTRAL: revisión de todas las restantes máquinas de la cocina.

El conjunto de estas operaciones se ha de registrar de forma escrita de acuerdo con el principio general de documentación que ha de regir las actividades de autocontrol.

En la documentación de los planes de mantenimiento han de distinguirse dos apartados, en el primero se especifican o inventarían las instalaciones y estructuras de la cocina que se someterán a revisión de mantenimiento preventivo, la descripción de las operaciones básicas de mantenimiento a realizar la periodicidad con la que se llevarán a cabo. En el segundo se registrará el resultado de la revisión, las medidas correctoras eventualmente adoptadas y

el nombre y la firma del responsable de la revisión. Para las revisiones simples se utiliza un formato de lista de revisión, mientras que para las operaciones de mantenimiento complejas, habitualmente por personal calificado, se utiliza un formato específico.

Los planes de mantenimiento se deben seguir en base al tipo de mantenimiento escogido para lo cual se recuerdan las siguientes acepciones de los tipos de mantenimiento: La finalidad del mantenimiento preventivo es: Encontrar y corregir los problemas menores antes de que estos provoquen fallas. Mantenimiento Predictivo es: Medición de Variables que identifiquen un Parámetro Síntoma, lo que es conocido como monitoreado de Estado. Este monitoreado de estado, se ejecuta Planificando Inspecciones, que son ejecutadas según una frecuencia, prevista en función de las características de la Variable en cuestión y el Parámetro Síntoma identificado. El Mantenimiento Correctivo es entendido como aquellas acciones (planificadas o NO) que tienen como objetivo restablecer el nivel de desempeño de un Equipo/Sistema, después de la ocurrencia de una falla, que puede ser esperada o no.

5.5 SANDBLASTING⁵

How to Restore Your Ford Pick-Up Escrito por Tom Brownell expone al sandblasting como un método en el cual se mezcla arena y aire para dar inicio al proceso de sandblasting, por el cual remover óxido, pintura y grasa son los principales objetivos.

A través de la descripción del proceso de sandblasting se explica la actividad del compresor y las modificaciones que hay que desarrollar para que realice este tipo de trabajo, además de recomendaciones en sus componentes.

La grasa, la pintura y el óxido pueden ser eliminados por medios severos, el método más común y barato es el sandblasting, otros métodos utilizan

⁵ [How to Restore Your Ford Pick-Up][Tom Brownell][Motorbooks][First edition][Michigan, United states][August 12, 1993] ISBN 978-0879387266

productos químicos. El intento de quitar la pintura y el óxido mediante lijado, esmerilado o utilizando un cepillo de alambre no es muy eficaz; estos métodos mecánicos pueden desgastar el metal y no con éxito eliminar todos los rastros de óxido (Las semillas microscópicas de óxido que se quedan en la parte de abajo de la pintura, la cual crecerá en el metal y en la pintura).

Los compresores portátiles necesitan modificaciones antes de conectarse al sandblaster. La primera modificación se hace instalando un separador de humedad entre la conexión de salida en el compresor con la manguera. Típicamente la manguera de aire es conectada al tanque de aire cuando el compresor es operado en días húmedos, para pasar el chorro de aire y arena por la manguera. El separador de arena hace lo que el nombre sugiere, pero también elimina la humedad de la corriente de aire, permitiendo solo el paso de aire seco, para profundizar en el tubo de aire.

Para muchos compresores de aire se requiere una segunda modificación, esta se realiza donde el tamaño de la manguera es de 1/4 diámetro con un mínimo de 5/16 en el interior de la manguera. Mantener la longitud de la manguera a no más de 50 pies, las secciones de la manguera no debe ser empalmado juntas debido a la restricción en la conexión de aire. Estas modificaciones se recomiendan para todos los compresores de aire y de pintura. Las unidades de sandblasting son de dos tipos: de sifón y alimentadas a presión, ambos están disponibles y su mayor productor es la compañía Eastwood, y otros pertenecientes a la fabricación de herramientas de restauración.

En muchas comunidades encontramos servicios comerciales de sandblasting, estos servicios remueven la pintura y el óxido de chasis, piezas, ruedas, parachoques y chapa a precios razonables. La desventaja de estos chorros de arena que se ofrecen comercialmente es el control sobre el proceso de arenado. A pesar de que un chorro de arena no es probable que dañe un parachoques, un chorro de arena a alta presión puede deformar la chapa. Si se

va a recurrir a estos sitios lo mejor es tener mucho cuidado con estas partes para evitar la deformación y no tener que enderezar.

5.6 PARETTO⁶

El Libro de técnicas de resolución de problemas: criterios a seguir en la producción y el mantenimiento, escrito por Francisco Rey Sacristán muestra una definición del concepto de Pareto muy subjetiva pero a la vez muy acertada, resaltando la importancia de realizar un Pareto sobre un tema cualquiera elegido por un grupo de trabajo. Se trata de un análisis conceptual, descriptivo y analítico sobre el diagrama de Pareto, en el cual se detalla la importancia de su aplicación.

Un diagrama de Pareto es una forma especial de gráfico de barras verticales en el cual se distribuyen los datos en orden de magnitud decreciente de izquierda a derecha. Pueden utilizarse con o sin una línea de frecuencia acumulada cuando se emplea esta, representa la suma progresiva de las sucesivas barras verticales de izquierda a derecha. Los diagramas de Pareto se emplean como técnicas de análisis de un problema desde una nueva perspectiva o para concentrar la atención sobre los problemas en orden de su prioridad.

Como técnica de análisis el simple proceso de distribuir los datos puede indicar algo de importancia que de otra forma pudiera pasar desapercibido, a selección de las clases de problemas, la tabulación de los datos, el ordenar los mismos y la propia construcción del diagrama de Pareto se han mostrado útiles en la investigación de problemas.

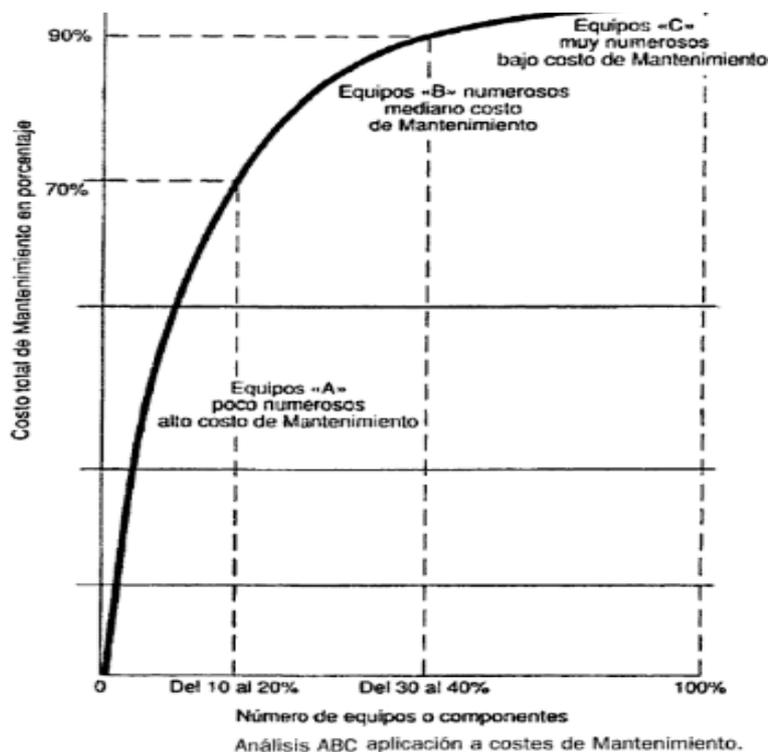
Los diagramas de Pareto son una forma un lenguaje en un grupo de trabajo, que utiliza una disposición de comprensión general. “Lo primero es lo primero es lo que se basa el Pareto”; un diagrama debidamente construido pone en

⁶ [Técnicas de resolución de problemas: criterios a seguir en la producción y el mantenimiento] [Francisco Rey Sacristán] [Madrid, España] [2003]ISBN 84-96169-14-6. pág. 63-67

evidencia los esfuerzos que debemos concretar sobre las áreas más importantes de problema, sea este del tipo que sea.

Los diagramas de Pareto se utilizan cuando debemos dirigir la atención a los problemas de un modo sistemático, y en particular cuando dispongamos de medios limitados para resolver una gran cantidad de problemas. Cuando un grupo de trabajo comienza a seleccionar un tema o tipo de problema con el cual trabajar, el diagrama de Pareto nos puede servir para dar prioridad a aquello con lo que debemos trabajar primeramente. En el gráfico 1 se muestra un ejemplo aplicando Pareto por medio de la técnica ABC.

Gráfico 1. Ejemplo Diagrama de Pareto aplicando la técnica ABC



Fuente: Técnicas de resolución de problemas: criterios a seguir en la producción y el mantenimiento] [Francisco Rey Sacristán] [Madrid, España] [2003] pág. 63-67

5.7 MATRIZ RAM⁷

En el libro dirección de Proyectos: Una Introducción con Base en el Marco Del PMI Escrito por Fernando Hurtado; se define la matriz RAM como una matriz donde se explican los tipos y fuentes de riesgo que los dirigentes del sector servicios pueden supervisar y planificar como parte del proceso general de control de la gestión. El autor, detalla los componentes de una matriz RAM y su aplicabilidad en el mantenimiento.

La matriz RAM es una matriz de evaluación de riesgos y debe ser dirigida por el director del proyecto, por ser el responsable apropiado para el planeamiento y desarrollo del proyecto. Hay algunas áreas en las que su capacidad para delegar suele ser menor, por los recursos disponibles o por lo estratégico de estas.

La matriz RAM coloca en las filas los paquetes de trabajo y en las columnas los interesados (stakeholders) que toma un rol importante en el ciclo de vida del paquete de trabajo, En las celdas se colocan el tipo de participación del interesado. Valores típicos son: Responsable, que es la persona a la cual se le asigna el paquete de trabajo, el aprobador, la que acepta o no, el QA el que hace el control de calidad, el soporte que es una persona que no hace parte del equipo responsable cuya contribución es esencial para el desarrollo del paquete de trabajo, el consultado que es una persona a la cual se le pide una consulta, o información en el desarrollo del paquete de trabajo.

El responsable es la persona encargada del desarrollo del trabajo, usualmente parte del frente técnico. Un líder técnico esta usualmente en este rol, el accountable, es la persona que rinde cuentas por un trabajo usualmente hace parte del frente gerencial. Normalmente el patrocinador rinde cuentas porque se cumpla la promesa de valor (los beneficios, que el proyecto promete,

⁷ [Dirección De Proyectos: Una Introducción Con Base En El Marco Del Pmi] [Fernando Hurtado] [Editorial Palibrio] [Estados Unidos de América] [2011] ISBN 978-1-4633-0911-4. Pág. 195-198

mientras que el director de proyecto rinde cuentas por el desarrollo del plan para la dirección del proyecto). Un miembro del staff gerencial de proyecto rinde cuentas por el desarrollo de un subconjunto de la EDT.

En proyectos medianos o chicos, las matrices RAM se pueden usar globalmente para todo proyecto, en proyectos grandes lo más probable es que se creen varias matrices RAM, por niveles de importancia y/o por áreas temáticas. Por ejemplo se puede establecer una matriz RAM para definir responsabilidades en lo tocante a riesgos o en lo tocante a calidad o en lo tocante al modelo de gobierno.

La matriz de evaluación de riesgos constituye una herramienta útil que ayuda a la gerencia y toda la organización a enmarcarse dentro de las políticas, procedimientos y objetivos estratégicos relacionados con los riesgos e interpretar en términos de niveles de riesgos tolerables nuestras actividades cotidianas. Básicamente la matriz RAM utiliza como factor de medición a riesgo definida por la formula.

$$R = C \times P \times E, \text{ donde } R = \text{Riesgo } C = \text{consecuencia, } P = \text{probabilidad y } E = \text{exposición.}$$

Se utiliza en su definición, las siguientes clasificaciones del riesgo por su interpretación y color:

Gráfico 2 Cuadro de Riesgos de la Matriz RAM

Color	Riesgo	Interpretación.
VH	Muy alto	Riesgo intolerable para asumir, requiere buscar alternativa y decide la Dirección.
H	Alto	Inaceptable, deben buscarse alternativas. Alto riesgo. Si se decide realizar la actividad, deberá implementarse previamente un tratamiento especial en cuanto al nivel de control (Demostrar control de riesgo). Gerencia involucrada en la decisión.
M	Medio	Se deben tomar medidas para reducir el riesgo a niveles razonablemente prácticos, debe demostrarse el control del riesgo.
L	Bajo	Discutir y gestionar mejora de los sistemas de control y de calidad establecidos.
N	Ninguno	Riesgo muy bajo, usar sistemas de control y calidad establecidos.(permisos, 3 Ques, procedimientos, lista de chequeo, responsabilidades y competencias, EPP, etc).

5.8RCM⁸

El libro de Mantenimiento programado en centrales de ciclo combinado, escrito por Santiago García Garrido, nos muestra como el mantenimiento debe ser visto desde el modelo RCM. Lo define como una técnica con más ventajas sobre las otras, cuyo objetivo son: disminuir los costos y aumentar la disponibilidad.

RCM o reliability centred maintenance, (Mantenimiento centrado en fiabilidad) es una técnica más dentro de las posibles para elaborar un plan de mantenimiento en centrales de ciclo combinado y que presentan algunas ventajas importantes sobre otras técnicas, inicialmente fue desarrollada para el sector aviación, donde los altos costes derivados de la sustitución sistemática de piezas, amenazaban la rentabilidad de las compañías aéreas. Posteriormente fue trasladada al campo industrial, después de comprobarse los excelentes resultados que había dado en el campo aeronáutico.

El objetivo fundamental de la implantación de un mantenimiento centrado en fiabilidad o RCM en una planta industrial es aumentar la disponibilidad y disminuir costes de mantenimiento. El análisis de una central de ciclo combinado según esta metodología aporta una serie de resultados; el primer resultado es la mejora en la comprensión del funcionamiento de los equipos. Analiza todas las posibilidades de fallo de un sistema y desarrolla los mecanismos que tratan de evitarlos, ya sean producidos por causas intrínsecas al propio equipo o por actos personales; además determina una serie de acciones que permiten garantizar una alta disponibilidad de la planta como lo son, los planes de mantenimiento, los procedimientos operativos, tanto de producción como de mantenimiento, modificaciones o mejoras posibles, la adopción de medidas de provisionales en caso de fallo, que minimizan los

⁸ [Mantenimiento programado en centrales de ciclo combinado: Operación y Mantenimiento] [Santiago García Garrido] [Ediciones Díaz de Santos][Alba Sanz, Madrid] [2012] pág. 87-92. ISBN 978-84-9969-220-3

efectos de este, los planes de formación, y la determinación del stock de repuesto que es deseable que permanezca en planta.

En el análisis que conduce a RCM debemos contestar seis preguntas claves: ¿cuáles son las funciones y los estándares de funcionamiento en cada sistema?, ¿cómo falla cada equipo?, ¿cuál es la causa de cada fallo?, ¿que consecuencias tiene cada fallo?, ¿cómo puede evitarse cada fallo?, ¿qué debe hacerse si no es posible evitar un fallo?

El enfoque de RCM no debe ocasionar dualidad, por si se aplica solo a los equipos críticos o a toda la planta. Es el conjunto de componentes el que no debe fallar y no el de sus elementos individuales, por muy importantes que sean. RCM se aplica a los motores, pero también se aplica al tren de aterrizaje, a las alas, a la instrumentación. La mayor parte de las industrias que aplican RCM no lo aplican a toda la instalación. Solo se selecciona una serie de equipos, denominados equipos críticos, y tratan de asegurar que estos equipos no fallen.

5.9 CONFIABILIDAD⁹

El documento sobre confiabilidad manejado en el libro de Adolfo Arata Andreani, Ingeniería y gestión de la confiabilidad operacional en plantas industriales; su aplicación requiere de modelos analíticos y probabilísticos complejos ya que las instalaciones industriales se caracterizan por una gran cantidad de equipos que se encuentran en diferentes fases de su ciclo de vida (Mortalidad infantil vida útil y desgaste) además se integran sistemáticamente de las mas diversas formas (serie, paralelo, redundancia parcial, stand by y fraccionamiento) y los costos asociados son de distinta índole (Costos directos y costos de la falta).

⁹ [Ingeniería y Gestión de la confiabilidad operacional en plantas industriales] [Primera Edición] [Santiago de Chile, 2009] [RIL editores] ISBN 978-956-284-658-5, pág. 35-39

El artículo es de tipo descriptivo, en el cual se realizó un análisis para exponer información científica describiendo el concepto de confiabilidad asociado a las que se le otorga en los procesos de las organizaciones. La confiabilidad que es la capacidad de la empresa, a través de los procesos, las tecnologías y las personas, para cumplir con su propósito dentro de los límites del diseño y de las condiciones operacionales. La confiabilidad operacional considera una serie de procesos de mejora continua que incorporan en forma sistemática herramientas de diagnóstico, metodologías de análisis y nuevas tecnologías, para optimizar el proyecto, la gestión, la planeación, la ejecución y el control, asociados con la producción, el abastecimiento y el almacenamiento industrial.

Para la búsqueda de la confiabilidad es necesario actuar de manera integrada sobre los activos, desde su diseño hasta su operación, como también sobre aspectos relacionados con los procesos y las personas, es así como los componentes que la conforman y que actúan integradamente son la confiabilidad de los procesos. La confiabilidad tiene cinco ejes que se deben considerar y sobre los cuales se debe actuar si se desea obtener una instalación confiable a largo plazo en términos que opere según lo proyectado.

Estos ejes son: la confiabilidad humana que se relaciona con el involucramiento, el compromiso y las competencias que disponen las personas con las actividades que le corresponde realizar y la estructura organizacional para lograrlo; la mantenibilidad y confiabilidad de los activos que se vincula con el diseño de los equipos y su apoyo logístico, para la disminución del tiempo medio para reparar y con las estrategias de mantenimiento de los equipos e instalaciones y con la efectividad del mantenimiento, para el aumento de su tiempo medio entre fallas, respectivamente; la confiabilidad del proceso que se asocia con la sintonía que existe entre el proceso y los procedimientos utilizados para operar las instalaciones, con los parámetros operacionales que se deben utilizar, de manera de respetar las condiciones establecidas;

El último eje es la confiabilidad de los suministros que se refiere a la integración entre los distintos procesos o unidades internas, como operación, mantenimiento, abastecimiento, desarrollo, y los proveedores de insumos, energía, bienes o servicios de modo asegurar el suministro en términos de cantidad, calidad, oportunidad y costo a través de procesos establecidos que faciliten la logística de entrada y permitan cuando corresponda la gestión de terceros, la administración eficiente de contratos y el análisis de la oferta. La confiabilidad de un elemento puede ser caracterizada a través de distintos modelos de probabilidades. Este modelamiento depende de la etapa de vida en que se encuentre el equipo. A continuación se muestra las distintas etapas en la vida de los equipos.



Gráfico 3 Ejemplo Tasas de Fallos

5.10 MANTENIBILIDAD¹⁰

En el libro *Fiabilidad y seguridad: su aplicación en procesos industriales* escrito por Antonio Creus Solé, se muestra una definición de mantenibilidad como un conjunto de factores o elementos (Medios de verificación, personal, tiempo empleado, calibración, documentación, repuestos, etc.) de que se dispone para realizar el mantenimiento de un sistema, es decir, es una medida de la facilidad con que el sistema o el equipo puede mantenerse.

¹⁰ [Fiabilidad y seguridad: su aplicación en procesos industriales] [Antonio Creus Solé] [Madrid, España] [2005] ISBN 84-247-1362-9.

El autor, detalla en el informe fórmulas que definen la mantenibilidad. Realiza ejemplos cortos y detalla la manera en la que se dedican las labores de mantenimiento mediante ejemplos.

La mantenibilidad está ligada con fiabilidad; cuanto más difícil sea realizar las tareas de mantenimiento (manuales defectuosos, equipo de difícil accesibilidad) tanto más probable será que aparezcan averías y disminuya la fiabilidad del sistema.

Una definición de mantenibilidad es la del departamento de Defensa de los estados unidos, (1966): “conjunto y factores de diseño de un equipo que permite que su mantenimiento sea intervenido por personal de cualificación normal, dentro de una gama de tiempos limite cuyo valor medio corresponde a los tiempos invertidos en las operaciones de mantenimiento consideradas como practicas estándares.”

Otra definición de la mantenibilidad de un sistema es el tiempo total bajo el cual se puede esperarse que se repare un porcentaje fijo de fallos. Esta definición supone que el tiempo de reparación estará normalmente distribuido, de modo que un tiempo medio de reparación mas la desviación típica determinara la distribución normal de los tiempos medio de reparación (MTTR = MEAN TIME TO REPAIR) y la desviación estándar. De este modo la mantenibilidad es el tiempo total bajo el que puede esperarse que se repare un porcentaje fijo de fallos. Este porcentaje es del 60% en los aparatos de diseño modular con pequeñas desviaciones estándar y del 90% en los casos de máximas desviaciones, lo que suele ocurrir en los sistemas complejos.

En fiabilidad, cuando la tasa instantánea de fallos constante, la frecuencia con que se presentan fallos en los componentes es λ (fallos/hora) y su inversa es $1/\lambda$ (horas/fallo) o MTBF (Mean time between failures= tiempo medio entre fallos). De modo análogo en mantenibilidad, la tasa de reparaciones por unidad de tiempo es μ y su inversa $1/\mu$ es el inverso del tiempo medio de

reparación o MTTR (Mean time to repair). Así pues, según esta definición, la mantenibilidad es:

$$M = 1 - e^{-\frac{t}{MTTR}} = 1 - e^{-\mu \cdot t}$$

La mantenibilidad de un sistema es la probabilidad de que un aparato en fallo sea restaurado completamente a su nivel operacional dentro de un periodo de tiempo dado, cuando la acción de reparación se efectúa de acuerdo con procedimientos preestablecidos.

6. MARCO CONCEPTUAL

CONFIABILIDAD¹¹: Calidad de confiable. Fiabilidad, probabilidad de buen funcionamiento de una cosa.

COMPRESOR¹²: Que comprime. Aparato para disminuir el volumen de los gases aumentando su presión.

CRITICIDAD¹³: Un término que se refiere a que frecuencia se producirá un error, lo fácil que es para diagnosticar, y si se puede arreglar.

DISPONIBILIDAD¹⁴: de un equipo o sistema es una medida que nos indica cuanto tiempo está ese equipo o sistema operativo respecto de la duración total durante la que se hubiese deseado que funcionase. Típicamente se expresa en porcentaje. No debe de ser confundida con la rapidez de respuesta.

FRECUENCIA¹⁵: Repetición de un acto o suceso de manera habitual. Número de veces que se repite un suceso determinado en un intervalo de tiempo o en una muestra de una población. También frecuencia absoluta. Número de vibraciones, ondas o ciclos realizados en una unidad de tiempo determinada.

INVENTARIO¹⁶: Lista ordenada de los bienes y demás cosas que pertenecen a una persona, a una empresa o a una asociación: la tienda está cerrada porque están haciendo el inventario. Libro o documento en el que está escrita esta lista.

¹¹ Diccionario Enciclopédico Vox 1. © 2009 Larousse Editorial, S.L

¹² *Ibíd.*

¹³ *Ibíd.*

¹⁴ Disponible en internet: http://es.wikipedia.org/wiki/Factor_de_disponibilidad

¹⁵ Diccionario Manual de la Lengua Española Vox. © 2007 Larousse Editorial, S.L.

¹⁶ *Ibíd.*

MANTENIBILIDAD¹⁷: La facilidad con la que un sistema o componente software puede ser modificado para corregir fallos, mejorar su funcionamiento u otros atributos o adaptarse a cambios en el entorno.

MODO DE FALLA¹⁸: Los modos de falla normalmente estarán relacionados con las clases de equipo y pueden ser categorizados en tres tipos de acuerdo a la manera en que se revela el fallo. a. No se obtiene la función deseada. b. Se pierde la función específica o esta se encuentra por fuera de los límites operacionales aceptados. c. Una indicación inicial de fallo se observa, aunque esta no representa de manera inmediata un impacto crítico.

PERIODOS¹⁹: Tiempo que una cosa tarda en volver al estado o posición que tenía al principio, como, p. ej., el de la revolución de los astros. // Espacio de tiempo que incluye toda la duración o el proceso de una cosa: periodo de aprendizaje, de incubación, de crecimiento. Ciclo de tiempo: está pasando por un periodo difícil.

PRONOSTICO²⁰: Es un método mediante el cual se intenta conocer e comportamiento futuro de alguna variable con algún grado de certeza. Existen disponibles tres grupos de métodos de pronósticos: los cualitativos, los de proyección histórica y los causales. Se diferencian entre sí por la precisión relativa del pronóstico del largo plazo en comparación con el corto plazo, el nivel de herramientas matemáticas requerido y la base de conocimiento como sustrato de sus proyecciones. Los pronósticos pueden ser utilizados para conocer comportamientos futuros en el mantenimiento industrial, como disponibilidad y costos de la materia prima, los requerimientos de mantenimiento, la capacidad disponible de la planta de producción.

¹⁷ Institute of Electrical and Electronics Engineers. (1990) IEEE Standard Computer Dictionary

¹⁸ Norma ISO 14-224.

¹⁹ Diccionario de la lengua española © 2005 Espasa-Calpe

²⁰ [BALLOU RONALD 2004 ADMINISTRACION DE LA CADENA DE SUMINISTRO] [5ª Edición][Pearson educación], [Heizer Jay, y Render Barry], [México] [2004] ISBN 970-26-0540-7.

REVISIONES²¹: Observación hecha con cuidado y atención para corregir los errores. Prueba o examen que se hace para comprobar que algo funciona correctamente: tengo que hacerle una revisión al coche.

TIEMPO MEDIO ENTRE FALLAS²²: Tiempo medio entre fallos (MTBF) es el tiempo previsto transcurrido entre fallos inherentes de un sistema durante el funcionamiento. MTBF puede ser calculado como la media aritmética (promedio) Tiempo medio entre fallos de un sistema. El MTBF es típicamente parte de un modelo que supone que el sistema no es reparado de inmediato (MTTR), como parte de un proceso de renovación. Esto está en contraste con el tiempo medio hasta el fallo (MTTF), que mide el tiempo medio de fallas con el supuesto de que el sistema de modelado de errores no se reparan (tasa de reparación de infinito).

²¹ Diccionario Manual de la Lengua Española Vox. © 2007 Larousse Editorial, S.L.

²² Disponible en internet: <http://www.manufacturingterms.com/Spanish/Mean-Time-Between-Failures-%28MTBF%29.html>

7. ASPECTOS GENERALES DE LA EMPRESA ASTIVIK S. A

7.1 RESEÑA HISTORICA

ASTIVIK S.A es un astillero certificado bajo norma ISO 9001:2008 por la sociedad de certificación internacional Bureau Veritas. **INDUSTRIAS ASTIVIK S. A.** Fue fundada en el año 1972 con capital 100% privado, con el objeto de cubrir las necesidades de reparación y mantenimiento de todas las embarcaciones afiliadas o de propiedad de Vikingos de Colombia S. A. Con el crecimiento del mercado marítimo y fluvial del Caribe, en 1980 se creo la necesidad de reevaluar la política de servicios ampliando su cobertura a construcción, reparación y mantenimiento de embarcaciones para el mercado nacional con una capacidad de varada de hasta 200 toneladas.

En la década de los 90's la empresa incursiona en el campo de reparación de barcos especializados en el transporte de hidrocarburos y carga al granel (Cemento, carbón etc.) construyendo un puesto de varada de 700 toneladas de capacidad. A comienzos del 2004 entra en funcionamiento el primer dique flotante construido y diseñado en Colombia, con una eslora de 60 mts, 19.5 mts de manga interior y una capacidad de levante de 1.350 toneladas.

En Abril de ese mismo año C.I. Pesbocol, nueva razón social de Vikingos de Colombia S. A., vende su participación en Industrias Astivik a Carsun LLC., Empresa Norteamericana domiciliada en Miami. Bajo esta nueva dirección Industrias Astivik adquiere en Octubre de 2005 la totalidad de la infraestructura de C.I. Pesbocol y posteriormente se construye un segundo dique flotante con 2.000 toneladas de capacidad de levante.

Actualmente **INDUSTRIAS ASTIVIK S.A.** es considerado como uno de los primeros Astilleros en Colombia con un área de 67.384 mts² y dos diques flotantes, una troja de 700 toneladas y una de 200 toneladas de

capacidad, esta última con un sistema de varada y transferencia lateral que permite realizar trabajos simultáneos a siete embarcaciones en puestos de varada.

Cuenta con un equipo humano capacitado, directamente contratado por Astivik y un grupo de empresas adscritas, quienes prestan sus servicios por el sistema de outsourcing.

INDUSTRIAS ASTIVIK S.A. posee además equipos propios que garantizan la efectividad de los trabajos como grúas, compresores, equipos de pintura airless, entre otros.

7.2 VISIÓN Y MISIÓN

Visión

ASTIVIK S. A. Será el Astillero líder en servicio, Tecnología, calidad y precio en el mercado de embarcaciones, implementando procesos que garanticen la preservación del medio ambiente, logrando una armonía con nuestro ecosistema.

Seremos pioneros en la implementación de procesos que contribuyan al desarrollo personal, laboral y corporativo de todos los involucrados en nuestra organización, garantizando una excelente rentabilidad para los accionistas.

Misión

En **ASTIVIK S.A.** Prestamos servicio de diseño, construcción, reparación y mantenimiento a embarcaciones. Buscamos la satisfacción del cliente a través de una solución integral de sus necesidades, basados en la mejora continua de los procesos y trabajos de calidad, a precios competitivos, en el menor tiempo posible.

Estamos atentos a los cambios tecnológicos que nos brinden un constante progreso en la compañía, permitiendo a su vez el desarrollo y bienestar para sus trabajadores, optimizando la utilización de nuestro recurso humano y logrando la mejor rentabilidad para los accionistas. Todos nuestros procesos están dirigidos y coordinados para la preservación del medio ambiente.

8. DESCRIPCIÓN FOTOGRAFICA DE LOS EQUIPOS DEL AREA DE SANDBLASTING EN LA EMPRESA ASTIVIK S.A

A continuación se presentan los equipos actuales del área de sandblasting para conocer el estado actual de la maquinaria además. Ver las descripciones técnicas de cada máquina en el anexo b.

Ilustración 1. Compresor 1600



Ilustración 2. Compresor 1600



Ilustración 3. Compresor 1100



Ilustración 4 Compresor 1100



Ilustración 5. Compresor 750-1



Ilustración 6. Compresor 750-1



Ilustración 7. Compresor 750-2



Ilustración 8. Compresor 750-2



Ilustración 9. Compresor 600



Ilustración 10. Compresor 600



Ilustración 11. Tolvas



Ilustración 12. Mangueras



8.1. MATRIZ RAM DE LOS EQUIPOS DE SANDBLASTING

Estudiaremos los diferentes equipos del área de sandblasting en ASTIVIK SA para conocer los niveles de criticidad en los que se encuentran estos. A continuación se muestra la tabla RAM para realizar análisis.

Tabla 1. Matriz RAM

CONSECUENCIAS				PROBABILIDAD			
PERSONAS	ECONOMICAS	AMBIENTAL		A	B	C	D
				NO HA OCURRIDO EN LA INDUSTRIA	HA OCURRIDO EN ASTIVIK	OCURRE UNA VEZ AL MES	OCURRE VARIAS VECES AL MES
FATALIDAD	CATASTROFICA	MASIVO	5	B	M	A	MA
INCAPACIDAD PERMANENTE	GRAVE	MAYOR	4	B	M	A	A
INCAPACIDAD TEMPORAL	SEVERO	LOCALIZADO	3	B	M	A	A
LESION MENOR NO INCAPACIDAD	IMPORTANTE	MENOR	2	B	M	M	M
LESION LEVE 1ROS AUXILIOS	MARGINAL	LEVE	1	B	B	M	M
SIN LESION	NINGUNA	NINGUNO	0	B	B	B	B

(Fuente de elaboración propia)

Para utilizar la matriz RAM se deben considerar las consecuencias en las personas, en lo económico y en lo ambiental; a las cuales se les da una puntuación dentro de la misma, que indican el estado actual de las consecuencias, además de ubicar la probabilidad de que estas consecuencias ocurran, en las clasificaciones a, b, c, y d; estas últimas nos sirven para verificar si las consecuencias no han ocurrido en la industria, si ha ocurrido en astivik, si ocurre una vez al mes, o si ocurre varias veces al mes. Los colores que se presentan en la matriz RAM, indican la necesidad de hacer algo por el nivel de intensidad, siendo los colores verdes los más aceptables, los cuadros de color naranja los de estado medio y los de color rojo los más graves o urgentes.

Las tablas (2, 3 y 4) muestran la matriz RAM de los equipos del área de sandblasting.

Tabla 2. Matriz RAM de las Mangueras

CONSECUENCIAS				PROBABILIDAD			
PERSONAS	ECONOMICAS	AMBIENTAL		A	B	C	D
				NO HA OCURRIDO EN LA INDUSTRIA	HA OCURRIDO EN ASTIVIC	OCURRE UNA VEZ AL MES	OCURRE VARIAS VECES AL MES
FATALIDAD	CATASTROFICA	MASIVO	5	B	M	A	MA
INCAPACIDAD PERMANENTE	GRAVE	MAYOR	4	B	M	A	A
INCAPACIDAD TEMPORAL	SEVERO	LOCALIZADO	3	B	M	A	A
LESION MENOR NO INCAPACIDAD	IMPORTANTE	MENOR	2	B	M	M	M
LESION LEVE 1 ROS AUXILIOS	MARGINAL	LEVE	1	B	B	M	M
SIN LESION	NINGUNA	NINGUNO	0	B	B	B	B

(Fuente de elaboración propia)

PERSONAS: C0; ECONOMICAS: C1; AMBIENTAL: C1

Las mangueras tienen consecuencias económicas marginales y el daño ambiental es leve. No tiene consecuencias o lesiones en las personas. La puntuación suma 2 puntos de 5.

Tabla 3. Matriz RAM de las Boquillas

CONSECUENCIAS				PROBABILIDAD			
PERSONAS	ECONOMICAS	AMBIENTAL		A	B	C	D
				NO HA OCURRIDO EN LA INDUSTRIA	HA OCURRIDO EN ASTIVIC	OCURRE UNA VEZ AL MES	OCURRE VARIAS VECES AL MES
FATALIDAD	CATASTROFICA	MASIVO	5	B	M	A	MA
INCAPACIDAD PERMANENTE	GRAVE	MAYOR	4	B	M	A	A
INCAPACIDAD TEMPORAL	SEVERO	LOCALIZADO	3	B	M	A	A
LESION MENOR NO INCAPACIDAD	IMPORTANTE	MENOR	2	B	M	M	M
LESION LEVE 1 ROS AUXILIOS	MARGINAL	LEVE	1	B	B	M	M
SIN LESION	NINGUNA	NINGUNO	0	B	B	B	B

(Fuente de elaboración propia)

Posiciones: PERSONAL, ECONOMICAS Y AMBIENTAL C0, Esta posición se refiere a un nivel medio. La puntuación suma 0 de 5.

Tabla 4. Matriz RAM equipo compresor

CONSECUENCIAS				PROBABILIDAD			
PERSONAS	ECONOMICAS	AMBIENTAL		A	B	C	D
				NO HA OCURRIDO EN LA INDUSTRIA	HA OCURRIDO EN ASTIVIC	OCURRE UNA VEZ AL MES	OCURRE VARIAS VECES AL MES
FATALIDAD	CATASTROFICA	MASIVO	5	B	M	A	MA
INCAPACIDAD PERMANENTE	GRAVE	MAYOR	4	B	M	A	A
INCAPACIDAD TEMPORAL	SEVERO	LOCALIZADO	3	B	M	A	A
LESION MENOR NO INCAPACIDAD	IMPORTANTE	MENOR	2	B	M	M	M
LESION LEVE 1 ROS AUXILIOS	MARGINAL	LEVE	1	B	B	M	M
SIN LESION	NINGUNA	NINGUNO	0	B	B	B	B

(Fuente de elaboración propia)

Posiciones: PERSONAS: C0; ECONOMICAS: D2; AMBIENTAL: C3.

Los equipos compresores no tienen consecuencias en las personas, pero tiene implicaciones económicas importantes, y los daños materiales son localizados y ocurren una vez al mes. La puntuación suma 5 puntos de 5.

8.2. CONCLUSIONES DE LA MATRIZ RAM

Los resultados del análisis de las matrices aplicadas a las mangueras, boquillas y compresores, colocan en la posición más crítica dentro del proceso de sandblasting al equipo compresor en las posiciones d2 y c3. Que indican que el equipo compresor aunque no tiene consecuencias o lesiones sobre las personas, ocasiona importantes consecuencias económicas, y significativas, pues las probabilidades de ocurrencia son muy altas y ocurren varias veces al mes.

El estudio de mantenimiento y el plan que posteriormente se generara serán en base al compresor, ya que este es el equipo mas crítico del proceso, generando mayores impactos económicos y ambientales que afectan a la empresa ASTIVIK SA.

9. DEFINICION DE LA HERRAMIENTA FMEA PARA LOS EQUIPOS CRITICOS DEL AREA DE SANDBLASTING.

A continuación se detalla el análisis de fallas por componente en una matriz para detectar las causas de las fallas, los modos de falla, verificar la existencia de controles preventivos, y el efecto potencial del modo de falla.

Se realizara un FMEA al equipo más crítico que poseemos en el proceso de sandblasting, los resultados del estudio de criticidad con ayuda de la matriz RAM arrojó que este equipo eran los compresores. Es necesario determinar efectivamente los modos, efectos y causas de los fallos en cada sistema y componente del compresor, además colocar a cada uno los indicadores para hallar el NPR.

El NPR es un número que indica la necesidad de toma de decisiones, entre mayor sea este es más importante tomar decisiones que disminuyan las causas y efectos de los fallos en el compresor. Para hallar el NPR realizamos un producto de los siguientes indicadores.

SEV se refiere al nivel De severidad de las consecuencias, esta clasificación está basada únicamente en los efectos de fallos y tiene un valor numérico que varía entre 1 y 10, siendo 1 la consecuencia mínima o nula y 10 la más grave.

FREC se define como la probabilidad de que una causa se produzca y genere un modo de fallo, este se basa más en un valor intuitivo que en un dato estadístico, a no ser que se tenga una base de datos con un estudio previo de estadística sobre las ocurrencias en cada caso. Al igual que el indicador anterior este también se mide del 1 al 10 basándonos en la Tabla 5.

Tabla 5. Criterios de probabilidad del FMEA

CRITERIO	CLASIFICACION
Remota probabilidad de ocurrencia. Sería irrazonable esperar que se produjera el fallo	1
Baja probabilidad de ocurrencia ocasionalmente podría producirse un numero relativo bajo de fallos	2,3
Moderada probabilidad de ocurrencia. Asociado a situaciones similares que hayan tenido fallos esporádicos, pero no en grandes proporciones	4,5,6
Alta probabilidad de ocurrencia. Los fallos se presentan con frecuencia	7,8
Muy alta probabilidad de ocurrencia. Se producirá el fallo casi con total seguridad	9,10

(Fuente de elaboración propia)

DET está indica la probabilidad de no detección de los efectos y modos de falla, también toma valores numéricos entre 1 y 10 al igual que los otros indicadores.

Tabla 6. Criterios del DET del FMEA

Criterio	Valor DET
Muy escasa. El defecto es obvio. Resulta muy improbable que no sea detectado por los controles existentes.	1
Escasa. El defecto, aunque es obvio y fácilmente detectable, podría raramente escapar a algún control primario, pero sería posteriormente detectado	2-3
Moderada. El defecto es una característica de bastante fácil detección	4-5
Frecuente. Defectos de difícil detección que con relativa frecuencia llegan al cliente	6-7
Elevada. El defecto es de naturaleza tal, que su detección es relativamente improbable mediante los procedimientos convencionales de control y ensayo	8-9
Muy elevada. El defecto con mucha probabilidad llegará al cliente, por ser muy difícil detectable	10

(Fuente de elaboración propia)

9.1. ANALISIS DEL COMPORTAMIENTO ACTUAL DE FALLAS EN LOS EQUIPOS DE SANDBLASTING

Estas actividades son las actividades básicas de mantenimiento de este tipo de equipos para su óptimo funcionamiento.

El operador es el principal responsable del mantenimiento del equipo ya que debe realizar el mantenimiento básico diario como es la limpieza, aprietes y revisión de los niveles de líquidos como aceites y refrigerante. Además es el responsable de comunicar al mecánico comportamientos extraños del equipo y fallas del mismo Tabla 7.

Tabla 7. Actividades de Mantenimiento de Compresores

EQUIPO	ACTIVIDAD	FRECUENCIA	RESPONSABLE
COMPRESOR	INSPECCION VISUAL Y LIMPIEZA	DIARIO	OPERADOR
	INSPECCION DE NIVEL DE ACEITE	DIARIO	OPERADOR
	CAMBIO DE ACEITE Y FILTRO		MECANICO
	INSPECCION NIVEL REGRIGERANTE	DIARIO	OPERADOR
	AJUSTE DE TUBERIA Y MANGUERA	MENSUAL	MECANICO
	CALIBRACION DE VALVULAS	2000 HORAS	MECANICO
	Sincronización de inyectores	3000 HORAS	MECANICO
	Verificación del nivel de agua	QUINCENAL	MECANICO

(Fuente de elaboración propia)

9.2. FMEA DEL EQUIPO CRÍTICO

En las tablas 8, 9, 10, 11, 12, 13,14 y 15 se muestran las tablas FMEA aplicadas a los sistemas del equipo crítico.

Tabla 8 FMEA DEL SISTEMA DE LUBRICACIÓN

SISTEMA	COMPONENTE	Modo de falla	Efecto potencial del modo falla		Causa de la falla	Existe controles preventivos actuales	SEV	FREC	DET	NPR
			En la función de la planta o sistema	En la operación de la planta o sistema						
SISTEMA DE LUBRICACIÓN	Carter	Rotura	Fuga menor del nivel de aceite del motor, depende del tamaño de la rotura	Perdida menor de la lubricación del motor	Ambientes salinos que generan corrosión, golpes o impactos	Verificación del nivel de aceite en motor e inspección visual	3	3	5	45
	Bomba de aceite	Suciedad	Disminución del flujo de aceite	Perdida menor de la lubricación del motor	Suciedad e impureza del aceite	Cambio del aceite y filtro dentro de los periodos establecidos por el fabricante	4	5	3	60
		Taponamiento	Pérdida total del flujo de aceite	Pérdida total de la lubricación del motor	Suciedad e impureza del aceite, partículas extrañas en el aceite	Cambio del aceite y filtro dentro de los periodos establecidos por el fabricante	9	2	3	54
		Desgaste	Pérdida gradual de la Presión	Pérdida gradual de la presión del sistema	Suciedad e impureza del aceite, partículas extrañas en el aceite que derivan en desgaste	NINGUNO	7	4	5	140

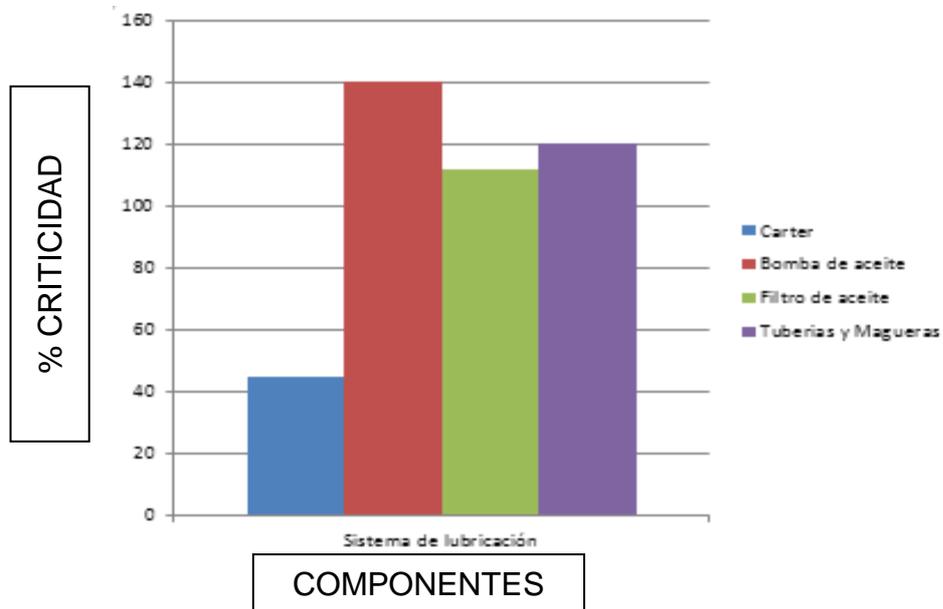
Fuente : Elaboración Propia

SISTEMA	COMPONENTE	Modo de falla	Efecto potencial del modo falla		Causa de la falla	Existe controles preventivos actuales	SEV	FREC	DET	NPR
			En la función de la planta o sistema	En la operación de la planta o sistema						
SISTEMA DE LUBRICACIÓN	Filtro de aceite	Taponamiento	Pérdida gradual o total del flujo de aceite	Perdida de la lubricación y sobrepresión del mismo	Suciedad excesiva del aceite, falta de cambio dentro de los periodos recomendados por el fabricante	Inspección visual, cambio de aceite y filtro dentro de los periodos establecidos por el fabricante	8	2	4	64
		Desgaste	Flujo de impurezas y suciedad al sistema	Perdida de la capacidad de lubricación	Presencia de partículas extrañas capaces de causar desgaste del elemento filtrador, falta de cambio de acuerdo con las recomendaciones del fabricante	Inspección visual, cambio de aceite y filtro dentro de los periodos establecidos por el fabricante	7	4	4	112
	Tuberías y mangueras	Taponamiento	Obstrucción parcial o total de las tuberías	pérdida total o parcial del flujo de aceite	Suciedad e impureza del aceite	Cambio del aceite y filtro dentro de los periodos establecidos por el fabricante	8	3	5	120
		Rotura	Fuga menor del nivel de aceite del motor, depende del tamaño de la rotura	Perdida del nivel optimo de aceite y por tanto de la lubricación del motor	Ambientes salinos que generan corrosión, golpes o impactos, vencimiento de abrazaderas, otros	Inspección visual	4	5	5	100

Fuente : Elaboración Propia

A continuación se darán a conocer los resultados aplicados a análisis FMEA del sistema de lubricación, y la estadística del mismo en la gráfica 4.

Gráfico 4 Resultado del Análisis de Falla del Sistema de Lubricación



Fuente: Elaboración Propia

Con los resultados obtenidos en el análisis modal de fallos podemos concluir que el elemento más crítico de este sistema y al que se le debe centrar el mantenimiento es la bomba de aceite, aunque las mangueras y filtro de aceite tienen altos indicadores debe llevarseles un control riguroso.

Es recomendable cambiar el filtro en tiempos exactos ya que este afecta el óptimo comportamiento de la bomba y puede aumentar la probabilidad de fallo por taponamiento a causa de suciedades.

Tabla 9. FMEA DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

SISTEMA	COMPONENTE	Modo de falla	Efecto potencial del modo falla		Causa de la falla	Existe controles preventivos actuales	SEV	FREC	DET	NPR
			En la función de la planta o sistema	En la operación de la planta o sistema						
SISTEMA DE REFRIGERACIÓN			En la función de la planta o sistema	En la operación de la planta o sistema						
		Incrustaciones	Perdida parcial o total del flujo de refrigerante	Sobrecalentamiento del motor	Componentes salinos que hacen parte del agua	Aplicación de aditivo inhibidor de corrosión, retro lavados con químicos que remuevan incrustaciones	8	3	4	96
	Ventilador	Desbalanceo	Perdida parcial del enfriamiento del motor	Sobrecalentamiento del motor	Falta de ajuste, golpes y desgaste	Ninguno	2	4	5	40
		Rotura	Perdida total del enfriamiento del motor	Sobrecalentamiento del motor	Golpes o impactos, desgaste y falla de materiales	Inspección visual	8	1	5	40

Fuente : Elaboración Propia

SISTEMA	COMPONENTE	Modo de falla	Efecto potencial del modo falla		Causa de la falla	Existe controles preventivos actuales	SEV	FREC	DET	NPR
			En la función de la planta o sistema	En la operación de la planta o sistema						
SISTEMA DE REFRIGERACIÓN	Bomba de agua	Suciedad	Disminución del flujo de gua	Perdida menor de la refrigeración del motor	Componentes salinos e impurezas que hacen parte del agua	Verificación del nivel de agua	5	6	3	90
		Taponamiento	Perdida total del flujo de Agua	Perdida total de la refrigeración del motor	Suciedad e impureza del agua, partículas extrañas en el agua	Ninguno	5	3	3	45
	Desgaste	Perdida gradual de la Presión y flujo de agua	Perdida gradual de la presión del sistema	Suciedad e impureza del agua, partículas extrañas en el agua que derivan en desgaste	Mantenimiento de la bomba cada 500 horas	6	3	5	90	

Fuente : Elaboración Propia

SISTEMA	COMPONENTE	Modo de falla	Efecto potencial del modo falla		Causa de la falla	Existe controles preventivos actuales	SEV	FREC	DET	NPR
			En la función de la planta o sistema	En la operación de la planta o sistema						
SISTEMA DE REFRIGERACIÓN	Termostato	Des calibración	Alteración de la información de temperatura	Mala regulación de la temperatura	suciedad, tiempo de uso	Ninguno	5	5	5	125
		Rotura	perdida de la información de temperatura	perdida de la regulación de la temperatura	Tiempo de uso, impacto	Ninguno	5	3	2	30
	Poleas y Correas	Desalineación	Perdida parcial de la transmisión de potencia del motor al ventilador	Perdida parcial o total de la refrigeración del motor	Falta de ajuste, golpes y desgaste	Ninguno	7	5	5	175
		Falta de tensión	Perdida parcial de la transmisión de potencia del motor al ventilador	Perdida parcial o total de la refrigeración del motor	Falta de ajuste, operación, desgaste y de correas mala calidad	Verificación de la tensión de las correas semanalmente	6	5	4	120

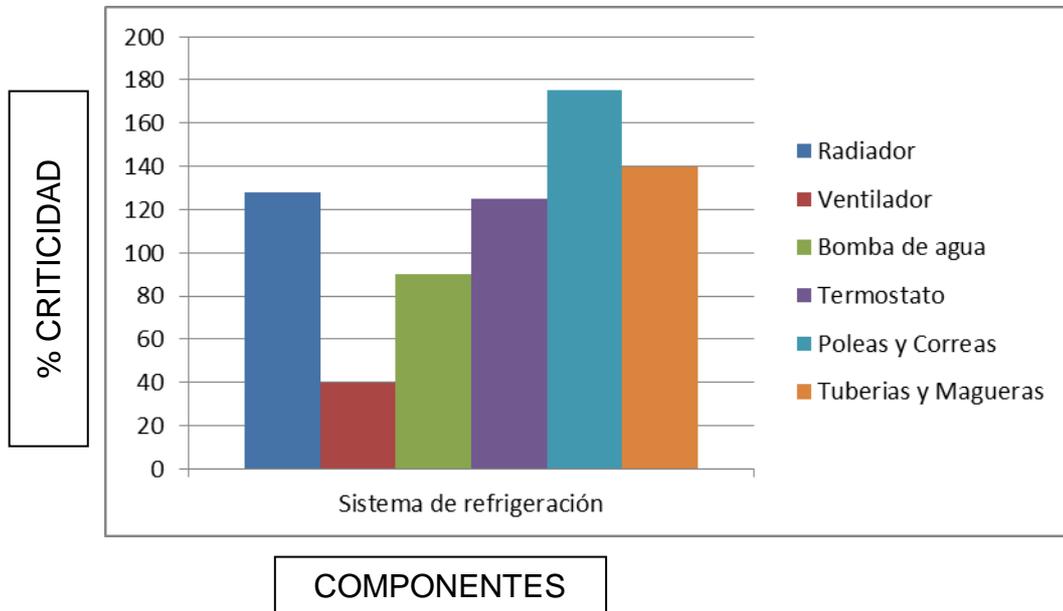
Fuente : Elaboración Propia

SISTEMA	COMPONENTE	Modo de falla	Efecto potencial del modo falla		Causa de la falla	Existe controles preventivos actuales	SEV	FREC	DET	NPR
			En la función de la planta o sistema	En la operación de la planta o sistema						
SISTEMA DE REFRIGERACIÓN	Tuberías y Mangueras	Rotura	Perdida total de la transmisión de potencia del motor al ventilador	Perdida significativa de la refrigeración del motor	Falta de ajuste, operación, desgaste, mala instalación y correas de mala calidad	Inspección visual	8	4	4	128
		Taponamiento	Obstrucción parcial o total de las tuberías	pérdida total o parcial del flujo de agua causando recalentamiento del motor	Suciedad e impureza del agua que genera incrustaciones, partículas extrañas en el agua que derivan en desgaste	Cambio del aceite y filtro dentro de los periodos establecidos por el fabricante	7	4	5	140
		Rotura	Fuga menor del nivel de agua, depende del tamaño de la rotura	Perdida del nivel optimo de agua y por tanto de la refrigeración del motor	Ambientes salinos que generan corrosión, impurezas del agua que generan incrustaciones y cristalización, golpes o impactos, vencimiento de abrazaderas, otros	Inspección visual	4	5	5	100

Fuente : Elaboración Propia

A continuación se darán a conocer los resultados aplicados a análisis FMEA del Sistema de Refrigeración, y la estadística del mismo en la gráfica 5.

Gráfico 5. Resultado del Análisis de falla del Sistema de Refrigeración



Fuente: Elaboración Propia

En el sistema de refrigeración encontramos cuatro componentes críticos los cuales son: el radiador, termostato, las poleas y correas y por último las tuberías y mangueras.

Es importante centrar el mantenimiento en estas piezas y tomar acciones correctivas que bajen los indicadores resultantes del análisis FMEA.

Las correas se encuentran en un nivel crítico por lo cual es necesario cambiarlas cuando se cumpla su ciclo de vida aunque estas se encuentren aun en funcionamiento, así podríamos evitar paradas no programadas.

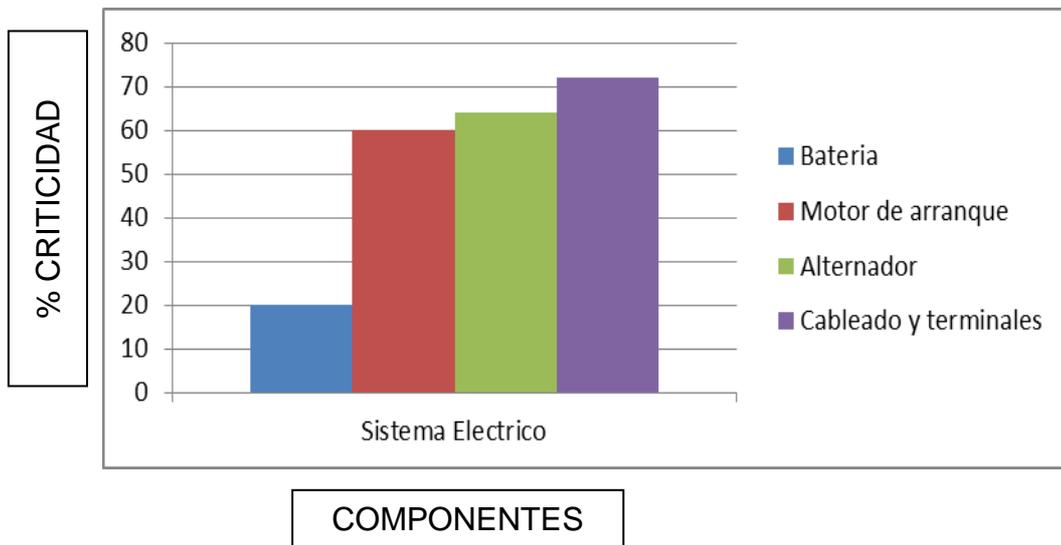
Tabla 10. FMEA DEL SISTEMA ELÉCTRICO

SISTEMA	COMPONENTE	Modo de falla	Efecto potencial del modo falla		Causa de la falla	Existe controles preventivos actuales	SEV	FREC	DET	NPR
			En la función de la planta o sistema	En la operación de la planta o sistema						
SISTEMA ELÉCTRICO	Batería	Falta de arranque	Falta de carga	Perdida total o parcial del arranque del sistema, mala operación del sistema eléctrico	Falta de mantenimiento, Falta instantánea de la batería, falla del alternador	Verificación del nivel de agua de batería Quincenalmente	5	2	2	20
	Motor de arranque	Perdida del arranque	Perdida de la ignición del motor	Perdida total del arranque del sistema	Falta de mantenimiento y desgaste de escobillas, piñones, rodamientos, eje, otros	Ninguno	6	2	5	60
	Alternador	Falta de generación	Falla parcial o total en la conversión de energía mecánica en eléctrica	Perdida parcial o total de la carga y mala operación del sistema eléctrico	Daño del rotor, puente rectificador, estator, regulador y desgaste de las escobillas	Ninguno	4	2	4	32
			Falta de transmisión	Rotura, falta de tensión o desalineación de correas y/o poleas	Perdida parcial o total de la carga	Falta de ajuste, operación, desgaste, mala instalación y correas de mala calidad	Inspección visual	4	4	4
	Cableado y terminales	Sulfatación	Mala conducción de la electricidad	Recalentamiento de bornes, cables y baterías	Desajuste, falta de limpieza, mala instalación	Limpieza	2	5	4	40
		Falta de corriente	Ausencia de la conducción de electricidad	Perdida total del sistema eléctrico	Impactos, mala instalación, otros	Ninguno	6	3	4	72

Fuente : Elaboración Propia

A continuación se darán a conocer los resultados aplicados a análisis FMEA del Sistema de eléctrico, y la estadística del mismo en la gráfica 6.

Gráfico 6. Resultado del Análisis de falla del Sistema Eléctrico



Fuente: Elaboración Propia

El elemento más crítico encontrado según el análisis realizado en el sistema eléctrico son el cableado y sus terminales, se deben realizar actividades para disminuir los niveles medidos en el estudio pero todos los componentes de este sistema se encuentran fuera de la zona de criticidad.

Es necesario realizar seguimiento al comportamiento del sistema para evitar descuidos y como consecuencia fallas.

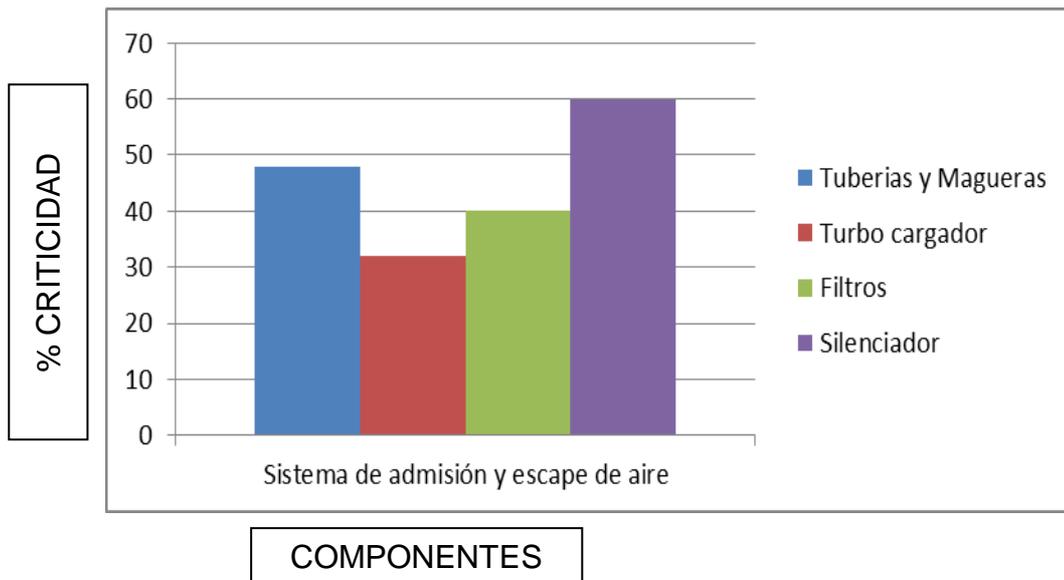
Tabla 11. FMEA DEL SISTEMA DE ADMISIÓN Y ESCAPE DE AIRE

SISTEMA	COMPONENTE	Modo de falla	Efecto potencial del modo falla		Causa de la falla	Existe controles preventivos actuales	SEV	FREC	DET	NPR
			En la función de la planta o sistema	En la operación de la planta o sistema						
SISTEMA DE ADMISIÓN Y ESCAPE DE AIRE	Tuberías y mangueras	Taponamiento	Obstrucción parcial o total de las tuberías	Mezcla en proporciones inadecuadas de aire para la combustión	Partículas externas, filtro de aire inadecuado	Cambio de filtro dentro de los periodos establecidos por el fabricante	3	3	4	36
		Rotura	Fugas menores en la admisión del aire	Mezcla en proporciones inadecuadas de aire para la combustión	golpes, desajuste de abrazaderas	Ajustes mensual de tuberías y mangueras	3	4	4	48
	Turbo cargador	Perdida de potencia	Admisión inadecuada de aire	Perdida de la potencia	Rotura de eje, impeler, mala instalación, falla en la lubricación, otros	Ninguno	4	2	4	32
	Filtros	Perdida de potencia	Admisión de aire de mala calidad	Perdida de la potencia	Cambio de filtros a destiempo, utilización de filtros inadecuados	Soplar diariamente los filtros	4	2	5	40
	Silenciador	Ruido	Ruido excesivo del equipo	Salida inadecuada degastes de escape	Rotura, obstrucción	Ninguno	3	5	4	60

Fuente : Elaboración Propia

A continuación se darán a conocer los resultados aplicados al análisis FMEA del Sistema de admisión y escape de aire, y la estadística del mismo en la gráfica 7.

Gráfico 7. Resultado del Análisis de Falla del Sistema de Admisión y Escape de aire



Fuente: Elaboración Propia

El silenciador es el elemento crítico del sistema de admisión y escape de aire, pero en comparación a otros sistemas los niveles son bajos y poco críticos con el funcionamiento general del equipo.

Un posible factor que afecte al normal funcionamiento del silenciador puede ser el ambiente en el que se encuentran los equipos ya que este produce oxidación y corroen los metales por los altos niveles de sal.

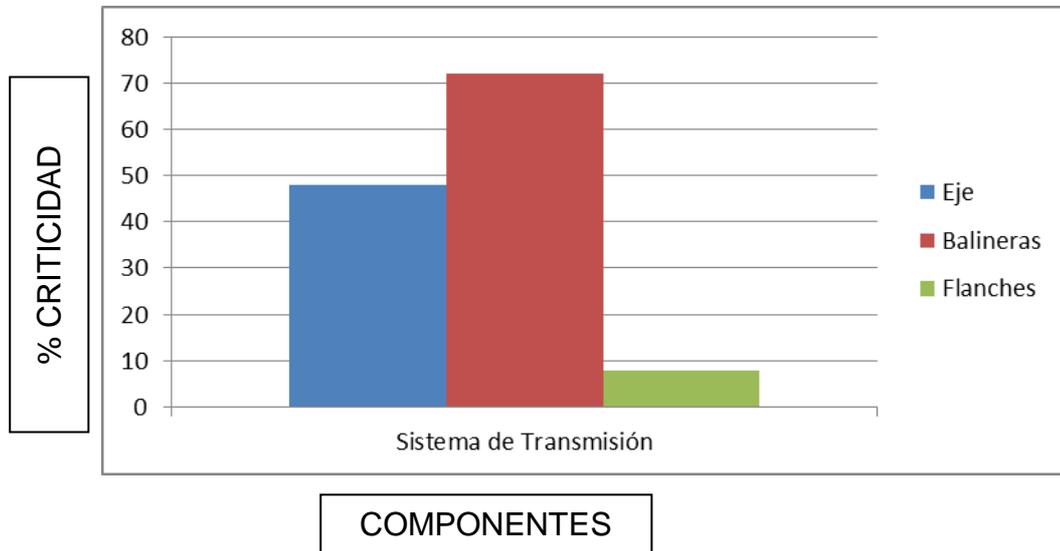
Tabla 12. FMEA DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN

SISTEMA	COMPONENTE	Modo de falla	Efecto potencial del modo falla		Causa de la falla	Existe controles preventivos actuales	SEV	FREC	DET	NPR
			En la función de la planta o sistema	En la operación de la planta o sistema						
SISTEMA DE TRANSMISIÓN	Eje	Deflexión	Vibración del equipo	Desajustes y roturas en otros sistemas	Golpe por transporte	Ninguno	4	3	4	48
		Rotura	Perdida de la transmisión	Parada del equipo	Golpe por transporte	Ninguno	8	1	1	8
	Balineras	Desgaste	Vibración del equipo	Desajustes y roturas en otros sistemas	Falta de control de vibraciones y cambios de balineras	Mantenimiento cada 3000h de trabajo	6	3	4	72
		Rotura	Perdida de la transmisión	Parada del equipo	Golpe por transporte/Materiales de fabricación inapropiados	Ninguno	8	2	2	32
	Flanches	Rotura	Perdida de la transmisión	Parada del equipo	Golpe por transporte/Materiales de fabricación inapropiados	Inspección visual/Compra de partes certificadas	8	1	1	8

Fuente : Elaboración Propia

A continuación se darán a conocer los resultados aplicados al análisis FMEA del Sistema de transmisión, y la estadística del mismo en la gráfica 8.

Gráfico 8. Resultado del Análisis de Falla del Sistema de Transmisión



Fuente: Elaboración Propia

En el sistema de transmisión el orden de prioridad es el siguiente: 1 balineras, 2 eje y tercero se encuentran los flanches.

Encontramos que los elementos de este sistema también tienen niveles bajos en comparación a los elementos de otros sistemas.

Tabla 13. FMEA DEL SISTEMA DE GENERACIÓN DE POTENCIA

SISTEMA	COMPONENTE	Modo de falla	Efecto potencial del modo falla		Causa de la falla	Existe controles preventivos actuales	SEV	FREC	DET	NPR
			En la función de la planta o sistema	En la operación de la planta o sistema						
SISTEMA DE GENERACIÓN DE POTENCIA	Bloque	Rotura	Perdida de la combustión	Parada del equipo	Golpe por transporte/Materiales de fabricación inapropiados	Compra de partes certificadas	8	1	1	8
	Culata	Perdida de sello	Perdida de la combustión	Parada del equipo	Sobrecalentamiento del motor/Materiales de fabricación inapropiados	Medición de temperaturas de operación / Compra materiales certificados	8	3	4	96
		Rotura	Perdida de la combustión	Parada del equipo	Golpe por transporte/Materiales de fabricación inapropiados	Compra de partes certificadas	8	1	3	24
	Pistón	Desgaste	Perdida potencia motor	Perdida capacidad del equipo	Uso excesivo del equipo sin mediciones ni mantenimiento	Mantenimiento cada 4000h de trabajo	5	2	4	40
		Rotura	Perdida de la combustión	Parada del equipo	Mezcla incorrecta de aire combustible	Ninguno	8	3	3	72

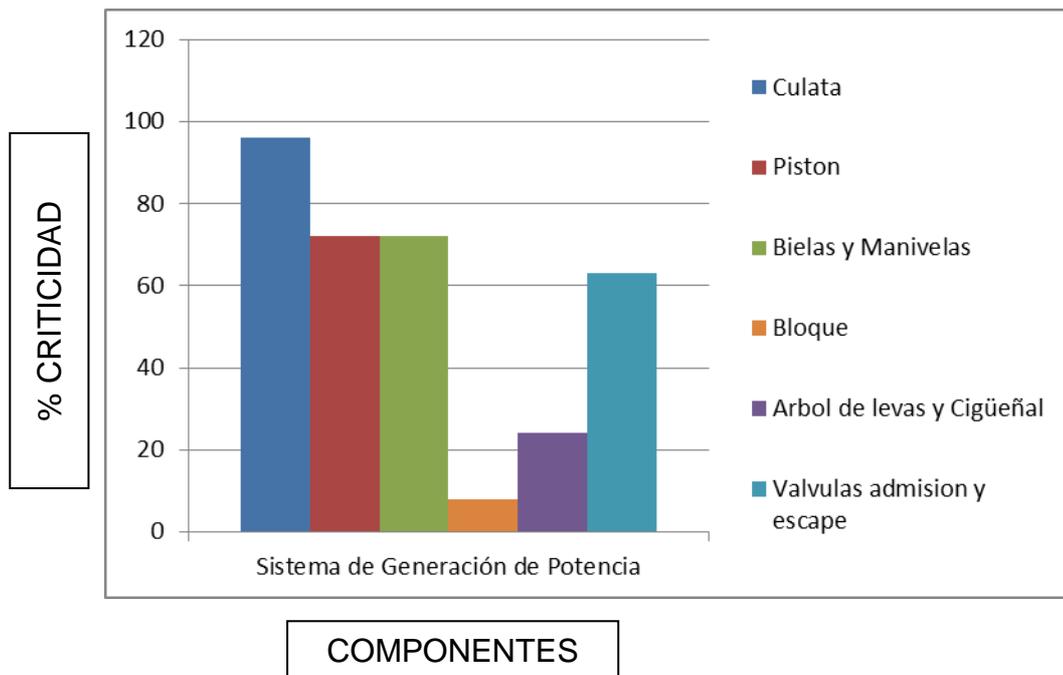
Fuente : Elaboración Propia

SISTEMA	COMPONENTE	Modo de falla	Efecto potencial del modo falla		Causa de la falla	Existe controles preventivos actuales	SEV	FREC	DET	NPR
			En la función de la planta o sistema	En la operación de la planta o sistema						
	Bielas y Manivelas	Rotura	Perdida transmisión de potencia a cigüeñal	Parada del equipo	Mezcla incorrecta de aire combustible / Asincronía	Ninguno	8	3	3	72
	Árbol de levas y Cigüeñal	Desgaste	Vibración del equipo	Desajustes y roturas en otros sistemas	Uso excesivo del equipo sin mediciones ni mantenimiento	Mantenimiento cada 4000h de trabajo	4	2	3	24
		Rotura	Perdida transmisión de potencia	Parada del equipo	Mezcla incorrecta de aire combustible / Asincronía	Ninguno	8	1	3	24
	Válvulas admisión y escape	Perdida de sello	Perdida potencia motor	Perdida capacidad del equipo	Sobrecalentamiento del motor / Desgaste del asiento de la válvula	Medición de temperaturas de operación / Compra materiales certificados	4	4	3	48
		Descalibración	Inapropiado consumo de combustible	Parada de equipo o sobrecostos	Uso excesivo del equipo sin mediciones ni mantenimiento	Calibración de válvulas cada 2000h de trabajo	7	3	3	63
		Asincronía	Vibración del equipo	Desajustes y roturas en otros sistemas	Uso excesivo del equipo sin mediciones ni mantenimiento	Sincronización de válvulas cada 2000h de trabajo	5	3	3	45

Fuente : Elaboración Propia

A continuación se darán a conocer los resultados aplicados al análisis FMEA del Sistema de generación de potencia, y la estadística del mismo en la gráfica 9.

Gráfico 9. Resultado del Análisis de Falla del Sistema de Generación de Potencia



Fuente: Elaboración Propia

Luego de realizar análisis FMEA al sistema de generación de potencia de los compresores obtuvimos como resultado que la culata con un RPN de 96 es el elemento más crítico del sistema y a punto de sobre pasar la barrera de los 100 lo cual lo convertiría en elemento muy crítico. Este se encuentra seguido por los pistones, bielas y manivelas.

En estos elementos nombrados anteriormente se debe enfocar el mantenimiento del sistema de generación de potencia ubicado en los compresores estudiados.

Tabla 14. FMEA DEL SISTEMA DE TOMA DE COMBUSTIBLE

SISTEMA	COMPONENTE	Modo de falla	Efecto potencial del modo falla		Causa de la falla	Existe controles preventivos actuales	SEV	FREC	DET	NPR
			En la función de la planta o sistema	En la operación de la planta o sistema						
SISTEMA DE TOMA DE COMBUSTIBLE	Tanque de Combustible	Rotura	Fuga de combustible	Excesivo consumo de combustible	Golpe por transporte / Falta de mantenimiento preventivo	Ninguno	3	2	1	6
	Tubería y manguera de Combustible	Taponamiento	Obstrucción parcial o total de las tuberías	Parada del equipo	Suciedad e impurezas en el combustible	Compra de partes certificadas	8	4	3	96
		Rotura	Fuga de combustible	Parada del equipo	Ambientes salinos que generan corrosión, golpes o impactos, vencimiento de abrazaderas, otros	Inspección visual	6	5	1	30
	Bomba de Combustible	Suciedad	Disminución del flujo de combustible	Perdida capacidad del equipo	Suciedad e impureza del combustible	Filtros de combustible	4	4	3	48

Fuente : Elaboración Propia

SISTEMA	COMPONENTE	Modo de falla	Efecto potencial del modo falla		Causa de la falla	Existe controles preventivos actuales	SEV	FREC	DET	NPR
			En la función de la planta o sistema	En la operación de la planta o sistema						
SISTEMA DE TOMA DE COMBUSTIBLE		Taponamiento	Perdida total del flujo de combustible	Parada del equipo	Suciedad e impureza del combustible, partículas extrañas en el combustible	Filtros de combustible	8	3	3	72
		Desgaste	Perdida gradual de la Presión	Perdida gradual de la presión del sistema	Suciedad e impureza del combustible, partículas extrañas en el combustible que derivan en desgaste	NINGUNO	6	4	4	96
	Filtro	Taponamiento	Perdida gradual o total del flujo de combustible	Parada del equipo	Suciedad excesiva del combustible	Inspección visual	6	3	4	72
		Desgaste	Flujo de impurezas y suciedad al sistema	Perdida de la capacidad de lubricación	Presencia de partículas extrañas capaces de causar desgaste del elemento filtrador, falta de cambio de acuerdo con las recomendaciones del fabricante	Inspección visual	7	3	4	84

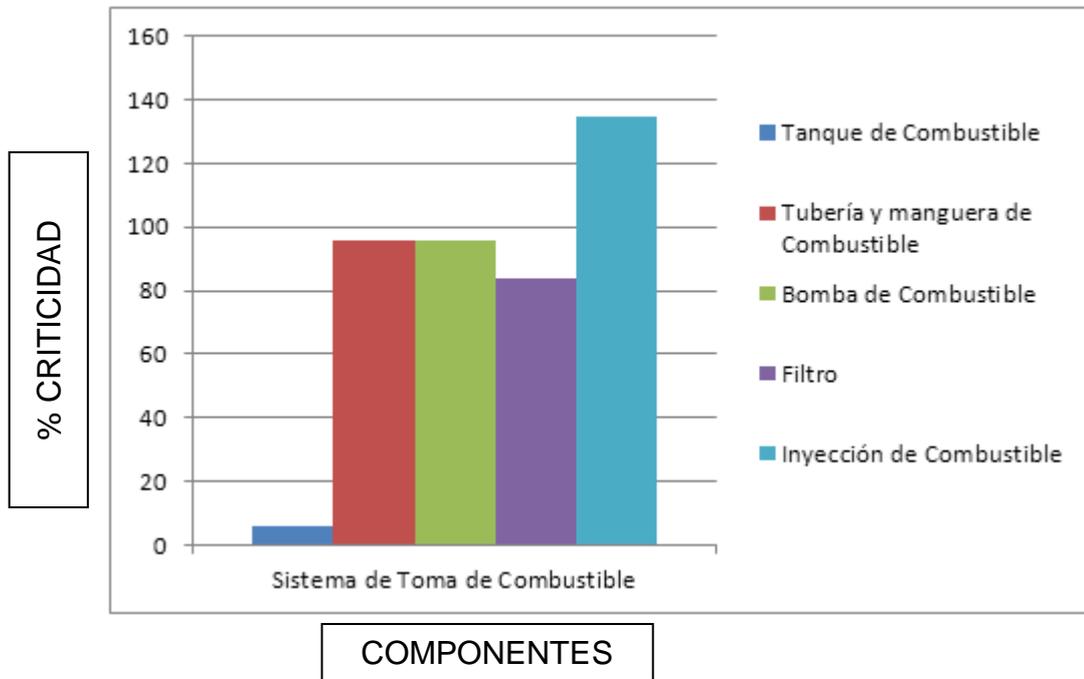
Fuente : Elaboración Propia

SISTEMA	COMPONENTE	Modo de falla	Efecto potencial del modo falla		Causa de la falla	Existe controles preventivos actuales	SEV	FREC	DET	NPR
			En la función de la planta o sistema	En la operación de la planta o sistema						
SISTEMA DE TOMA DE COMBUSTIBLE	Inyección de Combustible	Taponamiento	Perdida de la combustión	Parada del equipo	Uso de combustible sucio / Falta de limpieza de tanque	Ninguno	9	3	5	135
		Des calibración	Inapropiado consumo de combustible	Parada de equipo o sobrecostos	Uso excesivo del equipo sin mediciones ni mantenimiento	Calibración de inyectores cada 3000h de trabajo	5	3	5	75
		Asincronía	Vibración del equipo	Desajustes y roturas en otros sistemas	Uso excesivo del equipo sin mediciones ni mantenimiento	Sincronización de inyectores cada 3000h de trabajo	4	3	5	60

Fuente : Elaboración Propia

A continuación se darán a conocer los resultados aplicados al análisis FMEA del Sistema de toma de combustible, y la estadística del mismo en la gráfica 10.

Gráfico 10. Resultado del Análisis de Falla del Sistema de Toma de Combustible



Fuente: Elaboración Propia

Los inyectores de combustible son los elementos más críticos en el sistema de toma de combustible de los compresores. La principal causa de fallas en estos elementos es el taponamiento por suciedad o descalibración de estos y producen desincronización en el ciclo de combustión.

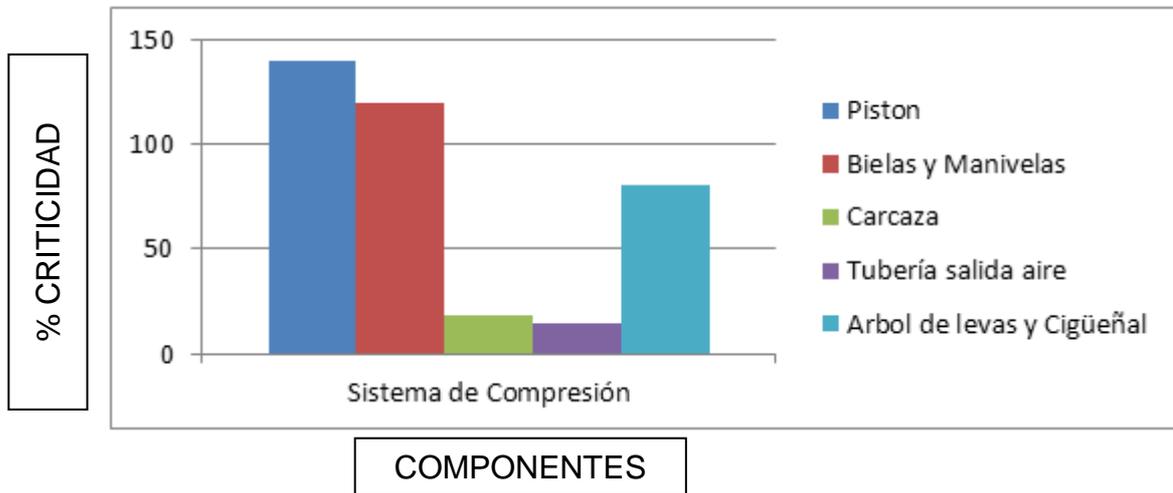
Tabla 15. FMEA DEL SISTEMA DE COMPRESIÓN

SISTEMA	COMPONENTE	Modo de falla	Efecto potencial del modo falla		Causa de la falla	Existe controles preventivos actuales	SEV	FREC	DET	NPR
			En la función de la planta o sistema	En la operación de la planta o sistema						
SISTEMA DE COMPRESIÓN	Pistón	Desgaste	Perdida potencia motor	Perdida capacidad del equipo	Uso excesivo del equipo sin mediciones ni mantenimiento	Mantenimiento cada 4000h de trabajo	7	4	5	140
		Rotura	Perdida de la compresión	Parada del equipo	Ingreso de elementos extraños a la cámara de compresión	Cambio de filtros de aire cada 2000 horas de trabajo	9	2	4	72
	Bielas y Manivelas	Rotura	Perdida transmisión de potencia a cigüeñal	Parada del equipo	Asincronía	Ninguno	10	3	4	120
	Carcaza	Rotura	Perdida compresión	Perdida capacidad del equipo	Golpe por transporte/Materiales de fabricación inapropiados	Ninguno	6	3	1	18
	Tubería salida aire	Rotura	Escape de aire a presión	Perdida capacidad del equipo	Golpe por transporte/Materiales de fabricación inapropiados/ Desgaste por uso	Ninguno	5	3	1	15
	Árbol de levas y Cigüeñal	Desgaste	Vibración del equipo	Desajustes y roturas en otros sistemas	Uso excesivo del equipo sin mediciones ni mantenimiento	Mantenimiento cada 4000h de trabajo	4	4	5	80
		Rotura	Perdida transmisión de potencia	Parada del equipo	Asincronía	Ninguno	9	3	3	81

Fuente : Elaboración Propia

A continuación se darán a conocer los resultados aplicados al análisis FMEA del Sistema de compresión, y la estadística del mismo en la gráfica 11.

Gráfico 11. Resultado del Análisis de Falla del Sistema de Compresión



Fuente: Elaboración Propia

El pistón es el elemento con mayor RPN y por consiguiente el más crítico del sistema de compresión del equipo, las bielas y manivelas son elementos con RPN altos y por lo cual deben tener trato parecido al pistón.

Al generarse daños en el pistón perdemos la capacidad de presión sobre el aire y posibilidad de generar daños en las camisas de estos.

9.3 WEIBULL APLICADO AL COMPRESOR DEL AREA DESANBLASTING

Haremos el análisis de confiabilidad de Weibull a todos los compresores enumerados en la tabla de inventario de equipos (Anexo a) que hacen parte del proceso de Sandblasting de Astivik S.A.

Como primera medida se debe buscar y organizar los datos históricos de fallas de los equipos, lo cual se muestra en las siguientes tablas

Tabla 16. COMPORTAMIENTO HISTÓRICO COMPRESOR 600 CFM

		CALCULOS DE TIEMPO ENTRE FALLAS Y TIEMPO FUERA DE SERVICIO				Tiempo tomado
FALLAS	ESTADO DEL EQUIPO	INICIA	FINALIZA	TIEMPO NO OPERANDO (TFS)	TIEMPO OPERANDO (TS)	TIEMPO ENTRE FALLAS (DIAS)
		FECHA CALENDARIO	FECHA CALENDARIO	TTR	TTF	TBF
	Operando	01/05/2011	08/11/2011		191,00	
1	Fuera de servicio	09/11/2011	10/11/2011	1,00		
	Operando	10/11/2011	18/11/2011		8,00	
2	Fuera de servicio	19/11/2011	07/12/2011	18,00		9,00
	Operando	07/12/2011	10/03/2012		94,00	
3	Fuera de servicio	11/03/2012	02/04/2012	22,00		112,00
	Operando	02/04/2012	20/05/2012		48,00	

En la tabla 16 se muestran los datos de fallas del compresor. Con estos datos de fallas se puede calcular los tiempos medios entre fallas (MTBF), tiempos medios de reparación (MTTR) y tiempo medio para fallar (MTTF), además podemos calcular la disponibilidad del equipo

CONCEPTOS	MTTF	MTTR	MTTF + MTTR	CONCEPTOS	TFS	TS
TIEMPOS	85,3	13,7	98,9	TIEMPOS	63	193
DISPONIBILIDAD INHERENTE= MTTF/(MTTF+MTTR)			86%	DISPONIBILIDAD		

Tabla 17. . COMPORTAMIENTO HISTÓRICO COMPRESOR 750-1 CFM

		CALCULOS DE TIEMPO ENTRE FALLAS Y TIEMPO FUERA DE SERVICIO				Tiempo tomado
ESTADO DEL EQUIPO	INICIA	FINALIZA	TIEMPO NO OPERANDO (TFS)	TIEMPO OPERANDO (TS)	TIEMPO ENTRE FALLAS (DIAS)	
	FECHA CALENDARIO	FECHA CALENDARIO	TTR	TTF	TBF	
Fuera de servicio	05/05/2011	13/05/2011	8,00			
Operando	13/05/2011	19/07/2011		67,00		
Fuera de servicio	20/07/2011	22/07/2011	2,00		75	
Operando	22/07/2011	29/08/2011		38,00		
Fuera de servicio	30/08/2011	01/09/2011	2,00		40	
Operando	01/09/2011	11/09/2011		10,00		
Fuera de servicio	12/09/2011	13/09/2011	1,00		12	
Operando	13/09/2011	08/11/2011		56,00		
Fuera de servicio	09/11/2011	10/11/2011	1,00		57	
Operando	10/11/2011	21/05/2012		193,00		

Con estos datos de fallas se calculan los tiempos medios entre fallas (MTBF), tiempos medios de reparación (MTTR) y tiempo medio para fallar (MTTF), además podemos calcular la disponibilidad del equipo.

CONCEPTOS	MTTF	MTTR	MTTF + MTTR	CONCEPTOS	TFS	TS
TIEMPOS	72,8	2,8	75,6	TIEMPOS	63	242
DISPONIBILIDAD INHERENTE= MTTF/MTTF+MTTR			96%	DISPONIBILIDAD		

Tabla 19. COMPORTAMIENTO HISTÓRICO COMPRESOR 750-2 CFM

CALCULOS DE TIEMPO ENTRE FALLAS Y TIEMPO FUERA DE SERVICIO						Tiempo tomado
ESTADO DEL EQUIPO	INICIA	FINALIZA	TIEMPO NO OPERANDO (TFS)	TIEMPO OPERANDO (TS)	TIEMPO ENTRE FALLAS (DIAS)	TBF
	FECHA CALENDARIO	FECHA CALENDARIO	TTR	TTF		
Fuera de servicio	17/05/2011	19/05/2011	2,00			
Operando	19/05/2011	08/07/2011		50,00		
Fuera de servicio	09/07/2011	11/07/2011	2,00		52	
Operando	11/07/2011	19/07/2011		8,00		
Fuera de servicio	20/07/2011	17/08/2011	28,00		10	
Operando	17/08/2011	11/09/2011		25,00		
Fuera de servicio	12/09/2011	21/05/2012	252,00		53	
Operando					252	

CONCEPTOS	MTTF	MTTR	MTTF + MTTR	CONCEPTOS	TFS	TS
TIEMPOS	27,7	71,0	98,7	TIEMPOS	63	83
DISPONIBILIDAD INHERENTE= MTTF/MTTF+MTTR			28%	DISPONIBILIDAD		

Tabla 18. COMPORTAMIENTO HISTÓRICO COMPRESOR 1100 CFM

CALCULOS DE TIEMPO ENTRE FALLAS Y TIEMPO FUERA DE SERVICIO						Tiempo tomado
ESTADO DEL EQUIPO	INICIA	FINALIZA	TIEMPO NO OPERANDO (TFS)	TIEMPO OPERANDO (TS)	TIEMPO ENTRE FALLAS (DIAS)	TBF
	FECHA CALENDARIO	FECHA CALENDARIO	TTR	TTF		
Operando	01/05/2011	26/01/2012		270,00		
Fuera de servicio	27/01/2012	30/01/2012	3,00			
Operando	30/01/2012	11/03/2012		41,00		
Fuera de servicio	12/03/2012	17/03/2012	5,00		44	
Operando	17/03/2012	17/04/2012		31,00		
Fuera de servicio	18/04/2012	19/04/2012	1,00		36	
Operando	19/04/2012	20/04/2012		1,00		
Fuera de servicio	21/04/2012	22/04/2012	1,00		2	
Operando	22/04/2012	21/05/2012		29,00		

CONCEPTOS	MTTF	MTTR	MTTF + MTTR	CONCEPTOS	TFS	TS
TIEMPOS	25,5	2,5	28,0	TIEMPOS	10	372
DISPONIBILIDAD INHERENTE= MTTF/MTTF+MTTR			91%	DISPONIBILIDAD		

Tabla 20. COMPORTAMIENTO HISTÓRICO COMPRESOR 1600 CFM

CALCULOS DE TIEMPO ENTRE FALLAS Y TIEMPO FUERA DE SERVICIO					Tiempo tomado	
ESTADO DEL EQIPO	INICIA	FINALIZA	TIEMPO NO OPERANDO (TNO)	TIEMPO OPERANDO (TS)	TIEMPO ENTRE FALLAS (DIAS)	
	FECHA CALENDARIO	FECHA CALENDARIO	TTR	TTF	TBF	
Operando	01/05/2011	20/11/2011		203,00		
Fuera de servicio	21/11/2011	22/11/2011	1,00			
Operando	22/11/2011	08/12/2011		16,00		
Fuera de servicio	09/12/2011	12/12/2011	3,00		17	
Operando	12/12/2011	06/01/2012		25,00		
Fuera de servicio	07/01/2012	12/01/2012	5,00		28	
Operando	12/01/2012	11/04/2012		90,00		
Fuera de servicio	12/04/2012	15/04/2012	3,00		95	
Operando	15/04/2012	20/05/2012		35,00		

CONCEPTOS	MTTF	MTTR	MTTF + MTTR	CONCEPTOS	TFS	TS
TIEMPOS	43,7	2,0	45,7	TIEMPOS	12,00	369,00
DISPONIBILIDAD INHERENTE= MTTF/(MTTF+MTTR)			96%	DISPONIBILIDAD		

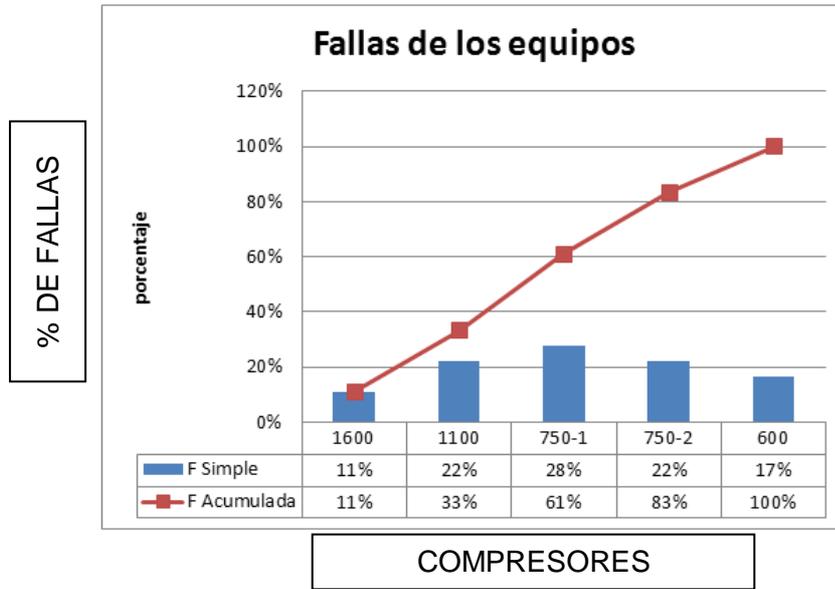
A continuación será usado el diagrama de paretto para visualizar de forma más clara cual compresor presenta mayores problemas según los datos mostrados anteriormente.

	No Fallas	Acumulado
1600	2	2
1100	4	6
750-1	5	11
750-2	4	15
600	3	18

Realizamos una ponderación de los datos de la tabla de fallos de los compresores para generar grafica y expresar estas fallas en porcentajes.

	F Simple	F Acumulada
1600	11%	11%
1100	22%	33%
750-1	28%	61%
750-2	22%	83%
600	17%	100%

Gráfico 12. Fallas de los Equipos



Fuente: Elaboración Propia

En los datos del análisis anterior se trabajó con la cantidad de fallas en el periodo de tiempo evaluado, dando como resultado que el equipo que presenta más problemas es el compresor 750-1 con el 28% del total de los fallos, siguiéndolo los compresores 1100 y 750-2 con el 22% de los fallos totales cada uno, luego el 600 y por último el compresor 1600 siendo este el que presenta menor número de fallas. Ahora se hará el mismo trabajo pero utilizando los datos de tiempos de reparación de los equipos

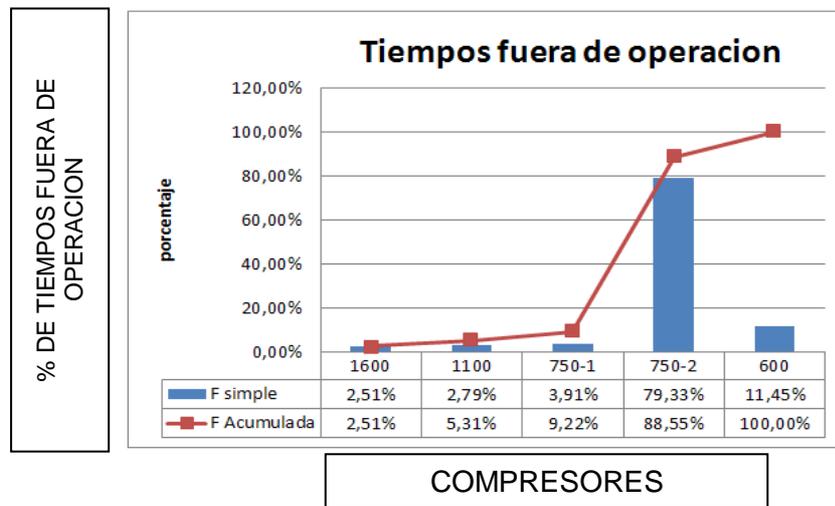
	Tiempo Fallas	Acumulado
1600	9,00	9,00
1100	10,00	19,00
750-1	14,00	33,00
750-2	284,00	317,00
600	41,00	358,00

Esta tabla también será ponderada para luego ser graficada e interpretada con mayor facilidad.

	F simple	F Acumulada
1600	2,51%	2,51%
1100	2,79%	5,31%
750-1	3,91%	9,22%
750-2	79,33%	88,55%
600	11,45%	100,00%

De la tabla anterior proseguimos a generar la grafica de paretto para los tiempos fuera de operación por fallas presentadas en los compresores.

Gráfico 13. Tiempos fuera de la Operación



Fuente: Elaboración Propia

Se puede observar que el tiempo fuera de servicio del compresor 750-2 representa un alto porcentaje de los tiempos totales de fallas de todos los equipos.

Con las anteriores graficas podemos decir que el compresor 750-2 es el elemento mas critico a tratar, aunque se encuentre en segundo lugar por numero de fallas los tiempos fuera de servicios son elevados con respecto a los otros compresores.

Para efectos de una mayor cobertura del trabajo se hará el análisis de confiabilidad a todos los equipos utilizando como herramienta weibull.

COMPRESOR 1600: Como primero se organizan los datos de fallas (TBF) en forma ascendente y mediante las siguientes formulas se calculan los demás datos.

$$x_i = \ln(T_i)$$

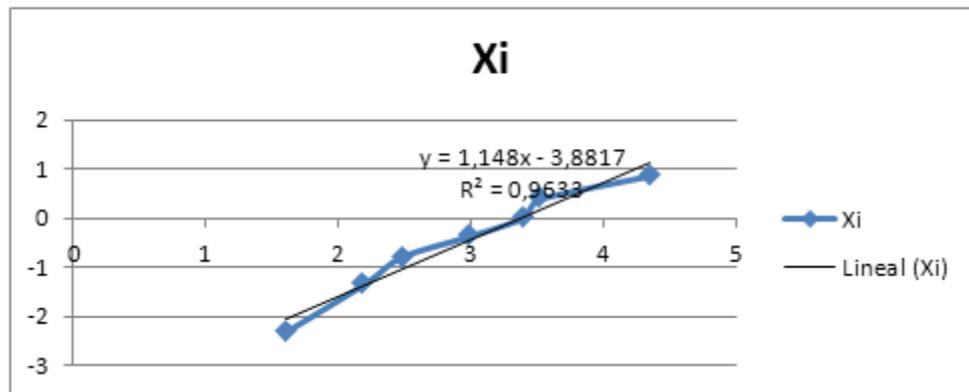
$$y_i = \ln\{-\ln[1 - F(T_i)]\}$$

$$MR\% \sim \frac{i - 0,3}{N + 0,4} \cdot 100$$

No	TBF	MR o F(T)	F(Ti)	Yi	Xi	XY	X2	Y2
1	17,00	29,167%		-1,06467333	2,83321334	-3,02E+00	8,03E+00	1,13E+00
2	164,00	70,833%		0,20875548	5,09986643	1,06E+00	2,60E+01	4,36E-02
				-0,85591784	7,93307977	-1,95E+00	3,40E+01	1,18E+00

Luego se grafica los datos Yi y Xi de la tabla para hallar posteriormente la línea de tendencia con su respectiva formula de tendencia que sigue la forma $y = a + bx$. La gráfica quedaría de la siguiente manera

Gráfico 14. Variables de confiabilidad Yi y Xi



Fuente: Elaboración Propia

Después de tener los valores de la formula se dispone a hallar el valor de η el cual servirá para posteriores cálculos. Este se halla mediante la siguiente fórmula que está en función de las variables a y b de la ecuación de línea de tendencia antes hallada.

$$\eta = e^{\frac{a}{-\beta}}$$

$$\eta = 0,1372696$$

Con todos estos datos se procede a hacer el cálculo de confiabilidad siguiendo las siguientes formulas. Cabe aclarar que la confiabilidad de los equipos va disminuyendo conforme va pasando el tiempo, por eso se debe hacer el cálculo para diferentes periodos de tiempo como se muestra a continuación.

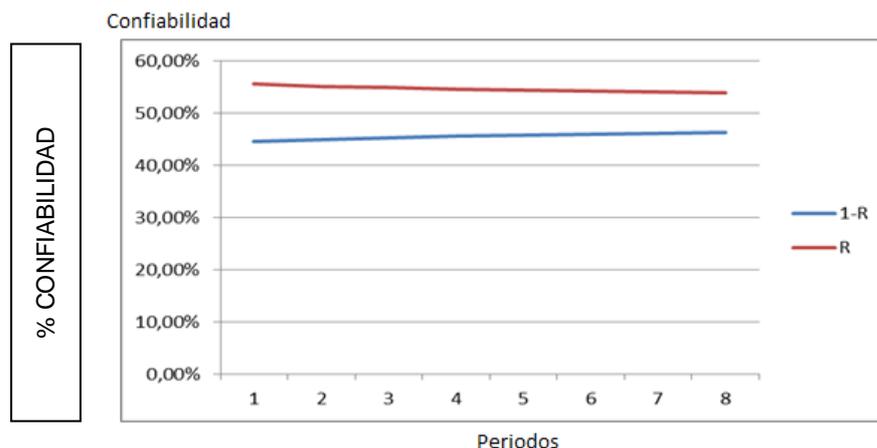
Donde R es confiabilidad, T – x es el tiempo a evaluar y las otras variables ya conocidas.

Tiempo evaluado	1-R	R
30	44,50%	55,50%
40	44,91%	55,09%
50	45,22%	54,78%
60	45,48%	54,52%
70	45,70%	54,30%
80	45,88%	54,12%
90	46,05%	53,95%
100	46,19%	53,81%

$$R(T) = e^{-\left(\frac{T-\gamma}{\eta}\right)^\beta}$$

Ahora se grafican (grafico 15) los datos obtenidos para tener una mejor perspectiva del estado del equipo.

Gráfico 15. Confiabilidad Compresor 1600



Fuente: Elaboración Propia

Se puede observar que este equipo a los treinta periodos de trabajo tiene una confiabilidad del 55.5% o bien una posibilidad de falla de 44,5%, la cual va desmejorando conforme pasa el tiempo como es de esperarse pero a una rata

muy baja. Teniendo ya los datos de confiabilidad del equipo se procede a hallar el MTBF con su desviación estándar para así tener parámetros que sirvan para la programación de mantenimiento entre otras utilidades. Los valores de b y de η se hallan mediante utilizando la siguiente tabla:

Tabla 21. VALORES DE MTBF Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE WEIBULL

LEY DE WEIBULL:

$$R(t) = 1 - F(t) = \exp \left[- \left(\frac{t}{\eta} \right)^\beta \right]$$

$$MTBF = m = E(t) = \eta \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right)$$

$$\sigma = \eta \sqrt{ \left[\Gamma \left(1 + \frac{2}{\beta} \right) - \Gamma^2 \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \right]}$$

β	$m/\eta = \Gamma(1+1/\beta)$	σ/η	β	$m/\eta = \Gamma(1+1/\beta)$	σ/η
0	∞	∞	2,0	0,8862	0,463
0,1	101	$\sqrt{201 - (101)^2}$	2,1	0,8857	0,44
0,2	120	1901	2,2	0,8856	0,42
0,3	9,2605	47	2,3	0,8859	0,41
0,4	3,3234	10,43	2,4	0,8865	0,39
0,5	2,0000	4,472	2,5	0,8873	0,38
0,6	1,5046	2,645	2,6	0,8882	0,37
0,7	1,2658	1,851	2,7	0,8893	0,36
0,8	1,1330	1,428	2,8	0,8905	0,34
0,9	1,0522	1,171	2,9	0,8917	0,33
1,0	1,0000	1,000	3,0	0,8938	0,32
1,1	0,9649	0,878	3,1	0,8943	0,315
1,2	0,9407	0,785	3,2	0,8957	0,31
1,3	0,9235	0,716	3,3	0,8970	0,30
1,4	0,9114	0,659	3,4	0,8984	0,29
1,5	0,9028	0,613	3,5	0,8998	0,28
1,6	0,8966	0,594	3,6	0,9011	0,27
1,7	0,8922	0,530	3,8	0,9038	0,26
1,8	0,8893	0,512	4,0	0,9064	0,25
1,9	0,8874	0,486			

En la tabla anterior se identifica en la columna β el valor de b que se hallará en la fórmula de la línea de tendencia del compresor 1600, si no está directamente el valor que se necesita, entonces se utilizan el dato superior e inferior que aparezca en la tabla para interpolar y así obtener los datos de m/η y σ/η . Una vez obtenido estos valores simplemente se despejan a m (MTBF) y σ (desviación estándar). Para este equipo los cálculos quedarían de la siguiente forma.

b	m/n	p/n
1,1	0,0649	0,878
1,15	0,5028	0,8315
1,2	0,9407	0,785
MTBF	0,06901918	
DESVEST	0,11413971	

Para los demás equipos se siguen los mismos pasos hechos con el compresor 1600, al realizar los respectivos cálculos se muestran los siguientes resultados.

Compresor 1100

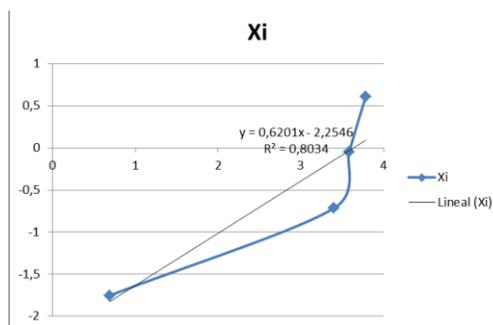
Se organizan los datos de falla en una tabla y se calculan los valores de Y_i y X_i .

No	TBF	MR o F(T)	F(Ti)	Y_i	X_i	XY	X^2	Y^2
1	2,00	15,909%		-1,75289427	0,693147181	-1,22E+00	4,80E-01	3,07E-00
2	30,00	38,636%		-0,71671725	3,401197382	-2,44E+00	1,16E+01	5,14E-01
3	36,00	61,364%		-0,05026615	3,583518938	-1,80E-01	1,28E+01	2,53E-03
4	44,00	84,091%		0,60883007	3,784189634	2,30E+00	1,43E+01	3,71E-01
				-1,9110476	11,46205313	-1,528911804	39,21029581	3,959522691

A continuación se grafican los datos y se halla la ecuación de la línea de tendencia.

$$\eta = 27,5220558$$

Gráfico 16. Variables de confiabilidad Y_i y X_i



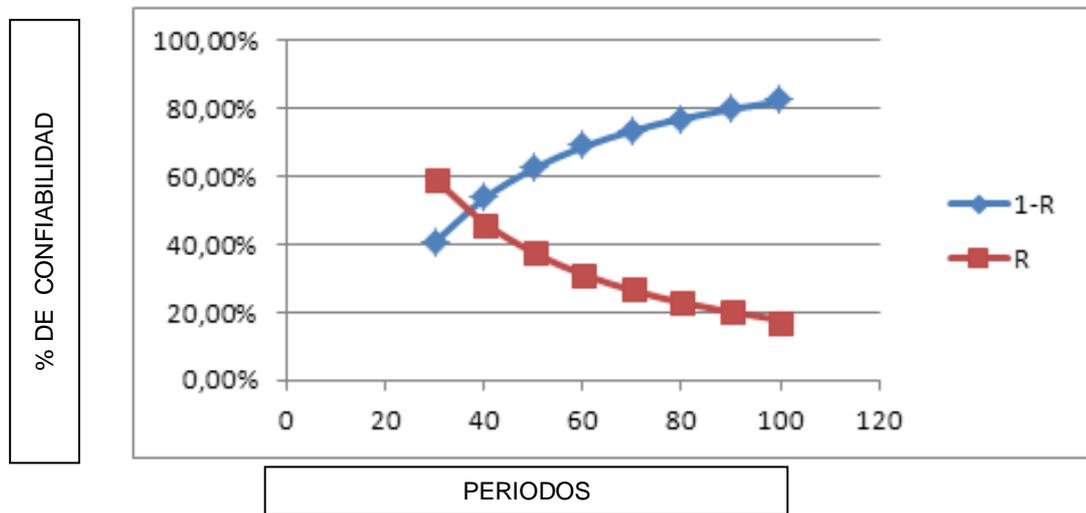
Fuente: Elaboración Propia

Luego mediante las ecuaciones se obtiene los datos de confiabilidad y no confiabilidad del equipo en función del tiempo y los resultados se tabulan como se muestra a continuación.

Tiempo evaluado	1-R	R
30	40,78%	59,22%
40	53,56%	46,44%
50	62,41%	37,59%
60	68,75%	31,25%
70	73,45%	26,55%
80	77,05%	22,95%
90	79,87%	20,13%
100	82,13%	17,87%
110	83,98%	16,02%
120	85,52%	14,48%
130	86,81%	13,19%
140	87,91%	12,09%
150	88,86%	11,14%

Se procede a graficar los datos de la tabla anterior

Gráfico 17. Confiabilidad y no confiabilidad del equipo del Equipo Compresor 1100



Fuente: Elaboración Propia

Se puede ver que antes de 40 periodos de trabajos la disponibilidad pasa a ser menor que la posibilidad de que el equipo falle. Luego de 100 periodos de trabajo la disponibilidad se encuentra por debajo del 20% siendo este valor demasiado bajo.

Se procede a calcular el tiempo medio entre fallas y la desviación estándar utilizando la tabla de la ley de Weibull antes mostrada

b	m/n	p/n
0,5	2	4,472
-1,2597	10,7174536	36,6213496
0,6	1,5046	2,645
MTBF	294,966356	
DesvEst	1007,89483	

En estos datos se muestra que los resultados obtenidos no son demasiado confiables debido a que su desviación estándar es 1007,9 mucho más alta que el tiempo medio entre fallas.

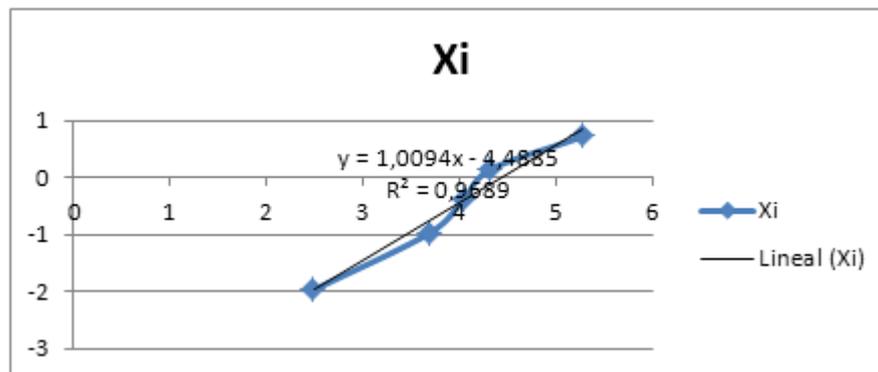
Compresor 750-1.

Primero se organizan los datos de falla en una tabla y se calculan los valores de Y_i y X_i .

No	TBF	MR o F(T)	F(Ti)	Y_i	X_i	XY	X^2	Y^2
1	12,00	12,96%		-1,97445869	2,48490665	-4,91E+00	6,17E+00	3,90E+00
2	40,00	31,48%		-0,97268614	3,688879454	-3,59E+00	1,36E+01	9,46E-01
3	57,00	50,00%		-0,36651292	4,043051268	-1,48E+00	1,63E+01	1,34E-01
4	75,00	68,52%		0,1447674	4,317488114	6,25E-01	1,86E+01	2,10E-02
5	194,00	87,04%		0,71445549	5,267858159	3,76E+00	2,78E+01	5,10E-01
				-2,45443487	19,80218364	-5,587616314	82,51988943	5,510341427

Graficamos los datos de la tabla anterior.

Gráfico 18. Variables de confiabilidad Y_i y X_i



Fuente: Elaboración Propia

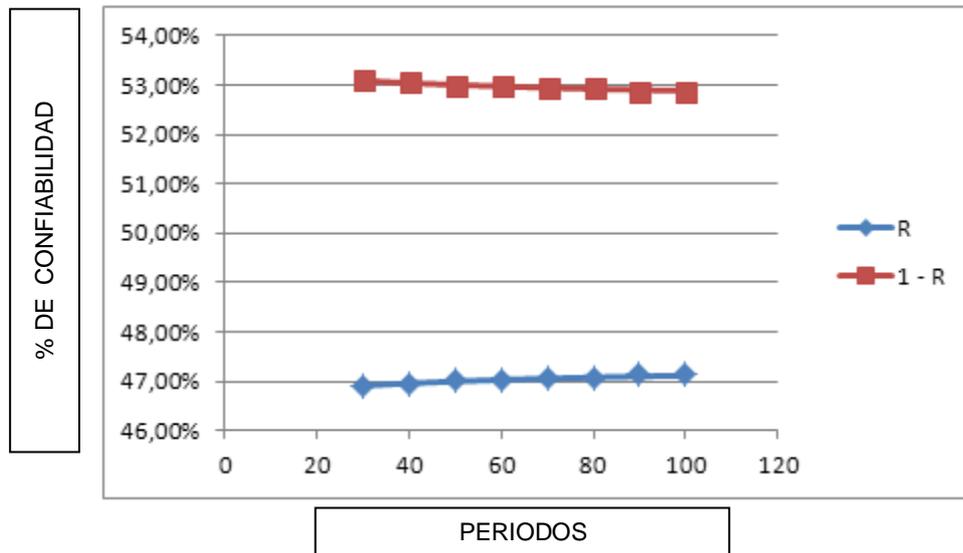
A continuación se grafican los datos y se halla la ecuación de la línea de tendencia.

$$\eta = 2,0928E-24$$

Luego mediante las ecuaciones se obtienen los datos de confiabilidad y no confiabilidad del equipo en función del tiempo y los resultados se tabulan como se muestra a continuación

Tiempo evaluado	R	1 - R
30	46,91%	53,09%
40	46,96%	53,04%
50	47,00%	53,00%
60	47,03%	52,97%
70	47,06%	52,94%
80	47,08%	52,92%
90	47,10%	52,90%
100	47,12%	52,88%
110	47,13%	52,87%
120	47,15%	52,85%
130	47,16%	52,84%
140	47,17%	52,83%
150	47,19%	52,81%

Gráfico 19. Confiabilidad y no confiabilidad del Equipo Compresor 750-1.



Fuente: Elaboración Propia

Podemos ver que al pasar el tiempo la disponibilidad varía en pequeñas proporciones.

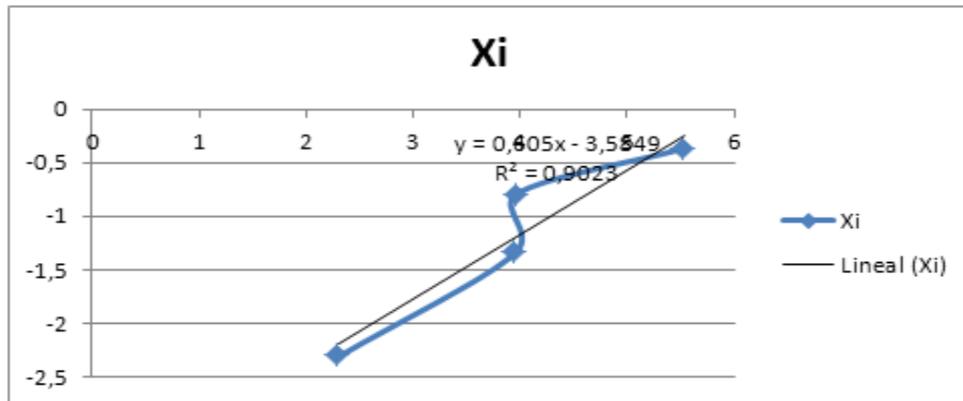
Compresor 750-2.

se organizan los datos de falla en una tabla y se calculan los valores de Yi y Xi.

No	TBF	MR o F(T)	F(Ti)	Yi	Xi	XY	X2	Y2
1	10,00	9,459%		-2,30888013	2,302585093	-5,32E+00	5,30E+00	5,33E+00
2	52,00	22,973%		-1,3431819	3,951243719	-5,31E+00	1,56E+01	1,80E+00
3	53,00	36,486%		-0,78983983	3,970291914	-3,14E+00	1,58E+01	6,24E-01
4	252,00	50,000%		-0,36651292	5,529429088	-2,03E+00	3,06E+01	1,34E-01
				-4,80841478	15,75354981	-15,78613393	67,25202895	7,893243749

Luego se grafican los datos y se halla la ecuación de la línea de tendencia.

Gráfico 20. Variables de confiabilidad Y_i y X_i



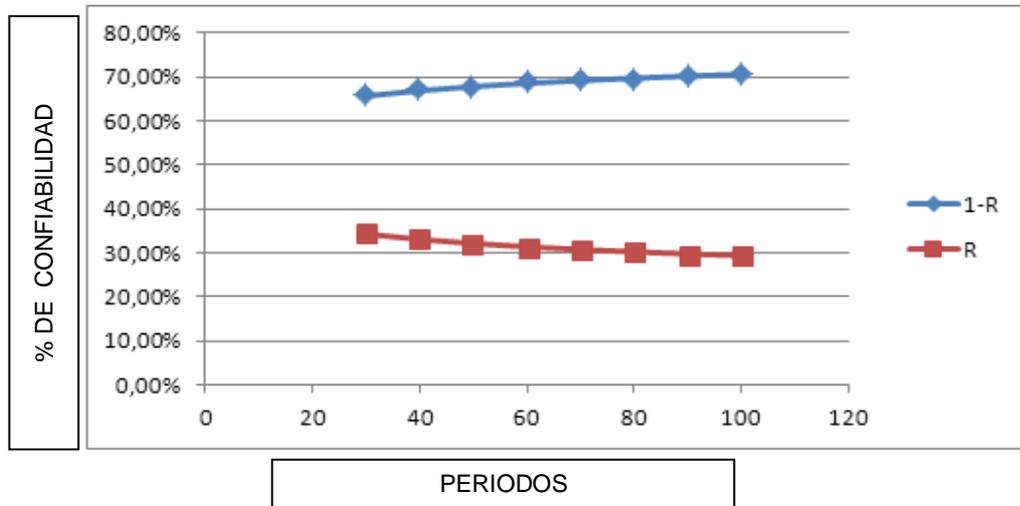
Fuente: Elaboración Propia

$$\eta = 0,11659035$$

Luego mediante las ecuaciones se obtiene los datos de confiabilidad y no confiabilidad del equipo en función del tiempo y los resultados se tabulan como se muestra a continuación.

Tiempo evaluado	1-R	R
30	65,68%	34,32%
40	66,90%	33,10%
50	67,83%	32,17%
60	68,57%	31,43%
70	69,19%	30,81%
80	69,72%	30,28%
90	70,18%	29,82%
100	70,59%	29,41%

Gráfico 21. Confiabilidad y no Confiabilidad del Equipo Compresor 750-2.



Fuente: Elaboración Propia

Podemos observar que el equipo presenta una muy alta probabilidad de falla, la cual va aumentando gradualmente a medida que el tiempo de servicio también lo hace, sin embargo comienza a estabilizarse después de un tiempo determinado.

Se procede a calcular el tiempo medio entre fallas y la desviación estándar utilizando la tabla de la ley de Weibull antes mostrada.

b	m/n	p/n
1,2	0,9407	0,785
-0,1561	1,17395465	1,72073088
1,3	0,9235	0,716

MTBF	0,13687179
DESVEST	0,20062062

El tiempo medio entre fallas es demasiado bajo, debido al tiempo que ha estado fuera de servicio, se puede afirmar que el dato es confiable ya que la desviación estándar tiene un valor muy bajo.

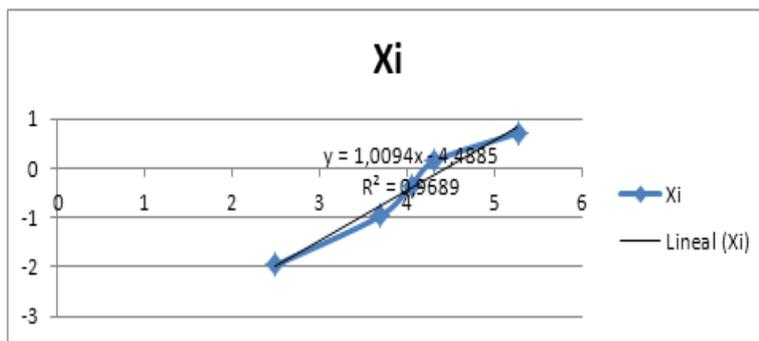
Compresor 600.

Organizamos los datos para generar tabla de datos:

No	TBF	MR o F(T)	F(Ti)	Yi	Xi	XY	X2	Y2
1	9,00	12,96%		-1,97445869	2,197224577	-4,34E+00	4,83E+00	3,90E+00
2	112,00	31,48%		-0,97268614	4,718498871	-4,59E+00	2,23E+01	9,46E-01
3	192,00	50,00%		-0,36651292	5,257495372	-1,93E+00	2,76E+01	1,34E-01
				-3,31365776	12,17321882	-10,85488761	54,73328503	4,978937186

Ahora generamos la grafica con los datos de la tabla anterior.

Gráfico 22. Variables de confiabilidad Yi y Xi



$$\eta = 0,42388425$$

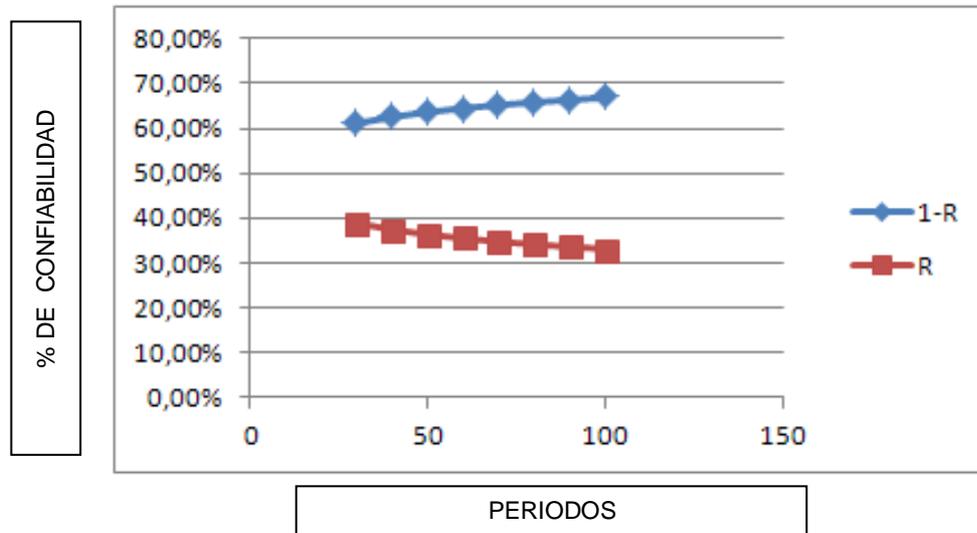
Fuente: Elaboración Propia

Luego mediante las ecuaciones se obtiene los datos de confiabilidad y no confiabilidad del equipo en función del tiempo y los resultados se tabulan como se muestra a continuación.

Tiempo evaluado	1-R	R
30	61,14%	38,86%
40	62,57%	37,43%
50	63,65%	36,35%
60	64,51%	35,49%
70	65,23%	34,77%
80	65,85%	34,15%
90	66,38%	33,62%
100	66,86%	33,14%

Graficamos los datos de la tabla anterior:

Gráfico 23. Confiabilidad y no Confiabilidad del Equipo Compresor 600



Fuente: Elaboración Propia

En toda la grafica se encuentra por debajo del 50% de disponibilidad, lo cual es algo que se debe corregir ya que con el transcurso del tiempo este disminuirá.

b	m/n	p/n
1,2	0,9407	0,785
1,21	0,93898	0,7781
1,3	0,9235	0,716

MTBF	0,39801883
DESVEST	0,32982433

10. DEFINICION DEL MODELO RCM DE MANTENIMIENTO EN EL AREA DE SANDBLASTING

En el área de sandblasting de industrias ASTIVIK se debe realizar una modelo de análisis de RCM que conteste las siguientes preguntas:

1. ¿Cuáles son las funciones y los estándares de funcionamiento en cada sistema?

COMPRESOR: catalogado como el equipo crítico, este consta de 8 sistemas y el funcionamiento de cada sistema se resume en la siguiente tabla.

Tabla 22. TABLA DE FUNCIONES Y ESTANDARES DE FUNCIONAMIENTO DE LOS SISTEMAS DEL COMPRESOR

SISTEMA	FUNCIONES
SISTEMA DE LUBRICACIÓN	Reducir la fricción y desgaste entre las piezas.
SISTEMA DE REFRIGERACIÓN	Disminuir la temperatura de trabajo de las piezas en movimiento.
SISTEMA ELÉCTRICO	Distribución energética del compresor
SISTEMA DE ADMISIÓN Y ESCAPE DE AIRE	Aportar aire a la combustión y desechar los residuos de esta.
SISTEMA DE TRANSMISIÓN	Distribución de la potencia a las partes del compresor.
SISTEMA DE COMPRESIÓN	Cambiar las propiedades del aire para luego ser almacenadas en la tanqueta
SISTEMA DE GENERACIÓN DE POTENCIA	Genera la potencia necesaria para comprimir el aire
SISTEMA DE TOMA DE COMBUSTIBLE	Es el encargado del almacenamiento y distribución del combustible en el compresor

2. ¿Cómo falla cada equipo?

R/= Se evidencia en el FMEA

3. ¿Cuál es la causa de cada fallo?

R/= Se evidencia en el FMEA

4. ¿Qué consecuencias tiene cada fallo?

R/= Se evidencia en el FMEA

¿Cómo puede evitarse cada fallo?,

R/= Se evidencia en plan de mantenimiento.

5. ¿Qué debe hacerse si no es posible evitar un fallo?

R/= Seguir el plan de mantenimiento. Teniendo en cuenta el FMEA de los equipos y los responsables además de verificar el grado de severidad, la frecuencia, y el RPN para analizar el comportamiento del componente para evaluar si causa retrasos, daños a otras piezas o daños permanentes en el sistema.

10.1 PLAN DE MANTENIMIENTO AL EQUIPO CRÍTICO DEL AREA DE SANDBLASTING

Tabla 23. PLAN DE MANTENIMIENTO DE COMPRESOR

PLAN DE MANTENIMIENTO COMPRESORES				
SISTEMA	COMPONENTE	ACTIVIDAD A REALIZAR	INTERVALO	RESPONSABLE
SISTEMA DE LUBRICACIÓN	Carter	Lavar semanalmente parte inferior, y graficar mensualmente	Semanal	Operador y Mecánico
	Bomba de aceite	Realizar análisis de aceite	Intermedia	Mecánico
	Filtro de aceite	Inspección visual después de cada operación	Después de cada operación	Operador
	Tuberías y mangueras	Realizar flushing a tubería cada 2000 horas y Realizar inspección y verificación total de las tuberías, mangueras y abrazaderas semanalmente	Cada 2000 horas	Operador y Mecánico
SISTEMA DE REFRIGERACIÓN	Radiador	Inspección visual y del nivel de refrigerante quincenal, limpieza y prueba hidrostática cada 1000 horas	Cada 1000 horas	Mecánico
	Ventilador	Revisar manualmente chequeando ajuste, después de cada operación, chequeo de alineación y holgura de bujes cada 1000 horas	Cada 1000 horas	Operador y Mecánico
	Bomba de agua	Revisar manualmente chequeando después de cada operación y realizar análisis de aceite	Después de cada operación y cada 1000 horas	Mecánico
	Termostato	Cambio del termostato cada 1500 horas	cada 1500 horas	Operador y Mecánico
	Poleas y correas	Ajuste y alineación de poleas mensualmente	Mensual	
	Tuberías y mangueras	Compra de correas originales	Quincenal	

SISTEMA	COMPONENTE	ACTIVIDAD A REALIZAR	INTERVALO	RESPONSABLE
SISTEMA ELÉCTRICO	BATERIA	Realizar mantenimiento de las baterías cada 2 meses y compra de baterías garantizadas	Cada 2 meses	Electricista
	Motor de arranque	Realizar mantenimiento preventivo, cambio de rodamiento, escobillas y rebobinado	Cada 5000 horas	
	Alternador	Realizar mediciones con multímetros cada 3 meses y realizar mantenimiento preventivo cada 5000 horas	Cada 3 meses	Operador y Mecánico
	Cableado y terminales	Revisión diaria de la condición de los bornes diaria	Diaria	Operador y Electricista
SISTEMA DE ADMISIÓN Y ESCAPE DE AIRE	Tuberías y mangueras	Realizar prueba de combustión en banco de prueba y prueba de fugas con detergentes	Mensual	Mecánico
	Turbo cargador	Realizar prueba de combustión en banco de prueba	Mensual	
	Filtros	Realizar mediciones de la calidad de aire que ingresa cada 500 horas	Cada 500 horas	
	Silenciador	Realizar inspecciones visuales cada mes	Mensual	
SISTEMA DE TRANSMISIÓN	Eje	Evitar al mínimo el transporte de equipos / Cuidado al transportar el equipo	Diaria	Programador SANDBLASTING / Operador equipos rodantes / Personal de compras
	Balineras	Hacer medición de vibraciones cada 500 horas de trabajo	Cada 500 horas	
	Flanches	Evitar al mínimo el transporte de equipos / Cuidado al transportar el equipo / Pedir certificación de calidad de partes y repuestos	Diaria	

SISTEMA	COMPONENTE	ACTIVIDAD A REALIZAR	INTERVALO	RESPONSABLE
SISTEMA DE COMPRESIÓN	Pistón	Mantenimiento cada 4000h de trabajo	Cada 4000 horas	Programador SANDBLASTING / Operador equipos rodantes / Personal de compras
	Bielas y manivelas	Calibración de inyectores y válvulas de admisión y escape cada 3000h de trabajo	Cada 3000 horas	
	Carcaza	Evitar al mínimo el transporte de equipos/Pedir certificación de calidad de partes	Diaria	
	Tubería y salida de aire	Toma de espesores de paredes de tubería	Semestral	
	Árbol de levas y cigüeñal	Mantenimiento cada 4000 horas y calibración de inyectores y válvulas de admisión y escape cada 3000h de trabajo	Cada 4000 y 3000 horas	
SISTEMA DE GENERACIÓN DE POTENCIA	Bloque	Evitar al mínimo el transporte de equipos / Cuidado al transportar el equipo / Pedir certificación de calidad de partes y repuestos	Diaria	Director de mantenimiento
	Culata	Constante medición de temperatura durante operación / Pedir certificación de calidad de partes y repuestos	Diaria	
	Pistón	Calibración de inyectores y válvulas de admisión y escape cada 3000h de trabajo	Cada 3000 horas	
	Bielas y manivelas	Calibración de inyectores y válvulas de admisión y escape cada 3000h de trabajo	Cada 3000 horas	Operador / Personal de compras
	Árbol de levas y cigüeñal	Mantenimiento cada 4000h de trabajo	Cada 4000 horas	
	Válvulas admisión y escape	Constante medición de temperatura durante operación / Mantenimiento cada 4000h de trabajo	Diaria y cada 4000 horas	

SISTEMA	COMPONENTE	ACTIVIDAD A REALIZAR	INTERVALO	RESPONSABLE
SISTEMA DE TOMA DE COMBUSTIBLES	Tanque de combustible	Mantenimiento preventivo con pintura semestral	Semestral	Programador SANDBLASTING / Operador equipos rodantes /Ayudante mantenimiento
	Tubería y manguera de combustible	Realizar flushing a tubería cada 2000 horas	Cada 2000 horas	Operador y Mecánico
	Bomba de combustible	Filtrado de combustible antes del llenado, cambio de interiores y prueba en banco	En cada llenado de combustible y trimestral	Mecánico
	Filtro	Inspección visual después de cada operación	Cada operación	operador
	Inyección de combustible	Filtrar combustible antes de depositarlo al tanque de almacenamiento del equipo / Limpiar el tanque de combustible trimestralmente	Cada llenado de combustible y trimestral	Operador /Ayudante mantenimiento

PRESUPUESTO

El presupuesto que tenemos estimado para diseñar el plan de mantenimiento basado en confiabilidad es el siguiente:

INTEGRANTES:

JORGE ANTONIO CERRO VÉLEZ	\$1.500.000
JOSE LUQUEZ BAQUERO	\$1.500.000

DIRECTOR:

VLADIMIR QUIROZ MARIANO	\$2.400.000
--------------------------------------	-------------

Recursos:

Libros y papelería.....	\$300.000
Copias e impresiones.....	\$100.000
Transporte y/o Gasolina.....	\$250.000
Tarjetas y/o Minutos.....	\$50.000
Internet.....	\$30.000
Refrigerios.....	\$60.000
Otros gastos.....	\$100.000
SUBTOTAL	\$6.290.000
IMPREVISTOS (10%)	\$629.000
TOTAL:	\$6.919.000

CONCLUSIONES

Los análisis realizados al área de sandblasting en industrias ASTIVIK S.A arrojaron los siguientes resultados.

1. Del 100% de los equipos analizados en la matriz RAM los equipos compresores tiene una ponderación alta con respecto a las consecuencias económicas y ambientales con una calificación de 2 de 3 y con una ocurrencia de varias veces al mes con respecto a los gastos, y una vez al mes en lo que respecta al daño ambiental , mientras que las boquillas, y mangueras solo se sitúan en las casillas, C0 y C1 sin ocasionar consecuencias personales, económicas y ambientales que afectan a la empresa, La probabilidad de criticidad suma 2 puntos de 5 para las mangueras, ósea un 40%, un 0% de 5 para las boquillas, y 5 puntos de 5 para el equipo compresor. Por lo cual los equipos compresores son lo más críticos dentro del proceso.
2. El modelo de la matriz RAM permitió, identificar el estado actual de los equipos críticos. Utilizada esta matriz como una herramienta de diagnóstico inicial en el proceso para calcular los porcentajes de criticidad para esto se elaboró un inventario de las maquinas (Ver anexo a.)
3. Al determinar las actividades de mantenimiento de los compresores y los principales responsables se puede visualizar la frecuencia con la cual se realizan las actividades como inspección, cambios de aceite, ajuste de tuberías y sincronización de inyectores.
4. Del total de actividades que se le realizan al compresor, 3 de 8 se realizaban a diario, 1 mensual, 1 quincenal, 1 cada 2000 horas y 1 cada

3000 horas. Esto solo son actividades de mantenimiento desconociendo los modos de falla o las causas de las mismas.

5. A través de la herramienta FMEA, se observa el promedio de reducción del RPN que es en promedio un 54,4% siendo el RPN promedio de 40 se analizaron 67 modos de falla de los cuales el sistema de lubricación tiene un 11,9% , el sistema de refrigeración un 20%, el sistema eléctrico un 8,95%, el sistema de admisión y escape un 7,46%, el sistema de transmisión un 4,47%, el sistema de generación y potencia un 16,41%, igual que el sistema de toma de combustible, un 10,44%. Todo esto para la toma de decisiones, la urgencia de hacer algo.
6. La DET o probabilidad de hacer algo, ósea, la no detección de los efectos y modos de falla, son en promedio 2,46; esto indica según los criterios de valor que sigue el DET como escasa, ósea que el defecto aunque es obvio y fácilmente detectable, podría raramente escapar a algún control primario, pero no sería posteriormente detectado, aunque no es elevado debería de ser muy escasa por el dinero en dólares (usd) que maneja industrias ASTIVIK S. A. como contratista.
7. El SEV o nivel de severidad promedio es 4 de 5 ósea que los componentes del compresor se encuentran en un nivel grave, por lo cual es urgente seguir el plan de mantenimiento. La FREC o probabilidad con la que pueden ocurrir los modos de falla en promedio es de 2 de 5, ósea en un 40%.
8. Los análisis probabilísticos sitúan los análisis del modo de falla, en cada uno de los componentes de los cuales los más críticos para cada uno son: para el sistema de lubricación el más crítico es la bomba de aceite, para el cual se recomienda el cambio de filtro en los tiempos exactos;

para el sistema de refrigeración las poleas y correas son los más críticos; el sistema eléctrico los más críticos son el cableado y los terminales; el sistema de admisión y escape el elemento más crítico es el silenciador y el sistema de transmisión las balineras; el sistema de generación de potencia la culata; el sistema de toma de combustible los inyectores de combustibles, y el sistema de compresión, el pistón.

9. Las características de los fallos, control preventivo, correctivo y a largo plazo, Se desarrollan los controles un 100% con más exactitud a través de control de las tasa de fallos a los equipos evaluados a través de la herramienta WEIBULL arrojó los siguientes resultados
10. Los compresores analizados a través de la herramienta de pronóstico de fallos WEIBULL, son los compresores 600, 750-1, 750-2, 1100 Y 1600 CFM; el compresor 750-1 presenta 5 fallas, ósea un 28% del total de fallas con respecto a los demás. El promedio de fallos del sistema de Sandblasting es de 3,6 siendo 18 la suma total de fallas de los compresores; el que presenta menor número de fallas es el compresor 1600 con un 11% del total de fallas. El compresor 750-2 es el alimento más crítico, siendo segundo en el # de fallas pero con un tiempo de reparación de un 79,33% de 100% de todos los compresores.
11. El compresor 1600 a los 30 periodos de trabajo tiene una confiabilidad del 55% o bien una posibilidad de falla del 44,4% la cual va desmejorando conforme pasa el tiempo pero de una manera lenta. Se puede ver que antes de 40 periodos de trabajos la disponibilidad pasa a ser menor que la posibilidad de que el equipo falle. Luego de 100 periodos de trabajo la disponibilidad desciende por debajo del 20% siendo este valor demasiado bajo. La disponibilidad del compresor 750-1 varía en pequeñas proporciones del 750-2, presenta una alta probabilidad de falla, la cual aumenta gradualmente a medida que el tiempo pasa. Sin embargo se estabiliza después de un tiempo. El

compresor 600 se encuentra por debajo del 50% de disponibilidad, se debe corregir en el transcurso del tiempo, este disminuirá.

12. A través del plan de mantenimiento se identificaron 67 modos de falla y sus respectivas consecuencias, además de las acciones a realizar para cada evento y los hechos que los ocasionaron. Se identificaron fallas aun no conocidas; se muestran soluciones a corto, mediano y largo plazo, además de los fallos potenciales. Permite ver la necesidad de adoptar políticas de mantenimiento y repuestos.

13. En el plan de mantenimiento se identificaron en total 37 actividades a realizar a los componentes, los intervalos y los responsables.

BIBLIOGRAFIA

[Fiabilidad y seguridad: su aplicación en procesos industriales] [Antonio Creus Solé] [Madrid, España] [2005] ISBN 84-247-1362-9. 44-48

[Fiabilidad Industrial] [Eulàlia Griful Ponsati] [Segunda Edición] [Ediciones UPC][2001][Barcelona, España][ISBN 84-8301-734-2] Págs. 41-42-43

[Diseño y gestión de cocinas] [Eduardo Montes] [Ediciones Díaz Santos] [España][2005] ISBN 84-7978-698-1 pág. 481-484

[Técnicas de resolución de problemas: criterios a seguir en la producción y el mantenimiento] [Francisco Rey Sacristán] [Madrid, España] [2003] ISBN 84-96169-14-6. pág. 63-67

[Dirección De Proyectos: Una Introducción Con Base En El Marco Del Pmi] [Fernando Hurtado] [Editorial Palibrio] [Estados Unidos de América] [2011] ISBN 978-1-4633-0911-4. Pág. 195-198

[Ingeniería y Gestión de la confiabilidad operacional en plantas industriales] [Primera Edición] [Santiago de Chile, 2009] [RIL editores] ISBN 978-956-284-658-5, pág. 35-39

[Mantenimiento programado en centrales de ciclo combinado: Operación y Mantenimiento] [Santiago García Garrido] [Ediciones Díaz de Santos][Alba Sanz, Madrid] [2012] pág. 87-92. ISBN 978-84-9969-220-3

[Fiabilidad y seguridad: su aplicación en procesos industriales] [Antonio Creus Solé] [Madrid, España] [2005] ISBN 84-247-1362-9.

[BALLOU RONALD 2004 ADMINISTRACION DE LA CADENA DE SUMINISTRO] [5ª Edición][Pearson educación], [Heizer Jay, y Render Barry], [México] [2004] ISBN 970-26-0540-7

Diccionario Enciclopédico Vox 1. © 2009 Larousse Editorial, S.L

Diccionario Manual de la Lengua Española Vox. © 2007 Larousse Editorial, S.L

Institute of Electrical and Electronics Engineers. (1990) IEEE Standard Computer Dictionary

Norma ISO 14-224

Diccionario de la lengua española © 2005 Espasa-Calpe

Fuentes Electrónicas:

[Proceso de sandblasting] Disponible en internet:

<http://books.google.com.co/books?id=2hhPlyxe754C&pg=PA46&dq=THE+sand+blasting&hl=es&sa=X&ei=1g62UJKZBLSw0QGY4YCICg&ved=0CFEQ6AEwCA#v=onepage&q=THE%20sandblasting&f=false>.

[Concepto de Mantenimiento] Disponible en internet:

<http://books.google.com.co/books?id=3OvqHD02nY8C&printsec=frontcover&dq=mantenimiento&hl=es&sa=X&ei=U-u0UOHSPij68QTY4IBY&ved=0CDgQ6AEwAw#v=onepage&q=mantenimiento&f=false>

[Concepto de tiempo medio entre fallas]

Disponible en internet: <http://www.manufacturingterms.com/Spanish/Mean-Time-Between-Failures-%28MTBF%29.html>

ANEXOS

Anexo a. INFORME FINAL DE INVESTIGACION

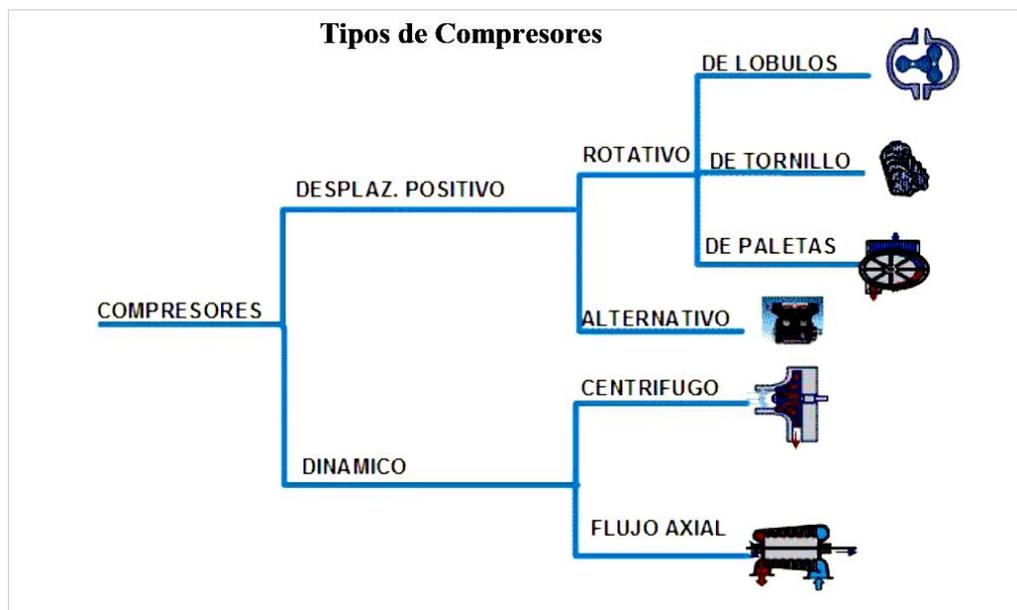
INVENTARIO DE EQUIPOS

Tabla 1. Inventario de equipos

INDUSTRIAS ASTIVIK S.A				
INVENTARIO DE EQUIPOS ÁREA SANDBLASTING				
Ítem	Descripción	Und	Cantidad	Rotación (meses)
1	Compresor 1600 cfm	Und	1	120
2	Compresor 1100 cfm	Und	1	120
3	Compresor 750 cfm	Und	2	120
4	Compresor 600 cfm	Und	1	120
5	Mangueras de aire	m	96	8
6	Tolvas	Und	20	120
7	Manguera sandblasting	m	633	8
8	Boquillas	Und	11	4

Anexo b. DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS DEL AREA DE SANDBLASTING

1. Compresor: Es una máquina que eleva la presión de un gas, un vapor o una mezcla de gases y vapores. La presión del fluido se eleva reduciendo el volumen específico del mismo durante su paso a través del compresor.



En la industria la misión de los compresores es:

- Alimentar la red de aire comprimido para instrumentos.
- Proveer de aire para combustión.
- Recircular gas a un proceso o sistema.
- Producir condiciones idóneas para que se produzca una reacción química.
- Alimentar aire a presión para mantener algún elemento en circulación.
- En nuestro caso, suministrar aire comprimido para proceso de sandblasting.

COMPRESOR	Modelo	P600WCU
	Suministro de aire	600 CFM
	Presión nominal	100 PSI
	Rango de presión	80 A 100 PSI
	Tamaño de salida de aire	2"
	Numero de salidas de aire	1
	Capacidad de aceite en compresor	9.2 GALONES
MOTOR	Marca\Modelo	CUMMINS B5.9-174
	Numero de válvulas	6
	Velocidad rateada	2200
	Potencia @ ratedspeed	174 HP
	Sistema eléctrico	24 VDC
	Capacidad del taque de combustible	65 GALONES

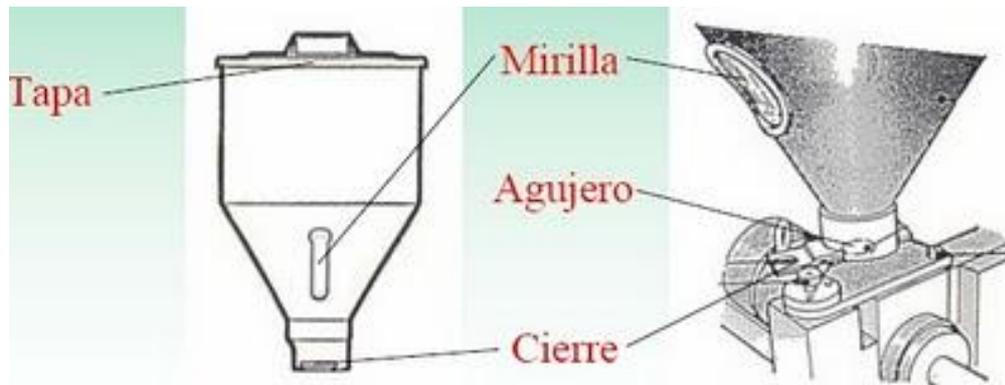
COMPRESOR	Modelo	HP750WCU
	Suministro de aire	750 CFM
	Presión nominal	150 PSI
	Rango de presión	80 A 175 PSI
	Tamaño de salida de aire	2"
	Numero de salidas de aire	1
	Capacidad de aceite en compresor	17 GALONES
MOTOR	Marca\Modelo	CUMMINS QSC 8.3
	Numero de válvulas	6
	Velocidad rateada	2000
	Potencia @ ratedspeed	280 HP
	Sistema eléctrico	24 VDC

Capacidad del taque de combustible 105 GALONES

COMPRESOR	Modelo	XHP1170WCAT
	Suministro de aire	1170 CFM
	Presión nominal	350 PSI
	Rango de presión	150 A 375 PSI
	Tamaño de salida de aire	3"
	Numero de salidas de aire	1
	Capacidad de aceite en compresor	55 GALONES
MOTOR	Marca\Modelo	CATERPILLAR C15
	Numero de válvulas	6
	Velocidad rateada	1800
	Potencia @ ratedspeed	540 HP
	Sistema eléctrico	24 VDC
	Capacidad del taque de combustible	(2)TAN. 98 GALONES

COMPRESOR	Modelo	HP1600WCU
	Suministro de aire	1600 CFM
	Presión nominal	150 PSI
	Rango de presión	80 A 175 PSI
	Tamaño de salida de aire	2"
	Numero de salidas de aire	1
	Capacidad de aceite en compresor	55 GALONES
MOTOR	Marca\Modelo	CUMMINS QSX15
	Numero de válvulas	6
	Velocidad rateada	1800
	Potencia @ ratedspeed	560 HP
	Sistema eléctrico	24 VDC
	Capacidad del taque de combustible	(2)TAN. 98 GALONES

2. TOLVA: Es un recipiente que se utiliza para depositar materiales como granos o arena. Puede tener la forma de un cono o de una pirámide invertida



Posee una tapa, una mirilla, un agujero en la parte inferior para dar paso al material hacia el cilindro y un sistema para bloquear el paso del material hacia abajo.

3. BOQUILLAS: Pieza metálica con forma de tubo venturi, se encuentra ubicada al final de la manguera de sandblasting y tiene como función aumentar la presión de salida de la arena. En Astivik SA se utilizan boquillas con relación de 2:1.