

**PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN UN ESTUDIO DE CONFIABILIDAD
PARA LAS VALVULAS DE SEGURIDAD DE LAS PLANTAS DE POLIETILENO I Y II
DE LA REFINERIA BARRANCABERMEJA ECOPETROL S.A**

MANUEL FRANCISCO RACEDO MATERON

JONATHAN VELASQUEZ OSPINA



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA
2010**

**PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN UN ESTUDIO DE CONFIABILIDAD
PARA LAS VALVULAS DE SEGURIDAD DE LAS PLANTAS DE POLIETILENO I Y II
DE LA REFINERIA BARRANCABERMEJA ECOPETROL S.A**

MANUEL FRANCISCO RACEDO MATERON

JONATHAN VELASQUEZ OSPINA

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Mecánico

Director

JABID EDUARDO QUIROGA

Ingeniero Mecánico, Msc.

Codirector

CARLOS HERNANDO PATIÑO VILLAMIZAR

Ingeniero Mecánico, Msc.

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA
2010**

A Dios,

A mi madre Martha Lucía, una mujer de honestidad y temple inquebrantables,

Quien ha logrado el equilibrio perfecto entre bondad, ternura y carácter.

A mi padre Francisco, un hombre de magnífica inteligencia y voluntad férrea,

*Quien nunca se ha rendido ante ningún obstáculo ni adversidad, siempre inspirado
por el inmenso amor a sus hijos;*

Ambos han luchado día a día para brindarme todo lo necesario, ofreciéndome siempre

Su ayuda y apoyo incondicional sin importar los sacrificios necesarios.

A mis hermanos Elba, Gustavo, Francisco Andrés, Jorge y Tania

Quienes a pesar de las dificultades nunca me han negado su ayuda,

Los considero mi más grande tesoro.

Por último a mis amigos,

Con quienes compartí noches largas de estudio, sobrellevé derrotas y celebré triunfos

No sé si esto me hubiese sido posible sin ustedes.

Manuel Francisco

A Dios, por llenarme de bendiciones y permitirme alcanzar este logro,

*A mi padre Hernán Velásquez, un hombre maravilloso quien ha luchado
incasablemente por brindarme lo mejor, un hombre que siempre ha creído en
mis capacidades y siempre a celebrado mis triunfos como si fueran suyos,
hombre a quien le debo todo lo que tengo y todo lo que soy ya que sin él, nada
de esto hubiera sido posible,*

*A Ceci, mujer de gran corazón quien siempre me ha brindado su ayuda y apoyo
incondicional,*

*A mi tía Aracelly, quien ha estado al lado mío siempre para apoyarme y darme
fuerza en los momentos más críticos de mi vida.*

Jonathan Velásquez O.

Los autores de este proyecto queremos expresar nuestro profundo agradecimiento a las personas que de una u otra forma contribuyeron a realización de este y que sin su ayuda, nada de esto hubiera sido posible.

Agradecemos a Carlos Hernando Patiño, Ingeniero de Confiabilidad de Equipo Estático ECOPETROL S.A por su orientación y entero compromiso con el proyecto.

Yarhoslav Muñoz, Coordinador de Mantenimiento Proactivo ECOPETROL S.A por su ayuda técnica y disposición constante.

Eliecer Pérez, Ingeniero de Mantenimiento con Excelencia ECOPETROL S.A por su constante apoyo durante todo el proceso.

Jabid Eduardo Quiroga, profesor de la Universidad Industrial de Santander, por su acompañamiento e instrucción.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN.....	17
1. OBJETIVOS.....	19
2. JUSTIFICACION	21
3. VALVULAS DE ALIVIO Y SEGURIDAD.....	22
3.1 VALVULAS DE ALIVIO DE PRESION	22
3.1.1 Funcionamiento	22
3.1.2 Clasificación.....	23
3.2 VALVULAS DE SEGURIDAD	23
3.3 VALVULAS DE ALIVIO.....	24
3.4 VALVULAS DE SEGURIDAD Y ALIVIO.....	25
3.5 VALVULAS DE ALIVIO DE PRESION PILOTADAS.....	25
3.6 TERMINOLOGIA ASOCIADA A LAS VALVULAS DE ALIVIO DE PRESION.....	26
3.6.1 Presión de disparo	26
3.6.2 Contrapresión	26
3.6.3 Contrapresión constante	26
3.6.4 Contrapresión variable.....	27
3.6.5 Contrapresión variable desarrollada	27
3.6.6 Contrapresión variable superimpuesta	27
3.6.7 Sobrepresión.....	27
3.6.8 Blowdown	27
4 GESTION DE MANTENIMIENTO.....	28
4.1 MODOS DE GESTION.....	28
4.1.1 Mantenimiento de clase mundial	29

4.2 INDICADORES DEL MANTENIMIENTO	29
4.2.1 Confiabilidad	29
4.2.2 Mantenibilidad.....	29
4.2.3 Disponibilidad	30
4.3 CONFIABILIDAD	30
4.3.1 Indicadores de Confiabilidad	30
4.3.2 Curva de confiabilidad	33
4.3.3 Curva de Davies o de la bañera.....	34
4.4 DISPONIBILIDAD	36
4.5 DISTRIBUIONES MAS UTILIZADAS EN EL CALCULO DE CMD	37
4.5.1 Distribución Exponencial.....	37
4.5.2 Distribución Normal	37
4.5.3 Distribución Weibull.....	38
5. DISEÑO DEL SOFTWARE VAR-Calculator.....	40
5.1 CALCULOS WEIBULL	41
5.1.1 Descarga de datos.....	41
5.1.2 Cálculos	44
5.1.3 Entregables	49
5.2 ADQUISICION DE COMENTARIOS DE REPARACIONES	51
5.2.1 Adquisición de datos.....	51
5.2.2 Entregables	51
6. INSTRUCTIVO DE USO DE VAR CALCULATOR	52
6.1 EJECUTAR LAS FUNCIONES PARA UNA SOLA VÁLVULA DE SEGURIDAD.....	52
6.2 EJECUTAR LAS FUNCIONES PARA TODAS LAS VALVULAS DE SEGURIDAD DE UNA PLANTA	53
7. ESTUDIO DE CONFIABILIDAD	56
7.1 DESCARGA DE HISTORIAL DE MANTENIMIENTO	58
7.2 ANALISIS DE CALIDAD DE LA INFORMACION DESCARGADA.....	59

7.3 CALCULOS DE CONFIABILIDAD.....	59
7.4 ANALISIS DE INFORMACION Y PARAMETROS CALCULADOS	65
7.5 RECOMENDACIONES EMITIDAS.....	66
8. CONCLUSIONES.....	67
9. RECOMENDACIONES.....	69
BIBLIOGRAFIA	70
ANEXOS	71

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Tipos de Disponibilidad	36
Tabla 2. Parámetro de forma de la distribución de Weibull asociado a la curva de la bañera	39
Tabla 3. Registro de OT's para la Válvula V3C2204	58
Tabla 4. Duración de OT's y tiempos entre fallas	58
Tabla 5. Números de evento y tiempos entre fallas	59

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Corte seccional de una válvula de alivio de presión.	22
Figura 2. Válvula de Seguridad FARRIS Series 2600S para gas y vapor.....	23
Figura 3. Válvula de Alivio FARRIS Series 1890/1896M	24
Figura 4. Válvula de Seguridad y de Alivio	25
Figura 5. Válvula de alivio de presión pilotada FARRIS Series 3800	26
Figura 6. Tipos de Mantenimiento	26
Figura 7. Perfil de funcionalidad	31
Figura 8. Tiempos de fallas de funcionamiento y demás; que impiden la funcionalidad del sistema o equipo.	32
Figura 9. Dos curvas típicas de confiabilidad	34
Figura 10. Curva de Davies o de la bañera	35
Figura 11. Interfaz de VAR-Calculator.....	40
Figura 12. Diagrama de bloques de funcionamiento del software	41
Figura 13. Tabla MSQ620 de ELLIPSE	42
Figura 14. Ventana de especificaciones de reparación	43
Figura 15. Listado de datos descargados por VAR-Calculator de la planta Polietileno I	44
Figura 16. Hoja creada por VAR-Calculator para la organización de historiales de mantenimiento.	45
Figura 17. Hoja creada por VAR-Calculator para la los cálculos de Weibull	46
Figura 18. Tabla de transformaciones para Weibull	47
Figura 19. Curvas de Confiabilidad y No Confiabilidad en el tiempo	48
Figura 20. Curva de Tasa de Fallas en el tiempo	49
Figura 21. Resumen de Válvulas Estudiadas y Parámetros Calculados	50
Figura 22. Data sheet válvulas del compresor C2204.....	57
Figura 23. Función de No Confiabilidad	60
Figura 24. Curvas de Confiabilidad y No Confiabilidad de Weibull válvula V3C2204	64
Figura 25. Curva de Tasa de Fallas de Weibull válvula V3C2204	64
Figura 26. Comparacion entre la curva de Davies y Curva de tasa de fallas de Weibull de la Válvula V3C2204	65

LISTA DE ANEXOS

	pág.
ANEXO A. PLAN DE MANTENIMIENTO PARA LAS VALVULAS DE SEGURIDAD DE POLIETILENO I.....	71
ANEXO B. PLAN DE MANTENIMIENTO PARA LAS VALVULAS DE SEGURIDAD DE POLIETILENO II	76

RESUMEN

TUTULO:

PLANE MANTENIMIENTO BASADO EN UN ESTUDIO DE CONFIABILIDAD PARA LA VALVULAS DE SEGURIDAD DE LAS PLANTAS DE POLIETILENO I Y II DE LA REFINERIA BARRANCABERMEJA ECOPETROL S.A.*

AUTORES:

MANUEL FRANCISCO RACEDO MATERON

JONATHAN VELASQUEZ OSPINA **

PALABRAS CLAVES:

Indicadores de mantenimiento, confiabilidad, disponibilidad, distribución Weibull

DESCRIPCION:

Este proyecto parte de la necesidad de elaborar un plan de mantenimiento preventivo confiable para las válvulas de seguridad de las plantas de polietileno I y II de la refinería de Barrancabermeja. La implementación de los Índices CD (Confiabilidad y Disponibilidad), se hizo con el objetivo de determinar el estado actual de funcionamiento de las válvulas de seguridad y optimizar la estrategia de mantenimiento que se tiene para ellas en las plantas de polietileno I y II.

La metodología que se siguió para la implementación de los índices CD, fue el cálculo de indicadores (tiempo medio entre fallas) por medio de la distribución Weibull, ya que brinda gran flexibilidad en el análisis gracias sus parámetros “Factor de forma” y “Factor de Escala”.

Para facilitar el cálculo de estos indicadores se diseñó e implementó una herramienta software que se llamó VAR-Calculator, la cual permite la estimación rápida y eficaz de índices de rendimiento (CD) para las válvulas de seguridad de la refinería de Barrancabermeja ECOPETROL S.A, teniendo la flexibilidad de realizar estos cálculos para cualquier planta deseada. Además de esto brinda la posibilidad de obtener los comentarios realizados durante la reparación de los equipos; información sumamente valiosa en el momento de planear acciones de mantenimiento.

El resultado es una estrategia para la gestión del mantenimiento, que sigue los estándares internacionales de medición de Confiabilidad y Disponibilidad, los cuales ubicarán a ECOPETROL S.A. como una empresa de energía y petroquímica de clase mundial altamente competitiva.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director: JABID EDUARDO QUIROGA MENDEZ, Codirector : CARLOS HERNANDO PATIÑO VILLAMIZAR

ABSTRACT

TITLE:

MAINTENANCE SCHEDULE BASED ON A RELIABILITY STUDY FOR THE SECURITY VALVES OF THE POLYETHYLENE I AND II BARRANCABERMEJA'S REFINERY PLANTS.*

AUTHORS:

MANUEL FRANCISCO RACEDO MATERÓN
JONATHAN VELASQUEZ OSPINA**

KEY WORDS:

RA Indicators, availability, reliability, Weibull distribution

DESCRIPTION:

This project departs from the need to elaborate a reliable preventive maintenance schedule for the security valves of the Polyethylene I and II Barrancabermeja's refinery plants. The implementation of RA Indexes (Reliability and Availability), was done with the objective to determine the current functioning condition of the security valves and to optimize the maintenance strategy that has been used on them in the Polyethylene I and II plants.

The methodology used for the implementation of the RA Indexes, was the calculation of indicators (mean time between failures) by the Weibull distribution, as it provides great flexibility in the analysis because of its parameters "Shape Factor" and "Scale Factor."

In order to make easy the calculation of these indicators, a software tool called VAR-Calculator was designed and implemented, which allows the fast and efficacious estimate of profit ratios (RA) for the safety valves of Barrancabermeja's refinery ECOPETROL S.A, having the flexibility of accomplishing these calculations for any desired plant. Besides this, VAR-Calculator offers the possibility of obtaining the comments accomplished during the equipment reparation; extremely valuable information upon planning maintenance actions. The result is a maintenance management strategy which follows international reliability and availability measurement standards, which will locate ECOPETROL S.A. as an energy and petrochemical company with world-class practices and highly competitiveness.

* Work Degree

** Faculty of Physics Mechanical Engineerings. School of Mechanical Engineering. Director: JABID EDUARDO QUIROGA MENDEZ. Codirector: CARLOS HERNANDO PATIÑO VILLAMIZAR

INTRODUCCIÓN

Para el óptimo desarrollo en la seguridad en la refinería de Barrancabermeja en lo relacionado con el control de presiones tanto en equipos como en líneas de proceso, la GRB^(*) cuenta con un sistema de válvulas que alivian la presión de los sistemas en caso de presentarse emergencias o eventos, por ejemplo, de incendio. Estas válvulas de seguridad pueden descargar a la atmósfera, a un sistema quemador de residuos (tea) o a un sistema un sistema de recolección de hidrocarburo.

A pesar de que estas válvulas constituyen un mecanismo de seguridad, el disparo de cada una de ellas implica la pérdida de fluidos valiosos que deben desperdiciarse; por ejemplo, quemándose en una tea, liberando a la atmósfera gases producto de la combustión o descargando directamente a la atmósfera; en cualquiera de los dos casos se genera un impacto en el medio ambiente y en la economía de la refinería.

Desde el punto de vista de la presión de operación, las plantas de Polietileno (I y II) son las plantas más críticas de la GRB ya que manejan presiones de operación del orden de 18000 psi y con válvulas de seguridad que actúan a presiones de 25000 psi. En la actualidad el mantenimiento de las válvulas de seguridad se realiza de forma preventiva con una frecuencia que fue establecida para todas las válvulas de la refinería sin tener en cuenta que cada una de ellas trabaja en condiciones de operación distintas. A pesar de que estos mantenimientos se llevan a cabo oportunamente se cuenta con evidencia de eventos de falla de válvulas de seguridad entre mantenimientos preventivos, lo que hace pensar que la frecuencia establecida actualmente debe particularizarse con base al comportamiento histórico de las fallas de cada una de las válvulas.

Dentro de las fallas están: válvulas que disparan a una presión por debajo de su presión de taraje, válvulas que pierdan su capacidad de sello una vez disparadas y válvulas que abren a una presión superior a la requerida o que no abren. Las dos primeras fallas están relacionadas con pérdidas económicas y con afectación al medio ambiente ya que ocasionan la pérdida de hidrocarburos hacia los sistemas de tea, o porque ocasionan inestabilidad de las plantas ocasionando pérdidas por lucro cesante. El riesgo más alto se presenta en el caso de la última falla, ya que en este caso se puede presentar un evento catastrófico en los equipos por sobrepresión.

Con el objeto de contribuir con la misión de la escuela de Ingeniería Mecánica de Universidad Industrial de Santander de desarrollar aplicaciones que contribuyan con la conservación de los recursos se lleva a cabo este proyecto de grado de implementación de un modelo de cálculo de indicadores de mantenimiento los cuales son parámetros numéricos que, a partir de datos previamente definidos y organizados, permiten evaluar el comportamiento operacional de los

^(*)Gerencia Refinería de Barrancabermeja

equipos, posibilitan la toma de decisiones para corregir las desviaciones para luego implementar un plan de mantenimiento clase mundo orientado a perfeccionar esta labor.

Las fallas por apertura temprana en válvulas de seguridad hacen que existan pérdidas en la producción durante el restablecimiento de las condiciones normales de operación, mientras que las fallas por apertura tardía representan un peligro inminente para la integridad tanto del personal como de los activos de la empresa. Disminuir las pérdidas en la producción y aumentar la confiabilidad de estos equipos es el mayor motivador para invertir en este tipo de estudios de evaluación donde una alta confiabilidad (pocas fallas) y una alta mantenibilidad (tiempos predecibles de mantenimiento) son la tendencia de sistemas altamente efectivos y puntos de comparación a nivel mundial.

La GRB siente la necesidad de tener a su alcance un plan de mantenimiento clase mundo; el cual solo puede realizarse a partir del estudio de confiabilidad de las válvulas de seguridad de las plantas de polietileno (I y II); acorde con las metas de modernización de la refinería.

1. OBJETIVOS

Objetivo general:

Desarrollar un plan de mantenimiento basado en la medición clase mundo de los indicadores de Confiabilidad para las válvulas de seguridad pertenecientes a las Plantas de Polietileno (I y II) de la GRB a partir de distribuciones aceptadas universalmente; con el fin de mejorar la productividad de estas plantas, mediante la reducción en los costos por pérdidas de hidrocarburos, reducción de impacto medioambiental negativo y disminución del riesgo de fallas catastróficas; así mismo contribuir con la misión de la Universidad en la formación y proyección social de los profesionales por medio de la interacción universidad-empresa.

Objetivos específicos

- ✓ Desarrollar una aplicación en Visual Basic.Net[®] que:
 - Mediante una interface que permita al usuario elegir la planta a la cual le desea realizar el estudio de confiabilidad.
 - Obtenga automáticamente desde ELLIPSE^{®(**)} datos de fechas y descripciones de las reparaciones realizadas a las válvulas de seguridad de la planta que el usuario haya elegido.
 - Cree un archivo en Microsoft Excel[®] donde quedarán registros, cálculos y graficas para que la información sea de fácil acceso en cualquier momento para el interesado.
 - Clasifique y organice en el archivo creado de Excel[®] la información obtenida, para luego tasar tiempos medios, tiempos promedios y demás variables necesarias para el cálculo de los parámetros que rigen los indicadores de confiabilidad tales como β eta^(*), Eta η ^(**), MTBF^(***) y UT^(****) en el tiempo a partir de una distribución Weibull para cada uno de los equipos.

(*) ELLIPSE: Interface del sistema de información de mantenimiento de Ecopetrol S.A

(**) Beta: Factor de forma que se obtiene por cálculo de la pendiente al darle forma lineal a la distribución Weibull

(**) Eta: Parámetro de escala o característica de vida útil. Su valor es determinante para fijar la vida útil del producto.

(***) MTBF: Mean time between failures = Tiempo medio entre fallas

(****) UT: Up Time = Tiempo Útil en el que el equipo funciona correctamente

- ✓ Utilizar la aplicación creada para obtener, clasificar y organizar la información de las válvulas de seguridad de las plantas de Polietileno I y Polietileno II. Trazar curvas de confiabilidad, de no confiabilidad, tasa de fallas, calcular el MTBF y el parámetro β para con este último determinar en qué punto de la curva de la bañera se encuentra cada uno de los equipos.
- ✓ Reconocer el tipo de disponibilidad (Genérica, Inherente, Alcanzada, Operacional u Operacional Generalizada) que sea factible utilizar en el desarrollo del plan de mantenimiento para las válvulas de seguridad de Polietileno I y II, acorde a la realidad y calidad de la información registrada en las bases de datos de la Refinería de Barrancabermeja.

2. JUSTIFICACIÓN

El cálculo e interpretación de los índices básicos de confiabilidad permite visualizar el comportamiento en el tiempo de las válvulas de seguridad de las Plantas de Polietileno (I y II), considerando los siguientes aspectos: Frecuencia de fallas, tiempo de operación y tiempo de reparación. Con esta información se pueden obtener los siguientes beneficios:

- Lograr un plan óptimo de mantenimiento para cada una de las válvulas ya que con el conocimiento del estado actual y la fase en la que se encuentra cada una de ellas en su evolución en el tiempo, es posible seleccionar si las tareas de mantenimiento deben ser correctivas, modificativas, preventivas o predictivas.
- Predecir el comportamiento de las válvulas en el tiempo para poder efectuar una planeación de las tareas de mantenimiento con el ánimo de obtener planes de mejoramiento, tendencias e implementar acciones necesarias útiles para el logro de los objetivos de la empresa.
- Permitir a la empresa, trabajar dentro de los estándares de las denominadas organizaciones de categoría Clase Mundial; mejorando la rentabilidad de los procesos productivos, la confiabilidad de sus equipos y la máxima disponibilidad de los mismos.

Para cumplir con el alcance esperado de este trabajo, se aprovecharán los registros del historial de los equipos encontrados en el sistema de información de la Refinería de Barrancabermeja ELLIPSE®, que permita desarrollar un historial de tiempos de fallos y reparaciones, basados en los reportes del personal encargado del mantenimiento. Lo siguiente será la selección de las válvulas de seguridad de las plantas Polietileno I y II a las cuales se les realizará los cálculos de confiabilidad. El criterio de selección será la cantidad de información registrada disponible para hacer el estudio. Posteriormente se realizará la aplicación del modelo universal e integral para la medición de confiabilidad. Esto se llevará a cabo por medio de una aplicación en el programa EXCEL que después de obtener de forma automática el historial de los equipos, organiza favorablemente esta base de datos, calcula el tiempo en que la válvula estuvo en cada estado y calcula los tiempos entre ellos y la confiabilidad del equipo, basada en distribuciones y una metodología universal. Finalmente con estos resultados, se obtiene una visión clara del comportamiento del equipo, se define y documenta la estrategia de mantenimiento a utilizar y se predice su comportamiento para así poder aplicar una oportuna gestión de mantenimiento a estas válvulas de seguridad de las plantas Polietileno I y II.

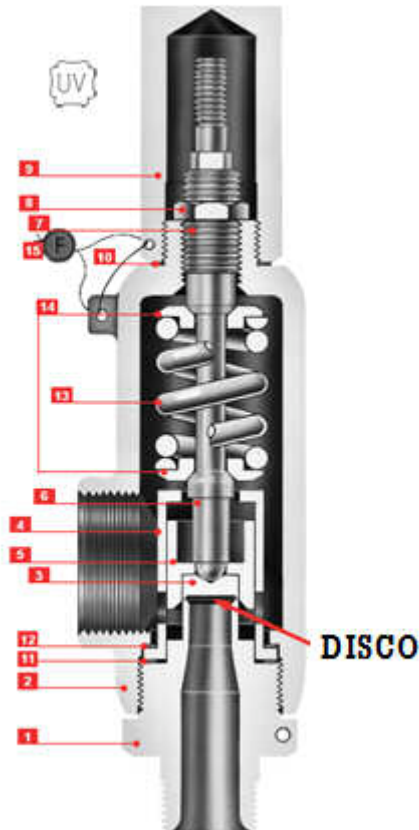
3. VALVULAS DE ALIVIO Y SEGURIDAD

3.1 VALVULAS DE ALIVIO DE PRESION

Una válvula de alivio de presión es un dispositivo diseñado para despresurizar sistemas y retornar a la posición cerrada una vez que las condiciones normales de operación han sido restablecidas.

3.1.1 Funcionamiento.

Figura 1. Corte seccional de una válvula de alivio de presión.



Item No.	Part Name	Standard Material
1	Body	SA-351, Gr. CF8M St. St. or SA-479 Type 316 St. St.
2	Bonnet	SA-216, Gr. WCB, Carb. St.
3	Disc	316 St. St.
4	Guide	316 St. St.
5	Disc Holder	316 St. St.
6	Stem	316 St. St.
7	Spring Adj. Screw	316 St. St.
8	Jam Nut	316 St. St.
9	Cap, Plain Screwed	Carbon Steel
10	Cap Gasket	316 St. St.
11	Body Gasket	316 St. St.
12	Guide Gasket	316 St. St.
13	Spring (-20° to +750°F)	Chrome Alloy, Rust Proofed
14	Spring Buttons	316 St. St.
15	Wire Seal	St. St. Wire / Lead Seal
16	Nameplate (Not Shown)	Stainless Steel
17	Welding Nipple (Inlet)	316 St. St.
18	Welding Nipple (Outlet)	Carbon Steel
19	Lap Joint Stub End (Inlet)	316 St. St.
20	Lap Joint Stub End (Outlet)	Carbon Steel
21	Lap Joint Flange (Inlet)	Carbon Steel
22	Lap Joint Flange (Outlet)	Carbon Steel

Catalogo FARRIS Security and Relief Valves

La fuerza hacia abajo ejercida sobre la parte superior de un disco en la válvula de alivio de presión mantiene el ajuste en el asiento hasta que la fuerza debajo del disco se incrementa lo suficiente

para levantarlo. La válvula se asienta en el área de contacto comprendida entre el disco y la tobera.

3.1.2 Clasificación. Las válvulas de alivio de presión pueden ser clasificadas según su modo de operación y según el fluido de trabajo.

Según el modo de operación las válvulas de alivio se clasifican en:

- De acción directa
- De acción piloto
- Según el fluido de trabajo las válvulas de alivio se clasifican en:
 - Válvulas de Seguridad
 - Válvulas de Alivio
 - Válvulas de Seguridad y Alivio

3.2 VALVULAS DE SEGURIDAD

Figura 2. Válvula de Seguridad FARRIS Series 2600S para gas y vapor



Catalogo FARRIS Security and Relief Valves

Una válvula de seguridad es un dispositivo automático de alivio de presión operado por la presión estática aguas arriba de la válvula. Está caracterizada por una apertura rápida total "pop action" y es utilizada para servicios que involucren gas o vapor.

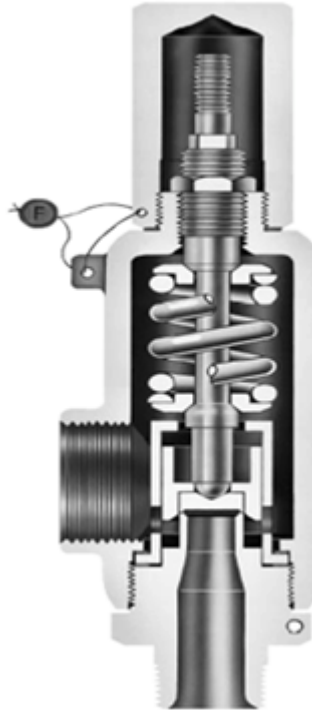
La acción de apertura rápida "Pop action" es producida en fluidos expandibles por la cámara acumuladora de presión. Esta, a la presión de disparo, incrementa el área de presión expuesta a la entrada (aproximadamente el doble) a tal grado que la fuerza del resorte no puede vencer a la fuerza generada a la entrada y el disco se levanta abriendo la válvula completamente.

3.3 VALVULAS DE ALIVIO

Una válvula de alivio es un dispositivo automático de alivio de presión operado por la presión estática aguas arriba de la válvula. Caracterizada por una apertura proporcional al incremento de la presión con respecto a la presión de apertura. Es utilizada para servicios que involucren fluidos incompresibles.

El levantamiento del disco es en proporción a la sobrepresión por encima de la presión de disparo.

Figura 3. Válvula de Alivio FARRIS Series 1890/1896M



3.4 VALVULAS DE SEGURIDAD Y ALIVIO

Es un dispositivo automático de alivio de presión, usable tanto como válvula de seguridad como válvula de alivio, dependiendo de la aplicación. La mayoría de las válvulas de alivio de presión son diseñadas como válvulas de seguridad y alivio.

Figura 4. Válvula de Seguridad y de Alivio

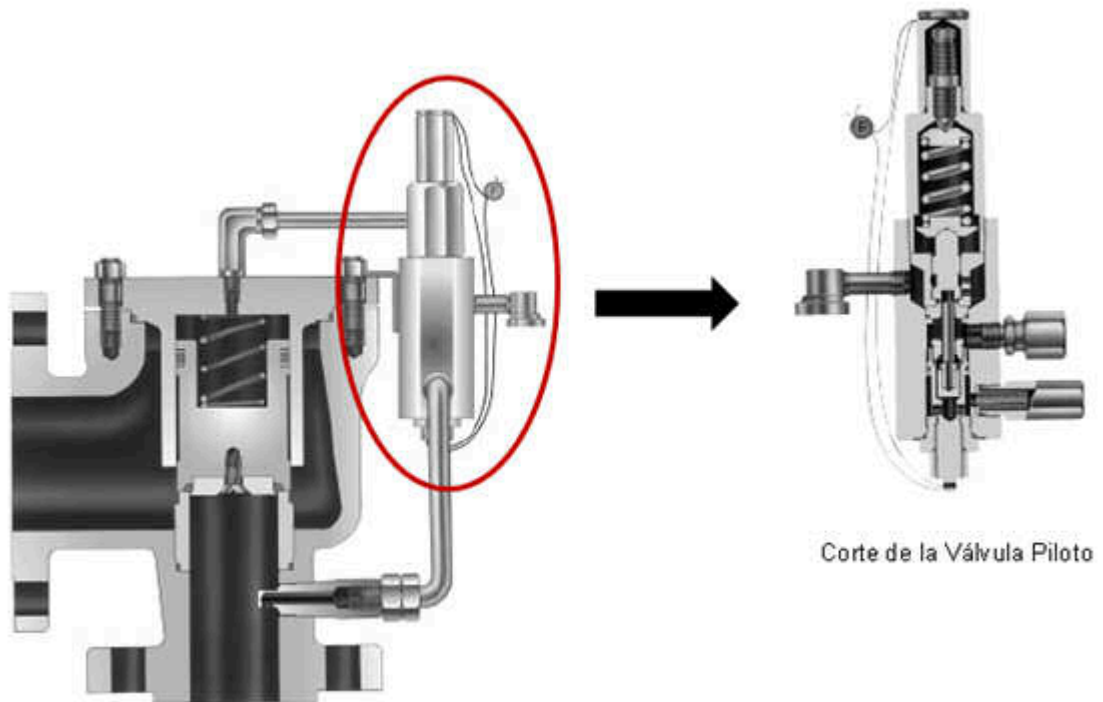


Catalogo FARRIS Security and Relief Valves

3.5 VALVULAS DE ALIVIO DE PRESION PILOTADAS

Las válvulas de alivio de presión pilotadas tienen un pasaje que comunica la presión del sistema con la parte superior del disco por medio de una válvula piloto. La fuerza de acción hacia abajo en la parte superior del disco es generada por el resorte más la presión del sistema en el área superior del disco. El sello de la válvula es logrado por la relación entre el área del pistón sobre el área del asiento.

Figura 5. Válvula de alivio de presión pilotada FARRIS Series 3800



Catalogo FARRIS Security and Relief Valves

3.6 TERMINOLOGIA ASOCIADA A LAS VALVULAS DE ALIVIO DE PRESION

3.6.1 Presión de disparo (Set Pressure). Es la presión a la cual abre la válvula y alivia a través del sistema de descarga. Esta presión de disparo es tarada en la válvula por medio del ajuste de un muelle que se opone a la apertura de esta.

3.6.2 Contrapresión (Back Pressure). Es la presión estática existente a la salida de la válvula debido a la presión en el sistema de descarga.

3.6.3 Contrapresión constante (Constant Backpressure). Contrapresión la cual no cambia apreciablemente si la válvula está abierta o cerrada.

3.6.4 Contrapresión variable (Variable Backpressure). Contrapresión la cual cambia bajo las condiciones de operación.

3.6.5 Contrapresión variable desarrollada (Built Up Variable Backpressure). Existe a la salida y es ocasionada por el flujo a través de la válvula en el sistema de descarga.

3.6.6 Contrapresión variable súperimpuesta (Superimposed Variable Backpressure). Es el resultado de otras fuentes en el Sistema de Descarga.

3.6.7 Sobrepresión (Overpressure). Es un incremento de presión sobre la presión de disparo, a la cual está tarada la válvula, expresado como un porcentaje de la misma.

3.6.8 Blowdown. Es la diferencia entre la presión de disparo (apertura) y la presión actual a la cual la válvula vuelve a sellar (cerrar). Usualmente es expresado como un porcentaje de la presión de disparo.

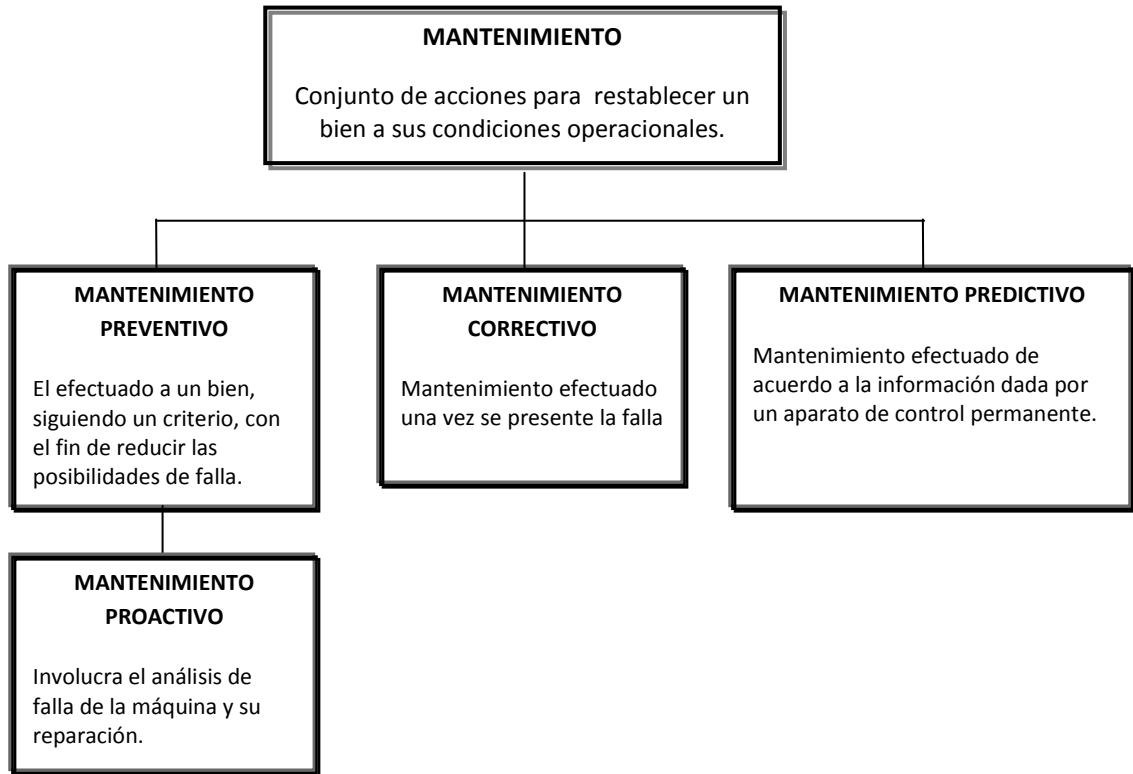
4. GESTION DE MANTENIMIENTO

En este capítulo se hará referencia al desarrollo del mantenimiento de clase mundo, indicadores internacionales y el modelamiento matemático del comportamiento de los equipos.

4.1 MODOS DE GESTION

Los programas de mantenimiento modernos establecen cuatro tipos o clases de mantenimiento (Mantenimiento correctivo, Preventivo, Predictivo y proactivo) como se muestra en la Figura 6.

Figura 6. Tipos de Mantenimiento



Adaptación EIE@,2008

4.1.1 Mantenimiento de Clase Mundial- World Class Maintenance-WCM.

Según Alberto Mora¹:

Un anhelo de las áreas de mantenimiento es llegar a ser una organización de clase mundial lo cual denota y se define como el mantenimiento sin desperdicio, donde éste es la diferencia entre cómo se realizan las diferentes acciones en la actualidad y el deber ser óptimo de las mismas. Se basa en anticiparse a lo que suceda en el futuro, su función básica es convertir cualquier clase de reparación o modificación en actividades planeadas que eviten fallas a toda costa. Una organización de clase mundial no solo se basa en el hacer, también en el pensar (Idhammar, 1997b).

La orientación de la gestión de mantenimiento hacia clase mundial exige cambiar de actitud y de cultura en la organización; requiere que se tenga un alto nivel de prevención y planeación, soportado en un adecuado sistema gerencial de información de mantenimiento (CMMS), muy orientado hacia las metas y objetivos fijados previamente y realizando las tareas que se deben ejecutar en la forma más correcta posible con el mayor grado de profundidad científica.

4.2 INDICADORES DEL MANTENIMIENTO

La mayoría de las casas mundiales que tratan el mantenimiento aceptan tres indicadores básicos: Confiabilidad, Mantenibilidad y Disponibilidad (CMD), como las medidas más estandarizadas que permiten evaluar el grado de gestión y operación por parte de los elementos estructurales de mantenimiento.

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

4.2.1 Confiabilidad. Valora las acciones que ejecuta producción sobre el manejo y operación de los equipos, desde la óptica de fabricación y explotación de los mismos, las medidas fundamentales en que se apoya son las cantidades y los tiempos de fallas inherentes a los equipos.

4.2.2 Mantenibilidad. Mide las actividades de reparaciones y tareas proactivas que realizan el área de mantenimiento sobre los equipos, sus medidas básicas son el volumen de reparaciones (o tareas planeadas) y los tiempos efectivos de realización y sus demoras, en el caso de la mantenibilidad la evaluación se asocia a los grupos de personas que hacen los mantenimientos o las reparaciones.

¹ Mora, Alberto. Mantenimiento estratégico para empresas industriales o de servicios.1 ed. Medellín: AMG, noviembre, 2005. p.283.

4.2.3 Disponibilidad. Es una relación que muestra la proporción de tiempo útil efectivo frente al tiempo total disponible.

Para su mejor comprensión los indicadores son explicados individualmente a lo largo de este capítulo.

4.3 CONFIABILIDAD

Según Alberto Mora², se entiende por confiabilidad ($R(t)$ "Reliability") de una pieza o equipo la probabilidad de que éste cumpla, sin fallo, su función a lo largo de un tiempo dado cuando opera en el entorno para el cual ha sido diseñado. La confiabilidad de un equipo es medida con la frecuencia a la cual ocurren las fallas en el tiempo. Si no hay fallas el equipo es 100% confiable; a medida que la frecuencia a la que se presentan fallas aumenta la confiabilidad del equipo disminuye.

Se destacan en ésta definición los siguientes componentes: la probabilidad, el desempeño adecuado, el periodo y el entorno o condición de operación.

La probabilidad de ocurrencia de un evento de acuerdo con el método clásico, es considerada como el resultado de dividir los casos favorables, que pueden ocurrir en un suceso, por el total de casos posibles. La probabilidad obtenida tiende a ser más exacta cuanto mayor sea el número de intentos, logrando ser determinada cuando éstos tienden a ser infinitos. De esta manera se puede suponer que la estimación es cercana a un valor real cuando el número de intentos es lo suficientemente grande.

Ecuación 1. Probabilidad de ocurrencia de un evento.

$$P_f = \frac{n}{N} = \lim_{N \rightarrow \infty} \left(\frac{n}{N} \right)$$

$$R_s = 1 - P_f$$

Fuente Bibliográfica Ecuación: Mora, 2006

Donde: n: Número de eventos de falla (en confiabilidad) a estudiar.

N: Es el número total de eventos posibles.

P_f : Es la probabilidad de Falla

R_s : Es la probabilidad de confiabilidad o de éxito o de supervivencia en un tiempo, siendo P_f la probabilidad de falla en ese mismo tiempo.

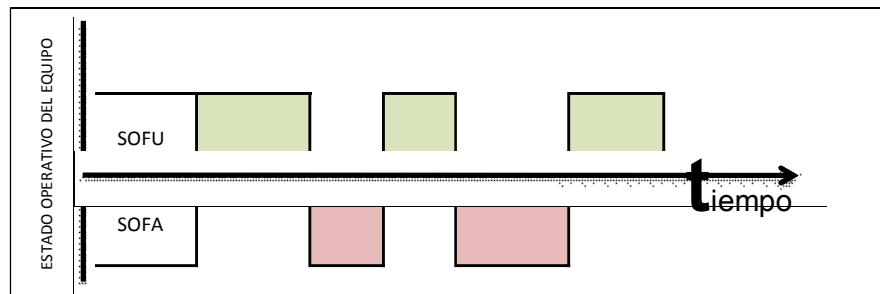
² Mora, Alberto. Mantenimiento estratégico para empresas industriales o de servicios.1 ed. Medellín: AMG, noviembre, 2005. p.69.

Otro componente es el desempeño adecuado; éste indica que se deben establecer criterios específicos, cualitativos y cuantitativos, para describir una operación satisfactoria.

El fallo del sistema se define como un suceso cuya realización provoca, o bien la pérdida de capacidad para realizar las funciones requeridas, o bien la pérdida de capacidad para satisfacer los requisitos de desempeño especificados.

El punto de partida para el estudio de la confiabilidad es el funcionamiento correcto, el opuesto del funcionamiento correcto es el fallo. Por tanto, su estudio trata la dicotomía de que un dispositivo o bien funciona correctamente o está en falla, es decir, reconoce que solo se asumen dos estados posibles y mutuamente excluyentes que son: estado de funcionamiento SOFU^(*) y estado de fallo SOFA^{3(**)}. Ver Figura 7.

Figura7. Perfil de funcionalidad



Adaptación Knezevic, 1996,21

El tercer componente es el tiempo, variable aleatoria de la definición de confiabilidad y se refiere a la duración del funcionamiento o duración de vida. La medición de la confiabilidad incluye el tiempo determinado, lo que implica el uso de las distribuciones de probabilidad las cuales deben ser modelos razonables de la dispersión de los tiempos de vida; éste tiempo puede ser dado en horas, días, ciclos de operación o incluso kilómetros.

El cuarto elemento de la definición de confiabilidad, que es la condición de operación, debe incluir la naturaleza y cantidad de la carga y las condiciones ambientales tales como humedad, temperatura, visibilidad, etc., durante la operación.

4.3.1 Indicadores de Confiabilidad. Los indicadores de confiabilidad deben reflejar las propiedades esenciales de operación del sistema, deben ser entendibles desde el punto de vista físico, simples de calcular desde el diseño y simples de utilizar.

Las descripciones de confiabilidad en términos cuantitativos son:

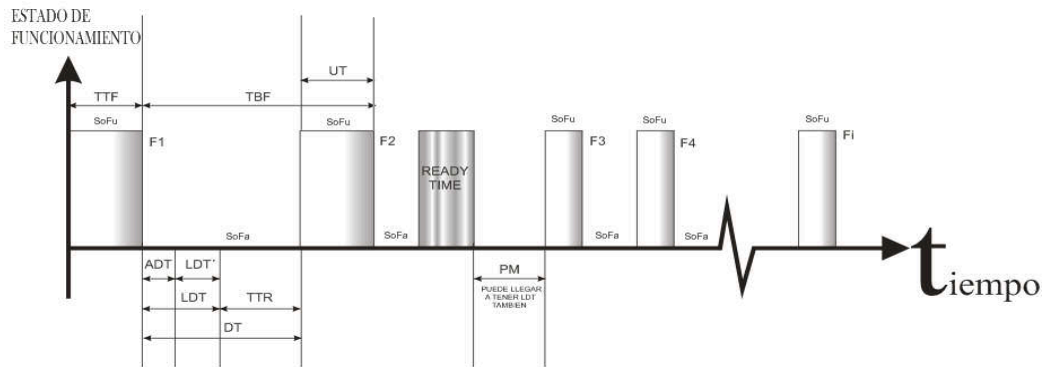
Tiempo medio entre fallas (MTBF)

(*)La abreviación en ingles de SOFU es "State of Functioning"

(**)La abreviación en ingles de SOFA es "State of Failure"

Tiempo medio para fallar (MTTF) y
 Tiempo medio entre mantenimientos (MTBM)
 Ver Figura 8.

Figura 8. Tiempos de fallas de funcionamiento y demás; que impiden la funcionalidad del sistema o equipo.



Donde:

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

fi = Falla i -ésima

m = número de fallas ocurridas en el tiempo que se revisa, desde f1 hasta fi.

TTR = Time To Repair = Tiempo que demora la reparación neta, sin incluir demoras ni tiempos logísticos, ni tiempos invertidos en suministros de repuestos o recursos humanos.

MTTR = Mean Time To Repair = Tiempo Medio para Reparar = $\Sigma TTR / m$

TBF = Time Between Failures = Tiempo entre Fallas.

MTBF = Mean Time Between Failures = Tiempo Medio entre Fallas = $\Sigma TBF / m$

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

MUT = Mean Up Time = Tiempo Medio de Funcionamiento entre Fallas = $\Sigma UT / m$

DT = Down Time = Tiempo no operativo.

MDT = Mean Down Time = Tiempo Medio de Indisponibilidad o no funcionamiento entre Fallas = $\Sigma DT / m$

ADT = Administrative Delay Time = retrasos administrativos exógenos a la actividad propia de reparación, diferentes al tiempo activo neto de la reparación; ejemplos de estos son: suministro de personal especializado, entrenamiento de recursos humanos requeridos para esa reparación, revisión de manuales de mantenimiento u operación, localización de herramientas, cumplimiento de procesos y/o procedimientos internos, etc.

LDT' = Logistics Delay Time = retrasos logísticos, la obtención de insumos para la reparación, en los procesos de mantenimiento o de producción, en los tiempos de suministros, etc. como por ejemplo el tiempo requerido para transporte de repuestos, o el tiempo que hay que esperar a que se construya un repuesto especial por parte de los fabricantes, etc.

LDT = ADT + LDT' = Logistic Down Time = Tiempo total logístico que demora la acción propia de reparación o mantenimiento. Son todos los tiempos exógenos al equipo que retrasan el tiempo activo.

MLDT = Mean Logistics Down Time = Tiempo Medio de Tiempos Logísticos

SoFa = State of Failure = Estado de Falla, el equipo no funciona correctamente.

SoFu = State of Functioning = Estado de Funcionamiento correcto.

PM = Planned Maintenances = Mantenimientos Planeados, pueden ser preventivos o predictivos.

Ready Time = Tiempo de Alistamiento = el equipo o sistema está disponible, opera pero no produce, no está en carga operativa

Mora, 2006,60

4.3.2 Curva de confiabilidad. La representación gráfica del funcionamiento después de transcurrido un tiempo t en un período T total. Se puede entender de dos maneras: la primera consiste en la representación de la probabilidad de confiabilidad o supervivencia que tiene un elemento, máquina o sistema después de transcurrido un determinado tiempo t (usada en ítems reparables); la otra forma de interpretarla es cuando se están analizando varios o múltiples elementos no reparables, (normalmente similares) que tienen la misma distribución de vida útil, en este caso expresa el porcentaje de ellos que aún funcionan después de un tiempo t .

La forma gráfica en que se expresa la confiabilidad, depende de su formulación matemática. La ecuación o representación matemática de la función de confiabilidad viene dada por la Ecuación 2

Ecuación 2. Representación matemática de la función de confiabilidad.

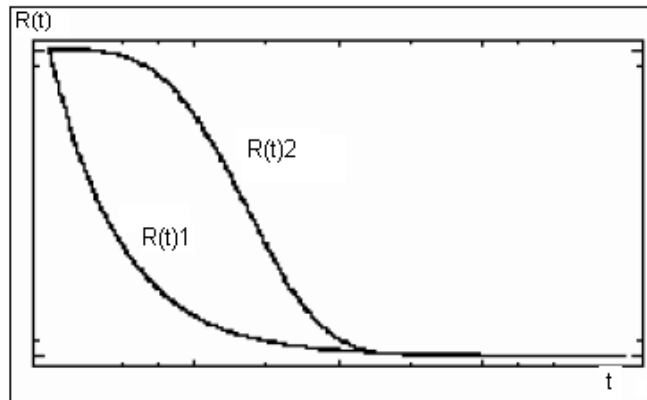
$$R(t) = P[t < T]$$

Fuente Bibliográfica Ecuación: Mora, 2006

Donde: $R(t)$: Es la función de confiabilidad o supervivencia
 t : es el tiempo determinado para evaluar el funcionamiento de la maquina.
 T : Es el tiempo total de funcionamiento.

Esta ecuación tiene dos curvas típicas que se pueden apreciar en la Figura 9 donde su forma depende de los parámetros de la distribución de probabilidad, los cuales a su vez dependen de los tiempos que se tienen en el registro histórico de fallas, reparaciones, mantenimientos, demoras entre otros.

Figura 9. Dos curvas típicas de confiabilidad.

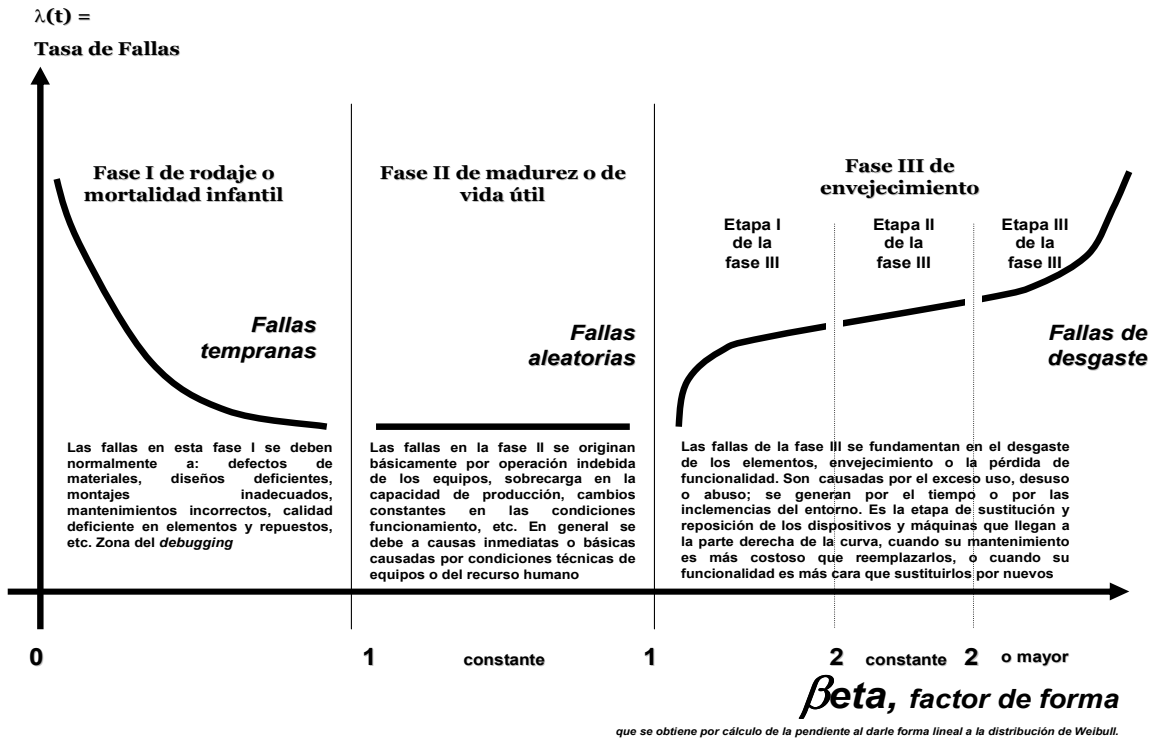


Leemins, 1995,47

4.3.3 Curva de Davies o de la bañera. La curva de la bañera, es una curva que permite analizar los fallos durante el período de vida útil de un equipo (aparato o máquina). Tiene forma de bañera debido a que la vida útil de los dispositivos tiene un comportamiento que viene reflejado por tres etapas diferenciadas.

La confiabilidad distingue tres tipos característicos de fallas (excluyendo daños por manejo inadecuado, almacenado u operación inapropiada de los usuarios), que son inherentes al equipo, que ocurren sin ninguna falla por parte del operador y están relacionadas con cada una de las regiones de vida del elemento y el tipo de falla que en ella ocurren; estas fallas son las tempranas, las aleatorias y las de envejecimiento como se muestra en la Figura 10.

Figura 10. Curva de Davies o de la bañera.



Mora, 2006,80

Fase I: Las fallas en esta fase I se deben normalmente a: defectos de materiales, diseños deficientes, montajes inadecuados, mantenimientos incorrectos, calidad deficiente en elementos y repuestos, etc.

Fase II: Las fallas en la fase II se originan básicamente por operación indebida de los equipos, sobrecarga en la capacidad de producción, cambios constantes en las condiciones funcionamiento, etc. En general se debe a causas inmediatas o básicas causadas por condiciones técnicas de equipos o del recurso humano.

Fase III: Las fallas de la fase III se fundamentan en el desgaste de los elementos, envejecimiento o la pérdida de funcionalidad. Son causadas por el exceso uso, desuso o abuso; se generan por el tiempo o por las inclemencias del entorno. Es la etapa de sustitución y reposición de los dispositivos y máquinas que llegan a la parte derecha de la curva, cuando su mantenimiento es más costoso que reemplazarlos, o cuando su funcionalidad es más cara que sustituirlos por nuevos

4.4 DISPONIBILIDAD

Según Mora⁴:

Desde el punto de vista del mantenimiento se define como disponibilidad, la posibilidad de que un equipo opere satisfactoriamente en el momento en que sea requerido después del comienzo de su operación, cuando se usa bajo condiciones estables. Es una característica que resume cuantitativamente el perfil de funcionalidad de un equipo. La mayoría de los usuarios aseguran que necesitan la disponibilidad de un equipo tanto como la seguridad. Hay varios métodos para lograr que un equipo esté disponible, uno es construir un equipo que cuando falle sea fácil de recuperar, y el otro es que sean confiables, y por lo tanto, demasiado costosos.

La disponibilidad también es una medida relevante y útil en casos en que el usuario debe tomar decisiones para elegir un equipo entre varias alternativas. Para tomar una decisión objetiva con respecto a la adquisición del nuevo equipo, es necesario utilizar información que abarque todas las características relacionadas, entre ellas la disponibilidad, que es una medida que suministra una imagen completa sobre el perfil de funcionalidad.

Existen varios tipos de Disponibilidad factible a calcular los cuales son ilustrados a continuación en la tabla 1.

Tabla 1. Tipos de disponibilidad

<i>DISPONIBILIDAD FACTIBLE DE CALCULAR O DESEADA A UTILIZAR</i>				
<i>Genérica o de Steady-state</i>	<i>Inherente o Intrínseca</i>	<i>Alcanzada</i>	<i>Operacional</i>	<i>Operacional Generalizada</i>
<i>Es útil cuando no se tienen desglosados los tiempos de reparaciones o de mantenimientos planeados; o cuando no se mide con exactitud ni los tiempos logísticos, ni los tiempos administrativos ni los tiempos de demoras por repuestos o recurso humanos</i>	<i>Considera que la no funcionalidad del equipo es inherente no más al tiempo activo de reparación. No incluye los tiempos logísticos, ni los tiempos administrativos ni los tiempos de demora en suministros. Asume idealmente que todo está listo al</i>	<i>Tiene en cuenta tanto las reparaciones correctivas, como los tiempos invertidos en mantenimientos planeados (preventivo y/o predictivos); no incluye los tiempos logísticos, ni los tiempos administrativos ni otros tiempos de demora.</i>	<i>Comprende, a efectos de la no funcionalidad, el tener en cuenta: tiempos activos de reparación correctiva, tiempos de mantenimientos planeados (preventivos o predictivos), tiempos logísticos (preparación, suministros de</i>	<i>Se sugiere cuando los equipos no operan en forma continua, o en los eventos en que el equipo está disponible pero no produce. Es necesaria cuando se requiere explicar los tiempos no operativos.</i>

⁴ Ibid.,p.55

<p>que afecten el DT.</p> <p>No asume que los UT sean altos y los DT bajos.</p> <p>Es útil al iniciar procesos CMD, engloba todas las causas.</p> <p>Debe usarse entre 2 y n eventos.</p>	<p>momento de realizar la reparación.</p> <p>Se debe cumplir que los UT sean muy superiores en tiempo a los MTTR (al menos unas 8 o más veces) y que DT tienda a cero en el tiempo.</p>	<p>Los mantenimientos planeados en exceso pueden disminuir la disponibilidad alcanzada, aún cuando pueden incrementar el MTBM.</p>	<p>repuestos o recursos humanos), tiempos administrativos, demoras, etc.</p> <p>Es útil cuando existen equipos en espera para mantenimiento.</p>	<p>Asume los mismos parámetros de cálculo de la alcanzada, adicionando el Ready Time tanto en el numerador como en el denominador.</p> <p>Se usa cuando las máquinas están listas (Ready Time) u operan en vacío.</p>
---	---	--	--	---

Adaptado Mora, 2006, 57

4.5 DISTRIBUCIONES MÁS UTILIZADAS EN EL CÁLCULO DE CMD

Las distribuciones más frecuentemente usadas para el cálculo de la confiabilidad y la mantenibilidad, son la exponencial, la normal y la de Weibull. A continuación se hace una breve explicación de cada una de ellas, enfocándose por la distribución de Weibull, la cual es la más indicada para realizar los cálculos ya que posee algunas ventajas sobre las otras dos distribuciones y por lo cual fue escogida para el desarrollo de este proyecto de grado.

4.5.1 Distribución exponencial. Esta distribución se utiliza para componentes eléctricos y electrónicos principalmente y no para elementos mecánicos en los que el desgaste se va acumulando desde su puesta en marcha (Navarro, 1997,18).

El índice de fallo resulta constante, por lo que se adapta bien a la zona de vida útil del equipo.

4.5.2 Distribución normal. Es una distribución discreta que se presenta con frecuencia cuando la vida útil de los componentes se ve afectada desde un comienzo por el desgaste, sirve para describir muy bien los fenómenos de envejecimiento de equipos, modelos de fatiga y fenómenos naturales. En esta distribución las fallas tienden a distribuirse de una forma simétrica alrededor de la vida media. (Díaz, 1992,20)

4.5.3 Distribución Weibull. Esta distribución está siendo utilizada con frecuencia para representar la vida de los componentes, ya que posee una serie de ventajas sobre los demás^(*), también se ha usado para representar la vida de servicio de tubos y otros equipo electrónicos (céspedes y Toro, 2001,54).

Una de las ventajas significativas que posee la distribución Weibull es que es muy manejable y se acomoda a las tres zonas (infancia o rodaje, madurez o vida útil y envejecimiento) de la curva de la bañera o de Davies. La distribución de Weibull posee, en su forma general, tres parámetros, lo que le da una gran flexibilidad; ellos son:

- Parámetro de posición (γ): El más difícil de estimar y por este motivo se supone con frecuencia que vale cero. Indica el lapso en el cual la probabilidad de falla es nula. (Forcadas,1983,42)
- Parámetro de escala o característica de vida (η): Su valor es determinante para fijar la vida útil del producto o del sistema.
- Parámetro de forma (β): Refleja la dispersión de los datos y determina la forma que toma la distribución.

El parámetro β permite a la distribución de Weibull tomar diversas forma: cuando β es inferior a 1 se le denomina a esta fase como de mortalidad infantil (tasa de falla decreciente); los valores cercanos a uno se le describe a la fase con el nombre de vida útil (tasa de falla constante y aleatoria) y en el evento del β tomar valores mayores a 1 se le conoce a la fase como de envejecimiento o de desgaste (tasa de falla creciente).

Esta distribución puede emplearse para cualquier tipo de componente y en cualquiera de sus etapas, seleccionando distintos valores de β , por lo anterior, y por la facilidad de aplicación de la distribución, es la seleccionada para realizar los cálculos en este proyecto.

En la Tabla 2 se muestra un resumen de los periodos de la curva de Davies, asociados con el parámetro β de la distribución Weibull.

^(*)Ventajas como técnicas graficas sencillas para su aplicación práctica y que es la única función de probabilidad que puede utilizarse par representar cualquier tipo de tasa de falla (Ebellig, 1977,58)(Kelly y otro,1998,24).

Tabla 2. Parámetro de forma de la distribución de Weibull asociado a la curva de la bañera.

Valor (β)	Característica
$\beta < 1$	Tasa de falla decreciente (Mortalidad Infantil)
$\beta = 1$	Tasa de falla constante (Vida útil)
$\beta > 1$	Tasa de falla Creciente (Desgaste)

Díaz, 1992,21

Las ecuaciones que se utilizan en la distribución de Weibull se muestran a continuación:

Ecuación 3. Función de densidad de la distribución de Weibull

$$f(t) = \frac{\beta t^{\beta-1}}{\eta^\beta} e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}$$

Ecuación 4. Función de confiabilidad de la distribución de Weibull

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

Ecuación 5. Función de tasa de fallas de la distribución de Weibull.

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

Donde: β : parámetro de forma de la distribución de Weibull.

η : parámetro de escala de la distribución de Weibull.

$f(t)$: Función de densidad de fallas.

$R(t)$: Función de confiabilidad.

$h(t)$: Función de tasa de fallas.

Ecuación 6. Esperanza matemática de la distribución de Weibull.

$$[E] = \eta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)$$

Fuente Bibliográfica Ecuaciones: Mora, 2006

5. DISEÑO DEL SOFTWARE VAR-CALCULATOR

Para el desarrollo del plan de mantenimiento se diseñó un software llamado VAR-Calculator^(*). Esta aplicación permite la descarga de datos históricos de reparaciones de las válvulas de seguridad de cualquier planta de la GRB desde el sistema de información ELLIPSE® y en base a ellos la fácil obtención de indicadores de mantenimiento clase mundo.

La interfaz de VAR-Calculator se muestra en la figura 11

Figura 11. Interfaz de VAR-Calculator

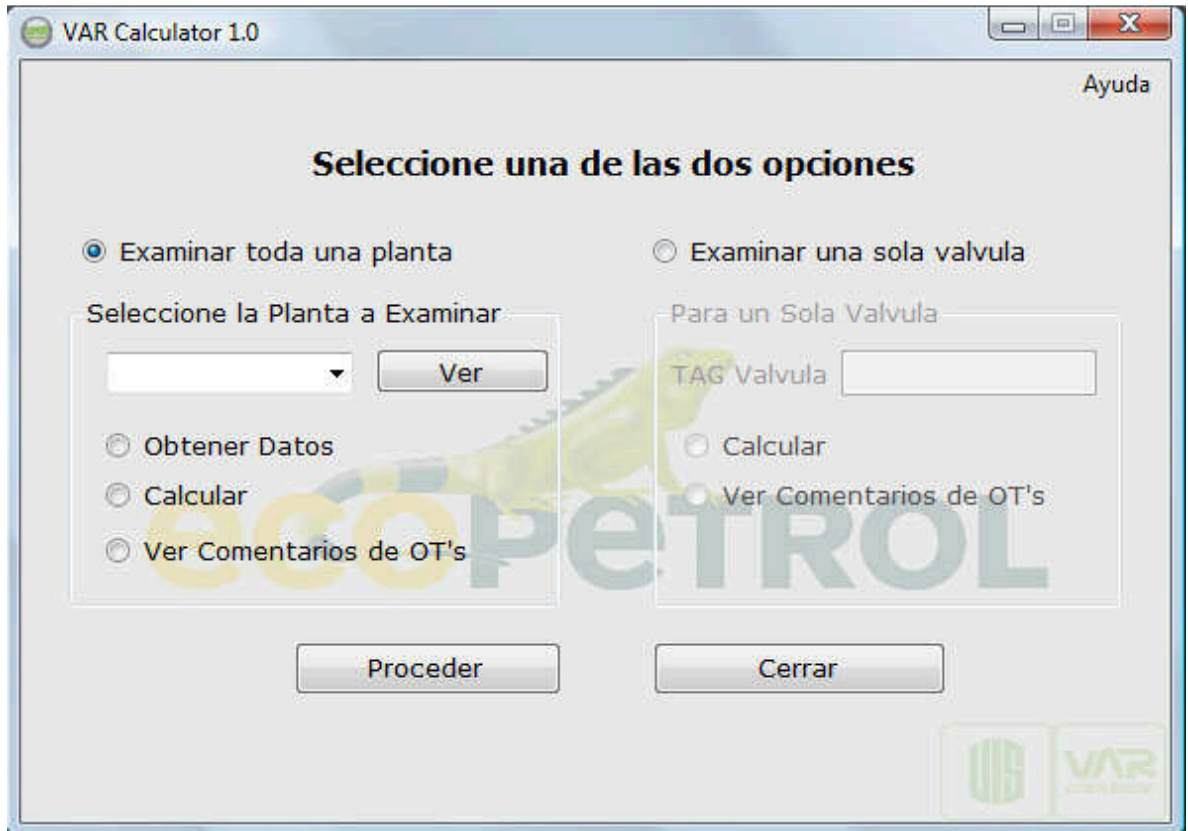
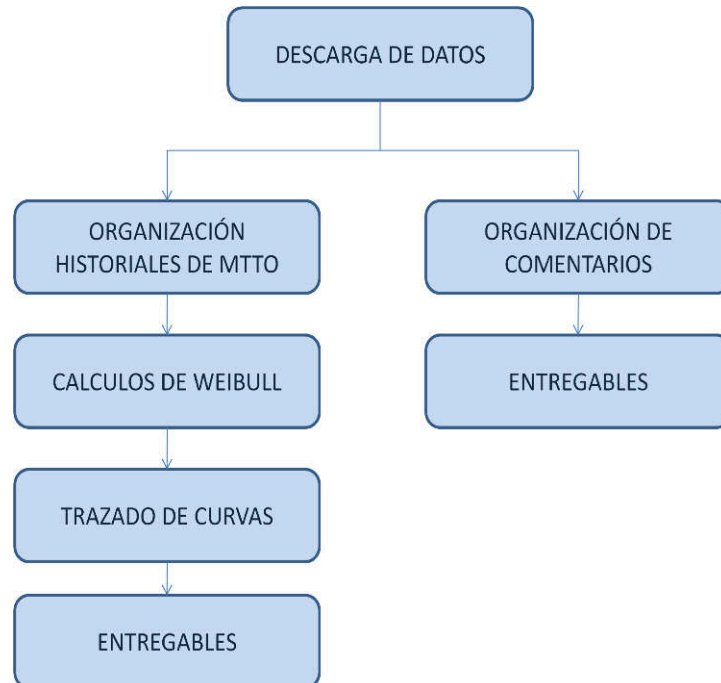


Figura tomada de VAR-Calculator

^(*)Valve Availability and Reliability Calculator

Para ilustrar el diseño de la aplicación se explicarán detenidamente las dos partes esenciales del mismo (Ver Figura 12): Cálculos Weibull y obtención de comentarios de reparaciones.

Figura 12. Diagrama de bloques de funcionamiento del software



Elaborado por los autores del proyecto

5.1 CÁLCULOS WEIBULL

El proceso mediante el cual se realiza el cálculo de parámetros Weibull se divide en tres fases generales: Descarga de datos, Cálculos y Entregables.

5.1.1 Descarga de datos. Para descargar datos históricos de mantenimiento de una válvula de seguridad de cualquier planta de la GRB es necesario entrar al servidor ELLIPSE®. Una vez dentro de la base de datos es necesario introducir el número de la tabla que se desea mirar. Para este caso, la tabla de interés es la tabla MSQ620, mostrada en la figura 13.

Figura 13. Tabla MSQ620 de ELLIPSE

	District	Work Order	Desc	Equipment Reference	Work Group	Crew	Raise Date	Originator Id	Status	P
1	GCB	00149898	REVISAR VALVULA DE SEGURIDAD NORMAL	V1C2258	PMPMT		22/10/2004	E0227208	Closed	2
2	GCB	00179851	V.S 3" THD - 3" THD/NORMAL	V1C2258	PMPMT		09/12/2005	E0227792	Closed	1:
3	GCB	00238595	V.S 3" THD - 3" THD/NORMAL	V1C2258	PMPMT		28/11/2007	E0227208	Closed	1:
4	GCB	00004332	REVISAR VALVULA DE SEGURIDAD NORMAL	V1C2258	PMPMT		03/01/1997	E0227455	Closed	0-
5	GCB	00011877	Verific.manual disparo psv revisar fugas	V1C2258	PMPMT		16/06/1997	E0227471	Closed	2:
6	GCB	00020587	Verific.manual disparo psv revisar fugas	V1C2258	PMPMT		30/11/1997	E0227471	Closed	0:
7	GCB	00035880	REVISAR VALVULA DE SEGURIDAD NORMAL	V1C2258	PMPMT		20/09/1998	E0229578	Closed	2:
8	GCB	00070524	REVISAR VALVULA DE SEGURIDAD NORMAL	V1C2258	PMPMT		18/09/2000	E0229578	Closed	1:
9	GCB	00107548	REVISAR VALVULA DE SEGURIDAD NORMAL	V1C2258	PMPMT		16/09/2002	E0220138	Closed	1:
10	GCB	00109918	REVISAR VALVULA DE SEGURIDAD NORMAL	V1C2258	PMPMT		28/10/2002	E0220138	Closed	2:
11	GCB	00114185	COMPRA VALVULA DE SEGURIDAD V1C2258	V1C2258	MDDTA		23/01/2003	E0227510	Closed	

11 matches

Imagen tomada de ELLIPSE

Esta tabla brinda información sobre las ordenes de trabajo registradas a un equipo en particular y órdenes de trabajo particulares; dicha información incluye una descripción breve de los trabajos realizados en la OT, fecha de creación y cierre de la OT, estado de la OT, registro de la persona que creó la OT, tareas programadas y tareas realizadas para cada OT entre otros muchos datos; además permite abrir una sub-ventana al hacer doble click sobre el numero de OT; en ésta sub-ventana se encuentra información más detallada incluyendo los comentarios de terminación de servicio de la persona que realizó el mantenimiento.

Dicha sub-ventana se muestra en la figura 14.

Figura 14. Ventana de especificaciones de reparación

Imagen tomada de ELLIPSE

Este mismo procedimiento manual es realizado por el software de forma automática al seleccionar cualquiera de las dos opciones (sea para toda una planta o solo para una válvula) y los datos descargados son los pertenecientes a los siguientes campos:

- **EQUIP_NO:** Brinda el Tag (identificación) del equipo del cual se descargo los datos.
- **WORK_ORDER:** Brinda el numero de la orden de trabajo descargada.
- **RAISED DATE:** Brinda la fecha en la que fue creada la orden trabajo.
- **CLOSED DATE:** Brinda la fecha de cierre de la orden de trabajo.
- **WO_DESC:** Brinda una breve descripción del trabajo realizado.
- **MAINT_TYPE:** Brinda información acerca del tipo de mantenimiento realizado a la válvula de seguridad, sea correctivo, preventivo, predictivo, etc.
- **COMPLETED_CODE:** Indica si la orden de trabajo se realizo al 100% o si fue cancelada.
- **DSTRCT_CODE:** Indica la ubicación de la válvula de seguridad, ya puede ser de la GRB o de la GRC^(*).

^(*)Gerencia Refinería de Cartagena

- **ACTIVE:** Indica si el equipo se encuentra activo o no.

El software fue creado para descargar únicamente estos campos ya que son los que proveen la información requerida para el desarrollo de los cálculos requeridos en la obtención de los parámetros necesarios para formular el plan de mantenimiento.

Dicha información es descargada y organizada favorablemente en un listado de una hoja de cálculo de Excel. La organización de la información está dada de la siguiente forma:

1. Agrupa consecutivamente todos los datos de una misma válvula.
2. Organiza cronológicamente las OT's por su fecha de cierre.

La información descargada por el programa para la planta de Polietileno I es mostrada en la figura 15.

Figura 15. Listado de datos descargados por VAR-Calculator de la planta Polietileno I

	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	RAISED_DATE	CLOSED_DT	WO_DESC	MAINT_TYPE	COMPLETED_CODE	DISTRCT_CODE			
322	20041026	20041118	REVISAR VALVULA DE SEGURIDAD NORMAL MPP	PV	10	GCB			
323	20050502	20050511	SC2203 CALIBRAR RV V8C2203 MPP	CO	10	GCB			
324	20060208	20060507	Realizar mantto VS C-2203 V/S cil:1B	CO	10	GCB			
325	20060401	20060608	Realizar disparo valvula seguridad	CO	10	GCB			
326	20070406	20070917	Retirar R/V calibrar.	CO	10	GCB			
327	20071128	20080425	Retira-calibrarV8C2203	PV	10	GCB			
328	20090430	20090507	V.S 1" 15000# - 1" X 300# LJ-RF/NORM	PV	10	GCB			
329	20080603		retirar/calibrar/instar valvula V8C2203	AF		GCB			
330	19991012	20000107	REVISAR VALVULA DE SEGURIDAD NORMAL MPP	PV	CA	GCB			
331	20021011	20021101	REVISAR VALVULA DE SEGURIDAD NORMAL MPP	PV	10	GCB			
332	20050714	20050719	V.S 3/4" - 3/4" THD/NORMAL/MPP	PV	CA	GCB			
333	19980824	19980827	REVISAR VALVULA DE SEGURIDAD NORMAL MDD	PV	CA	GCB			
334	19991012	19991217	REVISAR VALVULA DE SEGURIDAD NORMAL MPP	PV	10	GCB			
335	20010920	20020220	REVISAR VALVULA DE SEGURIDAD AIRE FRESCO	PV	10	GCB			
336	20020220	20020221	REVISAR VALVULA DE SEGURIDAD AIRE FRESCO	PV	10	GCB			
337	20020627	20021125	REVIZAR VALVULA DE SEGURIDAD AIRE FRESCO	CO	10	GCB			
338	20041026	20041120	REVISAR VALVULA DE SEGURIDAD NORMAL MPP	PV	10	GCB			
339	20070913	20070924	V.S 1" 15000# - 1" X 300# LJ-RF/NORM	PV	10	GCB			
340	20071128	20080425	Retirar-calibrarV9C2203	PV	10	GCB			
341	20080603		retirar/calibrar/instar valvula V9C2203	AF		GCB			
342	19991012	20000107	REVISAR VALVULA DE SEGURIDAD NORMAL MPP	PV	CA	GCB			
343	20021011	20021101	REVISAR VALVULA DE SEGURIDAD NORMAL MPP	PV	10	GCB			

Figura tomada de VAR-Calculator

5.1.2 Cálculos. Una vez descargados los datos y creado el listado, VAR-Calculator cuenta el numero de ordenes de trabajo completadas al 100% que hay de cada equipo. Para poder calcular los parámetros de la función Weibull se necesitan mínimo tres OT's ya que con estos se tienen

dos tiempos entre reparaciones. El programa descarta las válvulas que solo cuentan con dos datos y las lista en una hoja nueva llamada “val_sin_OT” en donde se encuentran todas las válvulas que carecen de datos para realizar el estudio de Weibull. Si la válvula cuenta con tres o más ordenes de trabajo completadas al 100%, crea una hoja por válvula, la marca con el Tag de la válvula y copia su respectiva información para posteriormente realizar los cálculos deseados.

Los primeros cálculos realizados por el software son: Duración de la OT, Tiempo entre fallas y Disponibilidad Genérica. Estos cálculos son consignados en una tabla junto a los historiales de reparación del equipo en la hoja recién creada. La figura 16 muestra un ejemplo de la hoja creada.

Figura 16. Hoja creada por VAR-Calculator para la organización de historiales de mantenimiento

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	NO EQUIPO	NUMERO OT	APERTURA OT	CIERRE OT	DESCRIPCIÓN	TIPO MTTT	ESTADO OT	DISTRITO	DURACIÓN	TBF	DISPONIBILIDAD (%)
2	V10C2203	104403	12/07/2002	02/11/2002	REVISAR VALVULA DE SEGURIDAD AIRE FRESCO	PV	10	GCB	113		0.941529235
3	V10C2203	111275	27/11/2002	15/04/2003	REVISAR VALVULA DE SEGURIDAD V10C2203	CO	10	GCB	139	149	
4	V10C2203	124151	29/08/2003	11/09/2003	REVISAR VALVULA DE SEGURIDAD AIRE FRESCO	PV	10	GCB	13	136	
5	V10C2203	139022	23/04/2004	31/05/2004	Reparacion Valvula de Seguridad	CO	10	GCB	38	248	
6	V10C2203	150228	26/10/2004	20/11/2004	REVISAR VALVULA DE SEGURIDAD AIRE FRESCO	PV	10	GCB	25	158	
7	V10C2203	150228A	14/12/2004	14/12/2004	REPARAR VÁLVULA POR GARANTIA	GA	10	GCB	0	24	
8	V10C2203	155962	16/01/2005	15/03/2005	Realizar mantto. valvula seguridad	CO	10	GCB	58	76	
9	V10C2203	198014	22/07/2006	01/09/2006	CALIBRAR RV	CO	10	GCB	41	520	
10	V10C2203	206923	21/11/2006	05/12/2006	V.S 1-1/2" x 1500# - 2-1/2" x 300# RJ/AI	PV	10	GCB	14	81	
11	V10C2203	246456	05/03/2008	25/04/2008	Retirar al taller calibrarV10C2203	PD	10	GCB	51	492	
12											

Figura tomada de VAR-Calculator

Seguido de esto, VAR-Calculator crea una nueva hoja para consignar los cálculos de Weibull. La nueva hoja es llamada con el Tag de la válvula más la terminación “_CD(*)” y es mostrada en la Figura 17.

(*) Confiabilidad y Disponibilidad

Figura 17. Hoja creada por VAR-Calculator para los cálculos de Weibull

J	TBF (Días)	F(t)	PORCENTAJE	Y	X	X*Y	X ²	Y Prom	X Prom	INTERCEPTO	BETA (B)	Eta	MTBF	DISPONIBILIDAD(%)
1	24	0.1	10	-2.250367327	3.17805383	-7.151788504	10.10002615	-0.490150559	4.983129869	-5.4744593	1.000236572	238.2128257	238.189011	0.941529235
2	76	0.2	20	-1.499939987	4.33073334	-6.495840109	18.75525126							
3	81	0.3	30	-1.030930433	4.394449155	-4.530371371	19.31118337							
4	136	0.4	40	-0.671726992	4.912654886	-3.29996289	24.13417803							
5	149	0.5	50	-0.366512921	5.003946306	-1.834010975	25.03947863							
6	158	0.6	60	-0.087421572	5.062595033	-0.442580015	25.62986847							
7	248	0.7	70	-0.185626759	5.513428746	-1.023439908	30.39789654							
8	492	0.8	80	-0.475884995	6.198478716	-2.949763015	38.4211384							
9	520	0.9	90	-0.834032445	6.253828812	-5.215896136	39.1103748							

Figura tomada de VAR-Calculator

El primer cálculo estadístico que se debe hacer es obtener los porcentajes acumulados para cada tiempo entre fallas mediante el método i-kaesimo y establecer la función de no confiabilidad en el tiempo F(t).

También existe el método de Rango de Medianas (Por tabla y el de BENARD por aproximaciones) y el estimador de KAPLAN-MEIER; estos métodos son poco recomendables ya que en sus valores de cálculo de No Confiabilidad siempre presentan las probabilidades más bajas y en la realidad se busca trabajar con los valores más altos como valores más críticos.

Los tiempos de operación sin fallas y periodos de reparaciones pueden ser analizados de varias formas.

Una de ellas es mediante el uso de distribuciones ya estandarizadas que emulen el comportamiento del equipo o sistema en el tiempo.

La otra forma es encontrar funciones matemáticas que reflejen el comportamiento en el tiempo de las fallas y operaciones sin fallas con el fin de predecir su actuación en el tiempo.

En este estudio se analizan los datos mediante el uso de la distribución Weibull ya que es muy manejable y se acomoda a las tres zonas (infancia o rodaje, madurez o vida útil y envejecimiento) de la curva de la bañera o de Davies. Ahora se busca:

- Darle los valores calculados de los porcentajes acumulados para cada tiempo de falla a la función Weibull alineada.
- Estimar los parámetros que tendrá la función de Weibull alineada; η (Eta) y β (Beta). Estos parámetros se determinan con el método de mínimos cuadrados (o de regresión). El parámetro γ (Gamma) se asume cero ya que es el que indica el lapso en el cual la probabilidad de falla es nula.
- Calcular el MTBF con distribución Weibull.

Los cálculos anteriormente mencionados son realizados por VAR-Calculator y consignados en la tabla de “Transformaciones para Weibull” como se muestra en la figura 18.

Figura 18. Tabla de transformaciones para Weibull

J	TBF (Días)	F(t)	PORCENTAJE	Y	X	X*Y	X ²	Y Prom	X Prom	INTERCEPTO	BETA (β)	Eta	MTBF	DISPONIBILIDAD(%)
1	24	0.1	10	-2.250367327	3.17805383	-7.151788504	10.10002615	-0.490150559	4.983129869	-5.4744591	1.000236572	238.2128257	238.189011	0.941529235
2	76	0.2	20	-1.499939987	4.33073334	-6.495840109	18.75525126							
3	81	0.3	30	-1.030930433	4.394449155	-4.530371371	19.31118337							
4	136	0.4	40	-0.671726992	4.912654886	-3.29996289	24.13417803							
5	149	0.5	50	-0.366512921	5.003946306	-1.834010975	25.03947863							
6	158	0.6	60	-0.087421572	5.062595033	-0.442580015	25.62986847							
7	248	0.7	70	0.185626759	5.513428746	1.023439908	30.39789654							
8	492	0.8	80	0.475884995	6.198478716	2.949763015	38.4211384							
9	520	0.9	90	0.834032445	6.253828812	5.215896136	39.1103748							

Figura tomada de VAR-Calculator

Una vez calculados los parámetros y organizados en la tabla, el programa procede a trazar las curvas de Confiabilidad, No Confiabilidad y Tasa de fallas en el tiempo.

Estas curvas muestran el comportamiento esperado del equipo en el tiempo desde su última reparación y junto a los parámetros calculados, son usadas para planear acciones de mantenimiento.

La aplicación crea dos hojas nuevas en donde dispone las respectivas curvas y las rotula con sus respectivos nombres. El tiempo total graficado es dos veces el MTBF calculado.

La figura 19 muestra un ejemplo de las curvas graficadas.

Figura 19. Curvas de Confiabilidad y No Confiabilidad en el tiempo

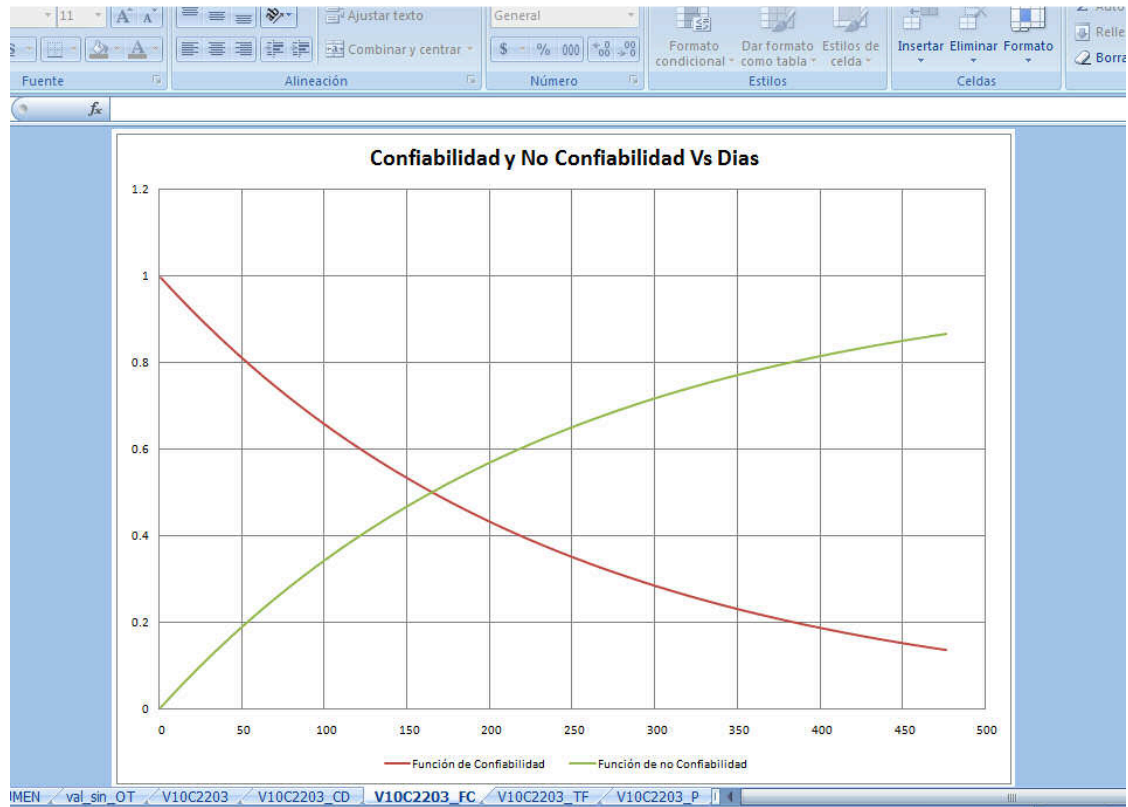


Figura tomada de VAR-Calculator

Figura 20. Curva de Tasa de Fallas en el tiempo

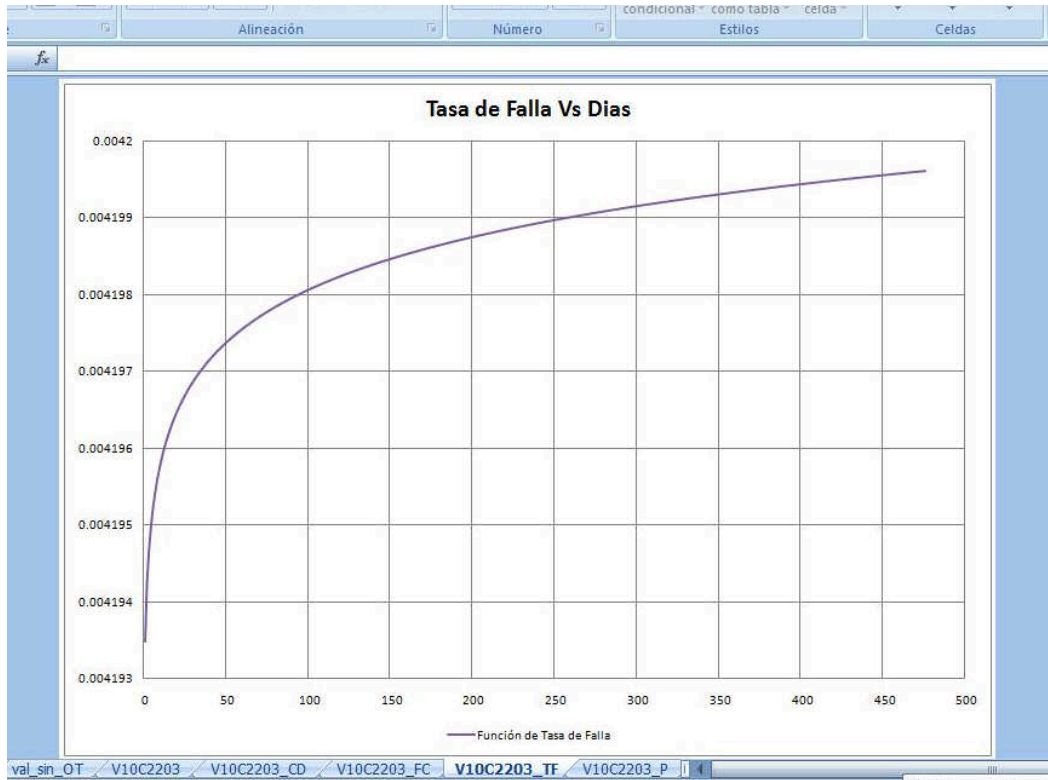


Figura tomada de VAR-Calculator

VAR-Calculator hace este mismo procedimiento para cada una de las válvulas que cuente con datos suficientes para realizar el estudio de confiabilidad.

5.1.3 Entregables. Finalmente el programa entrega un libro de Excel con el estudio realizado para cada válvula dicho estudio cuenta con cuatro hojas descritas anteriormente, una hoja con un listado de las válvulas que no cuentan con OT's suficientes, una hoja con un listado de las válvulas a las cuales se les realizó el estudio y un resumen de las válvulas que si poseían los datos suficientes con sus respectivos parámetros calculados, como lo muestra la figura 21.

Figura 21. Resumen de Válvulas Estudiadas y Parámetros Calculados

	A	B	C	D	E	F
1	EQUIPO	BETA(β)	ETA	MTBF	DISPONIBILIDAD	
2	V3E2209A	69.7013942	1477.00574	1465.07105	0.993236388	
3	V1E2204	61.4171682	1054.38419	1044.7472	0.989607936	
4	V2E2203	7.72697447	1118.30552	1051.36473	0.986091794	
5	V2C2201	5.20313101	1002.71097	922.773744	0.986765484	
6	V1C2202	4.89158987	915.233082	839.27291	0.995884774	
7	V2C2202	3.59130516	635.862168	572.904144	0.980762625	
8	V1E2209A	3.31362448	621.118753	557.268623	0.978012313	
9	V1E2206A	3.22975418	1437.52502	1288.10559	0.989973004	
10	V1E2207A	3.22975418	1437.52502	1288.10559	0.989973004	
11	V6C2204	3.03275752	989.824004	884.319124	0.986516854	
12	V1E2208B	2.47814461	1037.8555	920.658118	0.984135667	
13	V1E2203	1.82887562	1017.31717	904.026146	0.982578397	
14	V3C2204	1.43089196	562.868851	511.323632	0.976010101	
15	V2E2209A	1.32414344	587.810049	540.936128	0.982573039	
16	V1C2202C	1.28041076	1085.38416	1005.58427	0.985769231	
17	V9C2203	1.168213	733.179406	694.650819	0.976408912	
18	V1D2203	1.12899941	1046.49092	1001.45036	0.988985051	
19	V10C2204	1.05695341	426.912137	417.691746	0.968509985	
20	V10C2203	1.00023657	238.212826	238.189011	0.941529235	
21	V1C2203	0.93023276	578.215945	597.911182	0.981438515	
22	V2E2209B	0.91112474	974.983099	1019.09269	0.979633401	
23	V1E2205	0.82102842	948.841589	1055.81747	0.978723404	
24	V2C2204	0.81711759	997.617861	1113.69806	0.979030144	
25	V1E2208A	0.80455526	1338.9674	1510.94054	0.986781901	
26	V8C2203	0.79559363	487.238782	554.242966	0.965004374	
27	V1C2204	0.70465433	1031.9393	1298.08071	0.984866123	

Figura tomada de VAR-Calculator

5.2 ADQUISICION DE COMENTARIOS DE REPARACIONES

Los comentarios de reparaciones o completions, son textos ligados a las órdenes de trabajo terminadas en donde el ejecutor del mantenimiento consigna información importante acerca del estado de la válvula así como datos de aspectos importantes del trabajo realizado. Idealmente estos comentarios estarán consignados en un formato estándar en el cual deberán ir los resultados de las pruebas hidrostáticas realizadas en el banco de pruebas del taller, tales como presiones de disparo y cierre de la válvula, el estado de las partes fundamentales de la esta (resorte, vástago, boquilla y área de sello) y los procedimientos realizados para corregir los daños encontrados.

La obtención de los comentarios de reparaciones realizada por VAR-Calculator se efectúa en dos fases generales; adquisición de datos y entregables

5.2.1 Adquisición de datos. Como primer paso Var-Calculator descarga del sistema de información las ordenes de trabajo de las válvulas pertenecientes a la planta seleccionada o a una sola válvula, organiza toda esta información en forma de listado exactamente de la misma manera que lo realiza en la obtención de datos previa a la realización de cálculos de parámetros Weibull. Realizada la adquisición del listado de órdenes de trabajo el programa procede a buscar en el sistema de información los comentarios correspondientes a cada una de las órdenes de trabajo existentes para la planta o válvula, según sea el caso.

5.2.2 Entregables. Var-Calculator entregará un libro de Excel que contiene además de la hoja "listado", una hoja por cada válvula perteneciente a la planta seleccionada. En cada hoja estarán organizadas las ordenes de trabajo en columnas con un orden cronológico según su fecha de cierre; debajo de cada numero de orden de trabajo las fechas de cierre y apertura y por último los comentarios anexos a la misma si los posee. Estos comentarios servirán para tener una idea mucho más clara del estado actual y la evolución de cada una de las válvulas de seguridad.

6. INSTRUCTIVO DE USO DE VAR CALCULATOR

La ventana principal del programa está organizada de manera que brinde al usuario dos componentes generales según sus necesidades, ya sea que requiera ejecutar las funciones anteriormente descritas de la aplicación para toda una planta o para una sola válvula. Estos dos componentes se ejecutan de forma excluyente, al seleccionar uno el otro quedará inactivo. Estos componentes y la ejecución de las funciones para cada uno de ellos serán descritas con más detalle a continuación:

6.1 EJECUTAR LAS FUNCIONES PARA UNA SOLA VÁLVULA DE SEGURIDAD

Haga click en el botón on/off de activación de este componente y digite en la casilla el TAG de la válvula de seguridad deseada (sin espacios ni símbolos).

Para ejecutar la función de análisis de confiabilidad:

Seleccione la opción "Calcular" haciendo click en el botón on/off correspondiente y luego haga click en Proceder.

Se desplegará un dialogo donde se da la opción de elegir el nombre del documento de Excel entregado y la carpeta donde desea guardarlo; por defecto el documento se llamará con el TAG de la válvula y se encontrará en Mis Documentos. Elija el nombre y la ruta del documento deseada y de click en Aceptar.

Luego de unos segundos se desplegará el archivo de Excel creado donde encontrará las siguientes hojas:

- Listado: Es la hoja donde el programa copia el historial de órdenes de trabajo obtenidas del sistema de información de la empresa.
- Una hoja nombrada con el TAG de la válvula que se ha introducido anteriormente, esta hoja mostrará una tabla donde podrá ver las OT's creadas para la válvula, organizadas cronológicamente según su cierre; duración de estas y tiempos entre fallas.
- Una hoja nombrada con el TAG de la válvula mas la terminación "_CD". En esta hoja encontrará una tabla donde están consignados los parámetros BETA (β), Eta (η), MTBF (Tiempo Medio entre Fallas) y la disponibilidad genérica de la válvula.
- Una hoja nombrada con el TAG de la válvula mas la terminación "_FC". En esta hoja encontrará un grafico con las curvas de confiabilidad y no confiabilidad Vs días.
- Una hoja nombrada con el TAG de la válvula mas la terminación "_TF". En esta hoja

encontrará un gráfico con la curva de tasa de fallas Vs días.

Para realizar una consulta de los comentarios anexos a las OT's creadas para la válvula de seguridad deseada:

- Seleccione la opción "ver comentarios de OT's" haciendo click en el botón on/off correspondiente.
- Haga click en el botón Proceder.

Se desplegará un diálogo donde se le da la opción de elegir el nombre del documento y la carpeta donde desea guardarlo. Estará predeterminado como "comentarios" y el TAG de la válvula y como carpeta Mis Documentos. Elija el nombre y la ruta del documento y de click en Aceptar.

Se desplegará un documento de Excel donde podrá encontrar todos los comentarios de las reparaciones de la válvula.

6.2 EJECUTAR LAS FUNCIONES PARA TODAS LAS VÁLVULAS DE SEGURIDAD DE UNA PLANTA

Si conoce el Account Code (AC) de la planta deseada, selecciónelo en el menú desplegable o escríbalo en la casilla (sin espacios ni símbolos).

Si *NO* conoce el AC de la planta deseada, haga click en el botón "Ver" que se encuentra a la derecha del menú desplegable. Se abrirá un diálogo donde están nombradas las plantas con sus respectivos AC. Seleccione el AC de la planta deseada y haga click en el botón "Seleccionar AC".

Si desea descargar los historiales de OT's realizadas para todas las válvulas de seguridad de la planta y organizarlas, seleccione la opción "Obtener Datos" y haga click en proceder.

Se desplegará un diálogo donde se le da la opción de elegir el nombre del documento y la carpeta donde desea guardarlo. Estará predeterminado como nombre el AC de la planta y como carpeta Mis Documentos. Elija el nombre y la ruta del documento deseada y de click en Aceptar.

Se desplegará un archivo de Excel donde encontrará las siguientes hojas:

- Listado: Es la hoja donde el programa copia el historial de órdenes de trabajo obtenidas del sistema de información de la empresa.

- val_sin_OT: Esta hoja contendrá un listado con las válvulas que no poseían un historial de reparaciones suficiente para hacer los cálculos de los parámetros.
- RESUMEN: esta hoja contendrá una tabla donde estarán relacionadas las válvulas con la disponibilidad genérica calculada para cada una de ellas.
- Una serie de hojas nombradas con el TAG de cada una de las válvulas pertenecientes a la planta. Cada una de estas hojas mostrará una tabla donde podrá ver una tabla donde estarán las OT's creadas para la válvula, organizadas cronológicamente según su cierre, duración de estas y tiempos entre fallas. También tendrá el cálculo de la disponibilidad genérica de la válvula.

Si desea realizar el estudio de confiabilidad completo para todas las válvulas de una planta, seleccione la opción "calcular" y haga click en el botón proceder.

Se desplegará un dialogo donde se le da la opción de elegir el nombre del documento y la carpeta donde desea guardarlo. Estará predeterminado como nombre el AC de la planta y como carpeta Mis Documentos. Elija el nombre y la ruta del documento deseada y haga click en Aceptar.

Se desplegará un archivo de Excel donde encontrará las siguientes hojas:

- Listado: Es la hoja donde el programa copia el historial de órdenes de trabajo obtenidas del sistema de información de la empresa.
- RESUMEN: Esta hoja contendrá una tabla donde estarán relacionadas las válvulas con los parámetros calculados y la disponibilidad genérica para cada una de ellas.
- val_sin_OT: Esta hoja contendrá un listado con las válvulas que no poseían un historial de reparaciones suficiente para hacer el cálculo de los parámetros.
- Una serie de hojas nombradas con el TAG de cada una de las válvulas pertenecientes a la planta. Cada una de estas hojas mostrará una tabla donde podrá ver una tabla donde estarán las OT's creadas para la válvula, organizadas cronológicamente según su cierre, duración de estas y tiempos entre fallas. También tendrá el cálculo de la disponibilidad genérica de la válvula.
- Una serie de hojas nombradas con el TAG de cada una de las válvulas pertenecientes a la planta con la terminación "_CD". En estas hojas encontrará una tabla donde están consignados los parámetros BETA (β), Eta (η), MTBF (Tiempo Medio entre Fallas) y la disponibilidad genérica de la válvula.
- Una serie de hojas nombradas con el TAG de cada una de las válvulas pertenecientes a la

planta con la terminación “_FC”. En estas hojas encontrará un grafico con las curvas de confiabilidad y no confiabilidad Vs días.

- Una serie de hojas nombradas con el TAG de cada una de las válvulas pertenecientes a la planta con la terminación “_TF”. En estas hojas encontrará un grafico con la curva de tasa de fallas Vs días.

Para descargar los comentarios de todas la ordenes de trabajo de válvulas de seguridad existentes en ELLIPSE para una planta, seleccione la opción “Ver Comentarios de OT’s” y haga click en el botón proceder.

Se desplegará un dialogo donde se le da la opción de elegir el nombre del documento y la carpeta donde desea guardarlo. Estará predeterminado como “comentarios” y el AC de la planta y como carpeta Mis Documentos. Elija el nombre y la ruta del documento y de click en Aceptar.

Se desplegará un documento de Excel donde podrá encontrar todos los comentarios de las reparaciones de las válvulas de seguridad de la planta seleccionada.

Para salir de programa hacer click en el botón cerrar.

7. ESTUDIO DE CONFIABILIDAD

En este capítulo se mostrara el procedimiento que se realizó para ejecutar el estudio de confiabilidad de las válvulas de seguridad de las plantas de polietileno I y II de la GRB. El primer paso que se realizó fue ejecutar la función de cálculo de VAR-Calculator para ambas plantas y analizar los parámetros calculados para cada una de las válvulas; estos parámetros son: MBTF, Beta (parámetro de forma), Eta (parámetro de vida útil) y Disponibilidad Genérica. Se calculó la disponibilidad genérica debido a que era la disponibilidad factible a calcular con la información disponible en la base de datos de la empresa. Esta disponibilidad es muy útil cuando se tienen los tiempos totales en servicio y fuera de servicio; y no se poseen los tiempos exactos de demoras logísticas, suministros, retrasos, otros.

Ecuación 7. Disponibilidad Genérica (A_G).

$$\text{Disponibilidad Genérica} = A_G = \frac{\sum UT}{\sum UT + \sum DT} = \frac{MUT}{MUT + MDT}$$

Fuente Bibliográfica Ecuación: Mora, 2006

Los MUT en la A_G solo consideran los tiempos en que el equipo funciona correctamente, como a su vez los MDT contemplan todo lo que cause que el equipo este fuera de servicio.

Los otros tres parámetros indican en que punto de la curva de Davies se encuentra el equipo (Beta), su vida útil (Eta) y el tiempo medio entre reparaciones (confiable) esperado.

La confiabilidad de los parámetros calculados depende de la veracidad y calidad de la información disponible en el servidor. Por esta razón se hizo necesario, una vez calculados los parámetros de Weibull, entrar a estudiar cada una de las ordenes de trabajo del equipo junto con sus descripciones y comentarios para así determinar si los cálculos eran confiables o no.

La certidumbre de los parámetros calculados depende de varios factores tales como:

- Existencia de datos suficientes para realizar el análisis estadístico.
- Calidad de la información disponible, ya que se presentan casos en los que las ordenes de trabajo de la válvula están cargadas al equipo al cual pertenece (mas no a esta) por lo cual se podría interpretar como carencia de registros, siendo esto falso ya que el equipo si cuenta con ordenes de trabajo pero en bases de datos distintas a las de las válvulas de seguridad, lo cual


imposibilita la descarga de dicha información. También se presentan casos en los cuales se crean ordenes de trabajo de mantenimiento preventivo para la válvula de seguridad cuando se va a realizar una intervención al equipo al cual esta pertenece; esto es llamado mantenimiento por oportunidad pero brinda información falsa ya que la orden de trabajo no se debe a falla de la válvula ni a mantenimiento preventivo programado para esta.

- Reposición de equipos. Para el estudio es necesario tener conocimiento de la fecha exacta en la cual un equipo es cambiado debido a que la información solo debe ser analizada a partir de dicha fecha. El problema radica cuando no es reportado el cambio del equipo, lo que causa obtención de información errónea.

Después de verificada la veracidad de los parámetros calculados se llega a conclusiones que luego deben ser confrontadas con la experiencia del ingeniero de confiabilidad a cargo de las plantas, para los casos en los cuales hubo sospecha de información escasa o defectuosa y de esta manera asegurar que las recomendaciones emitidas en el plan de mantenimiento sean confiables.

Para ilustrar tanto el procedimiento de cálculo ejecutado por Var-Calculator como el proceso en el cual se emiten recomendaciones para el mantenimiento de todas las válvulas de seguridad a partir de los resultados arrojados por esta herramienta, se desarrolla a modo de ejemplo el cálculo de parámetros de confiabilidad y su respectivo análisis para la válvula de seguridad V3C2204 perteneciente a la planta Polietileno I con las características de diseño y funcionamiento mostradas en la figura 22.

Figura 22. Data sheet válvulas del compresor C2204

 GERENCIA COMPLEJO BARRANCABERMEJA		DATA SHEET FOR SAFETY & RELIEF VALVES				PDE-00-F-046		
PROJECT: POLIOLEFINAS		UNIT: U-2200		DOC. TYPE:		REV.	SHEET 6 OF 24	DATE: 12/06
PLANT: POLIETILENO I (UNIDAD 2200)		TAG:						
GENERAL								
1	Tag. No.	V1C2204		V2C2204		V3C2204		V4C2204
2	Equipment Service	Line size	Class	C2204	C2204	LV-48B-3"-A	C2204	LV-50B-3"-A
3	Discharge Fluid	ETILENO (GAS)		ETILENO (GAS)		ETILENO (GAS)		ACEITE DE SELLO (LÍQ)
4	Discharge to	TEA		ATMÓSFERA		ATMÓSFERA		SISTEMA
5	Oper. Pressure	Set Pressure	PSIG	65	75	12000	17000	15500
6	Back Pressure	B. Pressure State	PSIG	70	VARIABLE	-	VARIABLE	27
7	Bellow	Yes <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/>		Yes <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/>		Yes <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/>		Yes <input type="checkbox"/> No <input checked="" type="checkbox"/>
8	Size Flanges Inlet	1-1/2" x 15000		1-1/2" x 15000		1-1/2" x 15000		1-1/2" x 15000
9	Size Flanges Outlet	1" x 300		1" x 300		1" x 300		1" x 300
CALCULATION DATA								
10	Calculation Code							
11	Controlling emergency							

Archivo Técnico, Coordinación de Inspección e Integridad de Equipo Estático ECOPETROL.SA

7.1 DESCARGA DE HISTORIAL DE MANTENIMIENTO

Al ejecutar el programa para la planta Polietileno I, el historial de mantenimiento queda consignado en el libro de Excel de la siguiente manera:

Tabla 3. Registro de OT's para la Válvula V3C2204

EQUIP_NO	WORK_ORDER	RAISED_DATE	CLOSED_DT	WO_DESC	MAINT_TYPE	COMPLETED_CODE	DSTRCT_CODE
V3C2204	52961	19991012	20000107	REVISAR VALVULA DE SEGURIDAD NORMAL MPP	PV	CA	GCB
V3C2204	104410	20020712	20021105	REVISAR VALVULA DE SEGURIDAD NORMAL MPP	PV	10	GCB
V3C2204	150223	20041026	20041124	REVISAR VALVULA DE SEGURIDAD NORMAL MPP	PV	10	GCB
V3C2204	165645	20050502	20050511	SC2204 CALIBRAR RV V3C2204 MPP	CO	10	GCB
V3C2204	213157	20070219	20070222	V.S 1" 15000# - 1" X 300# LJ-RF/NORM	CO	10	GCB
V3C2204	238364	20071128	20080425	Retirar-calibrarV3C2204-instalar	PV	10	GCB
V3C2204	254446	20080603	20090508	retirar/calibrar/instar valvula V3C2204	AF	10	GCB
V3C2204	280509	20090430	20090508	V.S 1" 15000# - 1" X 300# LJ-RF/NORM	PV	10	GCB

Figura tomada de VAR-Calculator

Como se muestra este equipo tiene ocho ordenes de trabajo, para efectos del cálculo de parámetros de confiabilidad no se tienen en cuenta las ordenes de trabajo canceladas, por ello el programa solo considera las ordenes de trabajo que contienen un "10" en la casilla "COMPLETED_CODE", lo cual significa que las tareas de la orden de trabajo fueron ejecutadas en un 100%.

La herramienta software toma los datos mostrados, decodifica las fechas de apertura y cierre de las ordenes de trabajo, luego calcula los la duración de cada OT, los tiempos entre fallas (TBF) y la disponibilidad genérica, como muestra la tabla 4.

Tabla 4. Duración de OT's y tiempos entre fallas

NO EQUIPO	NUMERO OT	APERTURA OT	CIERRE OT	DESCRIPCIÓN	TIPO MTTO	ESTADO OT	DISTRITO	DURACIÓN	TBF	DISPONIBILIDAD (%)
V3C2204	104410	12/07/2002	05/11/2002	REVISAR VALVULA DE SEGURIDAD NORMAL MPP	PV	10	GCB	116		0,976010101
V3C2204	150223	26/10/2004	24/11/2004	REVISAR VALVULA DE SEGURIDAD NORMAL MPP	PV	10	GCB	29	735	
V3C2204	165645	02/05/2005	11/05/2005	SC2204 CALIBRAR RV V3C2204 MPP	CO	10	GCB	9	159	
V3C2204	213157	19/02/2007	22/02/2007	V.S 1" 15000# - 1" X 300# LJ-RF/NORM	CO	10	GCB	3	649	
V3C2204	238364	28/11/2007	25/04/2008	Retirar-calibrarV3C2204-instalar	PV	10	GCB	149	413	
V3C2204	254446	03/06/2008	08/05/2009	retirar/calibrar/instar valvula V3C2204	AF	10	GCB	339	363	
V3C2204	280509	30/04/2009	08/05/2009	V.S 1" 15000# - 1" X 300# LJ-RF/NORM	PV	10	GCB	8	0	

Figura tomada de VAR-Calculator

7.2 ANÁLISIS DE CALIDAD DE LA INFORMACIÓN DESCARGADA

Al analizar las órdenes de trabajo una a una incluyendo los comentarios ligados a estas, se determinó que las ordenes de trabajo número 254446 y 280509 fueron creadas para realizar la misma reparación, por lo cual la segunda OT no es tomada en consideración.

7.3 CÁLCULOS DE CONFIABILIDAD

Teniendo los tiempos entre reparaciones (TBF) se procede a organizarlos de menor a mayor (ver tabla 5) para luego calcular los porcentajes acumulados para cada tiempo de falla mediante el método i-kaesimo (Ecuación 8) y establecer la función de No Confiabilidad en el tiempo $F(t)$:

Ecuación 8. Ecuación de No Confiabilidad, Método i-kaesimo

$$F(t_i) = 1 - R(t_i) = \frac{j}{N+1}$$

Fuente Bibliográfica Ecuación: Mora, 2006

Donde N es el Número total de datos y j el consecutivo del dato que se evalúa.

Tabla 5. Números de evento y tiempos entre fallas

Número de Dato (j)	TBF (Días)
1	159
2	363
3	413
4	649
5	735

Figura tomada de VAR-Calculator

Para este caso los porcentajes acumulados se calculan de la siguiente manera:

$$F(t_i) = 1 - R(t_i) = \frac{j}{N + 1}$$

$$F(t_1) = \frac{1}{5+1} = 0.1667 \quad F(t_2) = \frac{2}{5+1} = 0.3333$$

$$F(t_3) = \frac{3}{5+1} = 0.5 \quad F(t_4) = \frac{4}{5+1} = 0.6667$$

$$F(t_5) = \frac{5}{5+1} = 0.8333$$

De esta manera se obtiene la función de No Confiabilidad y los resultados se tabulan para obtener su grafica, (Ver Figura 23)

Figura 23. Función de No Confiabilidad

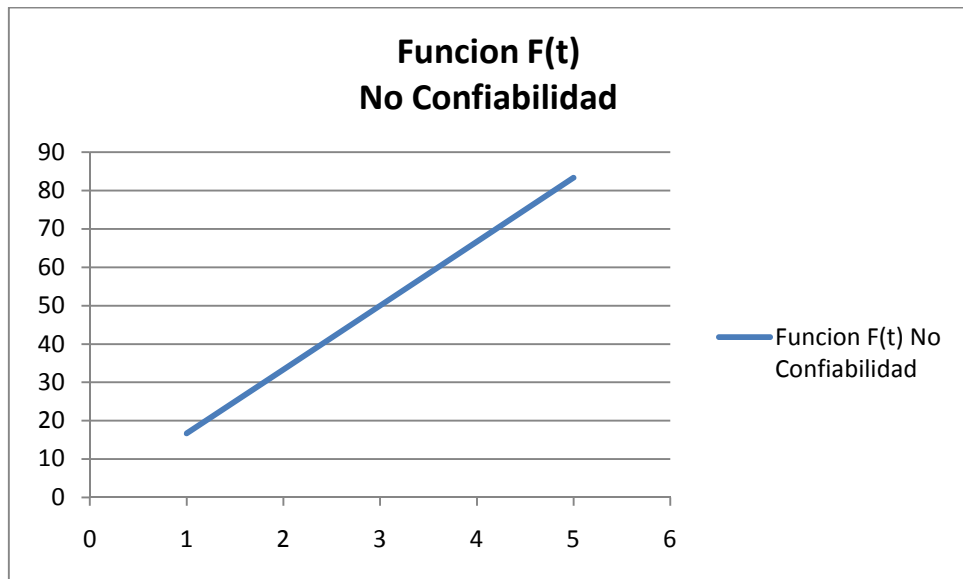


Figura tomada de VAR-Calculator

Para simular el comportamiento de la válvula en el tiempo existen dos opciones. La primera es deducir una ecuación que describa su comportamiento en el tiempo y la segunda es utilizar una distribución ya establecida que se adapte al comportamiento de esta. Para este estudio se utiliza la distribución de Weibull ya que esta es la única que puede simular el comportamiento de un equipo en cualquier etapa de su vida útil.

Para simular el comportamiento de la válvula mediante la distribución Weibull primero esta debe ser linealizada y luego se procede a darle los valores de la función de No Confiabilidad anteriormente calculada. La linealización de la función de confiabilidad de Weibull se muestra a continuación:

Ecuación 9. Expresión que relaciona la Confiabilidad con la No Confiabilidad

$$R(t) = 1 - F(t)$$

Por otro lado se tiene la Ecuación 10 que es la Función de Confiabilidad en Weibull:

Ecuación 10. Función de Confiabilidad en Weibull

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

Fuente Bibliográfica Ecuación: Mora, 2006

Por tanto

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

Si se aplica logaritmos neperianos dos veces a ambos lados de la ecuación, esta quedaría:

$$\text{Ln} \left[\text{Ln} \left[\frac{1}{1 - F(t)} \right] \right] = \beta \text{Ln}(t) - \beta \text{Ln}(\eta)$$

La ecuación que gobierna las líneas rectas es del tipo $Y = bX + a$, donde b es la pendiente y a es la intersección con el eje Y . Al comparar la esta ecuación con la anterior de doble logaritmo se tiene que:

$$Y = \text{Ln} \left[\text{Ln} \left[\frac{1}{1 - F(t)} \right] \right] = \beta \text{Ln}(t) - \beta \text{Ln}(\eta) = bX + a$$

Donde se puede asociar $b = \beta$, $X = \text{Ln}(t)$ y $a = \beta \text{Ln}(\eta)$ con lo cual se logra la alineación recta completa de la función de confiabilidad de Weibull.

El siguiente procedimiento es obtener la función de Weibull que simula la válvula en estudio, el cual será detallado a continuación:

Se reemplazan los valores de la función de No Confiabilidad en la ecuación Weibull linealizada:

De la forma $Y = bX + a$

$Y_i = \text{Ln} \left[\text{Ln} \left(\frac{1}{1 - F(t)_i} \right) \right]$	$X_i = \text{Ln}(TBF_i)$
$Y_1 = \text{Ln} \left[\text{Ln} \left(\frac{1}{1 - 0.1667} \right) \right] = -1.7019$	$X_1 = \text{Ln}(159) = 5.0689$
$Y_2 = \text{Ln} \left[\text{Ln} \left(\frac{1}{1 - 0.3333} \right) \right] = -0.9027$	$X_2 = \text{Ln}(363) = 5.8944$
$Y_3 = \text{Ln} \left[\text{Ln} \left(\frac{1}{1 - 0.5} \right) \right] = -0.3666$	$X_3 = \text{Ln}(413) = 6.0234$
$Y_4 = \text{Ln} \left[\text{Ln} \left(\frac{1}{1 - 0.6667} \right) \right] = 0.0940$	$X_4 = \text{Ln}(649) = 6.4754$
$Y_5 = \text{Ln} \left[\text{Ln} \left(\frac{1}{1 - 0.8333} \right) \right] = 0.5831$	$X_5 = \text{Ln}(735) = 6.5998$

Ahora se calculan los parámetros que rigen la función Weibull (Beta y Eta):

1. Beta (β): Es el factor de forma y se obtiene de calcular la pendiente al darle forma lineal a la función e Weibull.

Para calcular esta pendiente primero se debe determinar los promedio de los valores de X y Y.

$$\bar{X} = 6.0124 \qquad \bar{Y} = -0.4587$$

$$\beta = \frac{\sum_{i=1}^N X_i * Y_i - N * \bar{X} * \bar{Y}}{\sum_{i=1}^N X_i^2 - N * \bar{X}^2}$$

$$\beta = \frac{-11.6778 - 5 * 6.0124 * (-0.4587)}{182.2091 - 5 * 36.4418}$$

$$\beta = 1.43$$

2. Eta (η): Es el parámetro de escala o característica de vida y su valor es determinante para fijar la vida útil del equipo.

Para calcular este parámetro primero se debe hallar el intercepto (a) de la función linealizada.

$$a = \bar{Y} - \beta * \bar{X} = -9.0619$$

$$\eta = e^{-\left(\frac{a}{\beta}\right)}$$

$$\eta = \mathbf{562.86}$$

Después de esto se procede a calcular el MTBF en días para la válvula mediante la Ecuación 11.

Ecuación 11. MTBF en WEIBULL

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

Fuente Bibliográfica Ecuación: Mora, 2006

$$MTBF = 562.86 * Gamma \Gamma\left(1 + \frac{1}{1.43}\right)$$

$$\mathbf{MTBF = 511.32}$$

Con el beta obtenido en confiabilidad se determina en que punto de la curva de Davies se encuentra la válvula, al estar el beta dentro del rango $1 < \beta < 2$ se concluye que el equipo se encuentra en la etapa I de la fase de envejecimiento (Ver Figura 10), lo que quiere decir que la tasa de fallas empieza a aumentar, las fallas que aparecen son conocidas y se empieza a tener experiencia y conocimiento sobre ellas, estas fallas se deben a los efectos del tiempo por causas de uso o abuso; es la etapa de ingeniería por excelencia.

Para terminar con el análisis se grafican las funciones de Confiabilidad, No Confiabilidad y Tasa de Fallas de Weibull usando los parámetros calculados de esta distribución para este caso en particular. Estas curvas se trazan en el intervalo desde cero hasta dos veces el MTBF en días. Estas curvas muestran el comportamiento esperado de la válvula después de la última reparación (Ver Figuras 23 y 24).

Figura 23. Curvas de Confiabilidad y No Confiabilidad de Weibull válvula V3C2204

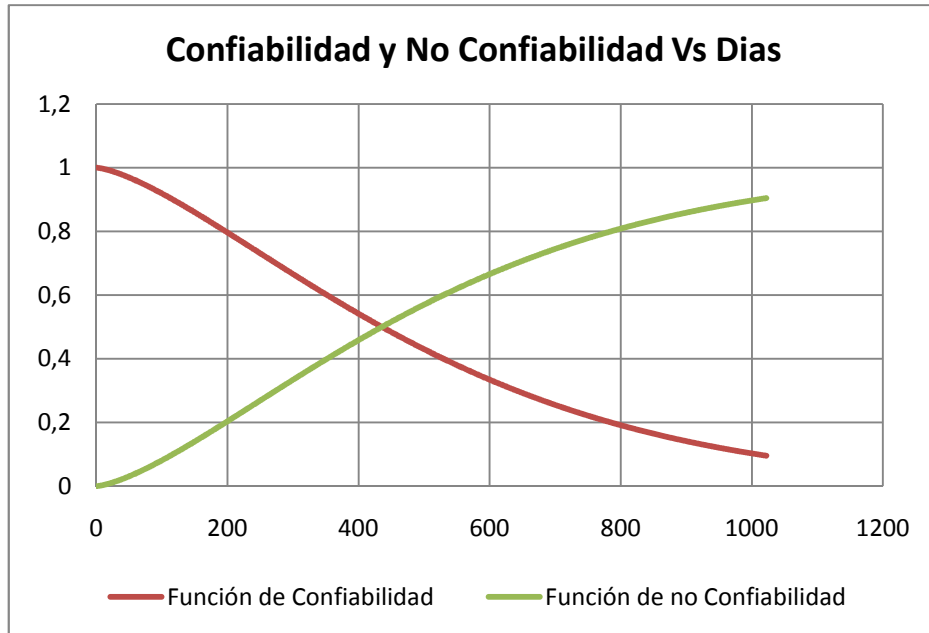


Figura tomada de VAR-Calculator

Figura 24. Curva de Tasa de Fallas de Weibull válvula V3C2204

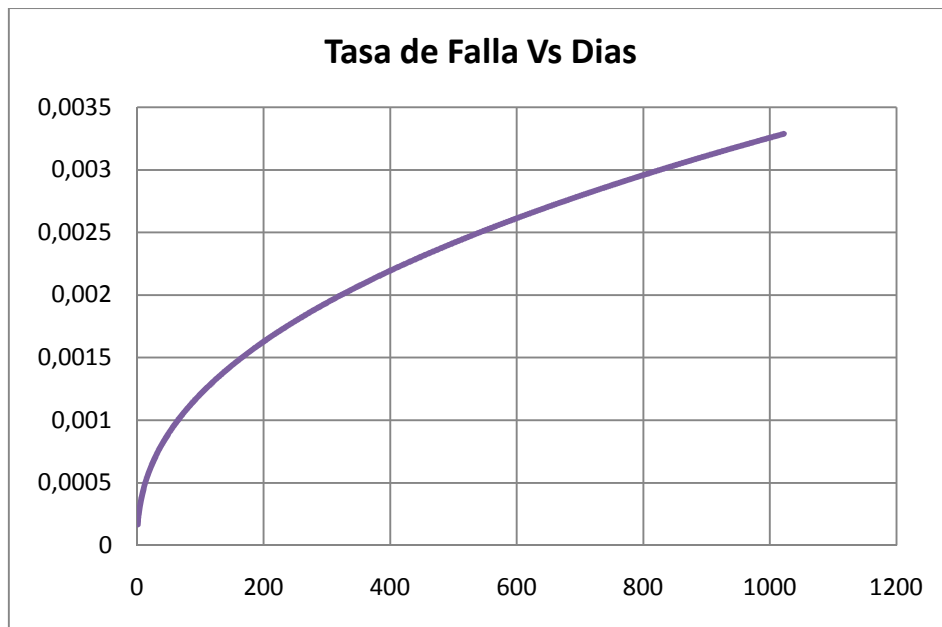
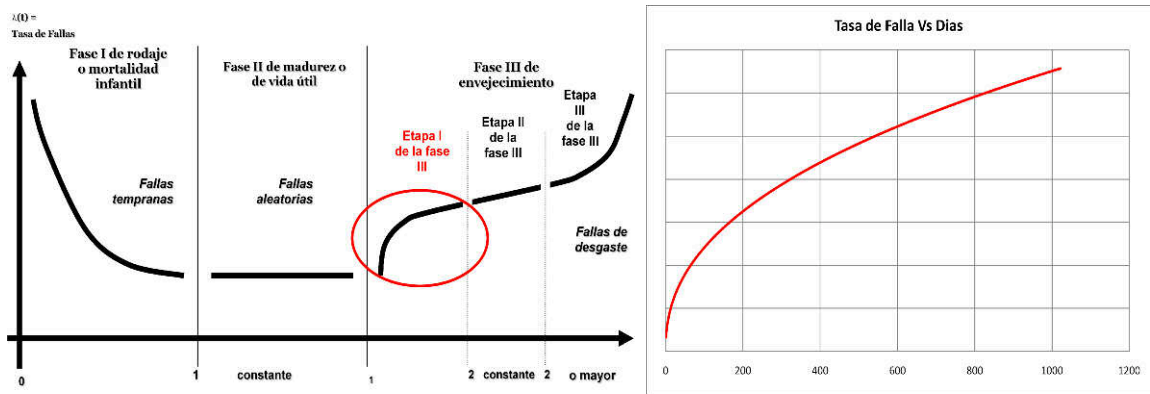


Figura tomada de VAR-Calculator

Comparando la curva de tasa de fallas de este caso particular con la curva de Davies (Ver Figura 25) se confirma que la Válvula V3C2204 se encuentra en la etapa I de la fase de envejecimiento.

Figura 25. Comparacion entre la curva de Davies y Curva de tasa de fallas de Weibull de la Válvula V3C2204



Elaborado por los autores del proyecto

7.4 ANÁLISIS DE INFORMACIÓN Y PARÁMETROS CALCULADOS

Como paso final se estudia toda la información recopilada y los parámetros calculados, es el punto en el cual termina la ejecución del software y comienza la labor del ingeniero, vale recordar que esto debe ser realizado para cada válvula de manera individual aunque al final se pueden obtener grupos de válvulas que han mostrado comportamientos muy similares y pueden ser tratadas de la misma manera.

Se estudian las características de diseño y funcionamiento de la válvula (Ver Figura 21), se encuentra que por las presiones de funcionamiento (15500 psi) y el fluido de trabajo (etileno) es un equipo de alta criticidad. Las dimensiones de entrada y descarga así como la orientación (vertical) de la válvula cumplen los estándares de las norma API 520^(*).

Se debe establecer el tipo de mantenimiento da las órdenes de trabajo, la casilla "MAINT_TYPE" de la tabla descargada (Ver Tabla 3) usualmente brinda esta información; en el caso que el mantenimiento sea preventivo en la casilla estará "PV" y en el caso de mantenimiento correctivo "CO"; esta información no siempre es confiable debido a que las ordenes de trabajo pueden haber sido creadas como mantenimiento preventivo para revisar la válvula pero durante dicha revisión pueden haber descubierto fallas ocultas que son reparadas sin generar otra orden de trabajo para ello, las fallas ocultas pueden ser interiores de la válvula corroídos, vástago doblado,

^(*)American Petroleum Institute

resorte con fisuras, etc. Para identificar con certeza el tipo de mantenimiento es necesario remitirse a los comentarios anexos a las OT's que fueron descargados anteriormente; para este caso en particular las ordenes de trabajo marcadas como mantenimiento preventivo en realidad lo son porque en ninguna de estas órdenes de trabajo se encontraron fallas que generaran la necesidad de realizar alguna reparación.

Para esta válvula se generaron dos órdenes de trabajo para mantenimientos de tipo correctivo con un tiempo entre ellas de solo 159 días lo que indica que la primera reparación no llevo la válvula a su estado inicial, eso se conoce como reparación sub-estándar, esto puede ser causado por el uso de un repuesto fabricado por Ecopetrol o la reparación no corrigió la falla. A partir de la segunda reparación se han generado ordenes de trabajo con una frecuencia promedio demasiado alta para este tipo de equipos lo que coincide con lo que se podría predecir a partir de beta calculado para esta válvula, todo esto hace pensar que la válvula aun no ha vuelto a un estado estándar, por lo cual se debe realizar una reparación general de la válvula.

7.5 RECOMENDACIONES EMITIDAS

Luego de analizar los cálculos realizados y la información recopilada, finalmente se recomienda para esta válvula realizar un mantenimiento general o cambio de sus partes internas, mientras esto se lleve a cabo se deben seguir programando mantenimientos preventivos basados en el MTBF, es decir se deben realizar mantenimientos preventivos cada 511 días.

8. CONCLUSIONES

- Se desarrolló y entregó a Ecopetrol un software llamado VAR-Calculator; esta herramienta obtiene automáticamente historiales de reparaciones y comentarios ligados a las órdenes de trabajo de las válvulas de seguridad de la GRB; calcula parámetros de confiabilidad y traza curvas de Confiabilidad, No Confiabilidad y Tasa de Fallas usando la distribución de Weibull para válvulas de seguridad. Este software posee una interfaz amigable e intuitiva que le da la opción al usuario de ejecutar las funciones del programa para todas las válvulas de seguridad de una planta o para una sola válvula (Ver Figura 11), entregando finalmente libros de Excel que contienen ya sea la información descargada o los resultados de los cálculos ejecutados según sea el caso.
- Se realizó un estudio en el cual se calcularon los parámetros que rigen los indicadores de confiabilidad en el tiempo (Eta, Beta y MTBF) a partir de una distribución Weibull para 31 de las 77 válvulas de seguridad pertenecientes a la planta de polietileno I y para 42 de las 101 válvulas pertenecientes a Polietileno II.
- A la fecha de realización de los estudios, 46 válvulas pertenecientes a la planta de Polietileno I y 59 pertenecientes a Polietileno II carecieron reportes de mantenimiento suficientes para el cálculo de indicadores de confiabilidad.
- La disponibilidad factible a calcular es la disponibilidad genérica debido a que la calidad de la información no permite conocer los tiempos de retrasos logísticos (los tiempos para el transporte de equipos y repuestos; los tiempos en espera de adquisición y/o fabricación de repuestos, etc.) ni los retrasos administrativos (tiempos de montaje y desmontaje; suministro de personal especializado, tiempo para el cumplimiento de procedimientos internos).
- Se estableció un plan de mantenimiento (Ver Anexos) en el cual se determinaron frecuencias de reparaciones basadas en los resultados arrojados por el estudio de confiabilidad y factores producto de la observación en campo; y además se emitieron recomendaciones según el comportamiento y las condiciones de funcionamiento de las válvulas teniendo en cuenta normas API y buenas prácticas de mantenimiento. De este plan de mantenimiento en términos generales se puede concluir:
 - ✓ Se encontró que deben ser cambiadas 10 válvulas pertenecientes a polietileno I y 11 pertenecientes a polietileno II debido al diámetro de descarga y/u Orientación, ya que la norma API 520 no recomienda diámetro de descarga de 2 ½ " y sugiere que las válvulas sean

montadas siempre de manera vertical a menos que el espacio disponible no lo permita, en cuyo caso debe ser consultado el fabricante. (Ver Anexos)

- ✓ Deben ser cambiadas por envejecimiento 8 válvulas pertenecientes a Polietileno I y 11 pertenecientes a Polietileno II. (Ver Anexos)

9. RECOMENDACIONES

- Implementar planes de educación y concientización acerca del buen manejo del sistema de información de la empresa ELLIPSE, pues las bondades de este están siendo desaprovechadas, además las prácticas de mantenimiento clase mundo usan estudios del comportamiento de los equipos cuya eficacia radica en la calidad y cantidad de la información. Algunos de los problemas evidenciados son:
 - ✓ Subreporte, se encontró en algunos casos largos periodos de tiempo sin reporte de ordenes de trabajo lo que se podría interpretar como ausencia de fallas en los equipos, esto alterará los resultados del estudio, este problema surge mayormente debido a ordenes de trabajo cargadas al equipo o sistema al cual pertenece una válvula de seguridad y no a la válvula de seguridad como tal.
 - ✓ No se reporta en el sistema de información cuando un equipo es cambiado, los equipos deben ser estudiados a partir de la fecha en la cual entraron en funcionamiento lo que se hace imposible al no conocer dicha fecha.
 - ✓ Ordenes de trabajo cerradas tiempo después de la terminación de los trabajo realizados.
 - ✓ No aparecen reportes de cambio de TAG de los equipos.
 - ✓ Llenar siempre los comentarios de las OT's, esta información es muy útil al planear el mantenimiento.

- Se recomienda ejecutar VAR-Calculator mínimo una vez al año para recoger información de los equipos que no poseían información suficiente a la fecha de realización de este estudio y para mantener seguimiento de los equipos

BIBLIOGRAFIA

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. Sizing, Selection, and Installation of Pressure-relieving Devices in Refineries Part I—Sizing and Selection. API 520. 8^a ed. Washington D.C: API Publishing Services, 2008. 148 p.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMALIZACION Y CERTIFICACION. Trabajos escritos: presentación y referencias bibliográficas. NTC 1486. Bogotá D.C: ICONTEC, 2008. 36 p.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMALIZACION Y CERTIFICACION. Trabajos escritos: presentación y referencias bibliográficas. NTC 5613. Bogotá D.C: ICONTEC, 2008. 33 p.

Mora, Alberto. Mantenimiento estratégico para empresas industriales o de servicios.1 ed. Medellín: AMG, noviembre, 2005. p. 17-159.

ANEXO A

PLAN DE MANTENIMIENTO PARA LAS VALVULAS DE SEGURIDAD DE POLIETILENO I

EQUIPO	BETA(R)	ETA	MTBF	DISPONIBILIDAD GENERICA	FASE	FRECUENCIA DE MTTO(Días)	RECOMENDACIÓN	OBSERVACIONES
V3E2209A	69.70139424	1477.01	1465.07105	0.993236388	Madurez	1465	1) Usar el mtbf calculado y considerar disminuir la frecuencia de mantenimientos después de la próxima inspección. 2) Se recomienda la posibilidad de aumentar la fecha entre mantenimientos usando el método probabilidades condicionales.	No presenta registro de fallas, Nuevo Tag V3E2209C, no registra en la 600
V1E2204	61.4171682	1054.38	1044.7472	0.989607936	Madurez	1054	1) Usar el mtbf calculado y considerar disminuir la frecuencia de mantenimientos después de la próxima inspección. 2) Se recomienda la posibilidad de aumentar la fecha entre mantenimientos usando el método probabilidades condicionales.	
V2E2203	7.726974472	1118.31	1051.36473	0.986091794	Madurez	1118	Se hace necesario cambiar la válvula debido a: - Tiene un repuesto subestandar y esta descontinuada. - Su diámetro de descarga es de 2 1/2" x 300 y su posición es horizontal.	
V2C2201	5.203131011	1002.71	922.773744	0.986765484	Envejecimiento	922	Se hace necesario cambiar la válvula debido a: - Tiene un repuesto subestandar y esta descontinuada. - Su diámetro de descarga es de 2 1/2" x 300 y su posición es horizontal.	-Esta válvula tiene alta criticidad ya que si no disparan, toca parar la planta o pueden dañar los compresores. -Ha sido reparada con repuestos no originales. -Presenta pase y esta obsoleta
V1C2202	4.891589872	915.233	839.27291	0.995884774	Envejecimiento	839	Se hace necesario cambiar la válvula debido a: - Tiene un repuesto subestandar y esta descontinuada. - Su diámetro de descarga es de 2 1/2" x 300 y su posición es horizontal.	-Esta válvula tiene alta criticidad ya que si no disparan, toca parar la planta o pueden dañar los compresores. -Ha sido reparada con repuestos no originales. -Presenta pase y esta obsoleta
V2C2202	3.59130516	635.862	572.904144	0.980762625	Envejecimiento	572	Se hace necesario cambiar la válvula debido a: - Tiene un repuesto subestandar y esta descontinuada. - Su diámetro de descarga es de 2 1/2" x 300 y su posición es horizontal.	-Esta válvula tiene alta criticidad ya que si no disparan, toca parar la planta o pueden dañar los compresores. -Ha sido reparada con repuestos no originales. -Presenta pase y esta obsoleta
V1E2209A	3.313624476	621.119	557.268623	0.978012313	Envejecimiento	621	Se recomienda cambio debido a que presenta una alta tasa de falla y un mtbf muy pequeño	

PLAN DE MANTENIMIENTO PARA LAS VALVULAS
DE SEGURIDAD DE POLIETILENO I

EQUIPO	BETA(R)	ETA	MTBF	DISPONIBILIDAD GENERICA	FASE	FRECUENCIA DE MTTO(Dias)	RECOMENDACIÓN	OBSERVACIONES
V1E2207A	3.229754177	1437.53	1288.10559	0.989973004	Madurez	1437	Se hace necesario cambiar la válvula debido a su orientación horizontal.	Su cambio se debe a razones externas al comportamiento presentado
V1E2206A	3.229754177	1437.53	1288.10559	0.989973004	Madurez	1437	Se hace necesario cambiar la válvula debido a su orientación horizontal.	Su cambio se debe a razones externas al comportamiento presentado
V6C2204	3.032757521	989.824	884.319124	0.986516854	Madurez	884	1) Usar el mtbf calculado y considerar disminuir la frecuencia de mantenimientos después de la próxima inspección 2) Se recomienda la posibilidad de aumentar la fecha entre mantenimientos usando el método probabilidades condicionales.	No presenta registro de fallas
V1E2208B	2.478144615	1037.86	920.658118	0.984135667	Madurez	920	1) Usar el mtbf calculado y considerar disminuir la frecuencia de mantenimientos después de la próxima inspección 2) Se recomienda la posibilidad de aumentar la fecha entre mantenimientos usando el método probabilidades condicionales.	No presenta registro de fallas
V1E2203	1.828875621	1017.32	904.026146	0.982578397	Madurez	1456	No es confiable recomendar ninguna frecuencia de mtto. Se recomienda usar la frecuencia previamente establecida por la empresa y espera a que hayan datos confiables en la base de datos.	Esta válvula presenta problemas de subreporte; las Ots después de 2002 han sido cargadas al intercambiador E2203
V3C2204	1.430891959	562.869	511.323632	0.976010101	Envejecimiento etapa I	511	Se recomienda cambio o reparación general que la deje como nueva.	
V2E2209A	1.324143438	587.81	540.936128	0.982573039	Envejecimiento etapa I	540	Se recomienda cambio o reparación general que la deje como nueva.	Se hizo una reparación que no la devolvió a la condición como nueva, mirar comenarios

PLAN DE MANTENIMIENTO PARA LAS VALVULAS
DE SEGURIDAD DE POLIETILENO I

EQUIPO	BETA(β)	ETA	MTBF	DISPONIBILIDAD GENERICA	FASE	FRECUENCIA DE MTTO(Días)	RECOMENDACIÓN	OBSERVACIONES
V1C2202C	1.280410757	1085.38	1005.58427	0.985769231	Madurez	1080	Se hace necesario cambiar la válvula debido a que su diámetro de descarga es de 2 1/2" x 150	
V9C2203	1.168213	733.179	694.650819	0.976408912	Madurez	695	Se recomienda usar el mtbf calculado y confirmarlo usando los resultados de la próxima inspección.	Ha presentado congelamiento no es claro por qué se llevo a cabo el ultimo mantenimiento. Se cree que el equipo esta en su fase de madurez
V1D2203	1.128999406	1046.49	1001.45036	0.988985051	Madurez	1046	Se hace necesario cambiar la válvula debido a que su diámetro de descarga es de 2 1/2" x 300 y su posición es horizontal.	
V10C2204	1.056953406	426.912	417.691746	0.968509985	Envejecimiento	NA	Se hace necesario cambiar la válvula debido a: - Presenta una alta tasa de fallas. - Su diámetro de descarga es de 2 1/2" x 300 y su posición es horizontal.	No es confiable recomendar una frecuencia de mantenimiento
V10C2203	1.000236572	238.213	238.189011	0.941529235	Envejecimiento	NA	Se hace necesario cambiar la válvula debido a: - Presenta una alta tasa de fallas. - Su diámetro de descarga es de 2 1/2" x 300 y su posición es horizontal.	No es confiable recomendar una frecuencia de mantenimiento
V1C2203	0.930232759	578.216	597.911182	0.981438515	Envejecimiento	597	Se recomienda cambio	-Es una válvula muy crítica ya que maneja presiones de 18000 psi -Ha presentado fallas continuas de pase ya que su disco ha sido lapeado muchas veces sin control alguno. Esto indica que ya perdió su sello. -Tiene repuestos subestandar
V2E2209B	0.911124739	974.983	1019.09269	0.979633401	Infantil	NA	Esta válvula fue cambiada	

PLAN DE MANTENIMIENTO PARA LAS VALVULAS
DE SEGURIDAD DE POLIETILENO I

EQUIPO	BETA(B)	ETA	MTBF	DISPONIBILIDAD GENERICA	FASE	FRECUENCIA DE MTTO(Dias)	RECOMENDACIÓN	OBSERVACIONES
V1E2205	0.75	948.842	1055.81747	0.978723404	NA	1064	Se recomienda usar el mtbf calculado y confirmarlo usando los resultados de la próxima inspección.	-Se confirmo problemas de subreporte ya que posee al menos una orden de trabajo cargada al intercambiador al cual pertenece la válvula. -Se recomienda investigar
V2C2204	0.81711759	997.618	1113.69806	0.979030144	Infantil	NA	No se pueden sacar conclusiones debido a que se encontró que posiblemente la válvula cambio de servicio sin ser reportado, se recomienda revisar en campo y si fue cambiada de servicio y en este caso retornarla a su posición original	
V1E2208A	0.804555258	1338.97	1510.94054	0.986781901	Madurez	1510	1) Usar el mtbf calculado y considerar disminuir la frecuencia de mantenimientos después de la próxima inspección 2) Se recomienda la posibilidad de aumentar la fecha entre mantenimientos usando el método probabilidades condicionales.	
V8C2203	0.79559363	487.239	554.242966	0.965004374	Envejecimiento	554	Tiene un problema de reporte sin embargo es necesario el cambio debido a que presenta fallas repetidas	
V1C2204	0.70465433	1031.94	1298.08071	0.984866123	Envejecimiento	1031	Es necesario el cambio debido ya que presenta fallas repetidas	
V1E2209B	0.701013405	382.658	483.71031	0.964179104	Infantil	NA	Esta válvula ya no existe debido a que el intercambiador de calor fue cambiado.	
V2E2205	0.698998687	583.319	739.388941	0.968382651	Madurez	740	Se hace necesario cambiar la válvula debido a que su diámetro de descarga de 2 1/2" x 300 y su posición es horizontal.	

PLAN DE MANTENIMIENTO PARA LAS VALVULAS
DE SEGURIDAD DE POLIETILENO I

EQUIPO	BETA(B)	ETA	MTBF	DISPONIBILIDAD GENERICA	FASE	FRECUENCIA DE MTTO(Dias)	RECOMENDACIÓN	OBSERVACIONES
V2C2203	0.687188477	980.654	1263.82747	0.980918728	Envejecimiento	1263	Debe ser cambiada por obsoleta y alta tasa de falla	
V102202	0.591142811	2251.7	3455.12269	0.993648777	NA	NA	Hay que hacer un estudio mas detallado. No se puede dar una fecha de reparaciones confiable	
V2E2204	0.279875234	1135.7	14629.7925	0.982175503	Envejecimiento	1456	Se hace necesario cambiar la válvula debido a que su diámetro de descarga es de 2 1/2" x 300 y su posición es horizontal.	Se hizo una reparación que no la devolvió a la condición como nueva

ANEXO B

PLAN DE MANTENIMIENTO PARA LAS VALVULAS DE SEGURIDAD DE POLIETILENO II

EQUIPO	BETA(B)	ETA	MTBF	DISPONIBILIDAD GENERICA	FASE	FRECUENCIA DE MTTO(Dias)	RECOMENDACIÓN	OBSERVACIONES
V1C2253	1.033655384	463.258	457.08159	0.973635806	Madurez	870	1) Usar el mtbf calculado y considerar disminuir la frecuencia de mantenimientos después de la próxima inspección. 2) Se recomienda la posibilidad de aumentar la fecha entre mantenimientos usando el método probabilidades condicionales.	Presenta un mtto correctivo bajo la descripción de calibración.
V1C2254A	4.107969408	695.249	631.133898	0.976875642	NA	728	Esta valvula fue cambiada ya que el compresor C2254 se replazo por uno nuevo a finales del 2008. Por esta razon se recomienda usar la frecuencia establecida por la empresa.	Se debe esperar a que hayan nuevos datos de reparaciones para realizar el estudio de confiabilidad.
V1C2254B	1.490586761	1442.08	1302.83773	0.987250319	NA	728	Esta valvula fue cambiada ya que el compresor C2254 se replazo por uno nuevo a finales del 2008. Por esta razon se recomienda usar la frecuencia establecida por la empresa.	Se debe esperar a que hayan nuevos datos de reparaciones para realizar el estudio de confiabilidad.
V1C2255A	0.781269682	657.14	757.615286	0.984008166	NA	728	Esta valvula fue cambiada ya que el compresor C2255 se replazo por uno nuevo a finales del 2008. Por esta razon se recomienda usar la frecuencia establecida por la empresa.	Se debe esperar a que hayan nuevos datos de reparaciones para realizar el estudio de confiabilidad.
V1C2255B	0.421534203	734.827	2126.96915	0.969991547	NA	728	Esta valvula fue cambiada ya que el compresor C2255 se replazo por uno nuevo a finales del 2008. Por esta razon se recomienda usar la frecuencia establecida por la empresa.	Se debe esperar a que hayan nuevos datos de reparaciones para realizar el estudio de confiabilidad.
V1C2256	2.021335393	1137.01	1007.46397	0.985721571	NA	728	Esta valvula fue cambiada ya que el compresor C2256 se replazo por uno nuevo a finales del 2008. Por esta razon se recomienda usar la frecuencia establecida por la empresa.	Se debe esperar a que hayan nuevos datos de reparaciones para realizar el estudio de confiabilidad.
V1C2257	0.367863484	875.556	3731.10226	0.985915493	NA	728	Esta valvula fue cambiada ya que el compresor C2257 se replazo por uno nuevo a finales del 2008. Por esta razon se recomienda usar la frecuencia establecida por la empresa.	Se debe esperar a que hayan nuevos datos de reparaciones para realizar el estudio de confiabilidad.

PLAN DE MANTENIMIENTO PARA LAS VALVULAS
DE SEGURIDAD DE POLIETILENO II

EQUIPO	BETA(β)	ETA	MTBF	DISPONIBILIDAD GENERICA	FASE	FRECUENCIA DE MTTO(Dias)	RECOMENDACIÓN	OBSERVACIONES
V1C2258	0.367863484	875.556	3731.10226	0.985915493	NA	728	Esta válvula fue cambiada ya que el compresor C2258 se replazo por uno nuevo a finales del 2008. Por esta razon se recomienda usar la frecuencia establecida por la empresa.	Se debe esperar a que hayan nuevos datos de reparaciones para realizar el estudio de confiabilidad.
V1C2259A	1.476616246	1437.47	1300.21806	0.987190436	NA	728	Se debe esperar a que hayan nuevos datos de reparaciones para realizar el estudio de confiabilidad.	
V1D2252	1.470934241	1440.87	1303.94485	0.987212276	Madurez	1303	Se recomienda planear el mtto según el mtbf calculado	Se recomienda hacer un estudio al sistema de informacion ya que puede presentar subreporte.
V1D2253	2.306259525	1146.29	1015.54637	0.984992496	Envejecimiento	757	Se hace necesario cambiar la válvula debido a: - Su set de disparo no es confiable. - Presenta pase. - Su diámetro de descarga es de 2 1/2" x 300.	
V1D2254B	2.245217768	999.17	884.982076	0.982837529	Madurez	2127	Se hace necesario cambiar la válvula debido a que su diámetro de descarga es de 2 1/2" x 150.	
V1D2254C	1.602072499	1121.47	1005.36422	0.986155485	Madurez	1007	Se hace necesario cambiar la válvula debido a que su diámetro de descarga es de 2 1/2" x 300.	
V1D2256B	1.324143438	587.81	540.936128	0.982573039	Madurez	1456	Se hace necesario cambiar la válvula debido a que su diámetro de descarga es de 2 1/2" x 150.	

**PLAN DE MANTENIMIENTO PARA LAS VALVULAS
DE SEGURIDAD DE POLIETILENO II**

EQUIPO	BETA(B)	ETA	MTBF	DISPONIBILIDAD GENERICA	FASE	FRECUENCIA DE MTTO(Dias)	RECOMENDACIÓN	OBSERVACIONES
V1D2265B	1.476616246	1437.47	1300.21806	0.987190436	Madurez	1300	1) Se recomienda el cambio de esta válvula ya que es de acero al carbono y toda la línea es de acero inoxidable. 2) Antes de que se pueda efectuar el cambio de este equipo, se recomienda realizar los mantenimientos usando el mtbf calculado.	1) El mtto de esta válvula solo puede ser realizado durante parada de planta. 2) El material de la válvula es inapropiado para el servicio.
V1D2265C	1.470934241	1440.87	1303.94485	0.987212276	Madurez	1300	1) Se recomienda el cambio de esta válvula ya que es de acero al carbono y toda la línea es de acero inoxidable. 2) Antes de que se pueda efectuar el cambio de este equipo, se recomienda realizar los mantenimientos usando el mtbf calculado.	El mtto de esta válvula solo puede ser realizado durante parada de planta. El material de la válvula es inapropiado para el servicio.
V1D2268A	2.306259525	1146.29	1015.54637	0.984992496	Madurez	NA	Esta válvula esta fuera de servicio.	
V1D2268B	2.245217768	999.17	884.982076	0.982837529	Madurez	NA	Esta válvula esta fuera de servicio.	
V1D52276A	1.602072499	1121.47	1005.36422	0.986155485	Madurez	726	1) Se hace necesario cambiar la válvula debido a que su diámetro de descarga es de 2 1/2" x 150. 2) Faltan datos para confirmar el desempeño de este equipo. Por esta razon se recomienda continuar con la frecuencia de mantenimientos establecida por la empresa y repetir el estudio en la proxima inspeccion cuando hayan mas datos.	
V1E2253A	0.591117566	1022.58	1569.19504	0.983310153	Envejecimiento	1456	Se recomienda cambio debido a que se encuentra en la ultima fase de envejecimiento.	
V1E2253B	0.79036581	596.046	681.283522	0.974736842	Envejecimiento	1456	Se recomienda cambio debido a que se encuentra en la ultima fase de envejecimiento.	

PLAN DE MANTENIMIENTO PARA LAS VALVULAS
DE SEGURIDAD DE POLIETILENO II

EQUIPO	BETA(B)	ETA	MTBF	DISPONIBILIDAD GENERICA	FASE	FRECUENCIA DE MTTO(Dias)	RECOMENDACIÓN	OBSERVACIONES
V1E2254A	0.705950316	1451.2	1822.324	0.987547893	NA	1456	El ingeniero de la planta reportó una alta tasa de que no ha sido reportada en Ellipse. El cambio de la válvula es mas economico que el lucro sesante causado por la eventual falla de esta.	
V1E2255A	1.396343451	1551.88	1414.99983	0.989991994	NA	1456	El ingeniero de la planta reportó una alta tasa de que no ha sido reportada en Ellipse. El cambio de la válvula es mas economico que el lucro sesante causado por la eventual falla de esta.	
V1E2255B	1.41081149	1549.21	1410.30159	0.989991994	NA	1456	El ingeniero de la planta reportó una alta tasa de que no ha sido reportada en Ellipse. El cambio de la válvula es mas economico que el lucro sesante causado por la eventual falla de esta.	
V1E2257A	1.19	977.7	920	0.983463339	MADUREZ	978	El ingeniero de la planta reportó una alta tasa de que no ha sido reportada en Ellipse. El cambio de la válvula es mas economico que el lucro sesante causado por la eventual falla de esta.	
V1E2257B	0.939	980	1009.29	0.985212569	Madurez	978	El ingeniero de la planta reportó una alta tasa de que no ha sido reportada en Ellipse. El cambio de la válvula es mas economico que el lucro sesante causado por la eventual falla de esta.	
V1LP 204 3	8.929140647	861.874	815.871902	0.982727814	Madurez	672	Se recomienda seguir usando la frecuencia establecida por la empresa y esperar a que hayan mas datos para realizar un estudio confiable.	
V1LP-208-2	0.453488502	1066.96	2599.55897	0.982112436	Envejecimiento	672	Se recomienda cambio debido a su alta tasa de fallas. Este comportamiento indica que se encuentra en la ultima fase de la etapa de envejecimiento	

PLAN DE MANTENIMIENTO PARA LAS VALVULAS
DE SEGURIDAD DE POLIETILENO II

EQUIPO	BETA(B)	ETA	MTBF	DISPONIBILIDAD GENERICA	FASE	FRECUENCIA DE MTTO(Dias)	RECOMENDACIÓN	OBSERVACIONES
V1SE2254	0.637138089	879.721	1229.47494	0.977711738	Envejecimiento	1456	Debe ser cambiada por obsoleta y alta tasa de falla	No se le ha realizado mtto preventivo desde el 2004. El ingeniero de la planta reporta que la válvula presenta un funcionamiento sin fallas y por esto se recomienda usar la frecuencia establecida por ecopetrol y realizar el estudio de confiabilidad cuando hayan datos disponibles.
V2C2253	13.07420903	825.044	793.083302	0.981606376	NA	1456	Se recomienda seguir con la misma frecuencia de reparación y dependiendo de los resultados de la proxima reparacion, mirar si se puede incrementar realizando el estudio de confiabilidad.	Hay que hacer un estudio mas detallado. No se puede dar una fecha de reparaciones confiable.
V2C2255A	10.83812873	714.972	682.450838	0.978672986	NA	1456	Se recomienda seguir con la misma frecuencia de reparación y dependiendo de los resultados de la proxima reparacion, mirar si se puede incrementar realizando el estudio de confiabilidad.	Existe la posibilidad de haya subreporte ya que el ultimo mantenimiento se reporto en Julio del 2004.
V2C2257	2.281841056	684.626	606.469048	0.975257732	NA	728	Esta valvula fue cambiada ya que el compresor C2257 se replazo por uno nuevo a finales del 2008. Por esta razon se recomienda usar la frecuencia establecida por la empresa.	Es probable que la válvula tenga un Tag nuevo.
V2C2258	1.002014244	619.853	619.326915	0.976019185	NA	728	Esta valvula fue cambiada ya que el compresor C2258 se replazo por uno nuevo a finales del 2008. Por esta razon se recomienda usar la frecuencia establecida por la empresa.	Es probable que la válvula tenga un Tag nuevo.
V2C2259A	2.868047496	843.869	752.130242	0.980237154	NA	728	Esta valvula fue cambiada ya que el compresor C2259 se replazo por uno nuevo a finales del 2008. Por esta razon se recomienda usar la frecuencia establecida por la empresa.	Es probable que la válvula tenga un Tag nuevo.
V2D2251	0.648210234	1116.88	1530.65533	0.984940491	Madurez	728	Se recomienda continuar con la misma frecuencia de mtto y estudiar la posibilidad de aumentar las fechas de acuerdo con la siguiente inspeccion y los nuevos calculos de confiabilidad.	El ingeniero de la planta reportó que la válvula no ha presentado fallas. Los ordenes de trabajo fueron realizadas debido a intervenciones del equipo (drum D2251) al cual esta asociado.

**PLAN DE MANTENIMIENTO PARA LAS VALVULAS
DE SEGURIDAD DE POLIETILENO II**

EQUIPO	BETA(B)	ETA	MTBF	DISPONIBILIDAD GENERICA	FASE	FRECUENCIA DE MTTO(Dias)	RECOMENDACIÓN	OBSERVACIONES
V2D2251	0.648210234	1116.88	1530.65533	0.984940491	Madurez	728	Se recomienda continuar con la misma frecuencia de mtto y estudiar la posibilidad de aumentar las fechas de acuerdo con la siguiente inspeccion y los nuevos calculos de confiabilidad.	El ingeniero de la planta reportó que la válvula no ha presentado fallas. Los ordenes de trabajo fueron realizdas debido a intervenciones del equipo (drum D2251) al cual esta asociado.
V2D2252	1.618867505	1074.36	962.233	0.983273924	Madurez	728	Se recomienda continuar con la misma frecuencia de mtto y estudiar la posibilidad de aumentar las fechas de acuerdo con la siguiente inspeccion y los nuevos calculos de confiabilidad.	El ingeniero de la planta reportó que la válvula no ha presentado fallas. Los ordenes de trabajo fueron realizdas debido a intervenciones del equipo (drum D2252) al cual esta asociado.
V2E2253A	0.906303932	908.144	951.925084	0.982292637	Madurez	1456	Se recomienda continuar con la misma frecuencia de mtto y estudiar la posibilidad de aumentar las fechas de acuerdo con la siguiente inspeccion y los nuevos calculos de confiabilidad.	El ingeniero de la planta reportó que la válvula no ha presentado fallas. Los ordenes de trabajo fueron realizdas debido a intervenciones del equipo (E2253A) al cual esta asociado.
V2E2253B	1.801952971	732.741	651.582806	0.976706827	Madurez	1456	Se recomienda continuar con la misma frecuencia de mtto y estudiar la posibilidad de aumentar las fechas de acuerdo con la siguiente inspeccion y los nuevos calculos de confiabilidad.	El ingeniero de la planta reportó que la válvula no ha presentado fallas. Los ordenes de trabajo fueron realizdas debido a intervenciones del equipo (drum E2253B) al cual esta asociado.
V2E2257A	1.2	886.71	832.72	0.972286374	Madurez	832	1) Usar el mtbf calculado y considerar disminuir la frecuencia de mantenimientos después de la próxima inspección. 2) Se recomienda la posibilidad de aumentar la fecha entre mantenimientos usando el método probabilidades condicionales.	
V3C2257	0.83506663	1261.6	1388.15779	0.983957219	NA	726	Esta valvula fue cambiada ya que el compresor C2257 se replazo por uno nuevo a finales del 2008. Por esta razon se recomienda usar la frecuencia establecida por la empresa.	
V3C2258	1.338788265	538.405	494.455935	0.97489083	NA	726	Esta valvula fue cambiada ya que el compresor C2258se replazo por uno nuevo a finales del 2008. Por esta razon se recomienda usar la frecuencia establecida por la empresa.	

PLAN DE MANTENIMIENTO PARA LAS VALVULAS
DE SEGURIDAD DE POLIETILENO II

EQUIPO	BETA(B)	ETA	MTBF	DISPONIBILIDAD GENERICA	FASE	FRECUENCIA DE MTTO(Dias)	RECOMENDACIÓN	OBSERVACIONES
V3D2251	0.509848983	892.504	1723.00095	0.987136732	Madurez	1000	Se recomienda usar como periodo para mitto preventivo el mtbf puntual (1000) y estudiar la posibilidad de incrementar dicho periodo según los resultados de la proxima inspeccion.	