

EVALUACIÓN, ANÁLISIS Y PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN DE LA
ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO DE TURBINAS DE PROPÓSITO GENERAL
DEL DEPARTAMENTO DE REFINACIÓN DE CRUDOS
DE GRB. PARA LA EMPRESA ECOPETROL S.A.

JUAN EDUARDO RODRIGUEZ RIOS

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

2010

i

EVALUACIÓN, ANÁLISIS Y PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN DE LA
ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO DE TURBINAS DE PROPÓSITO GENERAL
DEL DEPARTAMENTO DE REFINACIÓN DE CRUDOS
DE GRB. PARA LA EMPRESA ECOPETROL S.A.

JUAN EDUARDO RODRIGUEZ

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

Director: SERGIO FERNANDO AMAYA
Ingeniero Electricista
Especialista en Gerencia de Mantenimiento

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

2010

ii

AGRADECIMIENTOS

Durante esta especialización expreso mis agradecimientos a:

ECOPETROL S.A., y sus directivos por el apoyo brindado durante la especialización para alcanzar mi desarrollo profesional y personal.

La Universidad Industrial de Santander y sus docentes, por la transferencia de conocimiento a través de las diferentes asignaturas.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
1. DESCRIPCION DE LA EMPRESA	3
2. TURBINA DE VAPOR	6
2.1 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO	6
2.2 TIPOS DE TURBINAS	7
2.3 TURBINAS DE PROPOSITO GENERAL	10
3. MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD RCM	10
3.1 LAS 7 PREGUNTAS DEL RCM	11
3.1.1 Función	11
3.1.2 Modos de falla	11
3.1.3 Causa de falla	12
3.1.4 Qué pasa cuando ocurre la falla	12
3.1.5 Cuáles son las consecuencias	13
3.1.6 Prevención, predicción y mitigación de consecuencias	13
3.1.7 Qué pasa si no existe tareas predictivas ni preventivas para evitar la falla	16
4. INDICADORES DE MANTENIMIENTO	17
4.1 DEFINICIONES DE TIEMPO MEDIO ENTRE FALLAS DE UN ACTIVO	17
5. CONFIABILIDAD	19
6. TASA DE FALLA	20
7. DISPONIBILIDAD	21
8. MANTENIBILIDAD	23
9. DEFINICION DE FALLA	25
10. ANALISIS DE LA ESTRATEGIA ACTUAL	26
11. REVISIÓN DE HISTÓRICOS DE MANTENIMIENTO	27

12. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN	30
12.1. CALCULO DE DISPONIBILIDAD	33
12.2. CALCULO DE MANTENIBILIDAD	34
12.3. CALCULO DE CONFIABILIDAD	35
12.4. ANALISIS DE LOS MODOS DE FALLA	37
12.5 ANALISIS DE LOS TMEF	40
12.6 ANALISIS DE LOS MTTR	41
12.7 ANALISIS DE LOS TMEM	42
12.8 ANALISIS DE LA DISPONIBILIDAD	42
13. ANALISIS RCM DE LAS TURBINAS DE PROPÓSITO GENERAL DE REFINACIÓN DE CRUDOS	43
13.1RCM TURBINA DE VAPOR MONTADA SOBRE CHUMACERAS	44
13.1.1 Contexto operacional	44
13.1.2 Función	46
13.1.3 Fallas Funcionales	46
13.1.4 Modos de Falla	47
13.1.5 Mitigación de consecuencias	50
13.2 RCM TURBINA DE VAPOR MONTADA SOBRE RODAMIENTOS	50
13.2.1 Contexto operacional	50
13.2.2 Función	53
13.2.3 Fallas Funcionales	53
13.2.4 Modos de Falla	53
13.2.5 Mitigación de consecuencias	57
14. ANALISIS DE COSTOS DE UN MANTENIMIENTO PREVENTIVO	57
15. PROPUESTA DE TAREAS DE MANTENIMIENTO	58
15.1 FRECUENCIA ANUAL PARA TODAS LAS TURBINAS DE RODAMIENTOS	58
15.2 TURBINAS DE RODAMIENTOS A REALIZAR MANTENIMIENTO CADA 24 MESES	59
15.3 TURBINAS DE RODAMIENTOS A REALIZAR MANTENIMIENTO	60

CADA 36 MESES	
15.4 FRECUENCIA ANUAL PARA TODAS LAS TURBINAS DE CHUMACERAS	61
15.5 TURBINAS DE CHUMACERAS A REALIZAR MANTENIMIENTO CADA 12 MESES	62
15.6 TURBINAS DE CHUMACERAS A REALIZAR MANTENIMIENTO CADA 24 MESES	63
15.7 TURBINAS DE CHUMACERAS A REALIZAR MANTENIMIENTO CADA 36 MESES	64
16. ANALISIS DE LOS COSTOS DE MANTENIMIENTO DE LA NUEVA ESTRATEGIA	65
CONCLUSIONES	69
BIBLIOGRAFIA	72

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Vista general del departamento de refinación de crudos de la GRB	4
Figura 2. Proceso de refinación de crudos en refinería de Barrancabermeja	5
Figura 3. Trabajo en una turbina de impulsión	8
Figura 4. Etapa tipo Curtis	9
Figura 5. Etapa tipo Rateau	9
Figura 6. Curva IPF	12
Figura 7. Matriz RAM de Ecopetrol S.A.	13
Figura 8. Relación de probabilidad de falla y edad de los componentes	14
Figura 9. Proceso de planeación orden de trabajo preventiva	28
Figura 10. Proceso de planeación orden de trabajo preventiva	29
Figura 11. Histórico de mantenimiento de una turbina en Ellipse	31
Figura 12. Operación en el tiempo de la turbina	33
Figura 13. Modos de falla de las turbinas	38
Figura 14. Turbina de vapor de propósito general montada sobre chumaceras	45
Figura 15. Turbina de vapor de propósito general montada sobre rodamientos	52
Figura 16. Costos de mantenimiento de la estrategia actual en seis años	68
Figura 17. Costos anuales durante 6 años con la estrategia propuesta	68

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Distribución de tiempos de operación de un activo	19
Tabla 2. Relación de fallas en análisis de confiabilidad y disponibilidad	25
Tabla 3. Tareas de mantenimiento estándar para turbina de rodamientos.	26
Tabla 4. Tareas de mantenimiento estándar para turbina de chumaceras.	27
Tabla 5. Distribución de turbinas por planta	30
Tabla 6. Clasificación de ordenes de trabajo por tipo de mantenimiento	32
Tabla 7. Resultados de cálculos de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad de cada equipo	36
Tabla 8. Resultados análisis TMEF	40
Tabla 9. Resultados TMEF de rodamientos y chumaceras	41
Tabla 10. Resultados análisis TMEM	42
Tabla 11. Disponibilidad operacional e intrínseca promedio	43
Tabla 12. Resultados RCM turbina de chumaceras	48
Tabla 13. Tareas propuestas a realizar RCM turbina de chumaceras	49
Tabla 14. Resultados RCM turbina de rodamientos	55
Tabla 15. Tareas propuestas a realizar RCM turbina de rodamientos	56
Tabla 16. Costo mantenimiento anual preventivo en turbinas de chumaceras	57
Tabla 17. Costo mantenimiento anual preventivo en turbinas de rodamientos	58
Tabla 18. Frecuencia anual para turbinas de rodamientos	58
Tabla 19. Equipos a realizar mantenimiento cada 24 meses	59
Tabla 20. Tareas de frecuencia cada 24 meses para turbinas de rodamientos	59
Tabla 21. Equipos a realizar mantenimiento cada 36 meses	60
Tabla 22. Tareas de frecuencia cada 36 meses para turbinas de rodamientos	60
Tabla 23. Tareas de frecuencia anual para turbinas de chumaceras	61

Tabla 24. Equipos a realizar mantenimiento cada 12 meses	62
Tabla 25. Tareas de frecuencia cada 12 meses para turbinas de chumaceras	62
Tabla 26. Equipos a realizar mantenimiento cada 24 meses	63
Tabla 27. Tareas de frecuencia cada 24 meses para turbinas de chumaceras	63
Tabla 28. Equipos a realizar mantenimiento cada 36 meses	64
Tabla 29. Tareas de frecuencia cada 36 meses para turbinas de chumaceras	64
Tabla 30. Costos de mantenimiento en seis años	65

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Resultados documentación historial por equipo	73

RESUMEN

TÍTULO:

EVALUACIÓN, ANÁLISIS Y PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO DE TURBINAS DE PROPÓSITO GENERAL DEL DEPARTAMENTO DE REFINACIÓN DE CRUDOS DE GRB. PARA LA EMPRESA ECOPETROL S.A. *

AUTOR:

JUAN EDUARDO RODRIGUEZ RIOS**

PALABRAS CLAVES:

Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM), Turbina de vapor, normas API, normas ISO, Tareas de mantenimiento, Confiabilidad.

DESCRIPCIÓN:

En un marco global exigente marcado por la competencia para lograr los mejores rendimientos a menor costo, dentro de la visión general de las empresas empieza a ser evaluado con mayor detalle el proceso de mantenimiento, pues a este se destina gran parte de los presupuestos. Es allí donde los ingenieros de mantenimiento deben procurar enfocar sus esfuerzos en la búsqueda de nuevas tendencias y estrategias para maximizar los ingresos de la compañía.

En el presente trabajo se diseña la estrategia para realizar el mejor mantenimiento en las turbinas de propósito general del departamento de refinación de crudos de la refinería de Barrancabermeja de Ecopetrol S.A.

El trabajo lleva al lector a través de un análisis del tipo de turbinas bajo la luz de las normas internacionales de la industria del petróleo API, ISO e históricos de mantenimientos propios de los equipos analizados a interpretar mediante un análisis de mantenimiento centrado en la confiabilidad cuales son los componentes críticos y a definir la mejor estrategia para asegurar una operación confiable de los activos, mediante la implementación de tareas realizadas por los actores que interactúan con el mantenimiento del activo, operadores, mecánicos e ingenieros.

De esta forma se plantea de acuerdo al estado actual de los equipos y las normas internacionales, cual es la mejor forma de optimizar la estrategia de mantenimiento que la empresa actualmente tiene definida para estos equipos, el planteamiento es basado en diferentes enfoques, la seguridad de las personas, seguridad de procesos, costos, imagen y medio ambiente.

* Monografía

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director: Ing. Sergio Fernando Amaya,

SUMMARY

TÍTULO:

EVALUATION, ANALYSIS AND OPTIMIZATION OF THE MAINTENANCE STRATEGY OF GENERAL PURPOSE STEAM TURBINES FROM THE CRUDE OIL REFINING DEPARTMENT FROM GRB OF ECOPETROL S.A. *

AUTOR:

JUAN EDUARDO RODRIGUEZ RIOS**

PALABRAS CLAVES:

Reliability centered maintenance (RCM), Steam turbine, Standard API, Standard ISO, maintenance task, reliability.

DESCRIPTION:

In a global framework demanding marked by the competition for the best yields at lower cost, within the overall vision of the companies they begins to be evaluated in greater detail the maintenance process, because this is intended largely to the budgets. This is where the maintenance engineers should been focusing their efforts in the search for new trends and strategies to maximize revenues of the company.

In this monograph is designed the strategy to make the best maintenance in general purpose turbines of the crude oil refining department in the Barrancabermeja´s refinery of Ecopetrol.S.A.

This monograph takes the reader trough an analysis of the type of turbines since the international standards view like API and ISO. But the analysis is not only from the standards but also it takes a count the historical maintenance data from the equipment to interpret by means of reliability centered analysis which are the critical components and to define the best strategy to assurance a continuous an reliable operation of the assets, by the implementation of task done by the people that interact with the maintenance of the asset, like operators, mechanics and engineers.

Thus arises according the actual condition of the assets which is the best way to improve the maintenance strategy that the company already has, the approach is based in different points of view, the people safety, the process safety, cost, company image and environment

* Monograph

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director: Ing. Sergio Fernando Amaya,

INTRODUCCIÓN

En un país donde la globalización genera grandes retos para la industria en mantener procesos vigentes y rentables, las empresas buscan aumentar sus ingresos a todo nivel, una de las formas de incrementar los ingresos es revisar al interior de la empresa los costos globales de toda su operación, verificar los costos necesarios y ajustar los innecesarios.

En este marco global el proceso de mantenimiento juega un papel muy importante, pues a este se destina gran parte de los presupuestos de las empresas. Es allí donde los ingenieros de mantenimiento deben procurar enfocar sus esfuerzos en la búsqueda de nuevas tendencias y estrategias para maximizar los ingresos de la compañía.

Las turbinas de vapor de propósito general se utilizan en la industria en múltiples aplicaciones generalmente como equipos de respaldo ante fallas eléctricas, o mecánicas de los equipos principales. En la industria de la refinación de hidrocarburos se hacen crítica su disponibilidad en el momento de requerir ponerlas en servicio, esto debido a los altos costos de los hidrocarburos y los bajos márgenes de ganancia del proceso de refinación actual, que no permite parar una planta debido a los altos costos asociados al lucro cesante de tener la planta fuera de servicio.

Por tal motivo se realiza esta monografía para optar por el título de “Especialista en gerencia de mantenimiento”. La cual estudia el estado actual del mantenimiento de las turbinas de propósito general del departamento de refinación de crudos de la refinería de Ecopetrol en la ciudad de Barrancabermeja, revisa a la luz de las estrategias de mantenimiento, la mejor forma de mantener y optimizar la

confiabilidad de estos equipos desde diferentes enfoques, la seguridad de las personas, seguridad de procesos, costos, imagen y medio ambiente.

1. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

Ecopetrol S.A. es una Sociedad de Economía Mixta, de carácter comercial, organizada bajo la forma de sociedad anónima, del orden nacional, vinculado al Ministerio de Minas y Energía de Colombia¹. Es una empresa dedicada a la exploración, producción, transporte, refinación y comercialización de hidrocarburos.

Se encuentra dividida en dos vicepresidencias, una se encarga de administrar los recursos derivados de la exploración y producción, llamada vicepresidencia del upstream y la otra se encarga de administrar los recursos derivados del transporte, la refinación y la comercialización de los derivados del petróleo llamada vicepresidencia del downstream.

Dentro de la vicepresidencia de downstream se encuentra la vicepresidencia de refinación que se encarga de refinar el crudo que llega a las refinerías de Cartagena y Barrancabermeja.

La vicepresidencia de refinación está dividida en dos gerencias; la gerencia refinería de Cartagena GRC y la gerencia refinería de Barrancabermeja GRB.

La GRB tiene 42 plantas de proceso, 5 de las cuales son las encargadas de recibir el crudo y realizar la destilación donde se obtienen los derivados primarios del crudo procesado.

Estas plantas son administradas por el departamento de refinación de crudos, lugar donde se realiza la investigación acerca del mantenimiento de las turbinas de propósito general, tema de esta monografía.

¹ Referencia de internet: <http://www.ecopetrol.com.co>

El departamento de refinación de crudos lo componen cinco plantas de destilación atmosférica y al vacío U150; U200; U250; U2000 y U2100, donde se tiene implementada la estrategia de mantenimiento preventivo de turbinas de vapor de propósito general. Ver figura 1.

Figura 1. Vista general del departamento de refinación de crudos de la GRB



La población del equipo de bombeo del departamento es de 263 de los cuales 59 son movidos por turbinas de vapor de propósito general.

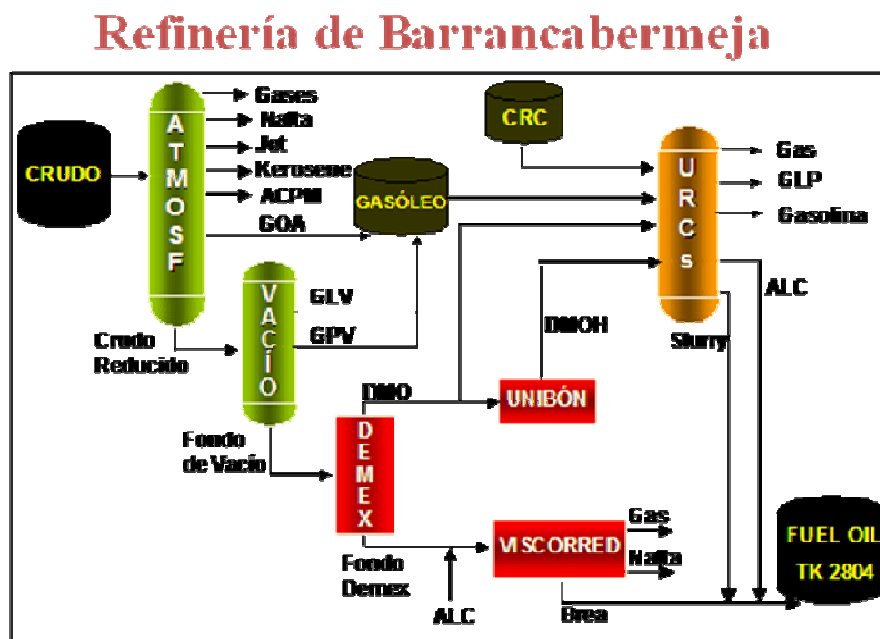
Se plantea la revisión de la estrategia a la luz de la factibilidad de las tareas, su definición, procedimiento y eficiencia de ejecución.

El alcance del proyecto es evaluar la estrategia de mantenimiento en una población de 59 turbinas de acuerdo al modelo y clase de equipo, analizar las

tareas de mantenimiento que se están ejecutando y proponer una optimización a la estrategia actual.

El proceso de refinación de crudos empieza cuando un barril de petróleo entra en las unidades de destilación atmosférica, donde se extraen productos como los gases, la nafta, el jet y el ACPM. El crudo que queda en el fondo de la torre de este proceso es enviado a una unidad de destilación al vacío, donde se termina de extraer otros productos valiosos como ACPM y gasóleos de carga a otras unidades. El esquema del proceso se observa en la figura 2.

Figura 2. Proceso de refinación de crudos en la refinería de Barrancabermeja.



El margen bruto de refinación es la cantidad de ingresos por cada barril refinado, las plantas de refinación de crudos producen el 60% del margen bruto de la refinería, el 40% restante se obtiene de los productos de los procesos aguas debajo de la refinería. De allí la importancia del estudio realizado de la estrategia de mantenimiento de turbinas de propósito general de este departamento.

2. TURBINA DE VAPOR

Una turbina de vapor es una unidad de potencia que produce trabajo a través del aprovechamiento de la energía de una fuente de alimentación continua de vapor. El vapor es entregado a alta presión en la admisión de la turbina y es exhostado a baja presión. La forma en la que ocurre el proceso de caída de presión en la turbina es una característica de diseño particular según el tipo de turbina. (T.D. EASTOP, 1986, 372).

La turbina a vapor convierte la energía térmica del vapor en energía mecánica en el eje de la misma (trabajo).

El trabajo mecánico es transmitido a la máquina conducida para ser convertido en otra forma de energía. (SEMTEC, Seminario de turbinas a vapor, noviembre 2009)

2.1 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

Un chorro de vapor tiene un momento (masa x velocidad) lo cual es una magnitud de un vector. Un cambio en la magnitud de la masa o la velocidad o un cambio en la dirección de la velocidad produce un cambio en el momento, la fuerza necesaria para causar este cambio según la segunda ley de Newton es proporcional a la cantidad de cambio de momento. Los alabes en la rueda de una turbina causan el cambio de dirección del chorro de vapor suministrado.

La fuerza requerida para producir el cambio en el momento del chorro la proveen los alabes que se encuentran fijos a la rueda de tal forma que la fuerza tangencial que es aplicada continuamente a la rueda, entrega un torque constante de salida en el rotor. (T.D. EASTOP, 1986, 373).

2.2 TIPOS DE TURBINAS

Las turbinas se clasifican según la forma de aprovechar la energía disponible del vapor. Existen dos tipos de turbinas las turbinas de reacción y las turbinas de impulsión.

En las turbinas de reacción el vapor se expande tanto en los alabes estacionarios como en los rotativos. Los alabes rotativos son diseñados tanto para utilizar la cantidad de movimiento de la energía del chorro de vapor como para actuar como toberas.

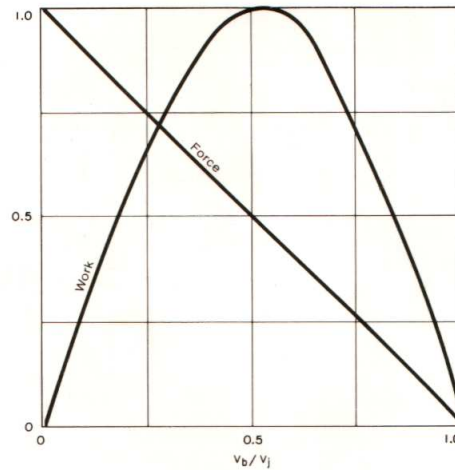
Dado que los alabes rotantes son en realidad toberas rotantes la caída de presión en los mismos da origen a una fuerza la cual se suma a la fuerza de impacto originada por el chorro de vapor. La suma de estas dos fuerzas produce la rotación del eje. (SEMTEC, Seminario de turbinas a vapor, noviembre 2009)

En una turbina de impulsión, el vapor suministrado a la rueda se expande completamente en las toberas quedando con una alta velocidad absoluta.

La turbina de impulsión idealmente no tiene caída de presión en los alabes rotantes. La energía del vapor es transferida totalmente a los alabes por el impacto o cantidad de movimiento de los chorros de vapor.

La fuerza es máxima sobre el rotor cuando se encuentra detenido, el trabajo es maximizado cuando la velocidad de rotación del rotor es la mitad de la del chorro de vapor, como se muestra en la figura 3.

Figura 3. Trabajo en una turbina de impulsión

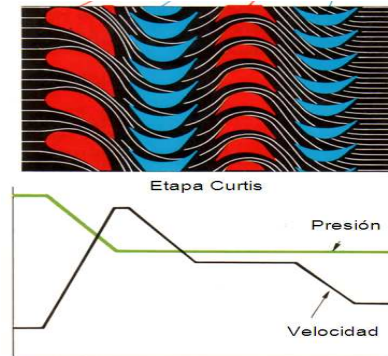


Las turbinas de impulsión tienen dos tipos de etapas que se clasifican según la forma en la que la energía del vapor es utilizada. Se dividen en etapa tipo Curtis y etapa tipo Rateau.

La etapa Curtis tiene dos filas de alabes rotantes, las toberas estacionarias direccionan el flujo de vapor hacia la primera rueda, los alabes estacionarios fijos en la carcasa redireccionan el vapor hacia la siguiente hilera de alabes.

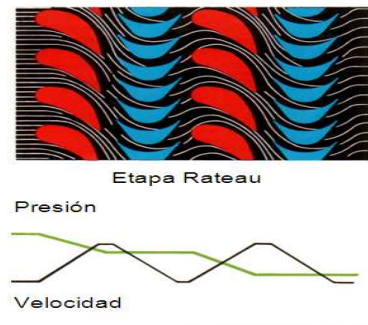
La caída de presión que se realiza en la tobera produce alta velocidad cambiando cabeza de presión por cabeza de velocidad en el chorro de vapor. La alta velocidad del vapor es reducida en las etapas siguientes de presión constante, mostrado en la figura 4.

Figura 4. Etapa tipo Curtis



En una etapa Rateau la energía térmica del vapor es convertida en trabajo por las toberas estacionarias (diafragmas) que direccionan el vapor contra una fila de álabes rotantes. Al igual que en una etapa Curtis, en las toberas estacionarias se producen caídas de presión, mostrado en la figura 5.

Figura 5. Etapa tipo Rateau



2.3 TURBINAS DE PROPOSITO GENERAL

Las turbinas de propósito general son turbinas horizontales o verticales usadas para mover equipos que se encuentran normalmente como respaldo, las cuales tienen una potencia relativamente baja y no se ubican en servicios críticos. Son usadas bajo condiciones de vapor inferiores a 700PSI y temperaturas de máximo 750 F. o donde la velocidad no excede 6000 RPM. (API, API STANDARD 611, 4ª edición, Junio 1997).

Las turbinas del departamento de crudos analizadas en el documento cumplen con la definición de turbina de propósito general según la norma API 611 4ª edición²

3. MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD RCM

El mantenimiento centrado en confiabilidad RCM, es una estrategia de mantenimiento creada en la década de 1950, donde se estudian todos los modos y causas de falla de los activos de una planta desde las perspectivas del ambiente, las personas, la economía y en la operación misma del negocio. Del estudio del riesgo y la probabilidad de falla cada elemento se obtiene el mejor tipo de mantenimiento a realizar o no realizarlo, para cada caso específico.

² API, API STANDARD 611, 4ª edición, Junio 1997

El proceso RCM se realiza en un taller rodeado de especialistas de cada tema, con la ayuda de un facilitador que guía al auditorio en la metodología. El proceso está compuesto de siete pasos llamados las siete preguntas del RCM.

3.1 LAS 7 PREGUNTAS DEL RCM³

- 1.Cuál es la función del activo?
2. De qué forma puede fallar el activo o limitar que la función sea cumplida satisfactoriamente?
3. Qué causa cada falla funcional?
4. Qué pasa cuando ocurre cada falla?
5. Cuáles son las consecuencias de cada falla?
6. Que podría hacerse para prevenir o predecir la falla?
7. Que se debe hacer si no se encuentra una tarea proactiva para evitar la falla?

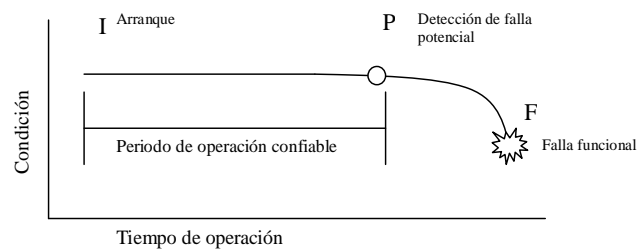
3.1.1. Función. Cada activo es adquirido para cumplir una función deseada, existen dos tipos de función que pueden cumplir los equipos definidas por la metodología; función primaria, esta función define la razón para la cual se compró el activo y el rendimiento esperado que se busca mantener. El segundo tipo de función son las funciones secundarias o de soporte, las funciones de soporte son las que hacen posible la operación del sistema, la pérdida de alguna de estas funciones crean disminución o pérdida de la función principal del sistema, riesgos en el ambiente, en la seguridad, en las personas o en la operación.

3.1.2 Modos de falla. Una falla es una condición que no es satisfactoria, Existen dos tipos de fallas, las fallas funcionales y las fallas potenciales, de esta definición se observa que un equipo puede estar operando pero no estar cumpliendo satisfactoriamente la función para la que fue diseñado.

³ RODRIGUEZ RIOS, Juan Eduardo. Seis factores claves en la implementación de un RCM En: ACIEM. X CONGRESO INTERNACIONAL DE MANTENIMIENTO (10º; 2009; Bogotá). Memorias Ponencias del X Congreso Internacional de Mantenimiento. Bogotá, 2009. P. 2-6

Las fallas potenciales son un estado identificable que indica que una falla funcional está a punto de ocurrir, esto se observa en la curva IPF mostrado en la Figura 6. Esta curva muestra como comienza la falla, como se deteriora el equipo hasta el punto en que puede ser identificada (P) y muestra si no es detectada y corregida como puede continuar el deterioro de forma acelerada hasta llegar a la falla funcional (F).

Figura 6. Curva IPF



Las organizaciones de primer nivel se enfocan en controlar el intervalo I-P, donde (I) representa el arranque de la maquina y (P) la identificación de la falla funcional.

3.1.3 Causa de falla. Para seleccionar la tarea adecuada para prevenir las fallas se debe identificar completamente cual fue la causa que limitó el cumplimiento de la función del activo.


La causa de la falla puede tener dos orígenes: la falla de un componente de un equipo o puede ser una falla humana como un montaje inadecuado o la mala operación del equipo.

3.1.4 Qué pasa cuando ocurre la falla. Se define el efecto de la falla, para esto se describe como falla el equipo, se precisa cuales son los primeros síntomas que muestran que una falla inminente se aproxima, se analizan las evidencias, se

definen los efectos secundarios y los eventos requeridos para normalizar el sistema a la condición confiable deseada.

3.1.5 Cuáles son las consecuencias. En este paso se define como y cuanto impacta cada falla. Existen consecuencias en la parte ambiental, en la seguridad de las personas, en la operación y en lo económico. La importancia en el cumplimiento de objetivos de la compañía define el riesgo al que se expone el negocio cuando se presenta una falla. Para hacer la evaluación de cada aspecto se utiliza la matriz RAM de Ecopetrol. Ver Figura 7.

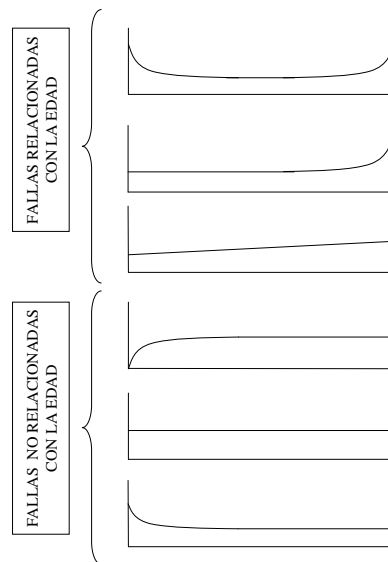
Figura 7. Matriz RAM de Ecopetrol S.A.

MATRIZ DE EVALUACION DE RIESGOS - RAM Versión 2.0									
COMO EVALUAR EL RIESGO 1. Defina claramente el escenario a evaluar 2. Determine cual es la consecuencia potencial en las personas (de 0 a 5) 3. Determine para esa consecuencia en personas la probabilidad de ocurrencia en términos de frecuencia o de probabilidad de falla (de A hasta E) 4. Repita los pasos 2 y 3 para las consecuencias en Economía, Ambiente e Imagen 5. Determine cual es el riesgo mas crítico. 6. Interprete de acuerdo al cuadro en el reverso					PROBABILIDAD PARA OTRAS APLICACIONES Gestión de Riesgo e Iniciativas				
					Virtualmente imposible 1%	Concebible pero muy improbable 5%	Inusual pero Posible 30%	Muy Posible 60%	Se espera que ocurra 100%
					PROBABILIDAD PARA ÓRDENES DE TRABAJO DE MANTENIMIENTO Actividades de Mantenimiento Programado (PV, PD)				
					Equipo fallaría después de 6 meses	Equipo fallaría entre 2 y 6 meses	Equipo fallaría entre 4 y 8 semanas	Equipo fallaría entre 2 y 4 semanas	Equipo fallaría en 2 semanas
					PROBABILIDAD				
					No ha ocurrido en la Industria	Ha ocurrido en la Industria	Ha ocurrido en ECOPETROL	Sucede varias veces por año en ECOPETROL	Sucede varias veces por año en el ICP
CONSECUENCIAS POTENCIALES					A	B	C	D	E
Personas	Económica (en dólares)	Ambiental	Imagen de la Empresa						
Una o más fatalidades	Catastrófica > 10 Millones	Masivo	Internacional	5	M	M	H	H	VH
Incapacidad permanente parcial o total	Grave 1-10 millones	Mayor	Nacional	4	L	M	M	H	H
Incapacidad temp. > 1 día	Severo 100 mil - 1 millón	Localizado	Regional	3	N	L	M	M	H
Lesión menor no incapacidad	Importante 10 mil-100 mil	Menor	Local	2	N	N	L	L	M
Lesión leve primeros auxilios	Marginal < 10 mil	Leve	Interna	1	N	N	N	L	L
Ninguna lesión	Ninguna	Ningún efecto	Ningún impacto	0	N	N	N	N	N

Si las consecuencias no son significativas, no se definen tareas sistémicas, si por el contrario las consecuencias son importantes se definen las tareas para prevenirlas o mitigar el impacto.

3.1.6 Prevención, predicción y mitigación de consecuencias. Para evitar o mitigar una consecuencia catastrófica para el negocio se analiza según el modo y la causa de falla, cual o cuales serian las tareas de mantenimiento sistémicas a realizar, para la selección de la tarea adecuada el primer paso es identificar como se desarrolla la probabilidad de falla en función del tiempo de operación. Ver Figura 8.

Figura 8. Relación de probabilidad de falla y edad de los componentes



En la industria aeronáutica, se demostró que aproximadamente el 11% de las fallas de los equipos están relacionadas con la edad de los componentes (Moubray, 2004, 13), por lo tanto el mantenimiento preventivo intrusivo no es el más óptimo en la mayoría de los casos, por esta razón se definen las tareas en dos grupos;

Tareas a condición, grupo que utiliza técnicas que se basan en el hecho de que la mayoría de las fallas dan algún tipo de advertencia de que están en proceso de

ocurrir o que están por ocurrir. En este punto es posible actuar para evitar la posible falla.

Una falla potencial es un estado identificable que indica que una falla funcional esta cercana a ocurrir.

Las tareas a condición son técnicamente factibles si:

- Se puede definir una condición clara de falla potencial
- El intervalo P-F es consistente antes de transformarse en falla funcional
- Es práctico monitorear el elemento a intervalos menores al intervalo P-F
- Si el intervalo P-F es práctico para ejecutar una acción de mantenimiento antes que la falla ocurra.

Las técnicas utilizadas en el mantenimiento predictivo se clasifican en:

Efectos dinámicos

Efectos de partícula

Efectos químicos

Efectos físicos

Efectos de temperatura

Efectos eléctricos

Las tareas preventivas son llamadas también tareas de reacondicionamiento y sustitución cíclica

Las tareas de reacondicionamiento consisten en recuperar la condición de un elemento antes de que llegue al límite de su vida, las tareas de sustitución cíclica consisten en reemplazar un elemento o componente antes o en el límite de su vida útil, independiente de su condición en ese momento.

Las tareas preventivas son técnicamente factibles si:

- Existe una edad identificable en la que el elemento muestra un incremento en la probabilidad de falla
- La mayoría de los componentes alcanzan la edad determinada.
- Se vuelve a la condición inicial requerida por el sistema.

3.1.7 Qué pasa si no existe tareas predictivas ni preventivas para evitar la falla. Existen algunas razones por las cuales no se puede encontrar tareas de mantenimiento factibles, una de ellas es que después de ejecutar la tarea, no se prevenga ni se mitigue el riesgo por lo tanto la probabilidad de que se presente la falla sigue siendo alta. La otra razón es debido a la factibilidad económica, en algunos casos la relación costo beneficio no es favorable para la empresa.

La primera de ellas es posible reducirla modificando el diseño del activo, mientras que en la segunda se debe tener en cuenta que un programa de mantenimiento a falla requiere procedimientos, niveles de servicio de mantenimiento altos y cantidades de repuestos adecuados.

4. INDICADORES DE MANTENIMIENTO

Los indicadores básicos de mantenimiento son cuatro, mantenibilidad, disponibilidad, confiabilidad y costo. Los tres primeros ligados entre sí por ser indicadores netamente técnicos basados en tiempos de operación y tiempos de no disponibilidad de los activos evaluados en horas. El costo es un indicador administrativo de cuánto cuesta el servicio de ejecutar el mantenimiento requerido por los activos de la empresa, ya sea costo interno si lo realiza directamente la organización o costo de contratar el servicio si se realiza a través de una firma especializada de mantenimiento.

Los indicadores técnicos de mantenimiento dependen de los tiempos que la organización cuenta con el activo para producir, la definición de cada uno de ellos es variada desde el punto de vista del autor sin alejarse del núcleo de la definición que realiza la norma ISO 14224⁴, que se describe a continuación.

4.1 DEFINICIONES DE TIEMPO MEDIO ENTRE FALLAS DE UN ACTIVO.

Los tiempos en un activo se dividen en dos grandes grupos, tiempos en servicio y tiempos fuera de servicio, ver tabla 1, las siguientes son definiciones desarrolladas a raíz del estudio de estos tiempos.

- Tiempo medio fuera de servicio (MDT): Tiempo medio en el que el ítem está en estado fuera de servicio. Es una característica extrínseca del mantenimiento, pues tiene en cuenta las demoras administrativas.

⁴ ISO, ISO/DIS 14224, 1ª edición, Octubre 2004

- Tiempo medio entre fallas (MTBF) (TMEF): Tiempo medio entre dos fallas consecutivas.
- Tiempo disponible para operar (UT): Tiempo en que el equipo está disponible para operar
- Tiempo no disponible para operar (DT): Tiempo en que el equipo no está disponible para operar
- Tiempo medio en disponible (MUT): Tiempo medio del equipo disponible para operar.
- Tiempo medio para presentarse una falla de un ítem (MTTF): Este parámetro concierne solo a la primera falla de un ítem nuevo antes de ejecutar cualquier tarea de mantenimiento.
- Tiempo medio para reparar un ítem (MTTR): Tiempo medio hasta que el ítem es reparado.
- Tiempo medio entre mantenimientos (MTBM) (TMEM): Tiempo medio entre dos mantenimientos consecutivos.

Tabla 1. Distribución de tiempos de operación de un activo

Tiempo Total												
Tiempo fuera de servicio					Tiempo en servicio							
Mantenimiento preventivo		Otros mantenimientos planeados			Mantenimiento correctivo		Otros mantenimientos no planeados	Tiempos de operación				Tiempo de no operación
Preparaciones y demoras	Mantenimiento preventivo activo (Trabajando sobre el ítem)	Reserva	Stand by en frío	Modificación	Preparación y/o demora	Mantenimiento correctivo activo (Ítem sobre el que se trabaja)	Disparos operacionales, problemas, restricciones, ETC.	Apagadas	Arranques	operación	Stand by en caliente	En espera a ser puesto en servicio

5. CONFIABILIDAD.

Es la probabilidad que tener un activo operando, cumpliendo una función específica, bajo unas condiciones requeridas en un tiempo determinado.

La definición normalizada por ISO es: la habilidad de un ítem de desempeñar una función requerida bajo unas condiciones dadas durante un intervalo de tiempo. (ISO 14224, 2004, 16)

El análisis de los datos usados para confiabilidad es amplio, entre ellos está la optimización de los tiempos de overhaul e inspección, en los procedimientos de mantenimiento, el costeo del ciclo de vida, reducción de las fallas catastróficas y de los impactos ambientales, permite realizar un mejor benchmarking y aumenta la disponibilidad de los equipos en planta. (ISO 14224, 2004, 21)

El gerenciamiento de la confiabilidad es el proceso de administrar los intervalos entre fallas, la confiabilidad puede ser asumida como una medición de la frecuencia de los tiempos fuera de servicio. (Reliability Handbook, 1999, 5)

La confiabilidad depende del número de fallas del activo en un tiempo determinado, por lo tanto es basada en una tasa de falla del componente que se mide.

6. TASA DE FALLA

Es un promedio de la frecuencia de falla (ISO 14224, 2004, 177). Se define como el inverso del tiempo medio de falla de un componente.

$$\lambda = \frac{1}{MTTF}$$

Donde:

λ : Tasa de falla

MTTF: Tiempo medio de falla

Cuando la tasa de falla se evalúa en función del tiempo $\lambda(t)dt$ se convierte en la probabilidad de que el ítem falle entre t y $t+dt$ con el ítem operando durante este periodo de tiempo. Por lo tanto $\lambda(t)$ define la distribución del periodo de vida del componente. Se convierte en una distribución estadística del tiempo en presentarse la primera falla. Esta distribución se convierte en la probabilidad que un componente sobreviva un periodo de tiempo t $R(t)$ generando así la ecuación de no confiabilidad $F(t) = 1 - R(t)$ la cual es la probabilidad de que un componente falle antes de cumplir un periodo de tiempo t .

Por lo tanto la ecuación de confiabilidad se define como:

$$R(t) = \exp(-\lambda \cdot t)$$

Donde:

$R(t)$ = Confiabilidad en un período de tiempo

λ = Tasa de falla del componente

7. DISPONIBILIDAD

Porcentaje o tiempo en el que el sistema está útil disponible para cumplir su función. El tiempo que está fuera de servicio debe contemplar toda la paralización por mantenimiento preventivo o correctivo desde el momento en que queda fuera de servicio hasta que se vuelve a entregar operativo a producción.

Según la norma de confiabilidad: Es la probabilidad que un activo opere en un instante determinado. (ISO 14224, 2004, 174)

Esta definición puede mal interpretarse y creer que es igual a la de confiabilidad, sin embargo se debe tener en cuenta que la confiabilidad se mide en un periodo de tiempo, mientras que la disponibilidad se mide en un instante determinado.

Medición de los tiempos en servicio de un activo. (Reliability Handbook, 1999, 5)

$$Disponibilidad = \frac{Confiabilidad}{Confiabilidad + Mantenibilidad}$$

Para analizar disponibilidad se utilizan dos tipos de disponibilidad media:

La disponibilidad operacional tiene en cuenta los tiempos medios de operación y de fuera de servicio.

$$A_o = \frac{MUT}{MUT + MDT}$$

Donde;

A_o: Disponibilidad Operacional

MUT: Tiempo medio del equipo disponible para operar

MDT: Tiempo medio del equipo fuera de servicio, no disponible para operar

La disponibilidad intrínseca tiene en cuenta los tiempos medios de fallas y el tiempo medio para reparar el activo.

$$A_i = \frac{MTTF}{MTTF + MTTR}$$

Donde;

A_i: Disponibilidad intrínseca

MTTF: Tiempo medio de falla según lo observado en campo

MTTR: Tiempo medio para reparar el equipo

Las dos disponibilidades tienen diferentes intereses, dependiendo de lo que se quiere medir.

La disponibilidad operacional le interesa a los ingenieros de confiabilidad por que suma todos los tiempos que el activo estuvo fuera de servicio, como demoras por entrega de repuestos, demoras por consecución de personal, demoras por programación de recursos, etc. Demoras que son administrativas que generalmente ocurren en una organización, el ingeniero de confiabilidad analiza lo que realmente ve la planta.

La disponibilidad intrínseca le interesa a los ingenieros de mantenimiento pues pueden medir la efectividad del trabajo de sus mecánicos, debido que esta no tiene en cuenta las demoras administrativas, sino el tiempo del mecánico reparando la maquina con todos los recursos disponibles para la ejecución del mantenimiento. El ingeniero de mantenimiento analiza la efectividad y habilidad del recurso de mantenimiento.

8. MANTENIBILIDAD.

Es la probabilidad de reparar un activo en un tiempo determinado.

La definición normalizada por ISO es: la habilidad bajo unas condiciones dadas, de un ítem de ser mantenido o restaurado en un periodo de tiempo a una condición en la que puede cumplir la su función, cuando el mantenimiento es realizado bajo unas condiciones descritas, bajo procedimientos y formas estándar. (ISO 14224, 2004, 181)

Existen dos tipos de mantenibilidad, la intrínseca y la extrínseca.

La mantenibilidad intrínseca considera únicamente las características de diseño propias del activo para ser reparado.

La mantenibilidad extrínseca considera todo lo que es dependiente del contexto que interviene en la reparación de un equipo, como la logística, el soporte, la ubicación y la organización de la empresa.

Similar al concepto de confiabilidad existe una versión probabilística de mantenibilidad. La cual puede ser expresada de la siguiente forma:

$$M(t) = \text{Probabilidad } (TTR \leq t)$$

Su resultado es una función creciente que varía de 0 a 1 en un intervalo de tiempo, lo que quiere decir que un ítem será reparado en un tiempo si esperamos lo suficiente.

Tasa de reparación $\mu(t)$: Es una medida de confiabilidad de la tasa de peligrosidad, la cual evalúa la probabilidad de que un ítem sea reparado en un tiempo determinado luego de fallar. Su estimación es dada por la formula:

$$\mu(t) = \frac{1}{MTTR}$$

Cuando se ha determinado la constante de la tasa de reparación se obtiene la ecuación de mantenibilidad exponencial.

$$\mu(t) = 1 - \exp(-\mu^*t)$$

9. DEFINICIÓN DE FALLA

Se debe tener en cuenta que existe una diferencia entre la recolección de información para realizar análisis de confiabilidad y de disponibilidad.

Para los análisis de confiabilidad es importante la información intrínseca del equipo, las fallas del componente específico.

Para los análisis de disponibilidad se requiere la información extrínseca del equipo por lo tanto se tienen en cuenta las paradas operacionales y los mantenimientos preventivos.

La comparación normalizada por la ISO (ISO 14224, 2004, 169) se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Relación de fallas en análisis de confiabilidad y disponibilidad

Tipo de falla / mantenimiento	Confiabilidad	Disponibilidad
Fallas que requieren una acción de mantenimiento correctivo (reparación o reemplazo)	si	si
Falla descubierta durante una inspección, una prueba o un mantenimiento preventivo, que requiera reparación o	si	si
Falla de un dispositivo de seguridad o de control y monitoreo que requiera parar el equipo o una reducción en	si	si
Parada o disparo (Trip) de un ítem debido a condiciones externas o errores de operación, donde no se ha presentado	no	si
Falla en un equipo que es causada por un ente externo (deficiencia en la energía eléctrica)	no	si
Reemplazo periódico de partes consumibles o desgastables.	no	no
Servicios de mantenimiento menor como ajustes, lubricación, limpieza, reemplazo de aceite, reemplazo o	no	si
Pruebas e inspecciones	no	si
Mantenimiento preventivo o planeado (Para seguimiento a preventivos/para seguimiento a fallas)	si/no	si
Modificaciones, nuevos trabajos, mejoras ejecutados por personal propio	no	si

10. ANALISIS DE LA ESTRATEGIA ACTUAL

Actualmente en Ecopetrol en la Refinería de Barrancabermeja GRB, se realiza un mantenimiento anual programado en cada turbina del departamento de refinación de crudos.

El mantenimiento anual de cada turbina está compuesto por una serie de tareas estándar para cada modelo, según la disposición de la turbina, montada sobre rodamientos o montada sobre chumaceras.

Para las turbinas montadas en rodamientos se tiene las siguientes tareas estándar cada año, ver tabla 3:

Tabla 3. Tareas de mantenimiento estándar para turbina de rodamientos.

Tarea	Descripción de la tarea	Ejecutor	Tiempo	Unidades
1	SOLICITAR PERMISO Y REVISAR ATS	Mecánico	1	HORAS
2	DESACOPLAR TURBINA	Mecánico	1	HORAS
3	REVISAR Y CALIBRAR JUEGO AXIAL	Mecánico	1	HORAS
4	REVISAR Y CALIBRAR VALVULA CENTINELA	Mecánico	4	HORAS
5	REVISAR FILTRO DE VAPOR	Mecánico	4	HORAS
6	RETIRAR GOBERNADOR-LLEVAR A LAPPING	Mecánico	1	HORAS
7	REVISAR/LAVAR CAJA DE BALINERAS	Mecánico	2	HORAS
8	REVISAR CARBONES	Mecánico	10	HORAS
9	CALIBRAR GOBERNADOR	Mecánico	6	HORAS
10	REVISAR PALANCAS Y SISTEMA D GOBERNACION	Mecánico	2	HORAS
11	LLEVAR GOBERNADOR A PLANTA-INSTALAR	Mecánico	1	HORAS
12	REVISAR ALINEAMIENTO	Mecánico	1	HORAS
13	PROBAR VELOCIDAD DE DISPARO A TURBINA	Mecánico	4	HORAS
14	PROBAR EN VACIO / MONITOREO ATP	Mecánico	4	HORAS
15	ACOPLAR EQUIPO/ ENTREGAR A OPERACIONES	Mecánico	4	HORAS

Para las turbinas montadas en chumaceras se tiene las siguientes tareas estándar cada año, ver tabla 4:

Tabla 4. Tareas de mantenimiento estándar para turbina de chumaceras.

Tarea	Descripción de la tarea	Ejecutor	Tiempo	Unidades
1	SOLICITAR PERMISO Y REVISAR ATS	Mecánico	1	HORAS
2	APLICAR SAS ELECTRICO BOMBA LUBRIC	Mecánico	2	HORAS
3	DESACOPLAR TURBINA	Mecánico	1	HORAS
4	CALIBRAR JUEGO AXIAL	Mecánico	1	HORAS
5	REVISAR ESTADO CHUMACERAS.AXIAL Y RADIAL	Mecánico	4	HORAS
6	REVISAR CARBONES	Mecánico	10	HORAS
7	RETIRAR GOBERNADOR-LLEVAR A LAPPING	Mecánico	1	HORAS
8	CALIBRAR GOBERNADOR	Mecánico	8	HORAS
9	REVISAR LUBRICACION	Mecánico	1	HORAS
10	LAVAR CAJAS DE CHUMACERAS	Mecánico	1	HORAS
11	REVISAR/PULIR EJE Y CHUMACERAS	Mecánico	2	HORAS
12	CALIBRAR/INSTALAR CHUMACERAS	Mecánico	2	HORAS
13	LLEVAR GOBERNADOR A PLANTA-INSTALAR	Mecánico	1	HORAS
14	LIMP/LUBRIC DE PALANCAS SIST GOBER Y DIS	Mecánico	2	HORAS
15	REVISAR VALVULA DE GOBERNACION	Mecánico	2	HORAS
16	PROBAR VELOCIDAD Y DISPARO A TURBINA	Mecánico	4	HORAS
17	REVISION/CORRECCION DE ALINEAMIENTO	Mecánico	4	HORAS
18	ACOPLAR Y ENTREGAR EQUIPO A OPERACIONES	Mecánico	4	HORAS

11.REVISIÓN DE HISTÓRICOS DE MANTENIMIENTO

La revisión de los históricos tiene como fin:

- Analizar la efectividad de la estrategia actual de mantenimiento en las turbinas de refinación de crudos.
- Analizar los modos de falla predominantes en las turbinas de refinación de crudos.
- Analizar las causas de falla predominantes en las turbinas de refinación de crudos.
- Analizar la disponibilidad operacional de las turbinas de refinación de crudos.
- Analizar los tiempos medios entre falla de los sistemas.

Se realizó la revisión del historial de mantenimiento registrado en el sistema de información CMMS Ellipse⁵, durante los últimos 10 años comenzando en enero 1 de 2000 hasta octubre 31 de 2009, en cada una de las turbinas del departamento.

Se identificaron los siguientes tipos de mantenimientos realizados:

Mantenimientos preventivos.

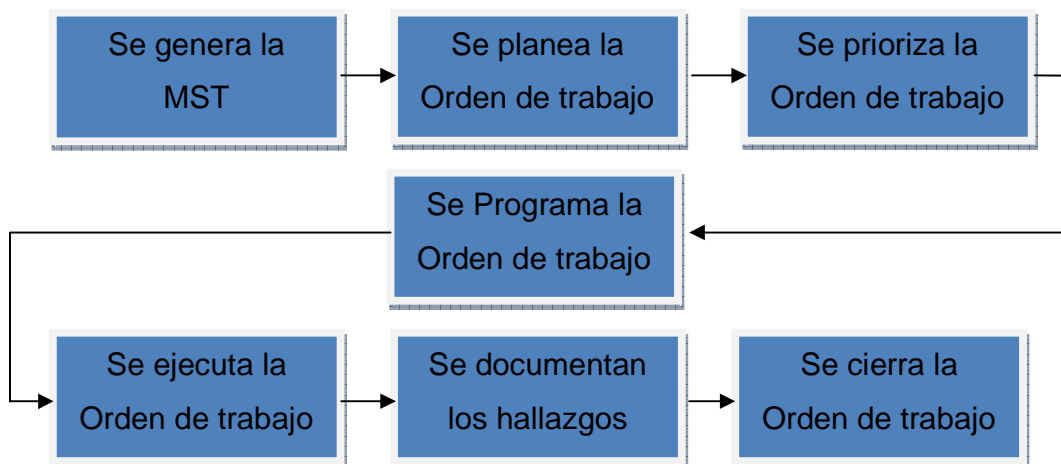
Mantenimientos correctivos en planta.

Mantenimientos correctivos en taller.

Los mantenimientos preventivos en GRB se realizan programados anualmente o según la frecuencia determinada en la tarea de mantenimiento programada MST.

El proceso para la planificación de la orden de trabajo preventiva se muestra en la figura 9:

Figura 9. Proceso de planeación orden de trabajo preventiva



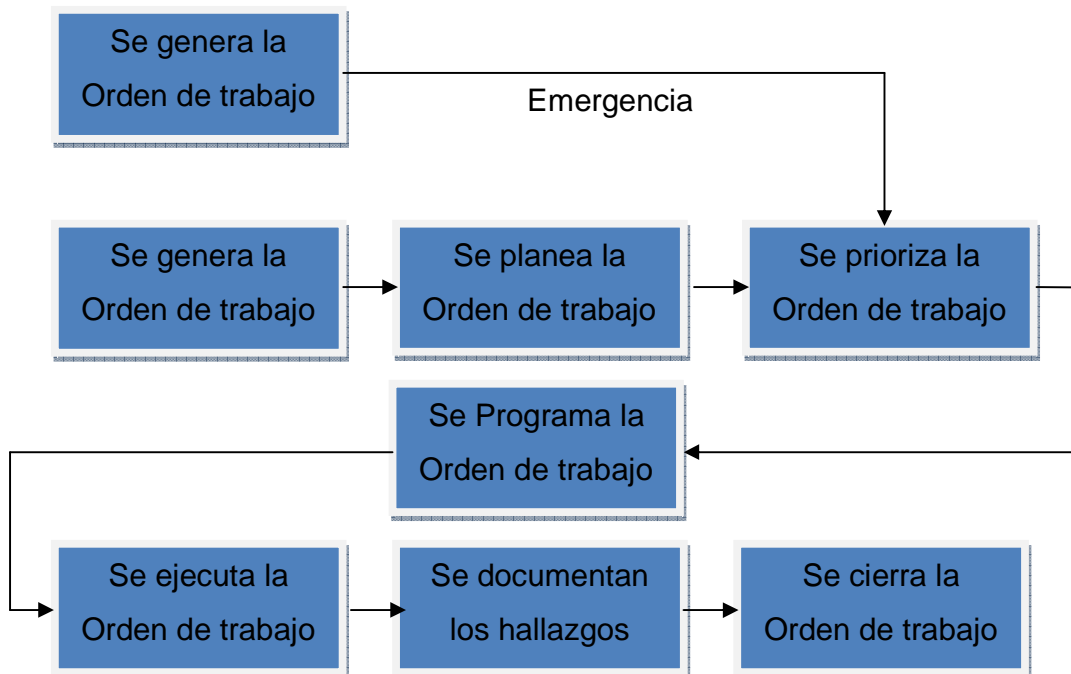
⁵ ELLIPSE. Enterprise resource planning (ERP). Software de administración de mantenimiento para empresas de minería creado por MINCOM.

El proceso de ejecución tiene un tiempo de duración determinada de 46 HH. Realizado durante dos días por una pareja de mecánicos en campo y mecánicos del taller de válvulas.

Los mantenimientos correctivos en GRB se pueden generar a través de una Orden de trabajo programada planeada o una orden de trabajo programada no planeada por lo cual es llamada emergencia. A cada mantenimiento correctivo se relacionó el modo de falla que causó la acción de mantenimiento y el tiempo de intervención que tomo la ejecución del mantenimiento.

El proceso de una orden de trabajo correctiva en GRB se muestra en la figura 10:

Figura 10. Proceso de planeación orden de trabajo correctiva



Se calculó la disponibilidad operacional para cada turbina.

El indicador de confiabilidad que se calculó es TMEP para identificar los equipos que no alcanzan a cumplir con el tiempo definido para los mantenimientos preventivos actuales de 8765Hr (1 año)

El indicador de mantenimiento que se calculó es MTTR para identificar los equipos con mayor tiempo de reparación.

12. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

Se inició realizando un recorrido en las plantas para realizar un censo con el cual se determinaron los equipos a estudiar. Se tomaron los datos principales de las turbinas, como el número en la estructura jerárquica del activo, el fabricante, el modelo y la potencia, con el fin de realizar una clasificación inicial.

En la información inicial se tenía que la cantidad de turbinas del departamento eran 70, luego de la revisión en campo se logró determinar que la cantidad total de turbinas es 59, se determinó cuales y cuantas turbinas se tiene en cada planta o unidad de producción, esta información se encuentra tabulada en la tabla 5.

Tabla 5. Distribución de turbinas por planta

Planta	Turbinas
Unidad 150	8
Unidad 200	17
Unidad 250	11
Unidad 2000	12
Unidad 2100	11
Total	59

Después de definir la población objetivo, se revisó el historial de mantenimiento de cada turbina en el sistema de información CMMS Ellipse, desde el año 2000. El análisis del historial de mantenimiento consistió en la revisión de todas las órdenes de trabajo asociadas a cada equipo, como lo muestra el ejemplo de la figura 11.

Figura 11. Histórico de mantenimiento de una turbina en Ellipse.

	District	Work Order	Desc	Equipment Refere	Work Group	Cre	Raise Date	Originator Id	Status	Plan Start Date	Comp	Assign	Plan Priority
1	GCB	00273439	MANTENIMIENTO PREVENTIVO C/12 MESES	SP2110B	PMPMC		16/04/2009	E0223303	Closed	27/04/2009	MTUV	SMCP	
2	GCB	00247272	REPARACION GRAL TURBINA NP2110B	SP2110B	MDDRF2		13/03/2008	E0222857	Closed		MTUV	FMC	ME
3	GCB	00244948	REVISION GOBERNADOR TURBINA SP2110B	SP2110B	MDDRF2		18/02/2008	E0222794	Closed		MTUV	FMC	ME
4	GCB	00237764	CORREGIR ESCAPE AGUA NP2110B	SP2110B	MDDRF2		19/11/2007	E0222857	Closed	03/12/2007	MTUV	FMC	ME
5	GCB	00229018	MANTENIMIENTO PREVENTIVO C/12 MESES	SP2110B	PMPMC		22/08/2007	E0227208	Closed	03/09/2007	MTUV	SMCP	
6	GCB	00204685	MANTENIMIENTO PREVENTIVO C/12 MESES	SP2110B	PMPMC		19/10/2006	E0227208	Closed	26/10/2006	MTUV	SMCP	
7	GCB	00161280	ESCAPE VAPOR CARBONES NP2110B	SP2110B	MDDCA		14/03/2005	E0222857	Closed	17/08/2005	MTUV	SCEX	ME
8	GCB	00141974	PREVENTIVO A TURBINAS CON CHUMACERAS	SP2110B	PMPMC		30/06/2004	E0227795	Closed	06/07/2004	MTUV	SMCP	02
9	GCB	00129010	REVISAR CHUMACERAS TURBINA NP-2110B	SP2110B	MDDCA		20/11/2003	E0229200	Closed	16/02/2004	MTUV	FMC	ME
10	GCB	00124191	REPARACION CHUMACERAS TURBINA NP2110B	SP2110B	MDDCA		01/09/2003	E0225200	Closed		MTUV	FMC	ME
11	GCB	00121233	PREVENTIVO A TURBINAS CON CHUMACERAS	SP2110B	PMPMC		20/06/2003	E0227795	Closed	23/06/2003	MTUV	SMCP	
12	GCB	00100573	ADAPTACION GOB HIDRAULICO Y REV. NP2110B	SP2110B	MDDCA		08/05/2002	E0229200	Closed	25/11/2002	MTUV	FMC	ME
13	GCB	00095608	CAMBIAR CHUMACERAS DE LA TURBINA	SP2110B	MDDCA		01/02/2002	E0228466	Closed		MTUV	FMC	ME
14	GCB	M4002328	REVISAR GOBERNADOR NP2110B	SP2110B	MDDCA		21/01/2002	E0229200	Closed		MTUV	FMC	02
15	GCB	00093671	INSTALAR AISLAMIENTO A TURBINA NP2110B	SP2110B	MDDCA		19/12/2001	E0229200	Closed		MTUV	FMT	02
16	GCB	00090842	CAMBIAR CARBONES A TURBINA NP2110B	SP2110B	MDDMC		18/10/2001	E0229200	Closed	29/10/2001	MTUV	FMC	ME
17	GCB	00087953	REPARACION GRAL TURBINA CAMBIO DE EJE	SP2110B	MDDTA		03/09/2001	E0227948	Closed	10/09/2001	MTUV	FMC	ME
18	GCB	00087558	REPARACION GRAL TURBINA CAMBIO DE EJE	SP2110B	MDDTA		03/09/2001	E0227948	Closed		MTUV	FMC	N
19	GCB	00086560	CALIBRAR VELOCIDAD Y DISPARO A TURBINA	SP2110B	MDDCA		21/08/2001	E0227948	Closed		MTUV	FMC	N
20	GCB	00064658	REPARACION GENERAL DE LA NP-2110B	SP2110B	MDDTA		25/05/2000	E0228019	Closed		MTUV	FMC	ME
21	GCB	00059480	REPARAR ESCAPE POR CARBONES NP-2110B	SP2110B	MDDCA		21/02/2000	E0221065	Closed		MTUV	FMC	N

Se revisó la documentación de cada orden de trabajo, se verificó el texto extendido donde se describe el alcance de la OT y se verificó el texto de cierre de la OT, con el fin de determinar el tipo de mantenimiento realizado.

Se clasificó por fecha de ejecución, tipo de mantenimiento; preventivo, correctivo en planta o correctivo en taller, ver tabla 6. Con la revisión de la documentación se identificó el modo de falla por el cual fue intervenido el equipo en cada mantenimiento correctivo.

Tabla 6. Clasificación de órdenes de trabajo por tipo de mantenimiento.

OT	Tipo de mantenimiento	Fecha de ejecución	Modo de falla
64658	Mantenimiento taller	23/06/2001 - 19/07/2001	Carbones
87553	Mantenimiento taller	03/09/2001 - 16/09/2001	Eje
90842	Mantenimiento planta	10/29/2001	Carbones
M4002328	Mantenimiento planta	2/1/2002	Gobernador
95608	Mantenimiento planta	2/4/2002	Chumaceras
100573	Mantenimiento taller	03/06/2002 - 14/03/2003	Gobernador
121233	Preventivo	6/20/2003	
124191	Mantenimiento planta	9/3/2003	Chumaceras
129010	Mantenimiento planta	2/20/2004	Chumaceras
141974	Preventivo	7/9/2004	
161280	Mantenimiento taller	27/08/2005 - 5/09/2006	Rotor- Chumaceras
204685	Preventivo Cancelado	12/21/2006	
229018	Preventivo	9/9/2007	
237764	Mantenimiento taller	10/12/2007 - 14/03/2008	Chumaceras
247272	Mantenimiento taller	14/03/2008 - 12/05/2008	Chumaceras
279439	Preventivo	4/28/2009	

Debido que se obtuvieron los tiempos de intervención se graficaron los UT y los DT a lo largo de los últimos 10 años, ver figura 12.

Figura 12. Operación en el tiempo de la turbina



Con los tiempos de los equipos disponibles para operar UT y los tiempos de los equipos no disponibles para operar DT; se calculó la disponibilidad de cada sistema.

12.1 CALCULO DE DISPONIBILIDAD

Se calculó la disponibilidad operacional de la siguiente forma:

En cada equipo se calcularon los tiempos medios de operación y de fuera de servicio. Se calculó la disponibilidad operacional.

$$A_o = \frac{MUT}{MUT + MDT}$$

Se calculó la disponibilidad intrínseca de la siguiente forma:

Debido a que se clasificaron los mantenimientos en preventivos y correctivos. En cada equipo se calcularon los tiempos medios de fallas y el tiempo medio para reparar el activo. Se calculó la disponibilidad intrínseca.

$$A_i = \frac{MTTF}{MTTF + MTTR}$$

12.2. CALCULO DE MANTENIBILIDAD

El indicador de mantenibilidad que se calculó fue MTTR, el cual es el adecuado para el alcance de la monografía, debido que se puede identificar cuáles son los equipos que duran mayor tiempo en ser puestos en servicio después de una falla, con esta información se puede revisar cuales son los cuellos de botella y los repuestos que generalmente demoran la actividad de mantenimiento, el cálculo se realizó sumando los tiempos fuera de servicio debido a mantenimientos correctivos y se dividió por el numero de fallas.

$$MTTR = \frac{\sum DT - \sum TMP}{\# fallas}$$

12.3. CALCULO DE CONFIABILIDAD

Los indicadores de confiabilidad que se calcularon fueron TMEM y TMEF, el tiempo medio entre mantenimiento sirve para obtener la información del tiempo promedio en el que la turbina opera antes de ser programada para un mantenimiento, mientras el tiempo medio entre fallas sirve para identificar cada cuanto tiempo las turbinas están presentando una falla dentro de la estrategia actual, se calcularon con las siguientes ecuaciones.

Tiempo medio entre mantenimientos:

$$TMEM = \frac{\sum UT}{\#MP + \#MC}$$

El cálculo se realizó sumando los tiempos del equipo disponible para operar dividido por la cantidad de mantenimientos realizados al equipo.

Tiempo medio entre fallas:

$$TMEF = \frac{\sum UT}{\#MC}$$

El cálculo se realizó sumando los tiempos del equipo disponible para operar dividido por el número de mantenimientos correctivos realizados.

Los resultados de la investigación realizada se encuentran en la tabla 7.

Tabla 7. Resultados de cálculos de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad de cada equipo.

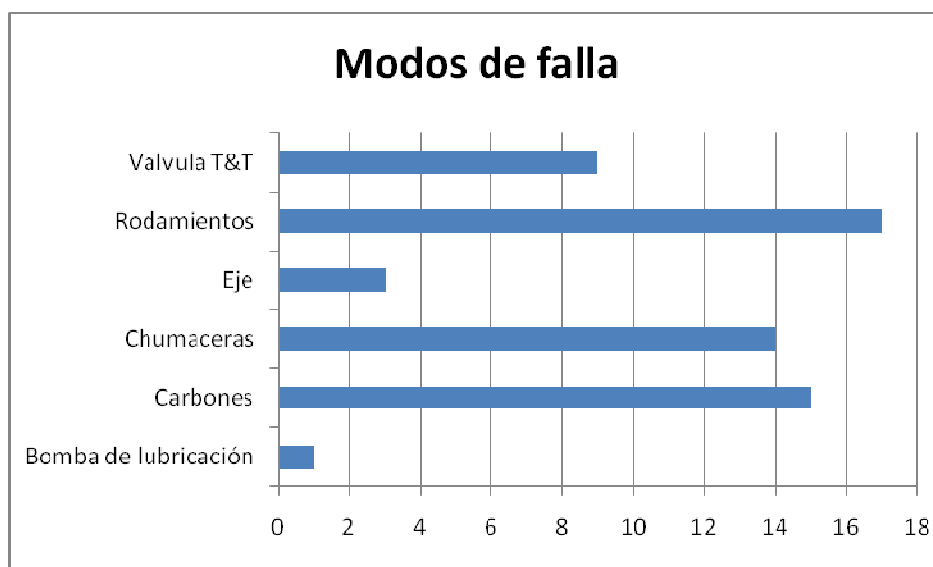
EQUIPO	TMEM	TMEF	MTTR	Ao	Ai	MODO DE FALLA PREDOMINANTE
SP131F	13140	15768	1670	0.888	0.904	Carbones
SP133B	9855	13140	840	0.933	0.940	Carbones
SP137D	9855	15768	1642	0.891	0.906	Eje
SP150F	15768	78840	2448	0.962	0.970	Rodamientos
SP151D	15768	78840	936	0.983	0.988	Rodamientos
SP157B	13140	39420	900	0.972	0.978	Rodamientos
SP158B	13140	39420	5688	0.846	0.874	Rodamientos
SP164D	9855	19710	2934	0.846	0.870	Chumaceras
SP202D	26280	26280	960	0.956	0.965	Válvula T&T
SP203B	11263	78840	648	0.986	0.992	Carbones
SP204D	15768	78840	6624	0.905	0.922	Rodamientos
SP207D	19710	26280	2640	0.887	0.909	Rodamientos
SP209B	11263	78840	72	0.993	0.999	Carbones
SP210B	11263	19710	4410	0.770	0.817	Chumaceras
SP212B	15768	39420	9288	0.749	0.809	Válvula T&T
SP212D	26280	39420	2520	0.923	0.940	Chumaceras
SP220D	9855	19710	2970	0.844	0.869	Válvula T&T
SP223B	8760	15768	1138	0.924	0.933	Válvula T&T
SP225B	8760	15768	1901	0.875	0.892	Chumaceras
SP231B	9855	39420	72	0.992	0.998	Válvula T&T
SP232B	19710	26280	2616	0.888	0.909	Rodamientos
SP233B	19710	78840	432	0.991	0.995	Rotor
SP237D	19710	78840	4968	0.926	0.941	Rodamientos
SP239	19710	78840	1080	0.981	0.986	Rodamientos
SP243B	15768	39420	4500	0.874	0.898	Rodamientos
SP250C	6570	9855	801	0.916	0.925	Carbones
SP251A	15768	78840	2448	0.962	0.970	Carbones
SP252C	19710	39420	2592	0.924	0.938	Carbones
SP253C	13140	39420	8748	0.767	0.818	Carbones
SP256A	13140	39420	396	0.985	0.990	Rodamientos
SP257C	15768	39420	3780	0.894	0.913	Carbones
SP258C	8760	19710	522	0.969	0.974	Carbones
	TMEM	TMEF	MTTR	Ao	Ai	MODO DE FALLA

EQUIPO						PREDOMINANTE
SP259C	13140	78840	6120	0.913	0.928	Carbones
SP260C	9855	26280	168	0.989	0.994	Bomba de lubricación
SP271C	9855	19710	2790	0.853	0.876	Carbones
SP275C	5256	7167	910	0.874	0.887	Carbones
SP2001D	111549	260280	408	0.980	0.985	Válvula T&T
SP2002D	13140	26280	312	0.984	0.988	Chumaceras
SP2003D	11263	26280	1056	0.954	0.961	Rodamientos
SP2008D	9855	13140	552	0.955	0.960	Chumaceras
SP2009D	6570	9855	1404	0.857	0.875	Chumaceras
SP2010B	11263	19710	1098	0.939	0.947	Rodamientos
SP2017D	9855	19710	3546	0.815	0.816	Rodamientos
SP2019B	11263	19710	3996	0.791	0.831	Carbones
SP2020D	6570	9855	297	0.967	0.971	Carbones
SP2022D	6065	8760	1960	0.780	0.817	Chumaceras
SP2023B	78840	78840	10512	0.783	0.882	Rodamientos
SP2029B	19710	78840	3024	0.953	0.963	Rodamientos
SP2101B	8760	13140	480	0.960	0.965	Rodamientos
SP2102D	7884	13140	468	0.961	0.966	Chumaceras
SP2104B	7884	15768	965	0.934	0.942	Eje
SP2105B	39420	39420	6876	0.779	0.851	Chumaceras
SP2106B	6065	8760	832	0.904	0.913	Eje
SP2107B	9855	26280	1608	0.933	0.942	Válvula T&T
SP2109D	11263	39420	2412	0.932	0.942	Chumaceras
SP2110B	5256	7167	2042	0.724	0.778	Chumaceras
SP2112D	8760	15768	1253	0.916	0.926	Chumaceras
SP2113B	9855	26280	2496	0.899	0.913	Válvula T&T
SP2121B	9855	15768	1138	0.924	0.933	Válvula T&T

12.4. ANÁLISIS DE LOS MODOS DE FALLA

A cada turbina se le relacionó el modo de falla predominante durante los últimos años, con esta información se estructuró la Figura 13, donde se cuantifican los modos de falla presentados.

Figura 13. Modos de falla de las turbinas



Son 6 los modos de falla predominantes identificados en las turbinas del departamento de refinación de crudos, el modo de falla principal es daño de rodamientos el cual se presenta principalmente en 17 equipos. En la descripción de este modo de falla en los históricos se relaciona desgaste de los elementos rodantes y atascamiento de los rodamientos. Este modo de falla es reparado mediante el cambio de los rodamientos en taller.

En seguida se encuentra el modo de falla daño de carbones de sello de vapor en 15 equipos. En la investigación se encontró que en 4 de los casos donde se presentó daño en chumaceras, los históricos de mantenimiento también relacionan daño en carbones de sello de vapor como modos de falla presentes en estos sistemas. Este modo de falla presenta pase de vapor de alta presión y temperatura desde el interior de la carcasa de la turbina hacia la atmosfera por aumento en la holgura entre el carbón y el eje, el cambio de temperatura y presión genera el cambio de fase del vapor, generando condensación dentro de las cajas de chumaceras, produciendo malas condiciones de lubricación entre el eje y la

chumacera por la contaminación del aceite con agua. Este modo de falla es reparado mediante el cambio de carbones por unos con una holgura adecuada con el eje.

En 14 equipos se encontró el modo de falla daño en chumaceras. Este modo de falla se encuentra acompañado de desgaste de la capa superficial de metal blanco de las chumaceras, este modo de falla es reparado mediante el cambio de estos componentes y limpieza de las cajas de chumaceras de la turbina.

En el siguiente grupo de modos de falla se encuentran los daños de válvulas T&T; válvulas de gobernación y corte de vapor, con 9 eventos de falla. En la revisión de los históricos de documentación de las OTs, se relaciona eventos de corrosión de asientos de las válvulas, que permite paso de vapor y un funcionamiento inadecuado de estos componentes. Este modo de falla es reparado en taller aplicando soldadura para recuperar el área afectada.

El siguiente modo de falla representativo con tres eventos de falla se asocia a daño del eje. Se relaciona a este modo de falla malas condiciones de lubricación y desbalance del eje por daño del sistema de gobernación mecánico en una turbina. Este modo de falla históricamente se ha solucionado cambiando el eje del rotor en el taller.

El modo de falla daño en bomba de lubricación interna se encuentra en una turbina, relacionado con la falla del sistema de lubricación de la turbina asociado a daño de los engranajes de la bomba por condiciones de lubricación inadecuadas por obstrucción de tuberías y aceite de lubricación en mal estado.

12.5 ANÁLISIS DE LOS TMEF

Para calcular el TMEF se tuvieron en cuenta todas las intervenciones de mantenimientos correctivos en planta y taller. Se analizaron los TMEF en con tres enfoques:

1. TMEF promedio inferior a 2 años 17520 Hrs. Se encontró que 18 de los equipos, equivalente a un 27% del total de equipos presentan una falla antes de este tiempo. El tiempo medio entre fallas de este 27% es de 12464 Hrs.
2. TMEF promedio inferior a 3 años 26280 Hrs. Se encontró que 34 de los equipos, equivalente a un 57% del total de equipos presentan una falla antes de este tiempo. El tiempo medio entre fallas de este 57% es de 17420 Hrs.
3. TMEF promedio de los 59 equipos es de 38503 Hrs.

El 96% de los equipos presentan un TMEF superior a 8760 Hrs siendo dos equipos la NP275C y la NP2110B con TMEF menor a 1 año con 7160 Hrs. El resultado se presenta en la tabla 8:

Tabla 8 Resultados análisis TMEF

TMEF prom menor a 17520 Hrs (18)	12464 Hrs
TMEF prom menor a 26280 Hrs (34)	17420 Hrs
TMEF prom	38503 Hrs

Se filtraron los modos de falla mas representativos; falla de rodamientos y falla de chumaceras se identificaron los TMEF promedio de estos tres modos de falla. El resultado se presenta en la tabla 9:

Tabla 9 Resultados TMEF de rodamientos y chumaceras

TMEF prom Rodamientos	49468 Hrs
TMEF prom Chumaceras	24743 Hrs
TMEF prom Carbones	36569 Hrs

Se encuentra que el 82,3% de los rodamientos supera un TMEF de 36 meses.

En el caso de las turbinas de chumaceras, el 35,7% de los equipos supera un TMEF de 36 meses.

En el 46% las fallas por carbones supera el TMEF de 36 meses.

El 92,8% de las fallas por chumaceras se presentan en un tiempo superior a 12 meses.

El 100% de las fallas por rodamientos se dan en un tiempo superior a 12 meses.

El 93% de las fallas por carbones se presentan en un tiempo superior a 12 meses.

12.6 ANALISIS DE LOS MTTR

El tiempo medio para reparar se calculó teniendo en cuenta la sumatoria del tiempo invertido para realizar todos los mantenimientos correctivos dividido por el número de mantenimientos, el resultado del MTTR promedio del departamento fue de 2405 Hrs, el cual equivale a 100.2 días.

Los 5 equipos con tiempos medios para reparar superiores a 6000 Hrs 4 son turbinas que han salido a reparación por medio de contratistas fuera de la refinería.

12.7 ANALISIS DE LOS TMEM

Para el cálculo de los TMEM promedio se sumaron los tiempos de los equipos disponibles para operar y se dividió por la suma de la cantidad de eventos de mantenimientos preventivos y correctivos.

Se obtuvo el promedio de los tiempos medios entre mantenimientos, de todos los equipos. También se calculó el tiempo promedio de mantenimiento de los equipos con un TMEM inferior a 3 años, 26280 Hrs, que equivalen al 96.6% del total de equipos.

Los resultados se tabularon en la tabla 10:

Tabla 10 Resultados análisis TMEM

TMEM prom menor a 26280 Hrs (57)	12830 Hrs
TMEM prom	15622 Hrs

12.8 ANALISIS DE LA DISPONIBILIDAD

Se calcularon las disponibilidades intrínseca y operacional, dando como resultado una disponibilidad operacional inferior en un 1.8% respecto de la disponibilidad intrínseca, lo cual se presenta debido a la diferencia en el cálculo, la disponibilidad operacional tiene en cuenta todas las paradas del equipo, tanto para mantenimientos preventivos como para mantenimientos correctivos, por tal motivo

es tomada en cuenta por los ingenieros de confiabilidad como base para el análisis, debido a que es una medida de lo que sucede realmente en la planta.

La disponibilidad intrínseca puede ser utilizada para calcular qué tan eficiente es el trabajo del mantenimiento correctivo, generalmente es utilizada por ingenieros de mantenimiento para medir su gestión.

Los resultados de la disponibilidad promedio se encuentran tabulados en la tabla 11.

Tabla 11 Disponibilidad operacional e intrínseca promedio

Disponibilidad intrínseca promedio	0.924
Disponibilidad operacional promedio	0.906

Se observa que la disponibilidad operacional promedio del departamento de refinación de crudos se encuentra en un valor aceptable teniendo en cuenta que estos equipos son equipos de respaldo de los sistemas de bombeo principales.

13. ANALISIS RCM DE LAS TURBINAS DE PROPÓSITO GENERAL DE REFINACIÓN DE CRUDOS

Se realizó el estudio para dos tipos de turbinas, las montadas sobre rodamientos y las turbinas montadas sobre chumaceras, esto basado en la definición de la norma API611 4th edición, para turbinas de propósito general.

13.1 RCM TURBINA DE VAPOR MONTADA SOBRE CHUMACERAS

El RCM realizado para la turbina de vapor de propósito general montada sobre chumaceras busca determinar la mejor estrategia de mantenimiento para garantizar una operación confiable del activo con mínimas consecuencias operacionales para el negocio.

13.1.1 Contexto operacional

Las 35 turbinas de propósito general montadas sobre chumaceras son los sistemas de respaldo de los equipos principales del departamento de refinación de crudos de la refinería de Barrancabermeja de Ecopetrol S.A.

El sistema está compuesto por un equipo principal movido por un motor y un equipo de respaldo movido por una turbina, generalmente opera el equipo principal, el equipo de turbina opera por intervalos con un promedio de cuatro meses en el año.

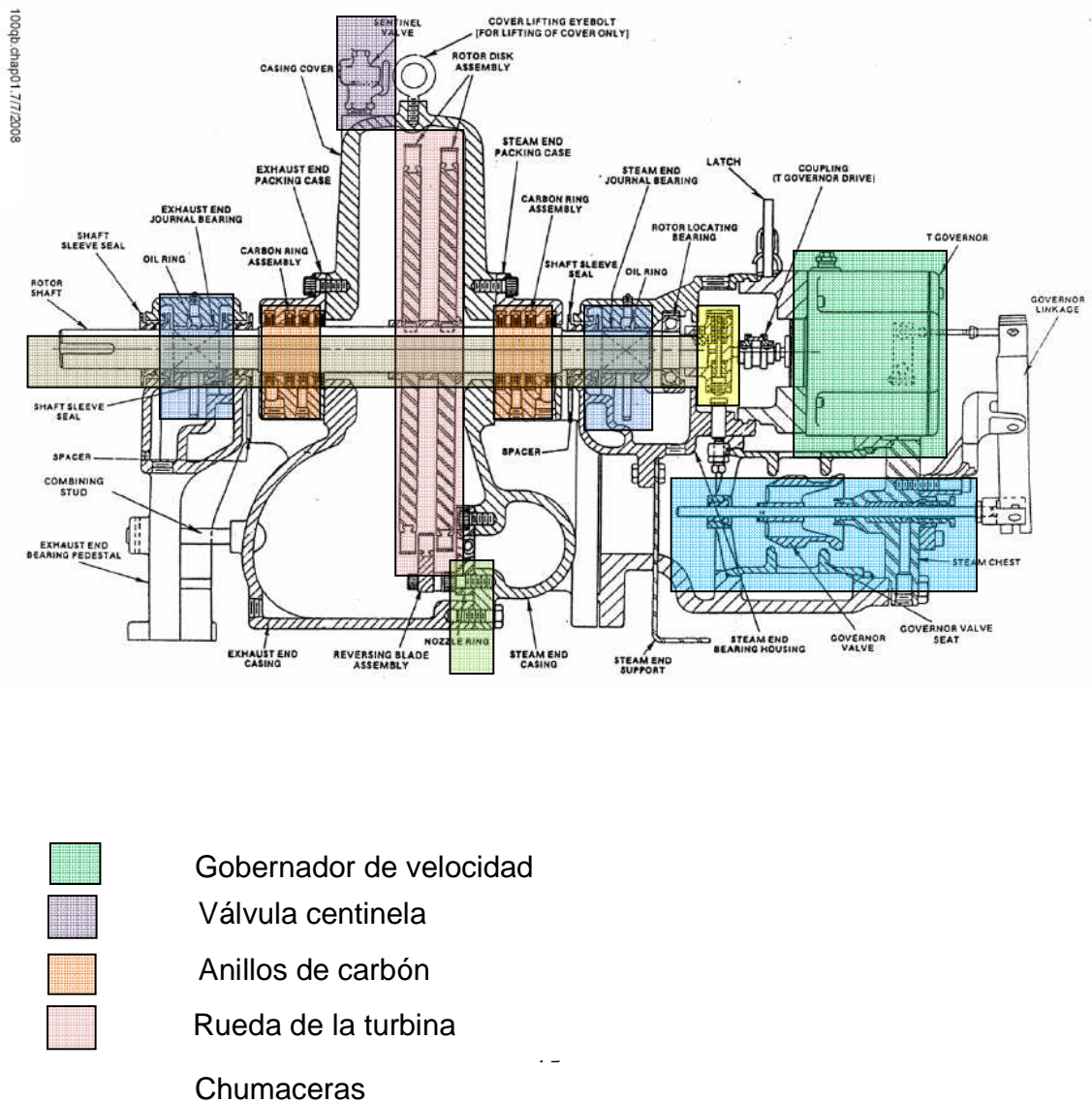
Las turbinas montadas sobre chumaceras, ver figura 14, en el departamento de refinación de crudos de GRB son modelos de los siguientes fabricantes; Elliott, Terry, Dresser Rand, Turbodyne y Westing House, de una potencia entre 20HP y 300HP y que giran a una velocidad de 3600RPM.






El método de desarrollado para realizar el RCM de la turbina es el descrito por la norma SAE JA 1011 basado en siete preguntas que parten de la función del activo y guían a los participantes hasta definir la mejor estrategia de mantenimiento para cada componente del activo. Vare tabla 12 y tabla 13.

Las metas y expectativas a alcanzar con la implantación del RCM para la turbina son:

- Disminución del promedio anual de días requeridos para intervenciones programadas, de 2 a 1 días.
- Aumento en el TMEF superior a 17520 horas
- Disminución de un 5% del presupuesto de mantenimiento preventivo

Figura 14. Turbina de vapor de propósito general montada sobre chumaceras



	
	Plato de disparo
	Toberas
	Eje
	Válvula de gobernación

13.1.2 Función

Función primaria

- Transmitir movimiento al eje de un equipo rotatorio con la potencia requerida a una velocidad de 3600RPM con una presión de vapor constante en la admisión. Operando con valores de vibración inferiores a 2 mils pico a pico.

Función secundaria:

- Mantener la presión del cabezal de 50PSI constante en la unidad mediante el aprovechamiento de la presión de exhosto de la turbina.

13.1.3 Fallas funcionales

1-A. Disminución de potencia entregada

1-B. Incapacidad de transferir movimiento

1-C. Pérdida de la capacidad de gobernación de velocidad a 3600RPM

1-D. Vibración de la turbina superior a 2 mils pico a pico

2-A. Disminución de la presión de exhosto de 50PSI

2-B. Aumento de la presión de exhosto

13.1.4 Modos de falla

- 1A1 Alojamiento de válvula de tobera desgastado
- 1A2 Disminución en el flujo de vapor de admisión
- 1A3 Sellos de carbón desgastados
- 1B1 Falta de lubricante
- 1B2 Eje desalineado
- 1B3 Plato de disparo descalibrado
- 1B4 Válvula de admisión atascada
- 1C1 Gobernador de velocidad electrónico defectuoso
- 1C2 Gobernador hidráulico de velocidad defectuoso
- 1C3 Daño de acople de quijadas entre gobernador y turbina
- 1D1 Deterioro de los cojinetes
- 1D2 Anclaje de inadecuado
- 1D3 Desalineamiento de eje de la turbina
- 2A1 Disminución en la presión de vapor de admisión
- 2A2 Válvula centinela descalibrada
- 2B1 Desgaste de los alabes de la rueda

Tabla 12. Resultados RCM turbina de chumaceras

HOJA DE TRABAJO RCM						
Equipo: Turbina de vapor de proposito general			Equipo de trabajo: Juan Eduardo Rodríguez		Fecha de realización 8-12-2009	
Componente			Abrobado por: Sergio Amaya		Fecha de aprobación	
C.F.	FUNCIÓN	C.F.F.	FALLA DE FUNCIÓN	C.M.F.	MODO DE FALLA	EFFECTOS DE LOS MODOS DE FALLA (Qué sucede cuando falla)
1	Transmitir movimiento al eje de un equipo rotatorio con la potencia requerida a una velocidad de 3600RPM con una presión de vapor constante en la admisión. Operando con valores de vibración inferiores a 2 mils pico a pico	A	Disminución de potencia entregada	1A1	Alojamiento de válvula de tobera desgastado	Fuga de vapor por aumento de holgura en el alojamiento de las válvulas de toberas que disminuyen la presión de entrada de vapor en la admisión de la turbina
				1A2	Disminución en el flujo de vapor de admisión	Disminución del flujo de vapor en la admisión de la turbina lo cual genera una disminución de la entalpia debido a la disminución del flujo másico en la entrada de la primera rueda de la turbina. La pérdida de energía da como resultado una pérdida de la velocidad de la turbina, lo cual a un torque fijo requerido resulta en una disminución de la potencia.
				1A3	Sellos de carbón desgastados	Cuando los sellos de carbón se desgastan, se aumenta la holgura entre el eje y diámetro interior del carbón, permitiendo así un flujo mayor de vapor, que puede llegar a generar una fuga excesiva de vapor a la atmosfera. Este vapor a baja presión se puede condensar en la caja de chumaceras.
		B	Incapacidad de transferir movimiento	1B1	Falta de lubricante	Se pierde la película de lubricación que evita el contacto metal-metal entre el eje y el cojinete de la caja de chumaceras de la turbina, lo que causa un desgaste prematuro del cojinete y del eje, la alta vibración acciona el disparo mecánico de la turbina.
				1B2	Eje desalineado	Deterioro del cojinete por un desalineamiento, lo cual causa calentamiento excesivo, generando perdida de la capa superficial de babbit del cojinete. Este desgaste del cojinete genera soltura en el eje y desgaste abrasivo del mismo, la soltura genera la fractura del cojinete
				1B3	Plato de disparo descalibrado	El plato de disparo acciona por fuerza centrifuga el mecanismo del pin de disparo mediante un resorte, si no se tensiona adecuadamente el resorte, el pin puede salir a la velocidad de operación normal y accionar el mecanismo que actúa la válvula trip. Si el pin no actúa la turbina se puede acelerar por sobre velocidad generando una falla catastrófica en sus internos.
				1B4	Válvula de admisión atascada	Restos de calamilla de corrosión es arrastrado hacia la válvula de admisión, este material extraño atasca el recorrido normal del vástago de la válvula
		C	Perdida de la capacidad de gobernación de velocidad a 3600RPM	1C1	Gobernador de velocidad electrónico defectuoso	La velocidad de la turbina aumenta y disminuye de forma ciclica asociado a calibración inadecuada del transmisor de presión de actuador de la válvula de gobernación electrónica.
				1C2	Gobernador hidráulico de velocidad defectuoso	El gobernador no tiene el torque suficiente para actuar la válvula de gobernación, asociado a perdida de eficiencia de la bomba hidráulica del gobernador
				1C3	Daño de acople de quijadas entre gobernador y turbina	Deterioro del elemento flexible que transmite el torque entre el eje de la turbina y el eje del gobernador.

Continúa

Continuación Tabla 12. Resultados RCM turbina de chumaceras

HOJA DE TRABAJO RCM						
Equipo: Turbina de vapor de proposito general			Equipo de trabajo: Juan Eduardo Rodríguez		Fecha de realización 8-12-2009	
Componente			Abroado por: Sergio Amaya		Fecha de aprobación	
C.F.	FUNCIÓN	C.F.F.	FALLA DE FUNCIÓN	C.M.F.	MODO DE FALLA	EFFECTOS DE LOS MODOS DE FALLA (Qué sucede cuando falla)
		D	Vibración de la turbina superior a 2 mils pico a pico	1D1	Deterioro de los cojinetes	Los cojinetes desgastados aumentan la holgura entre el eje y casquetes, lo que genera solturas mecánicas que aumentan la vibración de la turbina
				1D2	Anclaje de inadecuado	Un montaje inadecuado puede generar que las bases de montaje de la turbina queden sobre planos diferentes, lo cual al apretar los pernos de anclaje generan deformación de la carcaza, lo cual genera aumento en la vibración
				1D3	Desalineamiento de eje de la turbina	El desalineamiento entre el eje de la turbina y el eje de componente conducido puede generar aumento en la vibración de los puntos de
2	Mantener la presión del cabezal de 50PSI constante en la unidad mediante el aprovechamiento	A	Disminución de la presión de exhosto de 50HP	2A1	Disminución en la presión de vapor de admisión	La caída de presión en la admisión genera una disminución en la velocidad de la turbina y una caída de la presión de exhosto debido
				2A2	Válvula centinela descalibrada	La válvula centinela se puede descalibrar por lo tanto puede accionarse a una presión inferior a 50 PSI lo cual genera una
		B	Aumento de la presión de exhosto	2B1	Desgaste de los alabes de la rueda	Una disminución en el ángulo de los alabes de la primera o segunda rueda genera una aumento de la velocidad de salida del vapor de la

Tabla 13 Tareas propuestas a realizar RCM turbina de chumaceras

HOJA DE TRABAJO RCM																		
Equipo Turbina de vapor de proposito general							Equipo de trabajo: Juan Eduardo Rodríguez				Fecha de realización 8-12-2009							
Componente							Abroado por: Sergio Amaya				Fecha de aprobación 8-12-2009							
Ref. Información			Evaluación Consecuencias				Decisión			Tareas "a falta de"				Tareas Propuestas	Frec. Inicial	A realizar por...		
F	FF	MF	H	S	E	O	H1 S1	H2 S2	H3 S3	O1 N1	O2 N2	O3 N3	H4				H5	S4
1	A	1	Y	N	N	Y	N	Y								Aplicar grasa con aditivo antiagarrotamiento al vástago de la válvula de tobera	Mensual	Operador de patio
1	A	2	Y	N	N	N	N	N	N							No realizar mantenimiento preventivo		
1	A	3	Y	Y			Y									Verificar fugas de vapor tomando temperatura superficial de la cajas de chumaceras de la turbina	Semanal	Operador de patio
1	B	1	Y	N	N	Y	N	Y								Verificar el nivel del aceite en la caja de chumaceras, reponer si es necesario.	Semanal	Operador de patio
1	B	2	Y	N	N	Y	Y									Realizar análisis de vibración para verificar frecuencia de falla por desalineamiento	Mensual	Ingeniero de soporte
1	B	3	Y	Y			N	Y								Calibración y prueba de disparo de la turbina	Anual	Mecánico
1	B	4	N				Y									Realizar prueba de gobernación disminuyendo la velocidad en 100RPM durante 1 minuto y volver a la velocidad de régimen.	Mensual	Operador de patio
1	C	1	Y	N	N	N	N	N	N	Y						Calibración del transmisor y prueba de recorrido a válvula Valteck	Anual	Instrumentista
1	C	2	Y	N	N	Y	N	Y								Revisión y pruebas de gobernador en taller	3 años	Mecánico
1	C	3	N	N	N	Y	N	N	Y							Inspección y cambio de elastómero del acople	3 años	Mecánico
1	D	1	Y	N	N	Y	Y									Toma de vibración en la turbina	Semanal	Operador de patio
1	D	2	Y	N	N	Y	Y									Realizar análisis de vibración para verificar frecuencia de falla por deformación de carcaza	Mensual	Ingeniero de soporte
1	D	3	Y	N	N	Y	Y									Realizar análisis de vibración para verificar frecuencia de falla por desalineamiento entre turbina y componente conducido	Mensual	Ingeniero de soporte
2	A	1	Y	N	N	Y	N	Y								Verificar la presión de vapor en la admisión de la turbina	Semanal	Operador de
2	A	2	Y	N	N	Y	Y									Verificar si la válvula centinela está presentando ruido	Semanal	Operador de
2	B	1	Y	N	N	Y	Y									Inspección de los alabes de la rueda	3 años	Mecánico

13.1.5 MITIGACIÓN DE CONSECUENCIAS

Si sucede que el flujo de vapor en la admisión de la turbina es muy bajo, ejemplo una contingencia operacional en las calderas de la refinería, la tarea para mitigar esta consecuencia es realizar un procedimiento operacional para el cambio de sistema en operación. El operador pone en servicio el equipo eléctrico.

13.2 RCM TURBINA DE VAPOR MONTADA SOBRE RODAMIENTOS

El RCM realizado para la turbina de vapor de propósito general montada sobre Rodamientos busca determinar la mejor estrategia de mantenimiento para garantizar una operación confiable del activo con mínimas consecuencias operacionales para el negocio.

13.2.1 Contexto operacional

Las 24 turbinas de propósito general montadas sobre chumaceras son los sistemas de respaldo de los equipos principales del departamento de refinación de crudos de GRB de Ecopetrol S.A.

El sistema está compuesto por un equipo principal movido por un motor y un equipo de respaldo movido por una turbina, generalmente opera el equipo principal, el equipo de turbina opera por intervalos con un promedio de cuatro meses en el año.

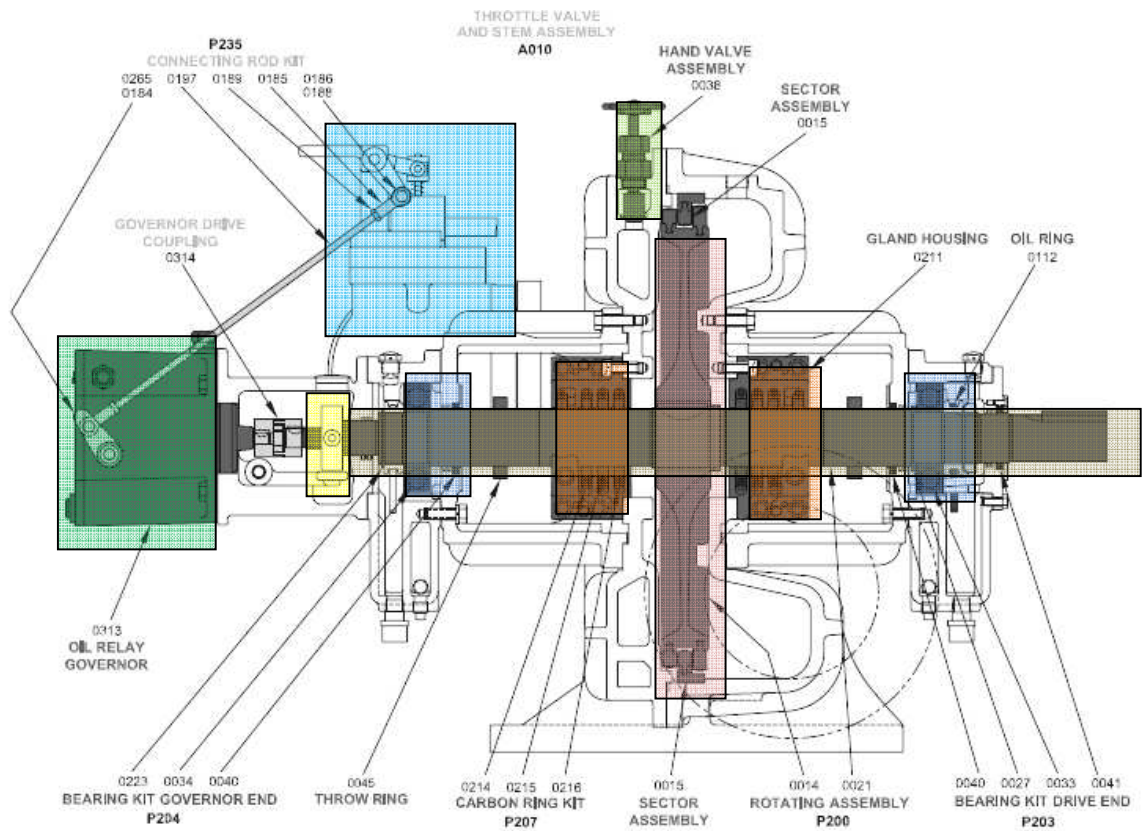
Las turbinas montadas sobre rodamientos, ver figura 15, en el departamento de refinación de crudos de GRB son modelos del fabricante Coppus, de una potencia entre 20HP y 300HP y que giran a una velocidad de 3600RPM.









El método de desarrollado para realizar el RCM de la turbina es el descrito por la norma SAE JA 1011 basado en siete preguntas que parten de la función del activo y guían a los participantes hasta definir la mejor estrategia de mantenimiento para cada componente del activo ver tabla 14 y tabla 15.

Las metas y expectativas a alcanzar con la implantación del RCM para la turbina son:

- Disminución del promedio anual de días requeridos para intervenciones programadas, de 2 a 1 días.
- Aumento en el TMEF superior a 17520 horas
- Disminución de un 5% del presupuesto de mantenimiento preventivo.

Figura 15. Turbina de vapor de propósito general montada sobre rodamientos



-  Gobernador de velocidad
-  Anillos de carbón
-  Rueda de la turbina
-  Chumaceras
-  Plato de disparo
-  Toberas
-  Eje
-  Válvula de gobernanación

13.2.2 Función

Función primaria

1. Transmitir movimiento al eje de un equipo rotatorio con la potencia requerida a una velocidad de 3600RPM con una presión de vapor constante en la admisión. Operando con valores de vibración inferiores a 0.12 In/s RMS.

Función secundaria

2. Mantener la presión del cabezal de 50PSI constante en la unidad mediante el aprovechamiento de la presión de exhosto de la turbina.

13.2.3 Fallas funcionales

- 1-A. Disminución de potencia entregada
- 1-B. Incapacidad de transferir movimiento
- 1-C. Pérdida de la capacidad de gobernación de velocidad a 3600RPM
- 1-D. Vibración de la turbina superior a 0.12 In/s RMS
- 2-A. Disminución de la presión de exhosto de 50PSI
- 2-B. Aumento de la presión de exhosto

13.2.4 Modos de falla

- 1A1 Alojamiento de válvula de tobera desgastado
- 1A2 Disminución en el flujo de vapor de admisión
- 1A3 Sellos de carbón desgastados
- 1B1 Falta de lubricante
- 1B2 Eje desalineado
- 1B3 Plato de disparo descalibrado
- 1B4 Válvula de admisión atascada
- 1C1 Gobernador de velocidad electrónico defectuoso

- 1C2 Gobernador hidráulico de velocidad defectuoso
- 1C3 Daño de acople de quijadas entre gobernador y turbina
- 1D1 Deterioro de los cojinetes
- 1D2 Anclaje de inadecuado
- 1D3 Desalineamiento de eje de la turbina
- 2A1 Disminución en la presión de vapor de admisión
- 2A2 Válvula centinela descalibrada
- 2B1 Desgaste de los alabes de la rueda

Tabla 14 Resultados RCM turbina de rodamientos

HOJA DE TRABAJO RCM						
Equipo: Turbina de vapor de proposito general			Equipo de trabajo: Juan Eduardo Rodriguez		Fecha de realización 8-12-2009	
Componente			Abrobado por: Sergio Amaya		Fecha de aprobación	
C.F.	FUNCIÓN	C.F.F.	FALLA DE FUNCIÓN	C.M.F.	MODO DE FALLA	EFFECTOS DE LOS MODOS DE FALLA (Qué sucede cuando falla)
1	Transmitir movimiento al eje de un equipo rotatorio con la potencia requerida a una velocidad de 3600RPM con una presión de vapor constante en la admisión. Operando con valores de vibración inferiores a 0.12 in/s RMS	A	Disminución de potencia entregada	1A1	Alojamiento de valvula de tobera desgastado	Fuga de vapor por aumento de holgura en el alojamiento de las válvulas de toberas que disminuyen la presión de entrada de vapor en la admisión de la turbina
				1A2	Disminución en el flujo de vapor de admisión	Disminución del flujo de vapor en la admisión de la turbina lo cual genera una disminución de la entalpia debido a la disminución del flujo másico en la entrada de la primera rueda de la turbina. La pérdida de energía da como resultado una pérdida de la velocidad de la turbina, lo cual a un torque fijo requerido resulta en una disminución de la potencia.
				1A3	Sellos de carbón desgastados	Cuando los sellos de carbón se desgastan, se aumenta la holgura entre el eje y diámetro interior del carbón, permitiendo así un flujo mayor de vapor, que puede llegar a generar una fuga excesiva de vapor a la atmosfera. Este vapor a baja presión se puede condensar en la caja de rodamientos
		B	Incapacidad de transferir movimiento	1B1	Falta de lubricante	Se pierde la película de lubricación que evita el contacto metal-metal entre el eje y el rodamiento de la caja de rodamientos de la turbina, lo que causa un desgaste prematuro rodamiento, la alta vibración acciona el disparo mecánico de la turbina o agarrotamiento del rodamiento.
				1B2	Eje desalineado	Deterioro de los rodamientos por un desalineamiento, lo cual causa calentamiento excesivo y desgaste. Este desgaste del rodamiento genera soltura en el eje y desgaste abrasivo del mismo, la soltura puede generar agarrotamiento del rodamiento
				1B3	Plato de disparo descalibrado	El plato de disparo acciona por fuerza centrifuga el mecanismo del pin de disparo mediante un resorte, si no se tensiona adecuadamente el resorte, el pin puede salir a la velocidad de operación normal y accionar el mecanismo que actúa la válvula trip. Si el pin no actúa la turbina se puede acelerar por sobre velocidad generando una falla catastrófica en sus internos.
				1B4	Valvula de admisión atascada	Restos de calamilla de corrosión es arrastrado hacia la valvula de admisión, este material extraño atasca el recorrido normal del vastago de la válvula
		C	Perdida de la capacidad de gobernación de velocidad a 3600RPM	1C1	Gobernador de velocidad electronico defectuoso	La velocidad de la turbina aumenta y disminuye de forma ciclica asociado a calibración inadecuada del transmisor de presión de actuador de la valvula de gobernación electronica.
				1C2	Gobernador hidraulico de velocidad defectuoso	El gobernador no tiene el torque suficiente para actuar la valvula de gobernación, asociado a perdida de eficiencia de la bomba hidráulica del gobernador
				1C3	Daño de acople de quijadas entre gobernador y turbina	Deterior del elemento flexible que transmite el torque entre el eje de la turbina y el eje del gobernador.

Continua.

Continuación Tabla 14 Resultados RCM turbina de rodamientos

HOJA DE TRABAJO RCM						
Equipo: Turbina de vapor de proposito general			Equipo de trabajo: Juan Eduardo Rodriguez		Fecha de realización 8-12-2009	
Componente			Abrobado por: Sergio Amaya		Fecha de aprobación	
C.F.	FUNCIÓN	C.F.F.	FALLA DE FUNCION	C.M.F.	MODO DE FALLA	EFFECTOS DE LOS MODOS DE FALLA (Qué sucede cuando falla)
		D	Vibración de la turbina superior a 0.12 in/s RMS	1D1	Deterioro de los Rodamientos	Se deterioran de los elementos rodantes, pistas y canastilla generan aumento de la holgura, generando vibración a altas frecuencias sintoma del daño de los rodamientos.
				1D2	Anclaje de inadecuado	Un montaje inadecuado puede generar que las bases de montaje de la turbina queden sobre planos diferentes, lo cual al apretar los pernos de anclaje generan deformación de la carcaza, lo cual genera aumento en la vibración
				1D3	Desalineamiento de eje de la turbina	El desalineamiento entre el eje de la turbina y el eje de componente conducido puede generar aumento en la vibración de los puntos de
2	Mantener la presión del cabezal de 50PSI constante en la unidad mediante el aprovechamiento	A	Disminución de la presión de exhosto de 50HP	2A1	Disminución en la presión de vapor de admisión	La caída de presión en la admisión genera una disminución en la velocidad de la turbina y una caída de la presión de exhosto debido
				2A2	Valvula centinela descalibrada	La válvula centinela se puede descalibrar por lo tanto puede accionarse a una presión inferior a 50 PSI lo cual genera una
		B	Aumento de la presión de exhosto	2B1	Desgaste de los alabes de la rueda	Una disminución en el ángulo de los alabes de la primera o segunda rueda genera una aumento de la velocidad de salida del vapor de la

Tabla 15 Tareas propuestas a realizar RCM turbina de rodamientos

HOJA DE TRABAJO RCM																		
Equipo Turbina de proposito general							Equipo de trabajo: Juan Eduardo Rodriguez				Fecha de realización: 8-12-2009							
Componente							Abrobado por: Sergio Amaya				Fecha de aprobación							
Ref. Información	Evaluación Consecuencias				Decisión			Tareas "a falta de"				Frec. Inicial	A realizar por...					
	F	FF	MF	H	S	E	O	H1 S1	H2 S2	H3 S3	O1 N1			O2 N2	O3 N3	H4	H5	S4
1	A	1	Y	N	N	Y	N	Y								Aplicar grasa con aditivo antiagarrotamiento al vástago de la válvula de tobera	Mensual	Operador de patio
1	A	2	Y	N	N	N	N	N	N							No realizar mantenimiento preventivo		
1	A	3	Y	Y			Y									Verificar fugas de vapor por carbones tomando temperatura superficial de la cajas de rodamientos de la turbina	Semanal	Operador de patio
1	B	1	Y	N	N	Y	N	Y								Verificar el nivel del aceite en la caja de rodamientos, reponer si es necesario.	Semanal	Operador de patio
1	B	2	Y	N	N	Y	Y									Realizar análisis de vibración para verificar frecuencia de falla por desalineamiento	Mensual	Ingeniero de soporte
1	B	3	Y	Y			N	Y								Calibración y prueba de disparo de la turbina	Anual	Mecánico
1	B	4	N				Y									Realizar prueba de gobernación disminuyendo la velocidad en 100RPM durante 1 minuto y volver a la velocidad de régimen.	Mensual	Operador de patio
1	C	1	Y	N	N	N	N	N	Y							Calibración del transmisor y prueba de recorrido a válvula Valteck	Anual	Instrumentista
1	C	2	Y	N	N	Y	N	Y								Revisión y pruebas de gobernador en taller	3 años	Mecánico
1	C	3	N	N	N	Y	N	N	Y							Inspección y cambio de elastómero del acople	3 años	Mecánico
1	D	1	Y	N	N	Y	Y									Toma de vibración en la turbina	Semanal	Operador de patio
1	D	2	Y	N	N	Y	Y									Realizar análisis de vibración para verificar frecuencia de falla por deformación de carcaza	Mensual	Ingeniero de soporte
1	D	3	Y	N	N	Y	Y									Realizar análisis de vibración para verificar frecuencia de falla por desalineamiento entre turbina y componente conducido	Mensual	Ingeniero de soporte
2	A	1	Y	N	N	Y	N	Y								Verificar la presión de vapor en la admisión de la turbina	Semanal	Operador de
2	A	2	Y	N	N	Y	Y									Verificar si la válvula centinela está presentando ruido	Semanal	Operador de
2	B	1	Y	N	N	Y	Y									Inspección de los alabes de la rueda	3 años	Mecánico

13.2.5 MITIGACIÓN DE CONSECUENCIAS

Si sucede que el flujo de vapor en la admisión de la turbina es muy bajo, ejemplo una contingencia operacional en las calderas de la refinería, la tarea para mitigar esta consecuencia es realizar un procedimiento operacional para el cambio de sistema en operación. El operador pone en servicio el equipo eléctrico.

14. ANALISIS DE COSTOS DE UN MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Los costos del mantenimiento preventivo actual anual de las 59 turbinas de refinación de crudos son de 25779000 representados en los costos por equipo de mantener 35 turbinas de rodamientos y 24 turbinas de chumaceras.

Los costos promedio de mantenimiento de una turbina de chumaceras y una turbina de rodamientos se encuentran en las tablas 16 y 17 respectivamente.

Tabla 16. Costo mantenimiento anual preventivo en turbinas de chumaceras

Juego de chumaceras *2:	1138000
Juego de carbones * 2:	1182000
Revisión y pruebas gobernador:	500000
Aislamiento:	800000
Hr hombre (51):	2032000
Costo total mantenimiento preventivo	5652000

Tabla 17. Costo mantenimiento anual preventivo en turbinas de rodamientos

Juego de carbones * 2:	1182000
Revisión y pruebas gobernador:	500000
Aislamiento:	800000
Hr hombre (45):	1793000
Costo total mantenimiento preventivo	4275000

15. PROPUESTA DE TAREAS DE MANTENIMIENTO

De los resultados encontrados se realiza la propuesta para optimizar el cumplimiento del mantenimiento y realizar el mantenimiento requerido por las turbinas de refinación de crudos.

En las turbinas montadas sobre rodamientos, se propone basado en un análisis RCM e históricos de mantenimiento lo siguiente;

15.1 FRECUENCIA ANUAL PARA TODAS LAS TURBINAS DE RODAMIENTOS

Basado en el criterio de seguridad para las personas, se realizan pruebas de disparo mecánico y de integridad de elementos relacionados a la seguridad, ver tabla 18.

Tabla 18. Tareas de frecuencia anual para turbinas de rodamientos

Tarea	Descripción de la tarea	Ejecutor	Tiempo	Unidades
1	SOLICITAR PERMISO Y REVISAR ATS	Mecánico	1	HORAS
2	DESACOPLAR TURBINA	Mecánico	1	HORAS
3	REVISAR Y CALIBRAR VALVULA CENTINELA	Mecánico	4	HORAS
4	REVISAR FILTRO DE VAPOR	Mecánico	4	HORAS
5	REVISAR/LAVAR CAJA DE BALINERAS	Mecánico	2	HORAS
6	REVISAR VÁLVULA T&T	Mecánico	2	HORAS
7	REVISAR ALINEAMIENTO	Mecánico	1	HORAS
8	PROBAR VELOCIDAD DE DISPARO A TURBINA	Mecánico	4	HORAS
9	PROBAR EN VACIO / MONITOREO ATP	Mecánico	4	HORAS
10	ACOPLAR EQUIPO/ ENTREGAR A OPERACIONES	Mecánico	4	HORAS

El costo de este mantenimiento de pruebas de seguridad anual es 1'076.000.

15.2 TURBINAS DE RODAMIENTOS A REALIZAR MANTENIMIENTO CADA 24 MESES

Se seleccionaron las turbinas de rodamientos con TMEF cercanos a este intervalo de tiempo y se definieron las siguientes tareas. Ver tabla 19 y tabla 20.

Tabla 19. Equipos a realizar mantenimiento cada 24 meses

EQUIPO	TMEF
SP2101B	13140
SP2010B	19710
SP2017D	19710
SP2121B	15768
SP202D	26280
SP131F	15768
SP258C	19710
SP2019B	19710

Tabla 20. Tareas de frecuencia cada 24 meses para turbinas de rodamientos

Tarea	Descripción de la tarea	Ejecutor	Tiempo	Unidades
1	SOLICITAR PERMISO Y REVISAR ATS	Mecánico	1	HORAS
2	DESACOPLAR TURBINA	Mecánico	1	HORAS
3	REVISAR Y CALIBRAR VALVULA CENTINELA	Mecánico	4	HORAS
4	REVISAR FILTRO DE VAPOR	Mecánico	4	HORAS
5	RETIRAR GOBERNADOR-LLEVAR A LAPPING	Mecánico	1	HORAS
6	REVISAR/LAVAR CAJA DE BALINERAS	Mecánico	2	HORAS
7	CAMBIAR CARBONES	Mecánico	10	HORAS
8	CALIBRAR GOBERNADOR	Mecánico	6	HORAS
9	REVISAR VÁLVULA T&T	Mecánico	2	HORAS
10	LLEVAR GOBERNADOR A PLANTA-INSTALAR	Mecánico	1	HORAS
11	REVISAR ALINEAMIENTO	Mecánico	1	HORAS
12	PROBAR VELOCIDAD DE DISPARO A TURBINA	Mecánico	4	HORAS
13	PROBAR EN VACIO / MONITOREO ATP	Mecánico	4	HORAS
14	ACOPLAR EQUIPO/ ENTREGAR A OPERACIONES	Mecánico	4	HORAS

El costo de este mantenimiento cada 2 años es 4'275.000.

15.3 TURBINAS DE RODAMIENTOS A REALIZAR MANTENIMIENTO CADA 36 MESES

Se seleccionaron las turbinas de rodamientos con TMEF cercanos a este intervalo de tiempo y se definieron las siguientes tareas. Ver tabla 21 y tabla 22.

Tabla 21. Equipos a realizar mantenimiento cada 36 meses

EQUIPO	TMEF
SP207D	26280
SP232B	26280
SP2003D	26280
SP157B	39420
SP158B	39420
SP243B	39420
SP256A	39420
SP252C	39420
SP150F	78840
SP151D	78840
SP204D	78840
SP237D	78840
SP239	78840
SP2023B	78840
SP251A	78840
SP2029B	78840

Tabla 22. Tareas de frecuencia cada 36 meses para turbinas de rodamientos

Tarea	Descripción de la tarea	Ejecutor	Tiempo	Unidades
1	SOLICITAR PERMISO Y REVISAR ATS	Mecánico	1	HORAS
2	DESACOPLAR TURBINA	Mecánico	1	HORAS
3	REVISAR Y CALIBRAR VALVULA CENTINELA	Mecánico	4	HORAS
4	REVISAR FILTRO DE VAPOR	Mecánico	4	HORAS
5	RETIRAR GOBERNADOR-LLEVAR A LAPPING	Mecánico	1	HORAS
6	REVISAR/LAVAR CAJA DE BALINERAS	Mecánico	2	HORAS
7	CAMBIAR CARBONES	Mecánico	10	HORAS
8	CALIBRAR GOBERNADOR	Mecánico	6	HORAS
9	REVISAR VÁLVULA T&T	Mecánico	2	HORAS
10	LLEVAR GOBERNADOR A PLANTA-INSTALAR	Mecánico	1	HORAS
11	REVISAR ALINEAMIENTO	Mecánico	1	HORAS
12	PROBAR VELOCIDAD DE DISPARO A TURBINA	Mecánico	4	HORAS
13	PROBAR EN VACIO / MONITOREO ATP	Mecánico	4	HORAS
14	ACOPLAR EQUIPO/ ENTREGAR A OPERACIONES	Mecánico	4	HORAS

El costo de este mantenimiento cada 3 años es 4'275.000.

El TMEF por el modo de falla daño en rodamientos en promedio es de 49468 horas, cercano a 5 años y medio, sin embargo según la metodología RCM las tareas de mantenimiento para este modo de falla son basadas en la condición. Debido que en el departamento de refinación de crudos se realiza seguimiento semanal a las vibraciones de estos sistemas, se deja el cambio de rodamientos como una tarea basada en la condición de estos elementos.

En las turbinas montadas sobre chumaceras, se propone basado en un análisis RCM e históricos de mantenimiento lo siguiente;

15.4 FRECUENCIA ANUAL PARA TODAS LAS TURBINAS DE CHUMACERAS

Basado en el criterio de seguridad para las personas, se realizan pruebas de disparo mecánico y de integridad de elementos relacionados a la seguridad. Ver tabla 23.

Tabla 23. Tareas de frecuencia anual para turbinas de chumaceras

Tarea	Descripción de la tarea	Ejecutor	Tiempo	Unidades
1	SOLICITAR PERMISO Y REVISAR ATS	Mecánico	1	HORAS
2	DESACOPLAR TURBINA	Mecánico	1	HORAS
3	REVISAR Y CALIBRAR VALVULA CENTINELA	Mecánico	4	HORAS
4	CALIBRAR JUEGO AXIAL	Mecánico	1	HORAS
5	LAVAR CAJAS DE CHUMACERAS	Mecánico	1	HORAS
6	REVISAR VÁLVULA T&T	Mecánico	2	HORAS
7	REVISAR ALINEAMIENTO	Mecánico	1	HORAS
8	PROBAR VELOCIDAD Y DISPARO A TURBINA	Mecánico	4	HORAS
9	PROBAR EN VACIO / MONITOREO ATP	Mecánico	4	HORAS
10	ACOPLAR Y ENTREGAR EQUIPO A OPERACIONES	Mecánico	4	HORAS

El costo de este mantenimiento de pruebas de seguridad anual es 916.000.

15.5 TURBINAS DE CHUMACERAS A REALIZAR MANTENIMIENTO CADA 12 MESES

Se seleccionaron las turbinas de chumaceras con TMEF cercanos a este intervalo de tiempo y se definieron las siguientes tareas. Ver tabla 24 y tabla 25.

Tabla 24. Equipos a realizar mantenimiento cada 12 meses

EQUIPO	TMEF
SP2110B	7167
SP275C	7167
SP2022D	8760
SP2106B	8760
SP2009D	9855
SP250C	9855
SP2020D	9855

Tabla 25. Tareas de frecuencia cada 12 meses para turbinas de chumaceras

Tarea	Descripción de la tarea	Ejecutor	Tiempo	Unidades
1	SOLICITAR PERMISO Y REVISAR ATS	Mecánico	1	HORAS
2	DESACOPLAR TURBINA	Mecánico	1	HORAS
3	REVISAR Y CALIBRAR VALVULA CENTINELA	Mecánico	4	HORAS
4	REVISAR FILTRO DE VAPOR	Mecánico	4	HORAS
5	CALIBRAR JUEGO AXIAL	Mecánico	1	HORAS
6	REVISAR ESTADO CHUMACERAS.AXIAL Y RADIAL	Mecánico	4	HORAS
7	CAMBIAR CARBONES	Mecánico	10	HORAS
8	RETIRAR GOBERNADOR-LLEVAR A LAPPING	Mecánico	1	HORAS
9	CALIBRAR GOBERNADOR	Mecánico	6	HORAS
10	LAVAR CAJAS DE CHUMACERAS	Mecánico	1	HORAS
11	LLEVAR GOBERNADOR A PLANTA-INSTALAR	Mecánico	1	HORAS
12	REVISAR VÁLVULA T&T	Mecánico	2	HORAS
13	REVISAR ALINEAMIENTO	Mecánico	1	HORAS
14	PROBAR VELOCIDAD Y DISPARO A TURBINA	Mecánico	4	HORAS
15	PROBAR EN VACIO / MONITOREO ATP	Mecánico	4	HORAS
16	ACOPLAR Y ENTREGAR EQUIPO A OPERACIONES	Mecánico	4	HORAS

El costo de este mantenimiento cada año es 4´434.000.

15.6 TURBINAS DE CHUMACERAS A REALIZAR MANTENIMIENTO CADA 24 MESES

Se seleccionaron las turbinas de chumaceras con TMEF cercanos a este intervalo de tiempo y se definieron las siguientes tareas. Ver tabla 26 y tabla 27.

Tabla 26. Equipos a realizar mantenimiento cada 24 meses

EQUIPO	TMEF
SP2008D	13140
SP2102D	13140
SP133B	13140
SP223B	15768
SP225B	15768
SP2112D	15768
SP137D	15768
SP2104B	15768
SP220D	19710
SP164D	19710
SP210B	19710
SP271C	19710

Tabla 27. Tareas de frecuencia cada 24 meses para turbinas de chumaceras

Tarea	Descripción de la tarea	Ejecutor	Tiempo	Unidades
1	SOLICITAR PERMISO Y REVISAR ATS	Mecánico	1	HORAS
2	DESACOPLAR TURBINA	Mecánico	1	HORAS
3	REVISAR Y CALIBRAR VALVULA CENTINELA	Mecánico	4	HORAS
4	REVISAR FILTRO DE VAPOR	Mecánico	4	HORAS
5	CALIBRAR JUEGO AXIAL	Mecánico	1	HORAS
6	REVISAR ESTADO CHUMACERAS.AXIAL Y RADIAL	Mecánico	4	HORAS
7	CAMBIAR CARBONES	Mecánico	10	HORAS
8	RETIRAR GOBERNADOR-LLEVAR A LAPPING	Mecánico	1	HORAS
9	CALIBRAR GOBERNADOR	Mecánico	6	HORAS
10	LAVAR CAJAS DE CHUMACERAS	Mecánico	1	HORAS
11	LLEVAR GOBERNADOR A PLANTA-INSTALAR	Mecánico	1	HORAS
12	REVISAR VÁLVULA T&T	Mecánico	2	HORAS
13	REVISAR ALINEAMIENTO	Mecánico	1	HORAS
14	PROBAR VELOCIDAD Y DISPARO A TURBINA	Mecánico	4	HORAS
15	PROBAR EN VACIO / MONITOREO ATP	Mecánico	4	HORAS
16	ACOPLAR Y ENTREGAR EQUIPO A OPERACIONES	Mecánico	4	HORAS

El costo de este mantenimiento cada 2 años es 4'434.000.

15.7 TURBINAS DE CHUMACERAS A REALIZAR MANTENIMIENTO CADA 36 MESES

Se seleccionaron las turbinas de chumaceras con TMEF cercanos a este intervalo de tiempo y se definieron las siguientes tareas. Ver tabal 28 y tabla 29.

Tabla 28. Equipos a realizar mantenimiento cada 36 meses

EQUIPO	TMEF
SP2107B	26280
SP2113B	26280
SP2002D	26280
SP260C	26280
SP212B	39420
SP231B	39420
SP212D	39420
SP2105B	39420
SP2109D	39420
SP253C	39420
SP257C	39420
SP259C	78840
SP233B	78840
SP203B	78840
SP209B	78840
SP2001D	260280

Tabla 29. Tareas de frecuencia cada 36 meses para turbinas de chumaceras

Tarea	Descripción de la tarea	Ejecutor	Tiempo	Unidades
1	SOLICITAR PERMISO Y REVISAR ATS	Mecánico	1	HORAS
2	DESACOPLAR TURBINA	Mecánico	1	HORAS
3	REVISAR Y CALIBRAR VALVULA CENTINELA	Mecánico	4	HORAS
4	REVISAR FILTRO DE VAPOR	Mecánico	4	HORAS
5	CALIBRAR JUEGO AXIAL	Mecánico	1	HORAS
6	REVISAR ESTADO CHUMACERAS.AXIAL Y RADIAL	Mecánico	4	HORAS
7	CAMBIAR CARBONES	Mecánico	10	HORAS
8	RETIRAR GOBERNADOR-LLEVAR A LAPPING	Mecánico	1	HORAS
9	CALIBRAR GOBERNADOR	Mecánico	6	HORAS
10	LAVAR CAJAS DE CHUMACERAS	Mecánico	1	HORAS
11	LLEVAR GOBERNADOR A PLANTA-INSTALAR	Mecánico	1	HORAS
12	REVISAR VÁLVULA T&T	Mecánico	2	HORAS
13	REVISAR ALINEAMIENTO	Mecánico	1	HORAS
14	PROBAR VELOCIDAD Y DISPARO A TURBINA	Mecánico	4	HORAS
15	PROBAR EN VACIO / MONITOREO ATP	Mecánico	4	HORAS
16	ACOPLAR Y ENTREGAR EQUIPO A OPERACIONES	Mecánico	4	HORAS

El costo de este mantenimiento cada 2 años es 4'434.000

El TMEF por el modo de falla daño en chumaceras en promedio es de 24743 horas, cercano a 2 años y 10 meses, sin embargo según la metodología RCM las tareas de mantenimiento para este modo de falla son basadas en la condición. Debido que en el departamento de refinación de crudos se realiza seguimiento semanal a las vibraciones de estos sistemas, se deja el reemplazo de chumaceras como una tarea basada en la condición de estos elementos, solo se realiza la tarea de inspección preventiva para documentación y reporte.

16. ANALISIS DE LOS COSTOS DE MANTENIMIENTO DE LA NUEVA ESTRATEGIA

Los costos de mantenimiento evaluados en un periodo de 6 años, se pueden observar en la tabla 30.

Tabla 30. Costos de mantenimiento en seis años

Costo pruebas seguridad turbina rodamientos	1076000
Costo mantenimiento turbina rodamientos	4275000
Costo pruebas seguridad turbina chumaceras	916000
Costo mantenimiento turbina chumaceras	4434000

Continua

Continuación. Tabla 30. Costos de

mantenimiento en seis años

	Año 1
Costo de mantenimiento anual de pruebas seguridad *24 equipos de rodamientos	25824000
Costo de mantenimiento anual de pruebas seguridad *28 equipos de chumaceras	25648000
Costo de mantenimiento anual preventivo *7 equipos de chumaceras	31038000
Total	82510000

	Año 2
Costo de mantenimiento anual de pruebas seguridad *16 equipos de rodamientos	17216000
Costo de mantenimiento anual preventivo *8 equipos de rodamientos	34200000
Costo de mantenimiento anual de pruebas seguridad *16 equipos de chumaceras	14656000
Costo de mantenimiento anual preventivo *19 equipos de chumaceras	84246000
Total	150318000

	Año 3
Costo de mantenimiento anual de pruebas seguridad *8 equipos de rodamientos	8608000
Costo de mantenimiento anual preventivo *16 equipos de rodamientos	68400000
Costo de mantenimiento anual de pruebas seguridad *12 equipos de chumaceras	10992000
Costo de mantenimiento anual preventivo *23 equipos de chumaceras	101982000
Total	189982000

Continua.

Continuación. Tabla 30. Costos de

mantenimiento en seis años

	Año 4
Costo de mantenimiento anual de pruebas seguridad *16 equipos de rodamientos	17216000
Costo de mantenimiento anual preventivo *8 equipos de rodamientos	34200000
Costo de mantenimiento anual de pruebas seguridad *16 equipos de chumaceras	14656000
Costo de mantenimiento anual preventivo *19 equipos de chumaceras	84246000
Total	150318000

	Año 5
Costo de mantenimiento anual de pruebas seguridad *24 equipos de rodamientos	25824000
Costo de mantenimiento anual de pruebas seguridad *28 equipos de chumaceras	25648000
Costo de mantenimiento anual preventivo *7 equipos de chumaceras	31038000
Total	82510000

	Año 6
Costo de mantenimiento anual preventivo *24 equipos de rodamientos	102600000
Costo de mantenimiento anual preventivo *35 equipos de chumaceras	155190000
Total	257790000

Total del costo de mantenimiento en 6 años	913428000
--	-----------

Costo del mantenimiento actual durante 6 años	1546740000
---	------------

Diferencia en costos	-633312000
----------------------	------------

Con la implementación de la estrategia de mantenimiento planteada, se logra un ahorro de 633'312.000 pesos en 6 años, lo cual equivale al 40.9% del costo de mantenimiento preventivo actual.

Las siguientes son las graficas de la inversión en los dos escenarios, primero sin implementar la estrategia, realizando mantenimiento anual a todas las turbina y segundo realizando el mantenimiento recomendado en la estrategia planteada.

Figura 16. Costos de mantenimiento de la estrategia actual en seis años

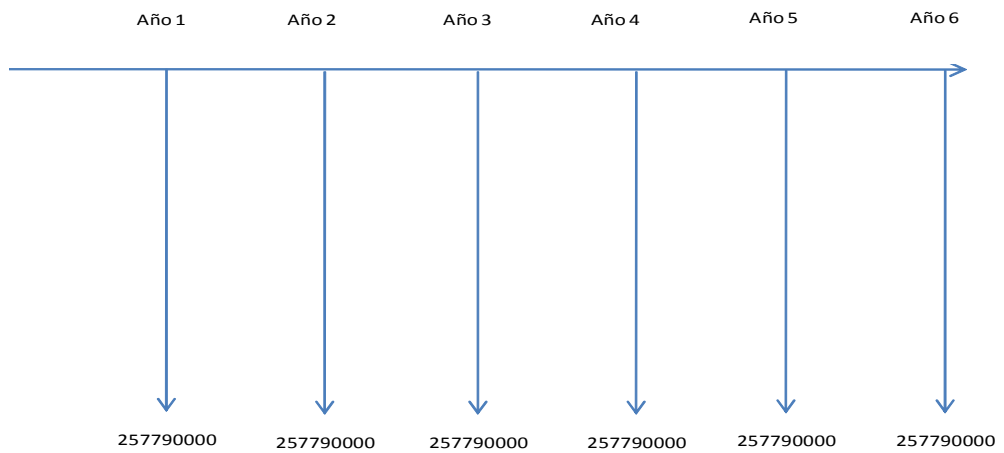
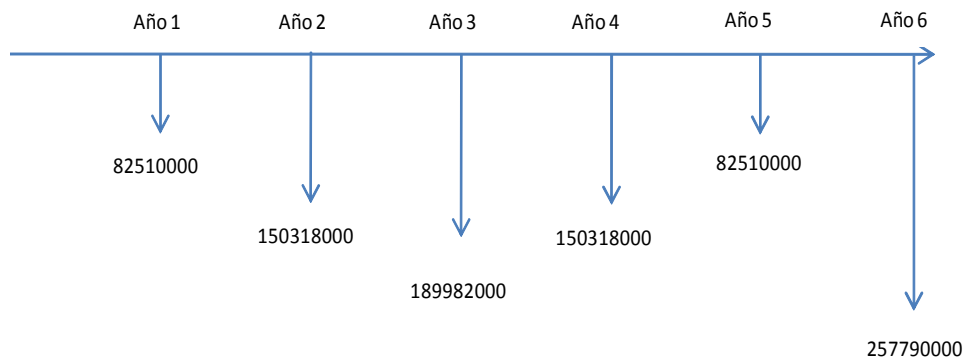


Figura 17. Costos anuales durante 6 años con la estrategia propuesta.



CONCLUSIONES

La frecuencia de mantenimiento definida en un principio para las turbinas de propósito general del departamento de refinación de crudos no es basada en un análisis de modos y efectos de falla, se consultó y se confirmó que se realizó basado en la experiencia de un grupo de especialistas mecánicos de la refinería, quienes basados en la experticia definieron las tareas y la frecuencia.

Luego de la revisión detallada de los tiempos medios entre fallas de los sistemas se encuentra que la frecuencia de falla es menor que la definida para las turbinas del departamento por lo tanto se pueden extender los tiempos de intervención más del doble del tiempo actual.

Para realizar un análisis RCM se requiere de la participación de un grupo multidisciplinario que conozca los equipos a analizar, haya realizado pruebas funcionales y realizado análisis de desempeño de los sistemas, el equipo debe estar compuesto por operadores, técnicos mecánicos, ingenieros de mantenimiento, ingenieros confiabilidad e ingenieros de proceso.

Los tipos de mantenimiento deben analizarse de acuerdo al indicador que se quiere medir confiabilidad o disponibilidad, siempre basado en la sugerencia de la norma, debido que se puede ver afectado el indicador y puede dar un valor no representativo de lo que se quiere medir, por ejemplo las pruebas de disparo no son tenidas en cuenta para confiabilidad pues es una prueba que afecta la disponibilidad del equipo por el tiempo requerido para ejecutarse. Esta prueba de seguridad no se realiza basada en un análisis de condición.

Los modos de falla predominantes en las turbinas son los relacionados con los puntos de apoyo de los ejes, por tal motivo 31 de los 59 modos de falla comunes de las turbinas son por daño en rodamientos o chumaceras.

Se asocia que la mayoría de los modos de falla se encuentren en los puntos de apoyo a la utilización de tecnología para detectar daños tempranos en estos componentes; toma de datos y seguimiento a tendencia de vibración. Este es el motivo por el cual la mayoría de los alcances relacionan la recuperación de estos componentes basados en análisis de la condición.

Aunque el modo de falla de daño en válvula T&T tiene un TMEF de 26116 Horas, por seguridad en las personas e integridad en los procesos se realizan inspecciones anuales.

El 96% de los equipos presentan un TMEF superior al intervalo de mantenimiento definido en la estrategia de mantenimiento actual de 8760 Horas.

El 92,8% de las fallas por chumaceras se presentan en un tiempo superior a 12 meses, el 100% de las fallas por rodamientos se dan en un tiempo superior a 12 meses, el 93% de las fallas por carbones se presentan en un tiempo superior a 12 meses. Por lo tanto se concluye que en la estrategia actual de 8760 Horas se realizan inspecciones de modos de falla que presentan baja probabilidad de ocurrencia en este periodo. Se realiza un exceso de mantenimiento.

En la actividad de mantenimiento preventivo de turbinas de rodamientos se realizan actividades que no se requieren teniendo en cuenta que se tienen herramientas de monitoreo de condición, una de estas es el medir el juego axial y el juego radial de los rodamientos de la turbina.

El TMEM promedio del departamento es 15622 Horas, lo cual quiere decir que no se está cumpliendo actualmente en todos los sistemas el programa de preventivos definido. Esto se da por dos razones, por una deficiente priorización, la ejecución de un mantenimiento correctivo en un tiempo cercano al de la ejecución del preventivo o por una mala planeación del mantenimiento por no disponibilidad del sistema principal, por lo tanto operaciones no entrega el equipo.

Acompañado de la estrategia de mantenimiento basada en el tiempo y la condición para las turbinas de chumaceras con TMEF cercanos a 1 año, se recomienda utilizar herramientas de análisis de causa raíz para lograr que todos los componentes alcancen el tiempo de vida esperado según estándares de refinería.

Con la implementación de la estrategia de mantenimiento planteada, se logra un ahorro de 633'312.000 pesos en 6 años.

Se logra aumentar la disponibilidad de horas hombre del recurso de mantenimiento preventivo en un 25%, el cual puede ser utilizado en labores de planeación y reparación proactiva de equipos que por condición requieran mantenimiento general.

BIBLIOGRAFIA

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE API, API STANDARD 611, 4ª edición, Junio 1997

AMERICAN SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS (SAE), STANDARD SAE JA 1011, Criterios de Evaluación para Procesos de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM), 1997.

CAMBELL, John, Reliability Handbook, Price waterhouse Coopers LLP. 1997

MORA GUTIERREZ, Mantenimiento estratégico para empresas industriales o de servicios. 2009.

MOUBRAY, John. Reliability Centered Maintenance. London: Butterworth-Heinemann, 1992.

PARRA, Carlos, Diplomado en ingeniería y gestión de mantenimiento, Curso 5, Mantenimiento centrado en la confiabilidad, Octubre 2007.

PEREZ Carlos, Mantenimiento Centrado en la confiabilidad, Soporte & CIA LTDA, 2003.

RODRIGUEZ RIOS, Juan Eduardo. Seis factores claves en la implementación de un RCM, ACIEM. X CONGRESO INTERNACIONAL DE MANTENIMIENTO Memorias Ponencias del X Congreso Internacional de Mantenimiento. Bogotá, 2009.

<http://www.wbdg.org/resources/rcm.php>

www.reliabilityweb.com

ANEXO A

NP131F

OT	Tipo de mantenimiento	Fecha de ejecución	Modo de falla
151025	Mantenimiento planta	5/31/2005	Carbones
154302	Preventivo cancelado	1/4/2005	
173231	Mantenimiento taller	07/05/2006 - 12/28/06	Carbones - Rodamientos
223950	Preventivo	7/16/2007	
238776	Mantenimiento taller	12/15/2007 - 3/27/2008	Rodamientos - Valvula trip
256437	Mantenimiento planta	7/7/2008	
268945	Mantenimiento taller	1/18/2008 - 01/11/2008	Rodamientos
284394	Preventivo cancelado	8/25/2009	

Disponibilidad Operacional (ing confiabilidad)

$A_0 = \frac{MUT}{MUT + MDT}$	MUT	1118.86	Dias UT	3243
	MDT	1404	Dias DT	351
	Ao	0.888	Mantenimientos	6
$A_1 = \frac{MTTF}{MTTF - MTTR}$	AI	0.904	Mantenimientos corr	5

Mantenibilidad

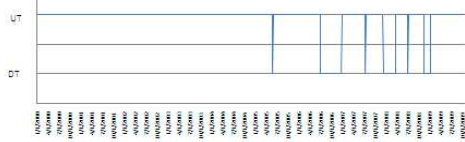
$MDI = 1 - \exp(-\lambda \cdot t)$

MTTR 1670.4

Confiabilidad

TMEM 13140 Hr
TMEF 15768 Hr

OPERACIÓN EN EL TIEMPO NP131F



NP133B

OT	Tipo de mantenimiento	Fecha de ejecución	Modo de falla
117340	Preventivo cancelado	3/31/2003	
121786	Mantenimiento taller	30/07/2003	Preparación general- cambio de eje y chumaceras
128268	Preventivo	3/22/2004	
164639	Preventivo cancelado/Man	9/22/2005	
165683	Mantenimiento taller	26/08/2005	Chumaceras
200151	Mantenimiento planta	8/29/2006	
212179	Preventivo	2/5/2007	
228288	Mantenimiento planta	8/14/2007	
236762	Mantenimiento taller	30/10/2007	Carbones - Chumaceras - Eje
242874	Preventivo cancelado	1/23/2008	
268396	Mantenimiento taller	25/08/2008	Carbones - Chumaceras - Eje

Disponibilidad Operacional (ing confiabilidad)

$A_0 = \frac{MUT}{MUT + MDT}$	MUT	9008	Dias UT	3378
	MDT	848	Dias DT	216
	Ao	0.933	Mantenimientos	6
$A_1 = \frac{MTTF}{MTTF - MTTR}$	AI	0.940	Mantenimientos corr	6

Mantenibilidad

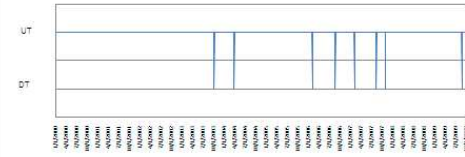
$MDI = 1 - \exp(-\lambda \cdot t)$

MTTR 840

Confiabilidad

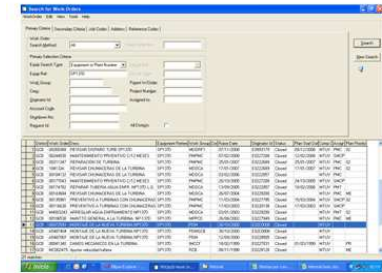
TMEM 9855 Hr
TMEF 13140 Hr

OPERACIÓN EN EL TIEMPO NP133B



NP137D

OT	Tipo de mantenimiento	Fecha de ejecuci	Modo de falla
186330	Preventivo	3/17/2003	
135981	Preventivo	3/15/2004	
143684	Mantenimiento planta	7/26/2004	Chumaceras
174782	Mantenimiento planta	2/14/2006	Tubería agua enfriamiento
177043	Preventivo cancelado	2/22/2006	
184132A	Mantenimiento planta	1/23/2007	Rotor eje
21347	Mantenimiento taller	3/02/2007 - 3/04/2007	Rotor eje
244030	Preventivo	2/14/2008	
268368	Mantenimiento planta	2/10/2008	Trip



Disponibilidad Operacional (ing confiabilidad)

$A_0 = \frac{MUT}{MUT + MDT}$	MUT	9648	Dias UT	3243
	MDT	1053	Dias DT	351
	Ao	0.891	Mantenimientos	8
			Mantenimientos corr	5
$A_1 = \frac{MTTF}{MTTF - MTTR}$	AJ	0.906		

Mantenibilidad

$MU = 1 - \lambda \times (p_i + t_i)$

MTTR 16416

Confiabilidad

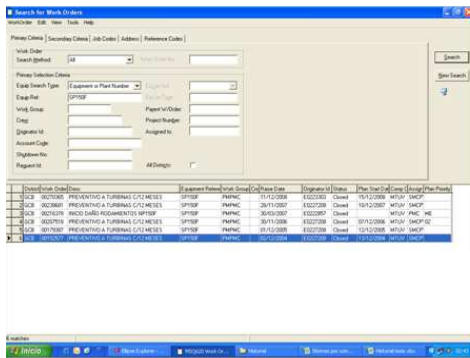
TMEM 3855 Hr
TMEF 15768 Hr

OPERACIÓN EN EL TIEMPO NP137D



NP150F

OT	Tipo de mantenimiento	Fecha de ejecuci	Modo de falla
152577	Preventivo	12/13/2004	
173387	Preventivo	8/23/2006	
207978	Preventivo cancelado	12/8/2006	
216378	Mantenimiento Taller	4/10/2007 - 07/18/2007	Rodamientos
238681	Preventivo	12/13/2007	
270365	Preventivo	12/28/2008	



Disponibilidad Operacional (ing confiabilidad)

$A_0 = \frac{MUT}{MUT + MDT}$	MUT	13920	Dias UT	3480
	MDT	547	Dias DT	114
	Ao	0.962	Mantenimientos	5
			Mantenimientos corr	1
$A_1 = \frac{MTTF}{MTTF - MTTR}$	AJ	0.970		

Mantenibilidad

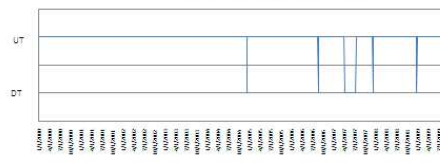
$MU = 1 - \lambda \times (p_i + t_i)$

MTTR 2448

Confiabilidad

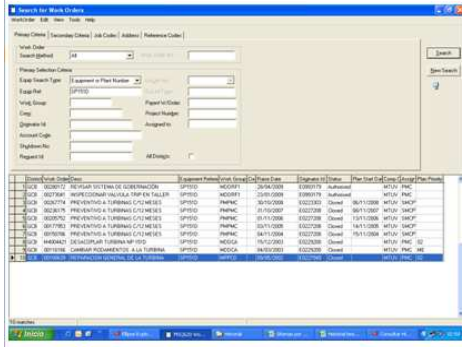
TMEM 15768 Hr
TMEF 78840 Hr

OPERACIÓN EN EL TIEMPO NP150F



NP151D

OT	Tipo de mantenim	Fecha de ejecuci	Modo de falla
100639	Mantenimiento taller	5/08/2003 - 10/09/200	Rodamientos
170786	Preventivo	11/17/2004	
177853	Preventivo	11/17/2005	
205752	Preventivo cancelado	11/17/2006	
236175	Preventivo	11/9/2007	
267774	Preventivo	11/24/2008	



Disponibilidad Operacional (ing confiabilidad)

$A_0 = \frac{MUT}{MUT + MDT}$	MUT	1472	Dias UT	3543
	MDT	245	Dias DT	51
	Ao	0.883	Mantenimientos	5
$A_j = \frac{MTTF}{MTTF + MTTR}$	Aj	0.988	Mantenimientos corr	1

Mantenibilidad

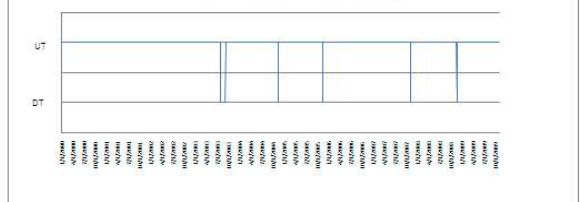
$MMS = 1 - \exp(-\lambda t)$

MTTR 936

Confiabilidad

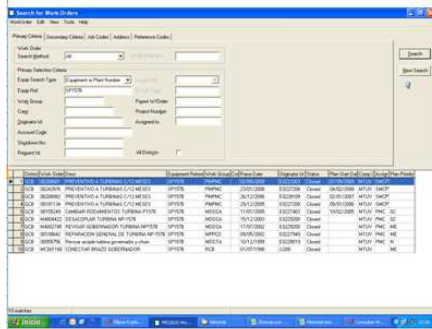
TMEM 15768 Hr
TMEF 78840 Hr

OPERACIÓN EN EL TIEMPO NP151D



NP157B

OT	Tipo de mantenim	Fecha de ejecuci	Modo de falla
100642	Mantenimiento taller	05/08/2003 - 10/09/2	Rodamientos
152493	Mantenimiento taller	16/02/2005 - 12/03/2	Rodamientos carbones
181134	Preventivo	3/3/2006	
209362	Preventivo	14/2/2007	
242276	Preventivo	2/19/2008	
283001	Preventivo	9/11/2009	



Disponibilidad Operacional (ing confiabilidad)

$A_0 = \frac{MUT}{MUT + MDT}$	MUT	12024	Dias UT	3507
	MDT	348	Dias DT	87
	Ao	0.972	Mantenimientos	6
$A_j = \frac{MTTF}{MTTF + MTTR}$	Aj	0.978	Mantenimientos corr	2

Mantenibilidad

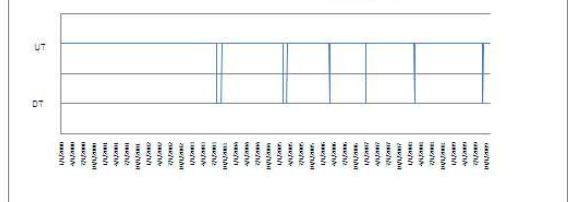
$MMS = 1 - \exp(-\lambda t)$

MTTR 900

Confiabilidad

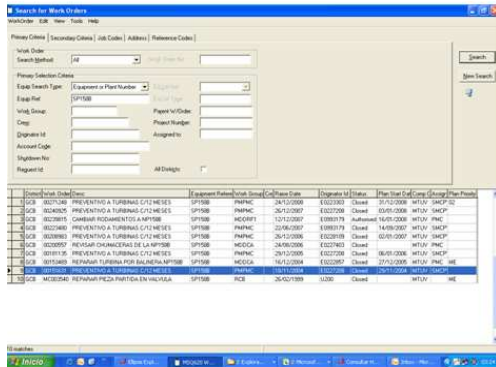
TMEM 13140 Hr
TMEF 39420 Hr

OPERACIÓN EN EL TIEMPO NP157B



NP158B

OT	Tipo de mantenimiento	Fecha de ejecuci	Modo de falla
151621	Preventivo	12/15/2004	
181135	Preventivo cancelado	12/29/2005	
153489	Mantenimiento taller	27/12/2005 - 03/02/06	Rodamientos
208382	Preventivo	1/4/2007	
223400	Preventivo	9/22/2007	
249325	Preventivo	1/10/2008	
238815	Mantenimiento taller	18/01/2008 - 20/03/08	Rodamientos
271249	Preventivo cancelado	1/2/2009	



Disponibilidad Operacional (ing confiabilidad)

$$A_0 = \frac{MUT}{MUT + MDT} \quad \begin{matrix} MUT & 10656 \\ MDT & 1944 \end{matrix} \quad \begin{matrix} \text{Días UT} & 3098 \\ \text{Días DT} & 498 \\ \text{Mantenimientos} & 6 \\ \text{Mantenimientos corr} & 2 \end{matrix}$$

$$A_1 = \frac{MTTF}{MTTF + MTTR} \quad \begin{matrix} Ao & 0.846 \\ AI & 0.874 \end{matrix}$$

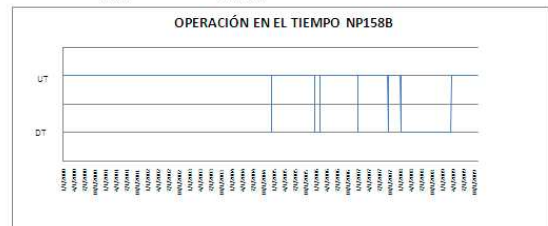
Mantenibilidad

$$M_0 = 1 - e^{-\lambda t} \quad \mu = 0$$

MTTR = 5688

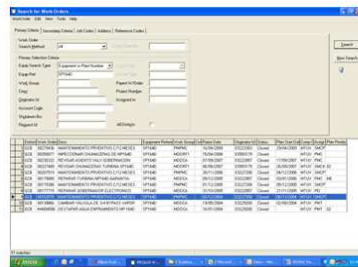
Confiabilidad

TMEM = 1340 Hr
TMEF = 39420 Hr



NP164D

OT	Tipo de mantenimiento	Fecha de ejecuci	Modo de falla
152578	Preventivo	12/6/2004	
17776	Mantenimiento planta Gob electronico (Pick U	10/3/2005	
192000	Preventivo cancelado	2/12/2005	
19889	Mantenimiento taller	4/01/2005 - 16/03/2006	Chumaceras - eje
207519	Preventivo	1/2/2007	
227489	Mantenimiento taller	2/10/2007 - 16/02/2008	Chumaceras - eje
230332	Mantenimiento planta	1/6/2009	
280077	Preventivo	4/30/2009	
279436	Preventivo	4/30/2009	



Disponibilidad Operacional (ing confiabilidad)

$$A_0 = \frac{MUT}{MUT + MDT} \quad \begin{matrix} MUT & 8248 \\ MDT & 1503 \end{matrix} \quad \begin{matrix} \text{Días UT} & 3093 \\ \text{Días DT} & 501 \\ \text{Mantenimientos} & 9 \\ \text{Mantenimientos corr} & 4 \end{matrix}$$

$$A_1 = \frac{MTTF}{MTTF + MTTR} \quad \begin{matrix} Ao & 0.846 \\ AI & 0.870 \end{matrix}$$

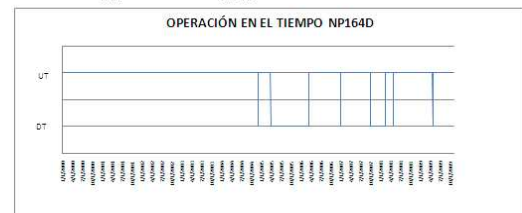
Mantenibilidad

$$M_0 = 1 - e^{-\lambda t} \quad \mu = 0$$

MTTR = 2934

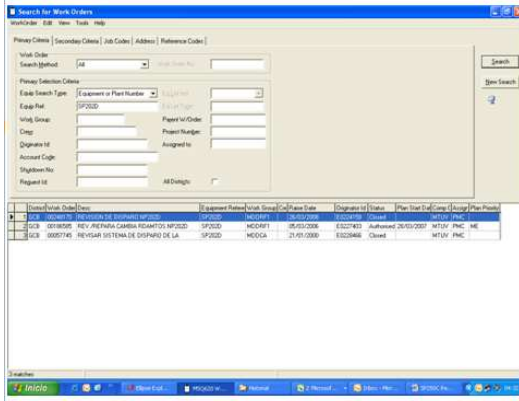
Confiabilidad

TMEM = 9855 Hr
TMEF = 19710 Hr



NP202D

OT	Tipo de mantenim	Fecha de ejecucion	Modo de falla
57745	Mantenimiento plant	8/29/2000	Valvula Trip
185585	Mantenimiento taller	28/03/2007 - 17/07/2007	Flodamientos
248170	Mantenimiento plant	4/2/2008	Valvula Trip



Disponibilidad Operacional (ing confiabilidad)

$$A_0 = \frac{MUT}{MUT + MDT}$$

MUT	20844	Dias UT	3474
MDT	960	Dias DT	120
Ao	0.956	Mantenimientos	3
		Mantenimientos corr	3

$$A_1 = \frac{MTTF}{MTTF - MTTR}$$

AI	0.965		
----	-------	--	--

Mantenibilidad

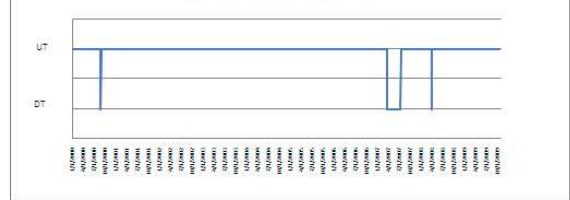
$$M03 = 1 - \exp(-\mu \times t)$$

MTTR 960

Confiabilidad

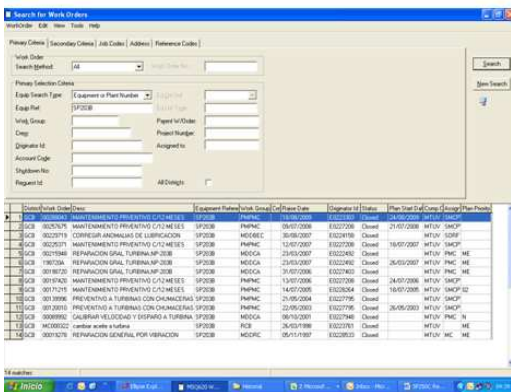
TMEM 26280 Hr
TMEF 26280 Hr

OPERACION EN EL TIEMPO NP202D



NP203B

OT	Tipo de mantenim	Fecha de ejecucio	Modo de falla
189932	Preventivo	10/19/2001	
120010	Preventivo	8/4/2003	
139996	Preventivo cancelado	5/24/2004	
171215	Preventivo	7/25/2005	
197420	Preventivo cancelado	7/27/2006	
196720A	Mantenimiento taller	30/03/2007 - 23/04/2	Carbones
225371	Preventivo	7/19/2007	
257676	Preventivo	7/25/2008	
288043	Preventivo	9/9/2009	



Disponibilidad Operacional (ing confiabilidad)

$$A_0 = \frac{MUT}{MUT + MDT}$$

MUT	10647	Dias UT	3549
MDT	154	Dias DT	45
Ao	0.986	Mantenimientos	7
		Mantenimientos corr	1

$$A_1 = \frac{MTTF}{MTTF - MTTR}$$

AI	0.992		
----	-------	--	--

Mantenibilidad

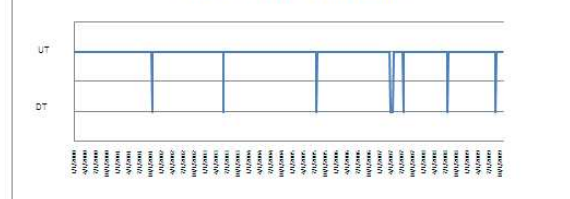
$$M03 = 1 - \exp(-\mu \times t)$$

MTTR 648

Confiabilidad

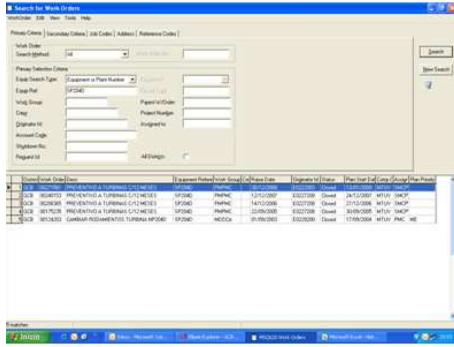
TMEM 11263 Hr
TMEF 78840 Hr

OPERACION EN EL TIEMPO NP203B



NP204D

OT	Tipo de mantenim	Fecha de ejecu	Modo de falla
124203	Mantenimiento taller	02/01/2004	Rodamientos
176235	preventivo	9/30/2005	
208385	preventivo	12/27/2006	
240153	preventivo	12/31/2007	
271561	preventivo	2/25/2009	



Disponibilidad Operacional (ing confiabilidad)

$A_0 = \frac{MUT}{MUT + MDT}$	MUT	13224	Dias UT	3306
	MDT	1382	Dias DT	288
	Ao	0.905	Mantenimientos	5
$A_1 = \frac{MTTF}{MTTF - MTTR}$	AI	0.922	Mantenimientos corr	1

Mantenibilidad

$M(t) = 1 - e^{-\lambda t}$

MTTR = 6624

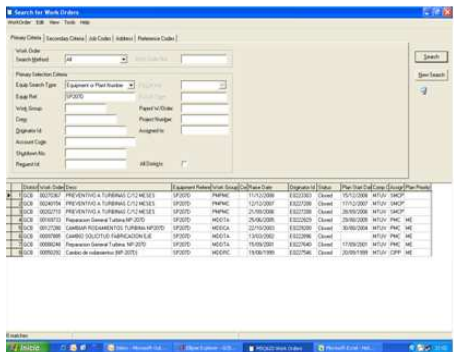
Confiabilidad

TMEM = 15768 Hr
TMEF = 78640 Hr



NP207D

OT	Tipo de mantenim	Fecha de ejecu	Modo de falla
88248	Mantenimiento taller	26/09/2001 - 27/02/02	Rodamientos
127280	Mantenimiento taller	01/09/2004 - 30/09/02	Rodamientos
168733	Mantenimiento taller	06/09/2005 - 24/02/02	Rodamientos
202710	Preventivo cancelado	10/3/2006	
240154	Preventivo cancelado	12/24/2007	
270367	Preventivo	1/3/2009	



Disponibilidad Operacional (ing confiabilidad)

$A_0 = \frac{MUT}{MUT + MDT}$	MUT	15652.8	Dias UT	3261
	MDT	1998	Dias DT	333
	Ao	0.887	Mantenimientos	4
$A_1 = \frac{MTTF}{MTTF - MTTR}$	AI	0.909	Mantenimientos corr	3

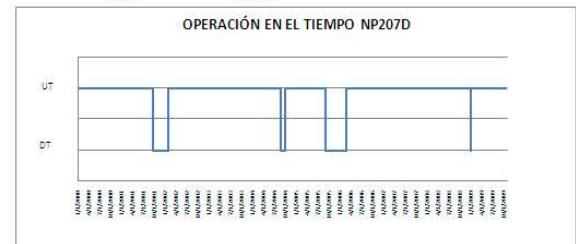
Mantenibilidad

$M(t) = 1 - e^{-\lambda t}$

MTTR = 2840

Confiabilidad

TMEM = 19710 Hr
TMEF = 26280 Hr



NP209B

OT	Tipo de mantenim	Fecha de e	Modo de falla
120011	Preventivo	5/27/2003	
139997	Preventivo cancelad	5/25/2004	
166895	preventivo	5/31/2005	
193023	preventivo	5/23/2006	
220805	preventivo	5/25/2007	
251933	preventivo	5/15/2008	
262072	preventivo	5/18/2008	
281210	preventivo	5/20/2008	Carbones

Disponibilidad Operacional (ing confiabilidad)

$A_0 = \frac{MUT}{MUT + MDT}$	MUT	10719	Dias UT	3673
	MDT	72	Dias DT	21
	A_0	0.993	Mantenimientos	7
			Mantenimientos corr	1
$A_1 = \frac{MTTF}{MTTF - MTTR}$	AI	0.999		

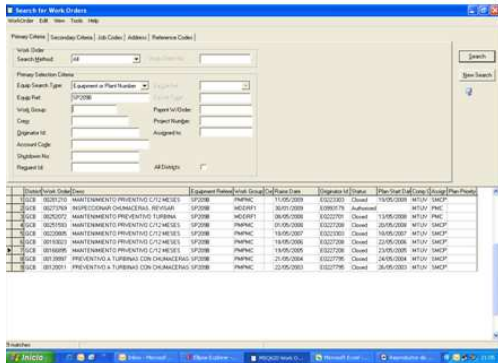
Mantenibilidad

$MII = 1 - \exp(-\mu \cdot t)$

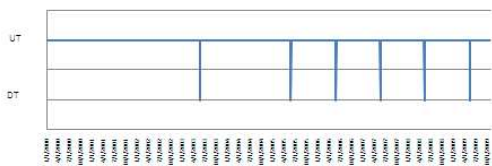
MTTR 72

Confiabilidad

TMEM 11263 Hr
TMEF 78840 Hr



OPERACIÓN EN EL TIEMPO NP209B



NP210B

OT	Tipo de mantenim	Fecha de ejecuc	Modo de falla
119434	preventivo	5/20/2003	
133419	Mantenimiento taller	17/03/2004 - 10/10/2004	Chumaceras
139444	preventivo	8/23/2004	
184136	Mantenimiento taller	24/01/2005 - 07/07/2005	Chumaceras
196388	Preventivo cancelado	7/02/2006	
204408	Mantenimiento taller	06/03/2007 - 28/08/2007	Chumaceras
223951	preventivo	7/19/2007	
241308	Mantenimiento taller	24/02/2008 - 24/10/2008	

Disponibilidad Operacional (ing confiabilidad)

$A_0 = \frac{MUT}{MUT + MDT}$	MUT	8550	Dias UT	2850
	MDT	2551	Dias DT	744
	A_0	0.770	Mantenimientos	7
			Mantenimientos corr	4
$A_1 = \frac{MTTF}{MTTF - MTTR}$	AI	0.817		

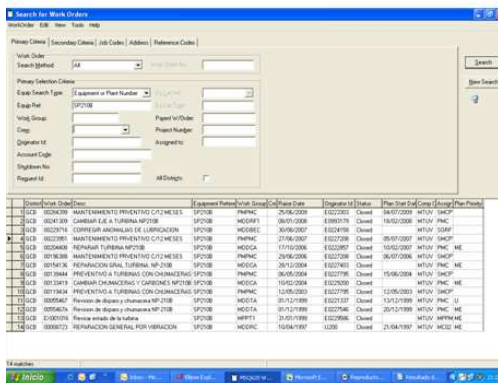
Mantenibilidad

$MII = 1 - \exp(-\mu \cdot t)$

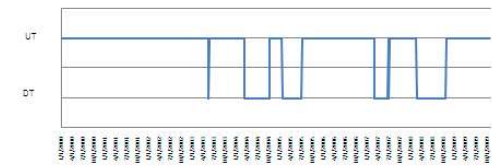
MTTR 4410

Confiabilidad

TMEM 11263 Hr
TMEF 18710 Hr

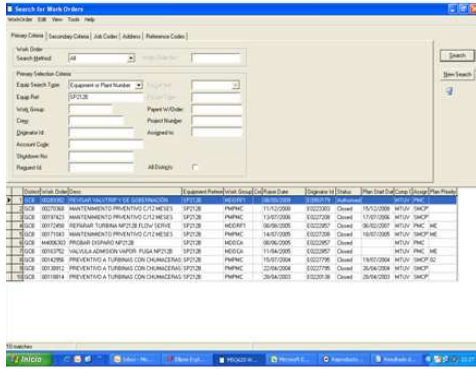


OPERACIÓN EN EL TIEMPO NP210B



NP212B

OT	Tipo de mantenim	Fecha de ejecuc	Modo de falla
18894	preventivo	5/9/2003	
142956	preventivo	7/2/2004	
163752	Mantenimiento plant	8/4/2005	Carbones
171043	Preventivo cancelad	8/24/2006	
197423	Preventivo cancelad	7/17/2006	
270268	Preventivo	12/28/2008	
172488	Mantenimiento taller	20/06/2007-3/07/02	Valvula Trip
289382	Mantenimiento planta		



Disponibilidad Operacional (ing confiabilidad)

$A_0 = \frac{MUT}{MUT + MDT}$	MUT	1124	Dias UT	2811
	MDT	3758	Dias DT	783
	Ao	0.749	Mantenimientos	5
			Mantenimientos corr	2
$A_1 = \frac{MTTF}{MTTF - MTTR}$	A1	0.809		

Mantenibilidad

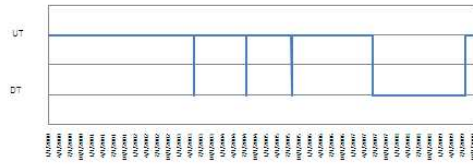
$MTR = 1 - exp(-\mu \cdot t)$

MTTR 9288

Confiabilidad

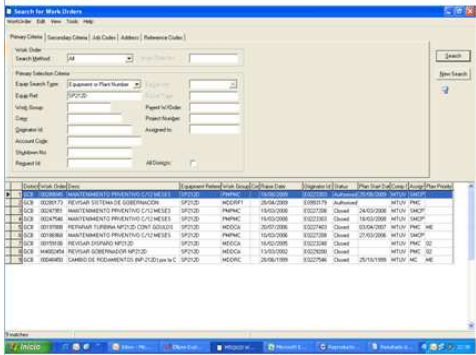
TMEM 16768 Hr
TMEF 39420 Hr

OPERACIÓN EN EL TIEMPO NP212B



NP212D

OT	Tipo de mantenim	Fecha de ejecuc	Modo de falla
191006	Mantenimiento plant	4/9/2006	Chumaceras
186368	Preventivo cancelad	3/19/2006	
187888	Mantenimiento taller	3/04/2007 - 23/10/02	Chumaceras
247546	Preventivo	3/29/2008	



Disponibilidad Operacional (ing confiabilidad)

$A_0 = \frac{MUT}{MUT + MDT}$	MUT	20286	Dias UT	3381
	MDT	1704	Dias DT	213
	Ao	0.923	Mantenimientos	3
			Mantenimientos corr	2
$A_1 = \frac{MTTF}{MTTF - MTTR}$	A1	0.940		

Mantenibilidad

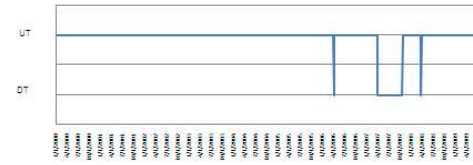
$MTR = 1 - exp(-\mu \cdot t)$

MTTR 2520

Confiabilidad

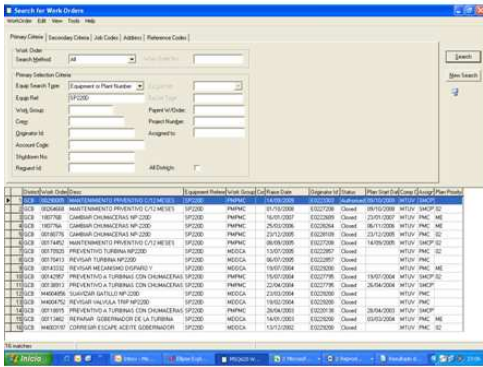
TMEM 26280 Hr
TMEF 39420 Hr

OPERACIÓN EN EL TIEMPO NP212D



NP220D

OT	Tipo de mantenim	Fecha de ejecuc	Modo de falla
118816	Preventivo	5/9/2003	
113482	Mantenimiento plant	3/8/2004	Valvula Trip
M4004752	Mantenimiento plant	6/23/2004	Valvula Trip
138913	Preventivo	8/7/2004	
142957	Preventivo	7/9/2004	
143332	Mantenimiento plant	10/10/2004	Valvula Trip
170920	Preventivo cancelada	12/23/2005	
174452	Preventivo	3/15/2005	
180776	Mantenimiento Taller	06/03/2006 - 3/07/2007	
264668	Preventivo	10/9/2008	



Disponibilidad Operacional (ing confiabilidad)

$A_0 = \frac{MUT}{MUT + MDT}$	MUT	8232	Dias UT	3087
	MDT	1521	Dias DT	507
			Mantenimientos	8
	Ao	0.844	Mantenimientos corr	4
$A_1 = \frac{MTTF}{MTTF - MTTR}$	AI	0.869		

Mantenibilidad

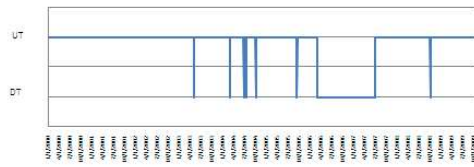
$MMS = 1 - \exp(-\mu \cdot t)$

MTTR 2370

Confiabilidad

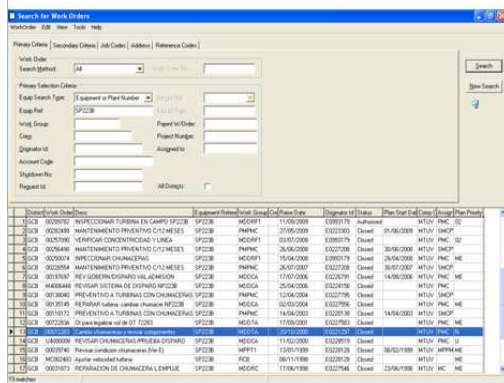
TMEM 9855 Hr
TMEF 1970 Hr

OPERACIÓN EN EL TIEMPO NP220D



NP223B

OT	Tipo de mantenim	Fecha de ejecuc	Modo de falla
72283	Mantenimiento taller	20/10/2000 - 25/10/2001	Chumaceras
118172	Preventivo	6/8/2003	
138040	Preventivo	6/23/2004	
195145	Mantenimiento taller	23/08/2004 - 17/10/2004	Chumaceras
197637	Mantenimiento camp	8/17/2006	Valvula Trip
226554	Preventivo	8/27/2007	
266498	Preventivo cancelada	6/26/2008	
267090	Mantenimiento taller	13/07/2008 - 2/03/2009	Carbones
282499	Preventivo	6/5/2009	
288782	Mantenimiento plant	3/12/2009	Valvula Trip



Disponibilidad Operacional (ing confiabilidad)

$A_0 = \frac{MUT}{MUT + MDT}$	MUT	8028	Dias UT	3345
	MDT	664	Dias DT	249
			Mantenimientos	9
	Ao	0.924	Mantenimientos corr	5
$A_1 = \frac{MTTF}{MTTF - MTTR}$	AI	0.933		

Mantenibilidad

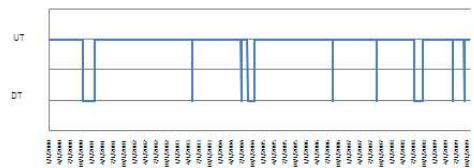
$MMS = 1 - \exp(-\mu \cdot t)$

MTTR 1137.6

Confiabilidad

TMEM 8760 Hr
TMEF 15788 Hr

OPERACIÓN EN EL TIEMPO NP223B



NP225B

OT	Tipo de mantenimiento	Fecha de ejecución	Modo de falla
128204	Preventivo	19/02/2003	
143292	Mantenimiento taller	29/10/2004 - 31/05/05	Chumaceras
177043	Preventivo	10/31/2005	
180833	Mantenimiento taller	4/01/2006 - 04/08/20	Chumaceras
206620	Preventivo	12/4/2006	
237457	Preventivo	16/29/2007	
248264	Mantenimiento taller	11/03/2008 - 31/03/20	Bomba Lubricación
272726	Preventivo	3/27/2008	

Disponibilidad Operacional (ing confiabilidad)

$$A_0 = \frac{MUT}{MUT + MDT} \quad \begin{matrix} MUT & 764.4 \\ MDT & 1088 \end{matrix} \quad \begin{matrix} \text{Dias UT} & 3186 \\ \text{Dias DT} & 406 \\ \text{Mantenimientos} & 3 \\ \text{Mantenimientos corr} & 5 \end{matrix}$$

$$A_1 = \frac{MTTF}{MTTF + MTTR} \quad \begin{matrix} A_0 & 0.875 \\ A_1 & 0.892 \end{matrix}$$

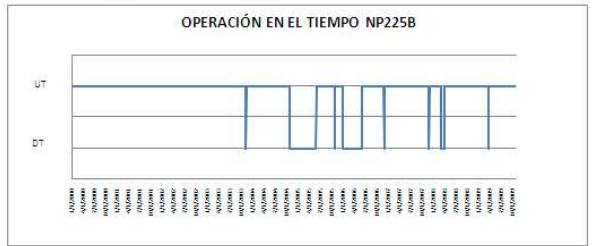
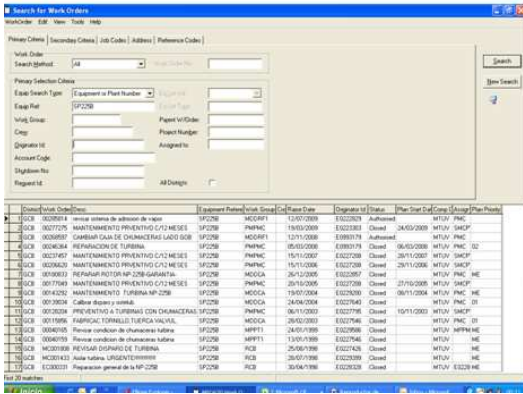
Mantenibilidad

$$M(t) = 1 - \exp(-\lambda t)$$

MTTR 1900.8

Confiabilidad

TMEM 8760 Hr
TMEF 15768 Hr



NP231B

OT	Tipo de mantenimiento	Fecha de ejecución	Modo de falla
72639	Preventivo	11/2/2001	
M4002527	Mantenimiento camp	8/11/2002	Chifragma disparo
111039	Preventivo	11/2/2002	
M4003481	Mantenimiento camp	4/4/2003	Valvula de Gobernación
130380	Preventivo	12/29/2003	
143337	Preventivo	2/23/2005	
177956	Preventivo cancelado	11/11/2005	No fue entregada
205755	Preventivo cancelado	12/2/2006	
236173	Preventivo	11/9/2007	
260088	Preventivo	8/2/2008	

Disponibilidad Operacional (ing confiabilidad)

$$A_0 = \frac{MUT}{MUT + MDT} \quad \begin{matrix} MUT & 9520 \\ MDT & 72 \end{matrix} \quad \begin{matrix} \text{Dias UT} & 3570 \\ \text{Dias DT} & 24 \\ \text{Mantenimientos} & 8 \\ \text{Mantenimientos corr} & 2 \end{matrix}$$

$$A_1 = \frac{MTTF}{MTTF + MTTR} \quad \begin{matrix} A_0 & 0.992 \\ A_1 & 0.998 \end{matrix}$$

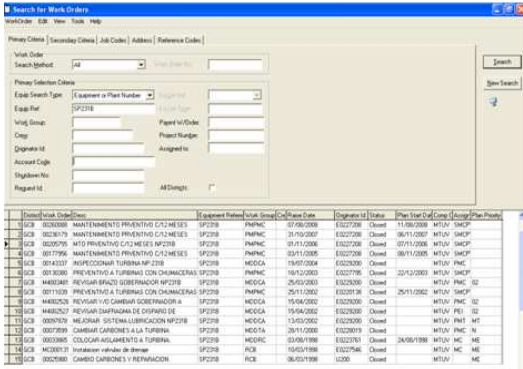
Mantenibilidad

$$M(t) = 1 - \exp(-\lambda t)$$

MTTR 72

Confiabilidad

TMEM 9855 Hr
TMEF 39420 Hr



NP232B

OT	Tipo de mantenimiento	Fecha de ejecución	Modo de falla
33862	Mantenimiento planta	14/2/2002	Yakula Gobernación
180058	Mantenimiento taller	3/09/2006 - 5/06/2006	Rodamientos
196716	Mantenimiento taller	18/12/2007 - 16/06/2008	Rodamientos
283671	Preventivo	10/22/2009	

Disponibilidad Operacional (ing confiabilidad)

$A_0 = \frac{MUT}{MUT + MDT}$	MUT	15667.2	Dias UT	3264
	MDT	1860	Dias DT	330
	Ao	0.888	Mantenimientos	4
			Mantenimientos corr	3
$A_1 = \frac{MTTF}{MTTF - MTTR}$	AI	0.909		

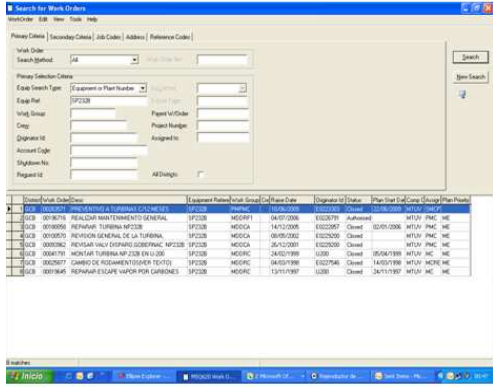
Mantenibilidad

$M(t) = 1 - \exp(-\mu \cdot t)$

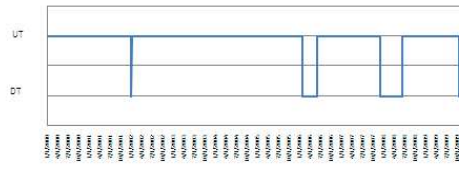
MTTR = 2616

Confiabilidad

TMEM = 19710 Hr
TMEF = 26280 Hr



OPERACIÓN EN EL TIEMPO NP232B



NP233B

OT	Tipo de mantenimiento	Fecha de ejecución	Modo de falla
182041	Preventivo	3/8/2006	
209653	Preventivo cancelada	1/30/2007	
212021	Mantenimiento Taller	20/05/2007	Chumaceras
241638	Preventivo	1/25/2008	
271662	Preventivo	3/8/2009	

Disponibilidad Operacional (ing confiabilidad)

$A_0 = \frac{MUT}{MUT + MDT}$	MUT	171216	Dias UT	3567
	MDT	162	Dias DT	27
	Ao	0.991	Mantenimientos	4
			Mantenimientos corr	1
$A_1 = \frac{MTTF}{MTTF - MTTR}$	AI	0.995		

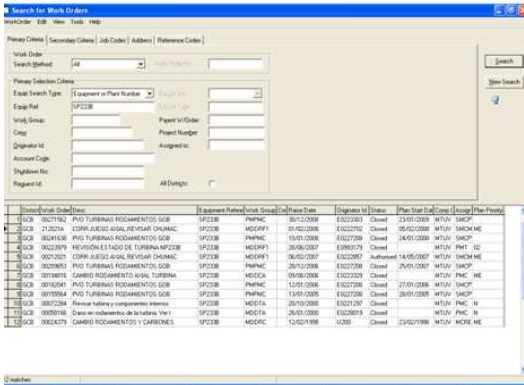
Mantenibilidad

$M(t) = 1 - \exp(-\mu \cdot t)$

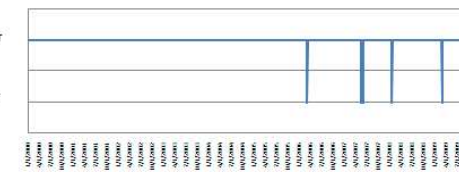
MTTR = 432

Confiabilidad

TMEM = 19710 Hr
TMEF = 78840 Hr

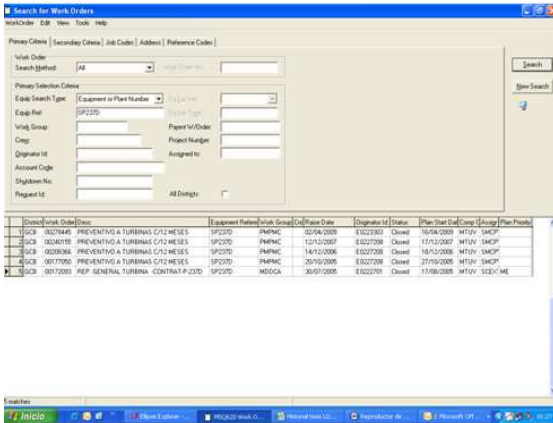


OPERACIÓN EN EL TIEMPO NP233B



NP237D

OT	Tipo de mantenimiento	Fecha de ejecución	Modo de falla
172093	Mantenimiento taller	22/8/2005 - 14/02/2006	Rodamientos
177050	Preventivo cancelado	10/27/2006	
208366	Preventivo	12/29/2006	
240165	Preventivo	4/18/2008	
278445	Preventivo	4/17/2009	



Disponibilidad Operacional (ing confiabilidad)

$A_0 = \frac{MUT}{MUT + MDT}$	MUT	16214.4	Días UT	3378
	MDT	1296	Días DT	216
	Ao	0.926	Mantenimientos	4
			Mantenimientos corr	1
$A_1 = \frac{MTTF}{MTTF - MTTR}$	A1	0.941		

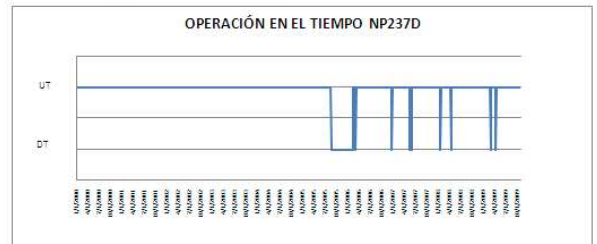
Mantenibilidad

$M03 = 1 - \exp(-\mu \times t)$

MTTR 4968

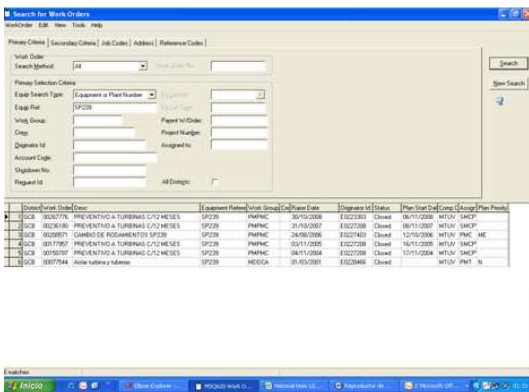
Confiabilidad

TMEM 19710 Hr
TMEF 78940 Hr



NP239

OT	Tipo de mantenimiento	Fecha de ejecución	Modo de falla
150787	Preventivo	1/17/2004	
177957	Preventivo cancelado	1/17/2005	
200571	Mantenimiento taller	19/10/2006 - 17/11/2006	Rodamientos
236180	Preventivo	1/19/2007	
267776	Preventivo	1/9/2009	



Disponibilidad Operacional (ing confiabilidad)

$A_0 = \frac{MUT}{MUT + MDT}$	MUT	16992	Días UT	3540
	MDT	324	Días DT	54
	Ao	0.981	Mantenimientos	4
			Mantenimientos corr	1
$A_1 = \frac{MTTF}{MTTF - MTTR}$	A1	0.986		

Mantenibilidad

$M03 = 1 - \exp(-\mu \times t)$

MTTR 1080

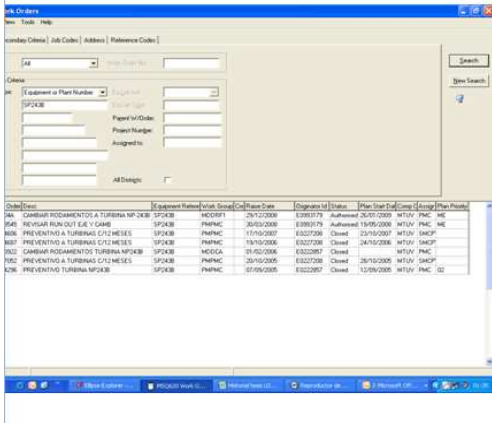
Confiabilidad

TMEM 19710 Hr
TMEF 78940 Hr



NP243B

Tipo de mantenim	Fecha de ejecución	Modo de falla
Preventivo	9/14/2005	
Preventivo	10/26/2006	
Preventivo	10/30/2007	
Mantenimiento taller	19/05/2008 - 22/08/2008	Rodamientos
Mantenimiento taller	10/21/2009 -	Rodamientos



Disponibilidad Operacional (ing confiabilidad)

$A_0 = \frac{MUT}{MUT + MDT}$	MUT	12840	Dias UT	3210
	MDT	1843	Dias DT	384
	Ao	0.874	Mantenimientos	5
			Mantenimientos corr	2
$A_1 = \frac{MTTF}{MTTF - MTTR}$	AI	0.898		

Mantenibilidad

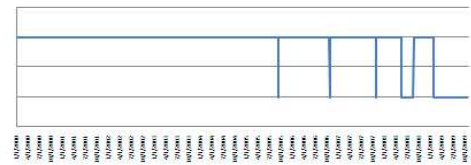
$MIQ = 1 - exp(-\lambda t)$

MTTR = 4500

Confiabilidad

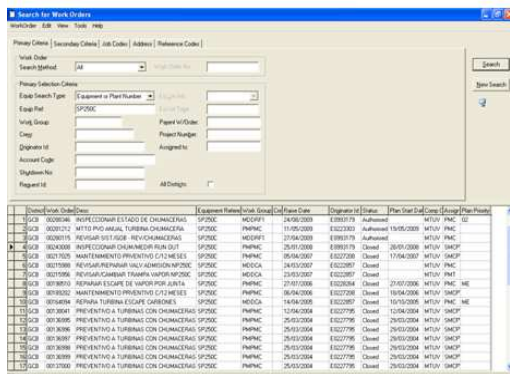
TMEM = 15768 Hr
TMEF = 39420 Hr

OPERACIÓN EN EL TIEMPO NP243B



NP250C

OT	Tipo de mantenim	Fecha de ejecuc	Modo de falla
82125	Mantenimiento plant	5/19/2000	
94775	Mantenimiento taller	3/01/2002 - 10/04/2002	
117341	Preventivo	4/25/2003	
136895	Preventivo	4/22/2004	
158183	Mantenimiento plant	2/23/2005	
164094	Mantenimiento taller	17/09/2005 - 25/01/2006	
183202	Preventivo	4/21/2006	
183421	Mantenimiento plant	5/28/2006	
188510	Mantenimiento taller	02/08/2006 - 3/03/2006	
217025	Preventivo cancelado	4/18/2007	No habia cumplido tiempo P inspección
241794	Mantenimiento plant	1/18/2008	
243008	Mantenimiento taller	30/01/2008 - 15/02/2008	
281212	Preventivo	9/25/2009	



Disponibilidad Operacional (ing confiabilidad)

$A_0 = \frac{MUT}{MUT + MDT}$	MUT	6120	Dias UT	3315
	MDT	558	Dias DT	279
	Ao	0.916	Mantenimientos	12
			Mantenimientos corr	8
$A_1 = \frac{MTTF}{MTTF - MTTR}$	AI	0.925		

Mantenibilidad

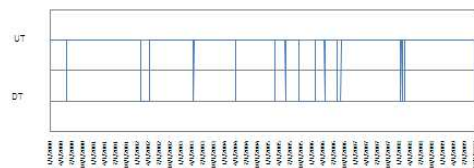
$MIQ = 1 - exp(-\lambda t)$

MTTR = 801

Confiabilidad

TMEM = 6570 Hr
TMEF = 9855 Hr

OPERACIÓN EN EL TIEMPO NP250C



OT	Tipo de mantenimiento	Fecha de ejecuci	Modo de falla
120014	Preventivo	6/6/2003	
140000	Preventivo	1/20/2005	
203595	Preventivo	10/17/2006	
227914	Mantenimiento taller	14/08/2007 - 22/10/2007	
268676	Preventivo	11/24/2008	

Orden de Trabajo	Fecha de Ejecuci	Equipo	Plantilla	Estado	Plano	Clase de Trabajo	Plano	Clase de Trabajo
120014	6/6/2003	1000000	1000000	Closed	1000000	1000000	1000000	1000000
140000	1/20/2005	1000000	1000000	Closed	1000000	1000000	1000000	1000000
203595	10/17/2006	1000000	1000000	Closed	1000000	1000000	1000000	1000000
227914	14/08/2007 - 22/10/2007	1000000	1000000	Closed	1000000	1000000	1000000	1000000
268676	11/24/2008	1000000	1000000	Closed	1000000	1000000	1000000	1000000

Disponibilidad Operacional (ing confiabilidad)

$A_0 = \frac{MUT}{MUT + MDT}$	MUT	13920	Dias UT	3490
	MDT	547	Dias DT	114
	Ao	0.962	Mantenimientos	5
			Mantenimientos corr	1
$A_1 = \frac{MTTF}{MTTF - MTTR}$	AI	0.970		

Mantenibilidad

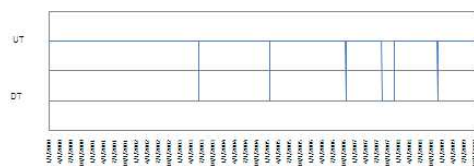
$MES = 1 - exp(-\lambda \cdot t)$

MTTR 2448

Confiabilidad

TMEM 15768 Hr
TMEF 78840 Hr

OPERACION EN EL TIEMPO NP251A



OT	Tipo de mantenimiento	Fecha de ejecuci	Modo de falla
157094	Preventivo cancelad	2/7/2005	
139633	Mantenimiento taller	09/08/2005 - 25/01/2006	
183238	Preventivo	2/7/2006	
212895	Preventivo cancelad	2/8/2007	Por tener OT predictivo de reparacion
196830	Mantenimiento taller	25/05/2007 - 02/07/2007	
242853	Preventivo cancelad	4/3/2008	
256499	Preventivo	7/6/2008	
284402	Preventivo cancelad	9/3/2009	Por tener OT predictivo de Cambio de carbones y rodamientos

Orden de Trabajo	Fecha de Ejecuci	Equipo	Plantilla	Estado	Plano	Clase de Trabajo	Plano	Clase de Trabajo
157094	2/7/2005	1000000	1000000	Closed	1000000	1000000	1000000	1000000
139633	09/08/2005 - 25/01/2006	1000000	1000000	Closed	1000000	1000000	1000000	1000000
183238	2/7/2006	1000000	1000000	Closed	1000000	1000000	1000000	1000000
212895	2/8/2007	1000000	1000000	Closed	1000000	1000000	1000000	1000000
196830	25/05/2007 - 02/07/2007	1000000	1000000	Closed	1000000	1000000	1000000	1000000
242853	4/3/2008	1000000	1000000	Closed	1000000	1000000	1000000	1000000
256499	7/6/2008	1000000	1000000	Closed	1000000	1000000	1000000	1000000
284402	9/3/2009	1000000	1000000	Closed	1000000	1000000	1000000	1000000

Disponibilidad Operacional (ing confiabilidad)

$A_0 = \frac{MUT}{MUT + MDT}$	MUT	16185.6	Dias UT	3372
	MDT	1332	Dias DT	222
	Ao	0.924	Mantenimientos	4
			Mantenimientos corr	2
$A_1 = \frac{MTTF}{MTTF - MTTR}$	AI	0.938		

Mantenibilidad

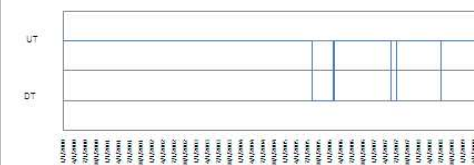
$MES = 1 - exp(-\lambda \cdot t)$

MTTR 2592

Confiabilidad

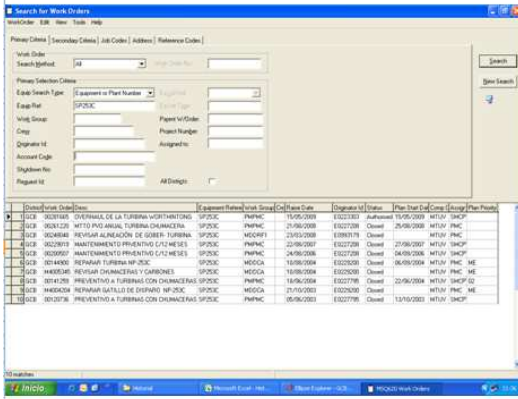
TMEM 19710 Hr
TMEF 39420 Hr

OPERACION EN EL TIEMPO NP252C



NP253C

DT	Tipo de mantenim	Fecha de ejecuc	Modo de falla
120736	Preventivo	10/21/2003	
141259	Preventivo	6/24/2004	
144900	Mantenimiento taller	17/09/2004 - 5/05/2006	
200507	Preventivo cancelada	9/4/2006	
223019	Preventivo	9/2/2007	
261220	Preventivo	8/28/2009	
291685	Mantenimiento taller	20/05/03 - 24/09/2009	



Disponibilidad Operacional (ing confiabilidad)

$$A_0 = \frac{MUT}{MUT + MDT} \quad \begin{matrix} MUT & 9781.714 & \text{Dias UT} & 2853 \\ MDT & 2964 & \text{Dias DT} & 741 \end{matrix}$$

$$A_0 = \frac{MTTF}{MTTF - MTTR} \quad \begin{matrix} A_0 & 0.767 & \text{Mantenimientos} & 6 \\ & & \text{Mantenimientos corr} & 2 \end{matrix}$$

Mantenibilidad

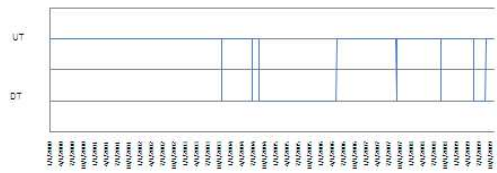
$$M(t) = 1 - \exp(-\lambda t)$$

MTTR = 8748

Confiabilidad

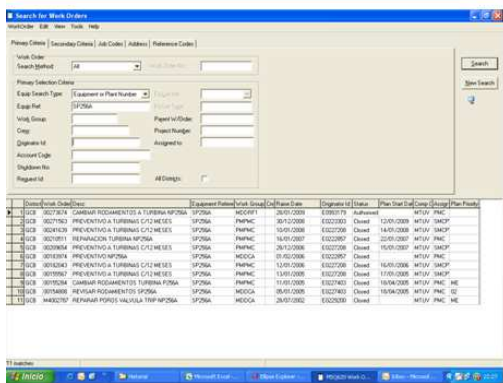
TMEM = 13140 Hr
TMEF = 39420 Hr

OPERACIÓN EN EL TIEMPO NP253C



NP256A

DT	Tipo de mantenim	Fecha de ejecuc	Modo de falla
154908	Mantenimiento taller	18/04/2005 - 25/04/2005	
155557	Preventivo	1/9/2005	
182043	Preventivo cancelada	2/24/2006	
209654	Preventivo	1/15/2007	
210511	Mantenimiento taller	19/02/2007 - 14/03/2007	
241639	Preventivo	1/17/2008	
271563	Preventivo	1/23/2009	



Disponibilidad Operacional (ing confiabilidad)

$$A_0 = \frac{MUT}{MUT + MDT} \quad \begin{matrix} MUT & 12168 & \text{Dias UT} & 3549 \\ MDT & 180 & \text{Dias DT} & 45 \end{matrix}$$

$$A_0 = \frac{MTTF}{MTTF - MTTR} \quad \begin{matrix} A_0 & 0.985 & \text{Mantenimientos} & 6 \\ & & \text{Mantenimientos corr} & 2 \end{matrix}$$

Mantenibilidad

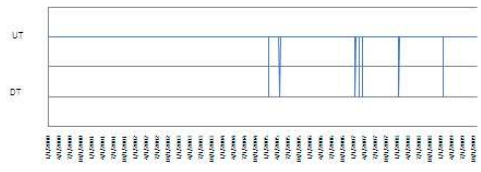
$$M(t) = 1 - \exp(-\lambda t)$$

MTTR = 396

Confiabilidad

TMEM = 13140 Hr
TMEF = 39420 Hr

OPERACIÓN EN EL TIEMPO NP256A



NP259C

OT	Tipo de mantenimiento	Fecha de ejec	Modo de falla
119437	Preventivo	5/20/2003	
139447	Preventivo	6/22/2004	
119437	Mantenimiento taller	18/09/2005 - 30/05/2006	
190401	Preventivo cancelado	4/20/2006	Por no cumplir con tiempo para intervencion
222333	Preventivo	4/02/2008	
255195	Preventivo	6/19/2008	
283572	Preventivo	7/2/2009	

Disponibilidad Operacional (ing confiabilidad)

$$A_0 = \frac{MUT}{MUT + MDT} \quad \begin{matrix} MUT & 11396.57 \\ MDT & 1080 \end{matrix} \quad \begin{matrix} \text{Dias UT} & 3324 \\ \text{Dias DT} & 270 \\ \text{Mantenimientos} & 6 \\ \text{Mantenimientos corr} & 1 \end{matrix}$$

$$A_1 = \frac{MTTF}{MTTF + MTR} \quad \begin{matrix} A_0 & 0.913 \\ AI & 0.928 \end{matrix}$$

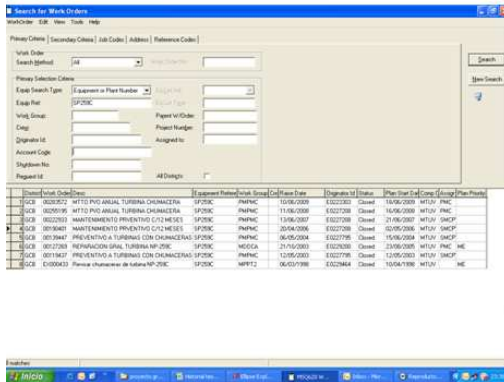
Mantenibilidad

$$M(3) = 1 - \exp(-\mu \times t)$$

MTR = 6120

Confiabilidad

TMEM = 12140 Hr
TMEF = 78840 Hr



NP260C

OT	Tipo de mantenimiento	Fecha de ejecu	Modo de falla
67467	Mantenimiento taller	26/11/2000 - 6/12/2000	
E4000268	Mantenimiento plant	4/16/2004	Bomba de lubricación
177053	Preventivo cancelado	10/28/2005	S cancela por DT correctiva
139526	Mantenimiento plant	11/20/2005	
2023951	Preventivo	10/31/2006	
0268371A	Preventivo	11/2/2007	
240160	Preventivo	4/7/2008	
240160A	Preventivo	8/15/2008	
286248	Preventivo	8/10/2009	

Disponibilidad Operacional (ing confiabilidad)

$$A_0 = \frac{MUT}{MUT + MDT} \quad \begin{matrix} MUT & 9438 \\ MDT & 108 \end{matrix} \quad \begin{matrix} \text{Dias UT} & 3558 \\ \text{Dias DT} & 36 \\ \text{Mantenimientos} & 8 \\ \text{Mantenimientos corr} & 3 \end{matrix}$$

$$A_1 = \frac{MTTF}{MTTF + MTR} \quad \begin{matrix} A_0 & 0.989 \\ AI & 0.994 \end{matrix}$$

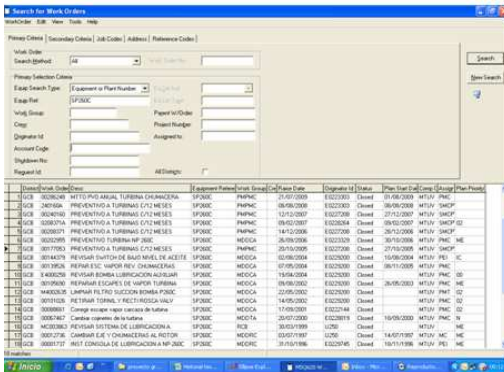
Mantenibilidad

$$M(3) = 1 - \exp(-\mu \times t)$$

MTR = 168

Confiabilidad

TMEM = 9855 Hr
TMEF = 26280 Hr



OT	Tipo de mantenimiento	Fecha de ejecución	Modo de falla
136879	Mantenimiento taller	03/03/2004 - 30/07/2004	
138044	Preventivo	6/22/2004	
166830	Mantenimiento taller	26/08/2005 - 10/01/2006	
208983A	Preventivo	2/23/2007	
218290	Preventivo	7/26/2007	
233416	Mantenimiento taller	25/02/2008 - 3/07/2008	
230426	Preventivo	5/19/2008	
282743	Mantenimiento taller	14/08/2009 - 26/06/2009	

Search for Work Orders

Printed: 06/06/2010 10:00 AM

Printed: 06/06/2010 10:00 AM

Printed: 06/06/2010 10:00 AM

OT	Descripción	Equipo	Fecha de Ejecución	Estado	Plan. Oper. (Hr)	Costo (USD)	Uso (Hr)	Plan. Prev. (Hr)
136879	CAMBIO DE LUBRIFICANTE TURBINA	SP27C	03/03/2004	Cerrado	24/00/2004	14500	14500	14500
138044	REVISIÓN GENERAL TURBINA	SP27C	06/22/2004	Cerrado	14/05/2004	14500	14500	14500
166830	REVISIÓN GENERAL TURBINA	SP27C	26/08/2005	Cerrado	14/05/2005	14500	14500	14500
208983A	REVISIÓN GENERAL TURBINA	SP27C	02/23/2007	Cerrado	14/05/2007	14500	14500	14500
218290	REVISIÓN GENERAL TURBINA	SP27C	07/26/2007	Cerrado	14/05/2007	14500	14500	14500
233416	REVISIÓN GENERAL TURBINA	SP27C	25/02/2008	Cerrado	14/05/2008	14500	14500	14500
230426	REVISIÓN GENERAL TURBINA	SP27C	05/19/2008	Cerrado	14/05/2008	14500	14500	14500
282743	REVISIÓN GENERAL TURBINA	SP27C	14/08/2009	Cerrado	14/05/2009	14500	14500	14500

Disponibilidad Operacional (ing confiabilidad)

$$A_0 = \frac{MUT}{MUT + MDT}$$

$$A_1 = \frac{MTTF}{MTTF - MTTR}$$

MUT = 8312
MDT = 1431
Ao = 0.853
AI = 0.876

Mantenibilidad

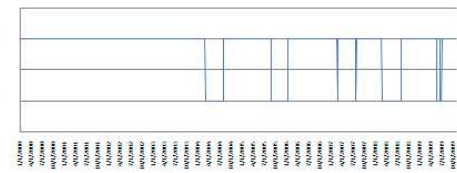
$$MIM = 1 + \exp(\mu + \sigma)$$

MTTR = 2790

Confiabilidad

TMEM = 3855 Hr
TMEF = 19710 Hr

OPERACIÓN EN EL TIEMPO NP271C



OT	Tipo de mantenimiento	Fecha de ejecución	Modo de falla
78316	Mantenimiento taller	16/03/2001 - 22/07/2001	
95285	Mantenimiento plant	1/27/2002	
103330	Mantenimiento taller	02/07/2002 - 10/12/2002	
118817	Preventivo	5/9/2003	
136815	Preventivo cancelado	6/14/2004	
166839	Preventivo	6/15/2005	
143478	Mantenimiento camp	9/2/2006	
E4000260	Mantenimiento taller	01/05/2006 - 29/06/2006	
186174	Mantenimiento camp	8/8/2006	
203900	Preventivo	1/6/2006	
E4000265	Mantenimiento taller	12/3/2006	
206797	Mantenimiento taller	1/20/2007	Carbones
212014	Mantenimiento taller	23/02/2007 - 03/03/2007	
221744	Preventivo cancelado	6/12/2007	Operaciones no entrega el equipo
220221	Preventivo	8/13/2007	
232522	Mantenimiento plant	11/30/2007	
253763	Preventivo cancelado	7/11/2008	Por tener OT correctivo

Search for Work Orders

Printed: 06/06/2010 10:00 AM

Printed: 06/06/2010 10:00 AM

Printed: 06/06/2010 10:00 AM

OT	Descripción	Equipo	Fecha de Ejecución	Estado	Plan. Oper. (Hr)	Costo (USD)	Uso (Hr)	Plan. Prev. (Hr)
78316	MANTENIMIENTO TURBINA EN TALLER	SP27C	16/03/2001	Cerrado	16/03/2001	14500	14500	14500
95285	MANTENIMIENTO TURBINA EN TALLER	SP27C	01/27/2002	Cerrado	01/27/2002	14500	14500	14500
103330	MANTENIMIENTO TURBINA EN TALLER	SP27C	02/07/2002	Cerrado	02/07/2002	14500	14500	14500
118817	MANTENIMIENTO TURBINA EN TALLER	SP27C	05/09/2003	Cerrado	05/09/2003	14500	14500	14500
136815	MANTENIMIENTO TURBINA EN TALLER	SP27C	06/14/2004	Cerrado	06/14/2004	14500	14500	14500
166839	MANTENIMIENTO TURBINA EN TALLER	SP27C	06/15/2005	Cerrado	06/15/2005	14500	14500	14500
143478	MANTENIMIENTO TURBINA EN TALLER	SP27C	09/02/2006	Cerrado	09/02/2006	14500	14500	14500
E4000260	MANTENIMIENTO TURBINA EN TALLER	SP27C	01/05/2006	Cerrado	01/05/2006	14500	14500	14500
186174	MANTENIMIENTO TURBINA EN TALLER	SP27C	08/08/2006	Cerrado	08/08/2006	14500	14500	14500
203900	MANTENIMIENTO TURBINA EN TALLER	SP27C	01/06/2006	Cerrado	01/06/2006	14500	14500	14500
E4000265	MANTENIMIENTO TURBINA EN TALLER	SP27C	12/03/2006	Cerrado	12/03/2006	14500	14500	14500
206797	MANTENIMIENTO TURBINA EN TALLER	SP27C	01/20/2007	Cerrado	01/20/2007	14500	14500	14500
212014	MANTENIMIENTO TURBINA EN TALLER	SP27C	02/23/2007	Cerrado	02/23/2007	14500	14500	14500
221744	MANTENIMIENTO TURBINA EN TALLER	SP27C	06/12/2007	Cerrado	06/12/2007	14500	14500	14500
220221	MANTENIMIENTO TURBINA EN TALLER	SP27C	08/13/2007	Cerrado	08/13/2007	14500	14500	14500
232522	MANTENIMIENTO TURBINA EN TALLER	SP27C	11/30/2007	Cerrado	11/30/2007	14500	14500	14500
253763	MANTENIMIENTO TURBINA EN TALLER	SP27C	07/11/2008	Cerrado	07/11/2008	14500	14500	14500

Disponibilidad Operacional (ing confiabilidad)

$$A_0 = \frac{MUT}{MUT + MDT}$$

$$A_1 = \frac{MTTF}{MTTF - MTTR}$$

MUT = 4747.5
MDT = 686
Ao = 0.874
AI = 0.887

Mantenibilidad

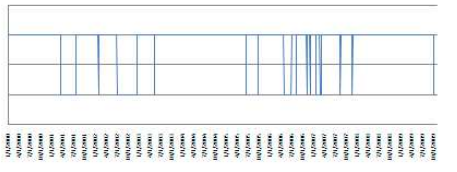
$$MIM = 1 + \exp(\mu + \sigma)$$

MTTR = 910

Confiabilidad

TMEM = 6266 Hr
TMEF = 7167 Hr

OPERACIÓN EN EL TIEMPO NP275C



NP2001D

OT	Tipo de mantenim	Fecha de e	Modo de falla
120009	Preventivo	6/28/2003	
121633	Mantenimiento plant	9/29/2003	Bomba de lubricación
138936	Preventivo	5/21/2004	
170060	Preventivo cancelad	5/7/2005	
171956	Mantenimiento taller	23/07/2005	General
176351	Mantenimiento plant	10/21/2005	Valvula de admisión
200505	Preventivo cancelad	9/26/2006	
200505A	Preventivo	11/3/2006	
236176	Preventivo	11/9/2007	

Disponibilidad Operacional (ing confiabilidad)

$A_0 = \frac{MUT}{MUT + MDT}$	MUT	10583	Dias UT	3531
	MDT	216	Dias DT	63
	Ao	0.980	Mantenimientos	7
$A_1 = \frac{MTTF}{MTTF - MTTR}$	AI	0.985	Mantenimientos corr	3

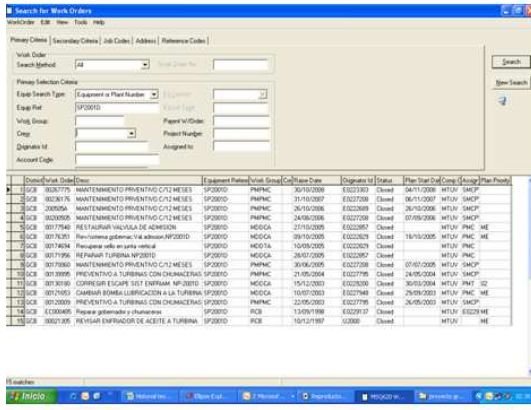
Mantenibilidad

$M(t) = 1 - \exp(-\mu t)$

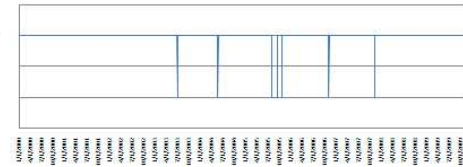
MTTR 408 Hr

Confiabilidad

TMEM 11548.6 H
TMEF 260280 H



OPERACIÓN EN EL TIEMPO NP2001D



NP2002D

OT	Tipo de mantenim	Fecha de ejec	Modo de falla
75078	Mantenimiento plant	11/4/2001	Chumaceras
83219	Mantenimiento taller	19/06/2001 - 19/07/2001	General / Chumaceras
E4000063	Mantenimiento plant	12/01/2001	Chumaceras
M4003080	Preventivo	10/30/2002	
120733	Preventivo cancelad	10/12/2003	
141256	Preventivo	7/4/2004	
171806	Preventivo cancelad	9/5/2005	
194433	Preventivo cancelad	8/10/2006	Por tener OT correctiva de escape carbones
270366	Preventivo	12/26/2008	

Disponibilidad Operacional (ing confiabilidad)

$A_0 = \frac{MUT}{MUT + MDT}$	MUT	12157.71	Dias UT	3546
	MDT	192	Dias DT	48
	Ao	0.984	Mantenimientos	6
$A_1 = \frac{MTTF}{MTTF - MTTR}$	AI	0.988	Mantenimientos corr	3

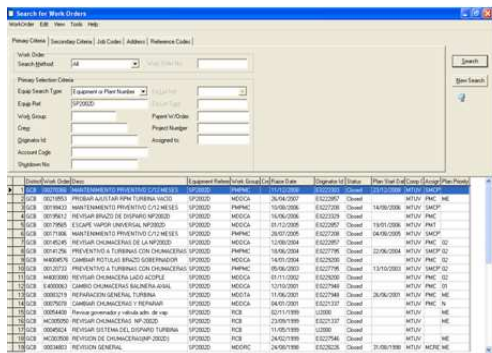
Mantenibilidad

$M(t) = 1 - \exp(-\mu t)$

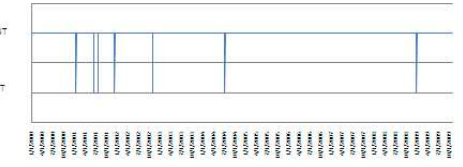
MTTR 312 Hr

Confiabilidad

TMEM 13140 H
TMEF 28280 H



OPERACIÓN EN EL TIEMPO NP2002D



NP2003D

OT	Tipo de mantenimiento	Fecha de ejecuci3n	Modo de falla
81626	Mantenimiento taller	12/07/2001 - 12/08/21	General Rotor
173007	Preventivo	8/30/2005	
173807	Mantenimiento taller	22/11/2005 - 2/10/21	General Rodamientos
177045	Preventivo cancelado	10/24/2005	Por manito correctivo
204632	Preventivo	2/9/2007	
212331	Mantenimiento plant.	5/18/2007	Escape aceite
262909	Preventivo	10/3/2008	
289003	Preventivo	3/15/2009	

Disponibilidad Operacional (ing confiabilidad)

$A_0 = \frac{MUT}{MUT + MDT}$	MUT	10350	Dias UT	3450
	MDT	434	Dias DT	144
	Ao	0.954	Mantenimientos	7
			Mantenimientos corr	3
$A_1 = \frac{MTTF}{MTTF + MTTR}$	AI	0.961		

Mantenibilidad

$M(3) = 1 - \exp(-\mu \times t)$

MTTR 1056 Hr

Confiabilidad

TMEM 11262.96 Hr
TMEF 26280 Hr

Orden	Objeto	Descripci3n	Equipo	Fecha de Creaci3n	Estado	Plan	Origen	Def. Comp.	Clasif. (Plan/Proced.)
1003	3000000	PREVENTIVO A TURBINA C74 MESES	SP0000	05/29/2009	Completado	13/05/2009	MTUV	SNMP	
1004	3002900	PREVENTIVO A TURBINA C74 MESES	SP0000	05/29/2009	Completado	13/05/2009	MTUV	SNMP	
1005	3007300	Change aceite en el Almar MP0000	SP0000	10/06/2007	Completado	11/05/2007	MTUV	PNC ME	
1006	3009400	PREVENTIVO A TURBINA C74 MESES	SP0000	19/10/2006	Completado	26/10/2006	MTUV	SNMP	
1007	3007340	PREVENTIVO A TURBINA C74 MESES	SP0000	20/03/2005	Completado	30/03/2005	MTUV	SNMP	
1008	3007300	REPARAR BOMBA FOSFO ESTERILIZADA	SP0000	05/06/2005	Completado	03/07/05	MTUV	PNC ME	
1009	3007300	REPARAR TURBINA MP0000	SP0000	30/06/2005	Completado	03/07/05	MTUV	PNC ME	
1010	3007300	PREVENTIVO TURBINA MP0000	SP0000	16/06/2005	Completado	02/09/2005	MTUV	PNC ME	
1011	3001400	REPARACIONAL TURBINA GABARRI E	SP0000	14/06/2001	Completado	19/06/2001	MTUV	PNC ME	
1012	3000500	Reparaci3n a la turbina	SP0000	06/03/1998	Completado		MTUV	ME	



NP2008D

OT	Tipo de mantenimiento	Fecha de ejecuci3n	Modo de falla
100531	Mantenimiento taller	04/05/2002 - 12/08/21	General Chumaceras
M4002871	Mantenimiento plant.	3/2/2002	Escape aceite
M4003835	Mantenimiento plant.	9/18/2003	Gobernador
123379	Preventivo	8/26/2003	
133415	Mantenimiento plant.	3/9/2004	Chumaceras
145142	Preventivo	8/19/2004	
178045	Preventivo cancelado	3/6/2006	
163714	Mantenimiento Taller	06/04/2006 - 20/12/21	General Carbones
246700	Preventivo cancelado	2/15/2008	
248628	Mantenimiento Taller	14/11/2008 - 3/04/2009	General Chumaceras

Disponibilidad Operacional (ing confiabilidad)

$A_0 = \frac{MUT}{MUT + MDT}$	MUT	9200	Dias UT	3450
	MDT	432	Dias DT	144
	Ao	0.955	Mantenimientos	8
			Mantenimientos corr	6
$A_1 = \frac{MTTF}{MTTF + MTTR}$	AI	0.960		

Mantenibilidad

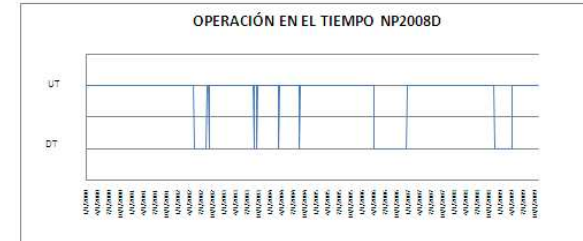
$M(3) = 1 - \exp(-\mu \times t)$

MTTR 552 Hr

Confiabilidad

TMEM 9855 Hr
TMEF 13140 Hr

Orden	Objeto	Descripci3n	Equipo	Fecha de Creaci3n	Estado	Plan	Origen	Def. Comp.	Clasif. (Plan/Proced.)
1003	3000000	REVISION SUPORTERNA SISTEMA	SP0000	27/07/2009	Authorizado		MTUV	PNC	
1004	3004800	REVISION CHUMACERAS SUPERIOR	SP0000	05/04/2009	Completado	26/05/2009	MTUV	PNC ME	
1005	3004700	MANTENIMIENTO PREVENTIVO C74 MESES	SP0000	05/03/2008	Completado	03/03/2008	MTUV	SNMP	
1006	3004800	MANTENIMIENTO PREVENTIVO C74 MESES	SP0000	06/03/2007	Completado	03/03/2007	MTUV	SNMP	
1007	3003700	PROGRAMA DESPACHO DE LA TURBINA	SP0000	19/07/2006	Completado	03/07/06	MTUV	PNC ME	
1008	3007300	MANTENIMIENTO PREVENTIVO C74 MESES	SP0000	06/10/2005	Completado	14/10/2005	MTUV	SNMP	
1009	3004800	PREVENTIVO A TURBINA CON CHUMACERAS	SP0000	12/08/2004	Completado	13/08/2004	MTUV	SNMP/CI	
1010	3004800	ALMAR CONJUNTO TURBINA BOMBA	SP0000	23/07/2004	Completado	23/07/2004	MTUV	PNC CI	
1011	3003400	GABARRI CHUMACERAS Y DESPACHO	SP0000	19/02/2004	Completado	03/03/2004	MTUV	PNC ME	
1012	3002200	PREVENTIVO A TURBINA CON CHUMACERAS	SP0000	14/06/2003	Completado	18/06/2003	MTUV	SNMP/CI	
1013	3004800	REPARAR GOBERNADOR Y DESPACHO DE	SP0000	30/07/2003	Completado		MTUV	PNC ME	
1014	3001900	SOLICITO PASO FABRICACION PINTES	SP0000	12/09/2002	Completado		MTUV	ME	
1015	3004800	Reparaci3n escape de aceite L34 en MP0000	SP0000	28/08/2002	Completado		MTUV	PNC ME	
1016	3000500	GABARRI CHUMACERAS A LA TURBINA	SP0000	02/09/2002	Completado	11/09/2002	MTUV	ME	
1017	3004800	REPARACION GENERAL NP 2000	SP0000	21/07/1998	Completado		MTUV	ME	
1018	3000300	ALMAR CONJUNTO	SP0000	24/03/1999	Completado		MTUV	ME	
1019	3004800	REPARAR ESCAPE TANCA VALVULA TRIP	SP0000	05/03/1999	Completado	13/04/1999	MTUV	ME	
1020	3000300	REPARAR VIBRADOR Y RUJIDO DEL	SP0000	13/03/1999	Completado		MTUV	ME	
1021	3000300	Reparaci3n chumaceras y reparaci3n de aceite	SP0000	23/05/1998	Completado		MTUV	ME	



NP2009D

OT	Tipo de mantenim	Fecha de ejecu	Modo de falla
78210	Mantenimiento camp	5/18/2001	Chumaceras
M4002435	Mantenimiento camp	2/22/2002	Gobernador
121881	Preventivo	8/18/2003	
109002	Mantenimiento taller	23/02/2004 - 27/07/04	Rotor
142355	Preventivo cancelado	7/12/2004	
152257	Mantenimiento camp	11/23/2004	Chumaceras
159126	Mantenimiento taller	05/03/2005 - 10/04/2005	Rotor
176822	Mantenimiento taller	11/11/2005 - 30/11/2005	Trip
177047	Preventivo	10/18/2005	
222620	Preventivo	7/11/2007	
253231	Mantenimiento camp	8/20/2008	Chumaceras
253234	Preventivo	8/24/2008	
253237	Mantenimiento taller	28/10/2008 - 20/04/09	Rotor - Carbones

Search for Work Orders

Print Columns | Secondary Columns | Job Codes | Address | Reference Codes

Work Order: [] Search Method: [All] Search: []

Print Selection Criteria: []

Equip Search Type: [Equipment or Part Number]

Equip Ref: [SP2000]

Work Group: [] Parent W/Order: []

Comp: [] Project Number: []

Digitaria Id: [] Assigned to: []

Account Code: []

High/Low: []

Work Order	Date	Equipment	Work Group	Class Code	Phase Code	Digitaria Id	Status	Plan Start	Comp. Group	Parent Phase
11028	02/03/00	PREVENTIVO A TURBINA NP2009D	SP2000	MEOPF2	E322005		Closed		MTUV	PMC
20208	02/03/00	REVISION DE CHUMACERAS SP2000	SP2000	PMFAC	06/06/2000	E322003	Closed	06/06/2000	MTUV	SACF
24028	02/03/00	REVISION DE CHUMACERAS SP2000	SP2000	PMFAC	12/05/2000	E322005	Closed	06/06/2000	MTUV	SACF
40028	02/03/00	REPARACION GENERAL NP2000	SP2000	MEOCA	05/01/2007	E322005	Closed		MTUV	PMC
50028	02/03/00	PREVENTIVO TURBINA NP2000-REPARAR	SP2000	MEOPF2	12/06/2007	E322005	Closed	21/06/2007	MTUV	PMC
60028	02/03/00	MANTENIMIENTO PREVENTIVO C/2 MESES	SP2000	PMFAC	15/11/2006	E322008	Closed	21/11/2006	MTUV	SACF
70028	01/18/04	CAMBIO VALVULA DE ADMISION DE VAPOR	SP2000	MEOCA	02/08/2006	E322003	Closed		MTUV	PMC
80028	01/17/04	MANTENIMIENTO PREVENTIVO C/2 MESES	SP2000	PMFAC	20/10/2006	E322008	Closed	27/10/2006	MTUV	SACF
90028	01/16/02	INSTALAR VALVULA TRIP NP2000	SP2000	MEOCA	19/10/2005	E322005	Closed	06/11/2005	MTUV	PMC
10028	01/16/02	REVISAR CHUMACERAS DE LA NP2000	SP2000	MEOCA	16/02/2005	E322003	Closed	03/02/2005	MTUV	PMC
11028	01/16/02	REPARAR ESCAFA DE VAPOR SP2000	SP2000	MEOCA	15/02/2005	E322005	Closed	16/02/2005	MTUV	PMC
12028	01/15/02	REPARAR TURBINA NP 2000	SP2000	MEOCA	13/11/2004	E322005	Closed		MTUV	PMC
13028	01/14/05	PREVENTIVO TURBINA CON CHUMACERAS SP2000	SP2000	PMFAC	15/07/2004	E322008	Closed	19/07/2004	MTUV	SACF
14028	01/02/04	REPARAR ESCAFA DE VAPOR VALVULA	SP2000	MEOCA	08/08/2004	E322008	Closed		MTUV	PMC
15028	01/01/01	PREVENTIVO A TURBINAS CON CHUMACERAS SP2000	SP2000	PMFAC	17/07/2003	E322008	Closed	21/07/2003	MTUV	SACF
16028	01/01/02	CAMBIO DE CHUMACERAS A LA TURBINA	SP2000	MEOCA	09/10/2002	E322006	Closed	23/02/2004	MTUV	PMC
17028	01/01/02	REVISAR GOBERNADORA TURBINA NP2000	SP2000	MEOCA	22/02/2002	E322008	Closed		MTUV	PMC
18028	01/01/02	REVISION DE CHUMACERAS Y ALINEAMIENTO SP2000	SP2000	MEOCA	13/05/2001	E322006	Closed	23/04/2001	MTUV	PMC
19028	01/01/00	Reparar escape de vapor interna U.S.	SP2000	MEOCA	16/02/2000	E322003	Closed		MTUV	PMC

Disponibilidad Operacional (ing confiabilidad)

$$A_0 = \frac{MUT}{MUT + MDT}$$

MUT = 5748.823
MDT = 960

$$A_1 = \frac{MTTF}{MTTF - MTTR}$$

Ao = 0.857
Aj = 0.875

Dias UT = 314
Dias DT = 480
Mantenimientos = 12
Mantenimientos corr = 8

Mantenibilidad

$M(0) = 1 - \exp(-\mu \times t)$

MTTR = 1404 Hr

Confiabilidad

TMEM = 8570 Hr
TMEF = 9855 Hr



NP2010B

OT	Tipo de mantenim	Fecha de ejecu	Modo de falla
67463	Mantenimiento taller	30/07/2000 - 05/01/01	General rod
154204	Preventivo	6/21/2005	
165422	Mantenimiento taller	16/05/2005 - 30/08/2005	General rod
E4000336	Mantenimiento taller	6/21/2005	General rod
177714	Mantenimiento taller	16/11/2005 - 30/11/2005	General rod
190516	Preventivo	6/20/2006	
253709	Preventivo cancelado	8/10/2008	
278751	Preventivo	4/19/2009	

Search for Work Orders

Print Columns | Secondary Columns | Job Codes | Address | Reference Codes

Work Order: [] Search Method: [All] Search: []

Print Selection Criteria: []

Equip Search Type: [Equipment or Part Number]

Equip Ref: [SP2000]

Work Group: [] Parent W/Order: []

Comp: [] Project Number: []

Digitaria Id: [] Assigned to: []

Account Code: []

High/Low: []

Work Order	Date	Equipment	Work Group	Class Code	Phase Code	Digitaria Id	Status	Plan Start	Comp. Group	Parent Phase
1000074	02/03/00	REPARAR ESCAFA TURBINA NP2010B	SP2000	MEOPF2	11/06/2000	E322007	Authorized		MTUV	PMC
1000076	02/03/00	PREVENTIVO A TURBINAS C/2 MESES	SP2000	PMFAC	27/02/2000	E322003	Closed	03/03/2000	MTUV	SACF
1000078	02/03/00	PREVENTIVO A TURBINAS C/2 MESES	SP2000	PMFAC	04/04/2000	E322003	Closed	13/04/2000	MTUV	SACF
1000079	02/03/00	PREVENTIVO A TURBINAS C/2 MESES	SP2000	PMFAC	29/05/2000	E322008	Closed	10/06/2000	MTUV	SACF
1000080	02/03/00	CORREGIR ESCAPE VAPOR NP2010B	SP2000	MEOPF2	31/06/2000	E322007	Closed	10/06/2000	MTUV	PMC
1000081	02/03/00	PREVENTIVO A TURBINAS C/2 MESES	SP2000	PMFAC	15/06/2000	E322008	Closed	20/06/2000	MTUV	SACF
1000082	02/03/00	REPARAR TURBINA PUNTA NP2010B	SP2000	MEOCA	21/06/2000	E322007	Closed	20/06/2000	MTUV	PMC
1000083	02/03/00	INSTALAR LAMPARA DE TALLA TURBINA	SP2000	MEOCA	11/10/2000	E322007	Closed		MTUV	PMC
1000084	02/03/00	instalar que enfriadora NP 2010B	SP2000	MEOCA	15/10/2000	E322007	Closed		MTUV	PMC
1000085	02/03/00	REPARAR ESCAFA TURBINA NP2010B	SP2000	MEOCA	07/07/2000	E322007	Closed		MTUV	PMC
1000086	02/03/00	CAMBIO RECOMENDADO TURBINA LA NP2010B	SP2000	MEOCA	26/04/2000	E322003	Closed		MTUV	PMC
1000087	02/03/00	RECOMENDADO TURBINA LA NP2010B	SP2000	MEOCA	26/04/2000	E322007	Closed		MTUV	PMC
1000088	02/03/00	PREVENTIVO A TURBINAS C/2 MESES	SP2000	PMFAC	26/12/2004	E322008	Closed	05/01/2005	MTUV	SACF
1000089	02/03/00	Reparar escape de vapor U.S. NP2010B	SP2000	MEOCA	26/06/2002	E322008	Closed		MTUV	PMC
1000090	02/03/00	Reparacion general de la turbina	SP2000	MEOPF2	20/07/2000	E322019	Closed		MTUV	PMC
1000091	02/03/00	Reparar sistema Turbine	SP2000	MEOPF2	24/09/1999	E322026	Closed		MTUV	PMC

Disponibilidad Operacional (ing confiabilidad)

$$A_0 = \frac{MUT}{MUT + MDT}$$

MUT = 10206
MDT = 858

$$A_1 = \frac{MTTF}{MTTF - MTTR}$$

Ao = 0.939
Aj = 0.947

Dias UT = 3402
Dias DT = 192
Mantenimientos = 7
Mantenimientos corr = 4

Mantenibilidad

$M(0) = 1 - \exp(-\mu \times t)$

MTTR = 1098 Hr

Confiabilidad

TMEM = 11262.86 Hr
TMEF = 19710 Hr



OT	Tipo de mantenim	Fecha de ejecu	Modo de falla
85823	Mantenimiento taller	3/20/2001	General rod
157091	Preventivo	2/8/2005	
161751	Mantenimiento taller	06/08/2005 - 08/08/2005	General rod
183234	Preventivo	2/14/2005	
21201	Preventivo	2/9/2007	
242577	Preventivo	2/6/2008	
244213	Mantenimiento taller	14/02/2008 - 04/02/2008	General rod
276077	Mantenimiento taller	3/23/2009	General rod

OT	Tipo de mantenim	Fecha de ejecu	Modo de falla
85823	Mantenimiento taller	3/20/2001	General rod
157091	Preventivo	2/8/2005	
161751	Mantenimiento taller	06/08/2005 - 08/08/2005	General rod
183234	Preventivo	2/14/2005	
21201	Preventivo	2/9/2007	
242577	Preventivo	2/6/2008	
244213	Mantenimiento taller	14/02/2008 - 04/02/2008	General rod
276077	Mantenimiento taller	3/23/2009	General rod

OT	Tipo de mantenim	Fecha de ejecu	Modo de falla
85823	Mantenimiento taller	3/20/2001	General rod
157091	Preventivo	2/8/2005	
161751	Mantenimiento taller	06/08/2005 - 08/08/2005	General rod
183234	Preventivo	2/14/2005	
21201	Preventivo	2/9/2007	
242577	Preventivo	2/6/2008	
244213	Mantenimiento taller	14/02/2008 - 04/02/2008	General rod
276077	Mantenimiento taller	3/23/2009	General rod

Disponibilidad Operacional (ing confiabilidad)

$A_0 = \frac{MUT}{MUT + MDT}$	MUT	7976	Dias UT	2991
	MDT	1809	Dias DT	603
	Ao	0.815	Mantenimientos	8
			Mantenimientos corr	4
$A_1 = \frac{MTTF}{MTTF - MTTR}$	AI	0.816		

Mantenibilidad

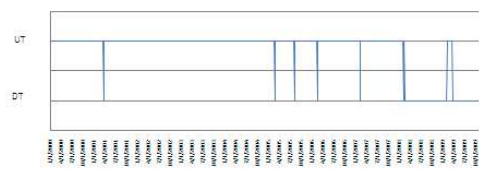
$MII = 1 - \exp(-\mu \times t)$

MTTR = 3546 Hr

Confiabilidad

TMEM = 9855 Hr
TMEF = 1970 Hr

OPERACIÓN EN EL TIEMPO NP2017D



OT	Tipo de mantenim	Fecha de ejecu	Modo de falla
82494	Mantenimiento taller	14/05/2001 - 04/01/2001	General
M4002747	Mantenimiento plants	7/18/2002	Trip
149410	Mantenimiento taller	27/09/2004 - 3/09/2005	
173254	Preventivo	1/11/2005	
205763	Preventivo cancelado	12/2/2008	
236177	Preventivo	1/12/2007	
244659	Mantenimiento taller	18/03/2008 - 06/09/2008	General carbones
284397	Preventivo	9/3/2009	

OT	Tipo de mantenim	Fecha de ejecu	Modo de falla
82494	Mantenimiento taller	14/05/2001 - 04/01/2001	General
M4002747	Mantenimiento plants	7/18/2002	Trip
149410	Mantenimiento taller	27/09/2004 - 3/09/2005	
173254	Preventivo	1/11/2005	
205763	Preventivo cancelado	12/2/2008	
236177	Preventivo	1/12/2007	
244659	Mantenimiento taller	18/03/2008 - 06/09/2008	General carbones
284397	Preventivo	9/3/2009	

OT	Tipo de mantenim	Fecha de ejecu	Modo de falla
82494	Mantenimiento taller	14/05/2001 - 04/01/2001	General
M4002747	Mantenimiento plants	7/18/2002	Trip
149410	Mantenimiento taller	27/09/2004 - 3/09/2005	
173254	Preventivo	1/11/2005	
205763	Preventivo cancelado	12/2/2008	
236177	Preventivo	1/12/2007	
244659	Mantenimiento taller	18/03/2008 - 06/09/2008	General carbones
284397	Preventivo	9/3/2009	

Disponibilidad Operacional (ing confiabilidad)

$A_0 = \frac{MUT}{MUT + MDT}$	MUT	8757	Dias UT	2919
	MDT	2314	Dias DT	675
	Ao	0.791	Mantenimientos	7
			Mantenimientos corr	4
$A_1 = \frac{MTTF}{MTTF - MTTR}$	AI	0.831		

Mantenibilidad

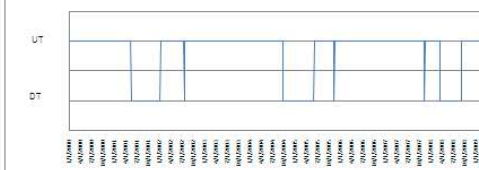
$MII = 1 - \exp(-\mu \times t)$

MTTR = 3996 Hr

Confiabilidad

TMEM = 11262.86 Hr
TMEF = 1970 Hr

OPERACIÓN EN EL TIEMPO NP2019B



NP2020D

OT	Tipo de mantenim	Fecha de ejecu	Modo de falla
68314	Mantenimiento plant	8/9/2000	chumaceras
M4002309	Mantenimiento plant	1/15/2002	Gobernador
M4002319	Mantenimiento plant	2/18/2002	Trip
98340	Mantenimiento plant	2/19/2002	chumaceras
115781	Mantenimiento plant	10/6/2003	Instalación Gobernador electronico
12163	Preventivo	7/2/2003	
166083	Mantenimiento plant	8/19/2005	Carbones Chumaceras
174450	Preventivo cancelad	9/15/2005	
183972	Preventivo cancelad	7/2/2006	
198387	Preventivo	9/15/2006	
200941	Mantenimiento plant	17/04/2007 - 3/07/2008	Eje carbones - chumaceras
247501	Preventivo	8/11/2008	
262005	Mantenimiento plant	2/9/2009	Carbones
283569	Preventivo	6/17/2009	

Search for Work Orders

Primary Criteria | Secondary Criteria | Job Code | Address | Reference Code

Unit Code: Search:

Primary Selection Criteria:

OT	Descripción	Equipo	Referencia	Fecha de Inicio	Fecha de Fin	Estado	Plan	Tipos de Cont.	Unidad	Pres.	Pres.
68314	Mantenimiento planta	CHUMACERAS	8/9/2000	8/9/2000	8/9/2000	Cerrado	1156/2000	MTUV	SAOP		
M4002309	Mantenimiento planta	GOBERNADOR	1/15/2002	1/15/2002	1/15/2002	Cerrado	1156/2000	MTUV	SAOP		
M4002319	Mantenimiento planta	TRIP	2/18/2002	2/18/2002	2/18/2002	Cerrado	1156/2000	MTUV	SAOP		
98340	Mantenimiento planta	CHUMACERAS	2/19/2002	2/19/2002	2/19/2002	Cerrado	1156/2000	MTUV	SAOP		
115781	Mantenimiento planta	INSTALACION GOBERNADOR ELECTRONICO	10/6/2003	10/6/2003	10/6/2003	Cerrado	1156/2000	MTUV	SAOP		
12163	Preventivo		7/2/2003	7/2/2003	7/2/2003	Cerrado	1156/2000	MTUV	SAOP		
166083	Mantenimiento planta	CARBONES CHUMACERAS	8/19/2005	8/19/2005	8/19/2005	Cerrado	1156/2000	MTUV	SAOP		
174450	Preventivo cancelado		9/15/2005	9/15/2005	9/15/2005	Cerrado	1156/2000	MTUV	SAOP		
183972	Preventivo cancelado		7/2/2006	7/2/2006	7/2/2006	Cerrado	1156/2000	MTUV	SAOP		
198387	Preventivo		9/15/2006	9/15/2006	9/15/2006	Cerrado	1156/2000	MTUV	SAOP		
200941	Mantenimiento planta	EJE CARBONES - CHUMACERAS	17/04/2007 - 3/07/2008	17/04/2007 - 3/07/2008	17/04/2007 - 3/07/2008	Cerrado	1156/2000	MTUV	SAOP		
247501	Preventivo		8/11/2008	8/11/2008	8/11/2008	Cerrado	1156/2000	MTUV	SAOP		
262005	Mantenimiento planta	CARBONES	2/9/2009	2/9/2009	2/9/2009	Cerrado	1156/2000	MTUV	SAOP		
283569	Preventivo		6/17/2009	6/17/2009	6/17/2009	Cerrado	1156/2000	MTUV	SAOP		

Disponibilidad Operacional (ing confiabilidad)

$$A_0 = \frac{MUT}{MUT + MDT} \quad \begin{matrix} MUT & 6430.154 \\ MDT & 222 \end{matrix} \quad \begin{matrix} \text{Dias UT} & 3483 \\ \text{Dias DT} & 111 \\ \text{Mantenimientos} & 12 \\ \text{Mantenimientos corr} & 8 \end{matrix}$$

$$A_1 = \frac{MTTF}{MTTF - MTTR} \quad \begin{matrix} A_0 & 0.967 \\ A_1 & 0.971 \end{matrix}$$

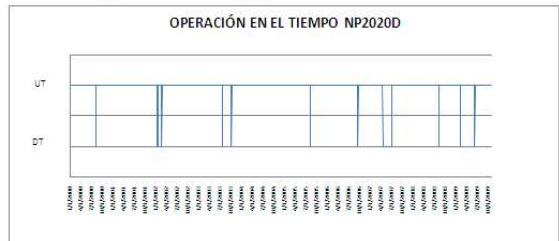
Mantenibilidad

$M(t) = 1 - e^{-\lambda t}$, $\lambda = 1$

MTTR = 287 Hr

Confiabilidad

TMEM = 6570 Hr
TMEF = 9855 Hr



NP2022D

OT	Tipo de mantenim	Fecha de ejecu	Modo de falla
73248	Mantenimiento taller	31/12/2000 - 31/01/2001	General
M4002749	Mantenimiento plant	7/18/2002	Chumaceras
116154	Mantenimiento plant	4/10/2003	Gobernador
E4000954	Mantenimiento plant	8/17/2003	Chumaceras
122710	Preventivo	8/15/2003	
123531	Mantenimiento plant	12/6/2003	Carbones
127567	Mantenimiento plant	8/10/2004	Chumaceras
144105	Preventivo	8/10/2004	
144305	Mantenimiento Taller	13/08/2004 - 2/10/2004	Chumaceras
177048	Preventivo cancelad	10/24/2005	Por estar en reparación general
204684	Preventivo	10/30/2006	
232809	Mantenimiento Taller	12/10/2007 - 03/03/2008	General
278438	Preventivo	4/24/2008	
282071	Mantenimiento Taller	5/29/2009	General

Search for Work Orders

Primary Criteria | Secondary Criteria | Job Code | Address | Reference Code

Unit Code: Search:

Primary Selection Criteria:

Equip Search Type: Equip or Plant Number:

Equip Ref:

Equip Desc:

Equip:

Project Number:

Assigned To:

Account Code:

OT	Descripción	Equipo	Referencia	Fecha de Inicio	Fecha de Fin	Estado	Plan	Tipos de Cont.	Unidad	Pres.	Pres.
73248	Mantenimiento taller		31/12/2000 - 31/01/2001	31/12/2000 - 31/01/2001	31/12/2000 - 31/01/2001	Cerrado	1156/2000	MTUV	SAOP		
M4002749	Mantenimiento planta	CHUMACERAS	7/18/2002	7/18/2002	7/18/2002	Cerrado	1156/2000	MTUV	SAOP		
116154	Mantenimiento planta	GOBERNADOR	4/10/2003	4/10/2003	4/10/2003	Cerrado	1156/2000	MTUV	SAOP		
E4000954	Mantenimiento planta	CHUMACERAS	8/17/2003	8/17/2003	8/17/2003	Cerrado	1156/2000	MTUV	SAOP		
122710	Preventivo		8/15/2003	8/15/2003	8/15/2003	Cerrado	1156/2000	MTUV	SAOP		
123531	Mantenimiento planta	CARBONES	12/6/2003	12/6/2003	12/6/2003	Cerrado	1156/2000	MTUV	SAOP		
127567	Mantenimiento planta	CHUMACERAS	8/10/2004	8/10/2004	8/10/2004	Cerrado	1156/2000	MTUV	SAOP		
144105	Preventivo		8/10/2004	8/10/2004	8/10/2004	Cerrado	1156/2000	MTUV	SAOP		
144305	Mantenimiento taller	CHUMACERAS	13/08/2004 - 2/10/2004	13/08/2004 - 2/10/2004	13/08/2004 - 2/10/2004	Cerrado	1156/2000	MTUV	SAOP		
177048	Preventivo cancelado		10/24/2005	10/24/2005	10/24/2005	Cerrado	1156/2000	MTUV	SAOP		
204684	Preventivo		10/30/2006	10/30/2006	10/30/2006	Cerrado	1156/2000	MTUV	SAOP		
232809	Mantenimiento taller	GENERAL	12/10/2007 - 03/03/2008	12/10/2007 - 03/03/2008	12/10/2007 - 03/03/2008	Cerrado	1156/2000	MTUV	SAOP		
278438	Preventivo		4/24/2008	4/24/2008	4/24/2008	Cerrado	1156/2000	MTUV	SAOP		
282071	Mantenimiento taller	GENERAL	5/29/2009	5/29/2009	5/29/2009	Cerrado	1156/2000	MTUV	SAOP		

Disponibilidad Operacional (ing confiabilidad)

$$A_0 = \frac{MUT}{MUT + MDT} \quad \begin{matrix} MUT & 4880.571 \\ MDT & 1379 \end{matrix} \quad \begin{matrix} \text{Dias UT} & 2847 \\ \text{Dias DT} & 747 \\ \text{Mantenimientos} & 13 \\ \text{Mantenimientos corr} & 9 \end{matrix}$$

$$A_1 = \frac{MTTF}{MTTF - MTTR} \quad \begin{matrix} A_0 & 0.780 \\ A_1 & 0.817 \end{matrix}$$

Mantenibilidad

$M(t) = 1 - e^{-\lambda t}$, $\lambda = 1$

MTTR = 1860 Hr

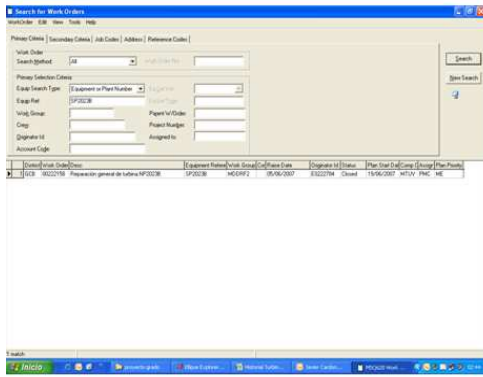
Confiabilidad

TMEM = 6064.615 Hr
TMEF = 8760 Hr



NP2023B

OT	Tipo de mantenim	Fecha de e	Modo de falla
222168	Mantenimiento taller	29/06/2007 - 09/09/2008	



Disponibilidad Operacional (ing confiabilidad)

$A_0 = \frac{MUT}{MUT + MDT}$	MUT	37872	Dias UT	3166
	MDT	10512	Dias DT	438
	Ao	0.783	Mantenimientos	1
$A_1 = \frac{MTTF}{MTTF - MTTR}$	AI	0.882	Mantenimientos corr	1

Mantenibilidad

$MMS = 1 - exp(-\mu \cdot t)$

MTTR = 10512 Hr

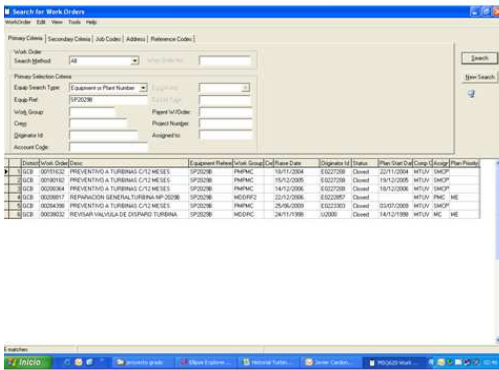
Confiabilidad

TMEM = 78840 Hr
TMEF = 78840 Hr



NP2029B

OT	Tipo de mantenim	Fecha de ejecu	Modo de falla
151632	Preventivo	12/24/2004	
180182	Preventivo	12/22/2005	
208364	Preventivo cancelad	12/14/2006	Por tener OT correctiva
208817	Mantenimiento taller	07/04/2008 - 08/08/2008	General Fieodamientos
224338	Preventivo	3/11/2009	



Disponibilidad Operacional (ing confiabilidad)

$A_0 = \frac{MUT}{MUT + MDT}$	MUT	16803.2	Dias UT	3459
	MDT	810	Dias DT	135
	Ao	0.953	Mantenimientos	4
$A_1 = \frac{MTTF}{MTTF - MTTR}$	AI	0.963	Mantenimientos corr	1

Mantenibilidad

$MMS = 1 - exp(-\mu \cdot t)$

MTTR = 3024 Hr

Confiabilidad

TMEM = 19710 Hr
TMEF = 78840 Hr



NP2101B

OT	Tipo de mantenimiento	Fecha de ejecución	Modo de falla
14000012	Mantenimiento taller	19/02/2000 - 8/03/2000	Flodamientos
1045222	Mantenimiento plant	7/15/2002	Disparo electronico
120606	Mantenimiento taller	27/07/2003 - 08-09/02	Flodamientos y bomba de lubricación
177955	Preventivo	1/9/2005	
178534	Mantenimiento camp	1/6/2005	Gobernador electronico
205754	Preventivo cancelado	1/9/2008	
236178	Preventivo	1/9/2007	
245843	Mantenimiento taller	14/03/2008 - 25/04/02	Flodamientos
269636	Mantenimiento plant	9/6/2008	Gobernador electronico
278444	Preventivo	4/15/2009	

Disponibilidad Operacional (ing confiabilidad)

$$A_0 = \frac{MUT}{MUT + MDT}$$

$$A_1 = \frac{MTTF}{MTTF - MTTR}$$

MUT = 836
MDT = 344
Ao = 0.960
AI = 0.965

Dias UT = 3465
Dias DT = 129
Mantenimientos = 9
Mantenimientos corr = 6

Mantenibilidad

$$MII = 1 - \exp(-\mu \times t)$$

MTTR = 480

Confiabilidad

TMEM = 8760 Hr
TMEF = 1340 Hr

Plant	Order No.	Order Date	Order Type	Order Status	Order Category	Order Subcategory	Order Description	Order Text	Order Date	Order Time	Order User	Order System
1000	10000012	19/02/2000	1	01	1	1	Mantenimiento taller		19/02/2000	08:00	1000	1000
1000	1045222	07/15/2002	1	01	1	1	Mantenimiento plant		07/15/2002	08:00	1000	1000



NP2102D

OT	Tipo de mantenimiento	Fecha de ejecución	Modo de falla
85553	Mantenimiento plant	6/21/2002	Gobernador
121232	Preventivo no ejecut	10/23/2003	
M4004726	Mantenimiento plant	21/12/2004	
141257	Preventivo	6/23/2004	
148500	Mantenimiento plant	10/30/2004	Chumaceras
172672	Mantenimiento Taller	18/08/2005 - 25/11/20	Chumaceras - eje
199138	Mantenimiento plant	3/23/2006	Gobernador
202544	Preventivo	1/2/2007	
232440	Preventivo	10/8/2007	
258002	Mantenimiento plant	8/8/2008	Valvula de gobernación
264667	Preventivo	10/9/2008	

Disponibilidad Operacional (ing confiabilidad)

$$A_0 = \frac{MUT}{MUT + MDT}$$

$$A_1 = \frac{MTTF}{MTTF - MTTR}$$

MUT = 7560
MDT = 309.6
Ao = 0.961
AI = 0.966

Dias UT = 3465
Dias DT = 129
Mantenimientos = 10
Mantenimientos corr = 6

Mantenibilidad

$$MII = 1 - \exp(-\mu \times t)$$

MTTR = 468

Confiabilidad

TMEM = 7884 Hr
TMEF = 1340 Hr

Plant	Order No.	Order Date	Order Type	Order Status	Order Category	Order Subcategory	Order Description	Order Text	Order Date	Order Time	Order User	Order System
1000	85553	06/21/2002	1	01	1	1	Mantenimiento plant		06/21/2002	08:00	1000	1000
1000	121232	10/23/2003	1	01	1	1	Preventivo no ejecut		10/23/2003	08:00	1000	1000



NP2104B

OT	Tipo de mantenim	Fecha de ejecuc	Modo de falla
78009	Mantenimiento plant	30/03/2001 - 23/04/2	Rotor
83216	Mantenimiento taller	28/08/2001 - 16/07/2	Rotor
104652	Mantenimiento plant	7/18/2002	Disparo
123734	Preventivo	10/14/2003	
128657	Mantenimiento plant	19/14/2003	Disparo
14258	Preventivo	17/4/2004	
173438	Preventivo cancelada	4/7/2006	
222932	Preventivo	10/12/2007	
255194	Preventivo	6/25/2008	
281211	Preventivo	5/27/2009	
281211A	Mantenimiento taller	01/08/2009 - 20/09/2	Cambio a governor hidrúlico

Disponibilidad Operacional (ing confiabilidad)

$A_0 = \frac{MTT}{MTT + MDT}$	MUT	7370.182	Dias UT	3378
	MDT	518.4	Dias DT	216
	Ao	0.934	Mantenimientos	10
	AI	0.942	Mantenimientos corr	5

Mantenibilidad

$MII = 1 - \exp(-\mu \times t)$

MTTR 364.8

Confiabilidad

TMEM 7884 Hr
TMEF 15768 Hr



Search for Work Orders

Work Order	Secondary Codes	Job Code	Address	Reference Code
123734	PREVEN			
104652	PREVEN			
128657	PREVEN			
14258	PREVEN			
173438	PREVEN			
222932	PREVEN			
255194	PREVEN			
281211	PREVEN			
281211A	PREVEN			

NP2105B

OT	Tipo de mantenim	Fecha de ejecuc	Modo de falla
120012	Preventivo cancelada	6/5/2003	
139938	Preventivo cancelada	5/25/2004	
165216A	Mantenimiento taller	10/7/2005 - 15/11/20	Chumaceras - rotor
125515	Preventivo cancelada	6/20/2006	
198805	Preventivo	5/12/2008	
241388	Mantenimiento taller	28/04/2007 - 31/10/2	General Flowserve
251594	Preventivo cancelada	5/30/2008	Por encontrarse en mantenimiento general

Disponibilidad Operacional (ing confiabilidad)

$A_0 = \frac{MTT}{MTT + MDT}$	MUT	24168	Dias UT	3021
	MDT	6876	Dias DT	573
	Ao	0.779	Mantenimientos	2
	AI	0.851	Mantenimientos corr	2

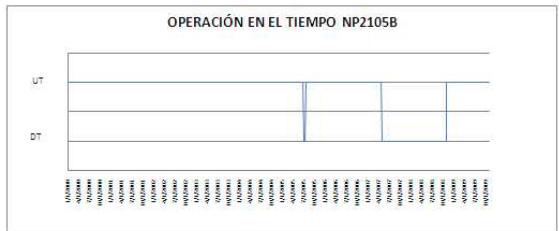
Mantenibilidad

$MII = 1 - \exp(-\mu \times t)$

MTTR 6876

Confiabilidad

TMEM 39420 Hr
TMEF 39420 Hr



Search for Work Orders

Work Order	Secondary Codes	Job Code	Address	Reference Code
120012	PREVEN			
139938	PREVEN			
165216A	PREVEN			
125515	PREVEN			
198805	PREVEN			
241388	PREVEN			
251594	PREVEN			

NP2106B

OT	Tipo de mantenim	Fecha de ejecuci	Modo de falla
70367	Mantenimiento plant	9/14/2000	Gobernador
79484	Mantenimiento taller	23/06/2001 - 01/07/2001	General Eje
E4000067	Mantenimiento plant	12/22/2001	Chumacetas
97119	Mantenimiento taller	21/02/2002 - 20/05/2002	General Eje
E4000094	Mantenimiento plant	9/12/2003	Disparo
118433	Preventivo	5/29/2003	
127836	Mantenimiento plant	9/19/2004	Disparo
139443	Preventivo	10/10/2004	
171041	Preventivo	7/28/2005	
171955	Mantenimiento taller	22/09/2005 - 27/09/2005	General Eje
174979	Mantenimiento taller	22/09/2005 - 13/12/2005	General Eje
183812	Mantenimiento taller	21/07/2006 - 10/11/2006	General Eje
197421	Preventivo Cancelad	7/28/2006	Por mantenimiento cancelad
261218	Preventivo Cancelad	8/29/2008	Por mantenimiento cancelad
267054	Preventivo	8/18/2009	

Search for Work Orders

WorkOrder: EJB View Tools Help

Primary Cities | Secondary Cities | Job Codes | Address | Reference Codes

Work Order: Search Method: Search

Primary Selection Criteria: Equip Ref: New Search

Equip Ref: Plant No/Order: Project Number: Assigned to:

Dispatch/Work Order/Class	Equipment Reference/Unit Serial/Call/Phase Date	Dispatch ID/Status	Plan Start Date/Comp/Equip/Plan Priority
13108 003084	MANTENIMIENTO PREVENTIVO C/2 MESES	SPT038 PMPMC 18/05/2009 E022303 Closed	02/09/2009 MTLV SMCPT
13108 003706	PREVENTIVA A TURBINA NP2106B	SPT038 HCDPFC 27/10/2008 E022097 Closed	28/07/2008 MTLV PNC ME
13108 0026178	MANTENIMIENTO PREVENTIVO C/2 MESES	SPT038 PMPMC 21/05/2008 E022728 Closed	28/08/2008 MTLV SMCPT
13108 0024193	CAMBIO VALVULA CRANAL LINGA NP 2106B	SPT038 HCDPFC 15/05/2008 E022097 Closed	MTLV PNC
13108 0019742	MANTENIMIENTO PREVENTIVO C/2 MESES	SPT038 PMPMC 13/07/2008 E022708 Closed	26/07/2008 MTLV SMCPT
13108 0013974	REPARAR TURBINA NP 2106B	SPT038 MCOCA 30/05/2006 E023329 Closed	21/07/2006 MTLV PNC ME
13108 0017491	BALANEAR ROTOR TURBINA NP2106B	SPT038 MCOCA 15/08/2005 E022097 Closed	11/10/2005 MTLV PNC ME
13108 0017195	REPARAR TURBINA NP2106B	SPT038 MCOCA 20/07/2005 E022097 Closed	MTLV PNC ME
13108 0017104	MANTENIMIENTO PREVENTIVO C/2 MESES	SPT038 PMPMC 14/07/2005 E022708 Closed	26/07/2005 MTLV SMCPT
13108 0013948	PREVENTIVA A TURBINA CON CHUMACETAS	SPT038 PMPMC 28/05/2004 E022796 Closed	10/05/2004 MTLV SMCPT ME
13108 0012708	REVISAR GATILLO DEL DISPARO A LA TURBINA	SPT038 MCOCA 29/10/2003 E022788 Closed	13/09/2003 MTLV PNC ME
13108 M400390	REVISAR Y CALIBRAR DISPARO NP2106B	SPT038 MCOCA 15/08/2003 E022098 Closed	MTLV PNC 02
13108 M400700	REPARAR GOBERNADOR E INSTALAR VALVULA	SPT038 MCOCA 18/07/2003 E022098 Closed	MTLV PNC 02
13108 0011343	PREVENTIVO A TURBINA CON CHUMACETAS	SPT038 PMPMC 13/05/2003 E022796 Closed	12/05/2003 MTLV SMCPT
13108 0011202	REVISAR QUENES Y REPARAR A NP2106B	SPT038 MCOCA 11/11/2002 E022098 Closed	MTLV PNC ME
13108 E400004	REVISAR CALIBRAR DISPARO TURBINA NP2106B	SPT038 MCOCA 02/07/2002 E022098 Closed	MTLV PNC 03
13108 0009119	CAMBIA RIE Y COLUMNES TURBINA NP2106B	SPT038 MCOCA 21/02/2002 E022098 Closed	23/02/2002 MTLV PNC ME

Disponibilidad Operacional (ing confiabilidad)

$$A_0 = \frac{MUT}{MUT + MDT}$$

MUT 5605.714286 Dias UT 3270
MDT 598.1538462 Dias DT 324

$$A_1 = \frac{MTTF}{MTTF + MTTR}$$

Ao 0.904 Mantenimientos 13
AI 0.913 Mantenimientos corr 9

Mantenibilidad

$M0 = 1 - \exp(-\mu \cdot t)$

MTTR 832

Confiabilidad

TMEM 6065 Hr
TMFE 8780 Hr



NP2107B

OT	Tipo de mantenim	Fecha de e	Modo de falla
M4002289	Mantenimiento plant	1/4/2002	Gobernador
M4002695	Mantenimiento plant	6/20/2002	Disparo
121519	Preventivo cancelad	7/16/2003	
141973	Preventivo	7/19/2004	
174451	Preventivo	9/15/2005	
201523	Preventivo	9/14/2006	
240464	Mantenimiento plant	4/6/2008	Gobernador
246780	Preventivo	3/18/2008	
274342	Preventivo	6/17/2009	

Search for Work Orders

WorkOrder: EJB View Tools Help

Primary Cities | Secondary Cities | Job Codes | Address | Reference Codes

Work Order: Search Method: Search

Primary Selection Criteria: Equip Ref: New Search

Equip Ref: Plant No/Order: Project Number: Assigned to:

Dispatch/Work Order/Class	Equipment Reference/Unit Serial/Call/Phase Date	Dispatch ID/Status	Plan Start Date/Comp/Equip/Plan Priority
13108 M400392	REPARAR TURBINA NP 2106B	SPT038 HCDPFC 06/02/2009 E022097 Closed	06/02/2009 MTLV PNC ME
13108 M400390	PREVENTIVO TURBINA NP2106B	SPT038 HCDPFC 06/02/2009 E022097 Closed	11/05/2009 MTLV PNC ME
13108 M400464	REPARAR GOBERNADOR TURBINA NP2106B	SPT038 MCOCA 18/12/2007 E022097 Closed	31/03/2008 MTLV PNC 02
13108 M400392	CAMBIA GOBERNADOR NP2106B	SPT038 MCOCA 30/01/2007 E022097 Closed	06/02/2007 MTLV PNC 02
13108 M400392	MANTENIMIENTO PREVENTIVO C/2 MESES	SPT038 PMPMC 07/09/2006 E022728 Closed	11/09/2006 MTLV SMCPT
13108 0017491	MANTENIMIENTO PREVENTIVO C/2 MESES	SPT038 PMPMC 30/08/2005 E022708 Closed	10/08/2005 MTLV SMCPT
13108 0014193	PREVENTIVA A TURBINA CON CHUMACETAS	SPT038 PMPMC 30/08/2004 E022796 Closed	06/07/2004 MTLV SMCPT 02
13108 0017195	PREVENTIVA A TURBINA CON CHUMACETAS	SPT038 PMPMC 02/07/2003 E022796 Closed	07/07/2003 MTLV SMCPT
13108 0011703	REVISAR CHUMACETAS TURBINA NP2106B	SPT038 MCOCA 09/04/2003 E022098 Closed	09/07/2003 MTLV PNC ME
13108 M400390	REVISAR DISPARO TURBINA NP2106B	SPT038 MCOCA 20/04/2003 E022098 Closed	MTLV PNC ME
13108 M400390	CAMBIA GOBERNADOR NP2106B	SPT038 MCOCA 04/01/2002 E022098 Closed	MTLV PNC 02

Disponibilidad Operacional (ing confiabilidad)

$$A_0 = \frac{MUT}{MUT + MDT}$$

MUT 9008 Dias UT 3378
MDT 648 Dias DT 216

$$A_1 = \frac{MTTF}{MTTF + MTTR}$$

Ao 0.933 Mantenimientos 8
AI 0.942 Mantenimientos corr 3

Mantenibilidad

$M0 = 1 - \exp(-\mu \cdot t)$

MTTR 1608

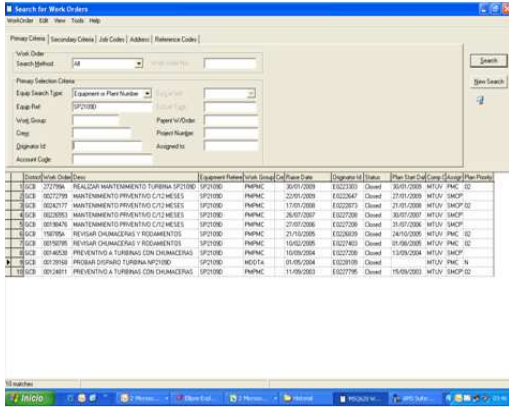
Confiabilidad

TMEM 9855 Hr
TMFE 26280 Hr



NP2109D

OT	Tipo de mantenim	Fecha de ejecuc	Modo de falla
124511	Preventivo	9/24/2003	
146538	Preventivo	9/14/2004	
158785	Mantenimiento taller	05/08/2005 - 11/10/2005	Chumaceri rotor
198476	Preventivo	8/10/2006	
226553	Preventivo	7/26/2007	
242177	Preventivo	12/26/2008	
272733	Mantenimiento taller	01/02/2009 - 1/03/2009	General rotor



Disponibilidad Operacional (ing confiabilidad)

$$A_0 = \frac{MUT}{MUT + MDT}$$

$$A_1 = \frac{MTTF}{MTTF - MTTR}$$

MUT	10134	Dias UT	3378
MDT	741	Dias DT	216
Ao	0.932	Mantenimientos	7
Ai	0.942	Mantenimientos corr	2

Mantenibilidad

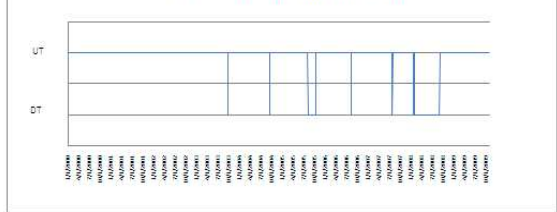
$$M_0 = 1 - e^{-\lambda \cdot \mu \cdot T}$$

MTTR: 2412

Confiabilidad

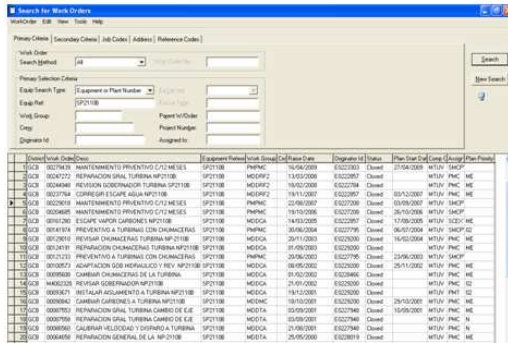
TMEM: 11262.86 Hr
TMEF: 39420 Hr

OPERACIÓN EN EL TIEMPO NP2109D



NP2110B

OT	Tipo de mantenim	Fecha de ejecuc	Modo de falla
84858	Mantenimiento taller	23/06/2001 - 18/07/2001	Carbones Chumaceras
87553	Mantenimiento taller	03/09/2001 - 16/09/2001	Eje metalizado
90842	Mantenimiento plant	10/29/2001	Carbones
M4002328	Mantenimiento plant	27/2/2002	Gobernador
95630	Mantenimiento plant	24/2/2002	Chumaceras
100573	Mantenimiento taller	03/06/2002 - 14/03/2002	Gobernador Cambio a gobernador hidráulico
121233	Preventivo	8/20/2003	
124191	Mantenimiento plant	9/3/2003	Chumaceras
129010	Mantenimiento plant	2/20/2004	Chumaceras
141974	Preventivo	7/8/2004	
151200	Mantenimiento taller	27/09/2005 - 5/09/2005	Rotor-Chumaceras
204886	Preventivo Cancelad	12/21/2006	
229018	Preventivo	8/9/2007	
237764	Mantenimiento taller	10/12/2007 - 14/03/2008	Chumaceras
247272	Mantenimiento taller	14/03/2008 - 12/05/2008	Chumaceras
279433	Preventivo	4/28/2009	



Disponibilidad Operacional (ing confiabilidad)

$$A_0 = \frac{MUT}{MUT + MDT}$$

$$A_1 = \frac{MTTF}{MTTF - MTTR}$$

MUT	3969	Dias UT	2646
MDT	1517	Dias DT	948
Ao	0.724	Mantenimientos	15
Ai	0.778	Mantenimientos corr	11

Mantenibilidad

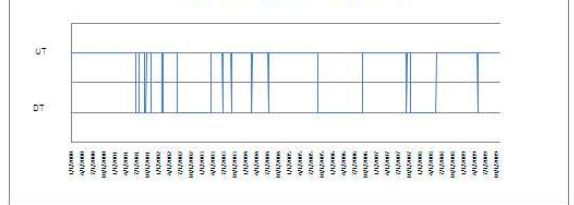
$$M_0 = 1 - e^{-\lambda \cdot \mu \cdot T}$$

MTTR: 2042.182

Confiabilidad

TMEM: 5256 Hr
TMEF: 7167.273 Hr

OPERACIÓN EN EL TIEMPO NP2110B



NP2121B

OT	Tipo de mantenim	Fecha de ejecu	Modo de falla
M4002867	Mantenimiento plant	9/3/2002	Gobernador
120237	Mantenimiento Taller	18/9/2004 - 10/10/2004	Rodamientos
158394	Mantenimiento Taller	23/08/2005 - 26/10/2005	Rodamientos
174876	Mantenimiento plant	6/22/2007	Trip
19434	Preventivo	8/16/2008	
263538	Preventivo	9/22/2008	
274731	Mantenimiento plant	27/3/2009 - 17/06/2009	Trip
290004	Preventivo	10/9/2009	

Search for Work Orders

Primary Criteria | Secondary Criteria | Job Code | Address | Reference Code |

Search Method: All

Primary Selection Criteria: Equipment in Plant Number

Equip Ref: SP2121B

Equip Group: Paper Mill

Equip: Paper Mill

Assigned to: [Empty]

ID	Description	Equip Ref	Status	Start Date	End Date	Plant
1002867	PREVENTIVO TURBINA NP2121B	SP2121B	Completed	14/02/2002	02/03/2002	NP2121B
120237	MANTENIMIENTO PREVENTIVO C/20 MESES	SP2121B	Completed	15/09/2004	02/10/2004	NP2121B
158394	MANTENIMIENTO PREVENTIVO C/20 MESES	SP2121B	Completed	15/09/2005	02/10/2005	NP2121B
174876	REPARAR TURBINA NP2121B	SP2121B	Completed	01/09/2007	02/10/2007	NP2121B
19434	PREVENTIVO A TURBINA C/20 MESES	SP2121B	Completed	15/09/2008	02/10/2008	NP2121B
263538	CHANGE OILS AND VIBRATION TESTING	SP2121B	Completed	15/09/2008	02/10/2008	NP2121B
274731	REPARAR TURBINA NP2121B	SP2121B	Completed	03/03/2009	02/06/2009	NP2121B
290004	CAMBIO RODAMIENTOS A LA TURBINA	SP2121B	Completed	26/03/2009	02/06/2009	NP2121B
1002867	REVISAR SUBESTACION TURBINA NP2121B	SP2121B	Completed	26/03/2002	02/06/2002	NP2121B
1002867	Limpiar gobernador TURBINA según OPM	SP2121B	Completed	17/03/2002	02/06/2002	NP2121B

Disponibilidad Operacional (ing confiabilidad)

$$A_0 = \frac{MUT}{MUT + MDT}$$

MUT	8928	Días UT	3348
MDT	738	Días DT	246
Ao	0.924	Mantenimientos	8
		Mantenimientos corr	5

$$A_1 = \frac{MTTF}{MTTF + MTTR}$$

AI	0.933
----	-------

Mantenibilidad

$$MTTR = 1 - \exp(-\mu \times T)$$

MTTR 1137.6

Confiabilidad

TMEM 3855 Hr
TMEF 15768 Hr

OPERACIÓN EN EL TIEMPO NP2121B

