



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL POLITÉCNICA
"ANTONIO JOSÉ DE SUCRE "
VICE – RECTORADO PUERTO ORDAZ
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
PRÁCTICA PROFESIONAL



PROPUESTA PARA MEJORA DE LA MANTENIBILIDAD DE LAS UNIDADES GENERADORAS DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA "SIMÓN BOLÍVAR"

ASESORES:

TUTOR ACADÉMICO:
MSc. Ing. Iván Turmero

TUTOR INDUSTRIAL:
MSc. Ing. Noelani Chandari

AUTORA:

LÓPEZ P. MICHELLE A.

CIUDAD GUAYANA, AGOSTO DE 2016

INTRODUCCIÓN

LA EMPRESA

EL PROBLEMA

DISEÑO METODOLÓGICO

SITUACIÓN ACTUAL

ANÁLISIS Y RESULTADOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES



INTRODUCCIÓN

El mantenimiento es parte fundamental del día a día de las empresas en estos tiempos, el desarrollo industrial en el mundo y la alta competitividad en el mercado, hacen que las practicas de mantenimiento se mantengan al día en las nuevas tendencias, para tener en marcha el funcionamiento de la empresa, por esto se debe contar con departamentos que se centren en los mantenimientos y los estudios estadísticos de estándares para analizar los indicadores de los equipos y sistemas.



Evaluar la mantenibilidad es necesario para tener un estudio completo del mantenimiento del sistema y de los equipos, ya que esta se refiere a la expectativa que se tiene de que un equipo o sistema pueda ser colocado en condiciones de operación dentro de un periodo de tiempo preestablecido, es decir el tiempo para reparar el equipo, mientras mayor sea el porcentaje de mantenibilidad hay más probabilidad de que el equipo sea reparado en el tiempo establecido y se contará con mayor disponibilidad, influyendo positivamente en los planes de mantenimiento que se establezcan.

INTRODUCCIÓN



CORPOELEC, es una empresa del estado venezolano con un parque de generación del Sistema Eléctrico Nacional con una capacidad instalada que asciende a unos 24.000 megavatios (MW), ofreciendo más del 62% del potencial eléctrico utilizado en el país

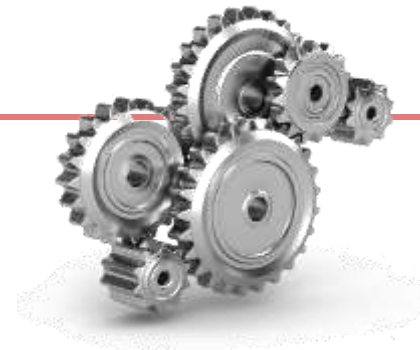
La sección de Control de Gestión, es una unidad adscrita a la División de Planta Guri, específicamente al Departamento de Ingeniería de Planta, que se encarga de llevar el control de los mantenimientos históricos de los equipos, sistemas e instalaciones asociados a la central Hidroeléctrica Simón Bolívar, así como también de analizar los datos relacionados a los mantenimientos y proponer planes de acción para asegurar la máxima disponibilidad de los activos.



INTRODUCCIÓN



La presente investigación, tiene como objetivo principal el desarrollo de una propuesta para mejora de la mantenibilidad de las Unidades Generadoras de la Central Hidroeléctrica “Simón Bolívar”, con el propósito de analizar los antecedentes que afectan dicho indicador y contribuir con los planes para la mejora del mantenimiento, de esta manera, dicha investigación se estructura en seis (06) capítulos.



INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I: Presenta el planteamiento del problema, el objetivo general, los objetivos específicos, la justificación y delimitaciones del trabajo.

CAPÍTULO II: Contiene información sobre las generalidades de la empresa, el departamento y la sección donde se realizó la investigación, misión, visión, valores, organigrama y descripción del proceso productivo.

CAPÍTULO III: Se presenta toda la referencia teórica necesaria para la realización del proyecto, centrada en la problemática a estudiar.

CAPÍTULO IV: Se describirán las actividades realizadas, el tipo y diseño de la investigación, las técnicas para recolectar información y las herramientas utilizadas para el análisis de la información.

CAPÍTULO V: Describe la situación actual, los métodos implementados y adicionalmente se presentan los Gráficos de Mantenibilidad y tiempo promedio para Reparar, que permite comprender mejor la problemática de la empresa.

CAPÍTULO VI: Presentación y análisis de resultados, las conclusiones generales de los resultados y los diagramas de Causa- Efecto producto de la investigación.



LA EMPRESA



Electrificación del Caroní, C.A. (EDELCA), fundada en 1963 para desarrollar el potencial hidroeléctrico del Río Caroní y su cuenca hidrográfica, bajo la tutela de la Corporación Venezolana de Guayana, es la empresa de generación hidroeléctrica más importante que posee Venezuela y la tercera en el mundo. A partir del 31 de Julio de 2007, EDELCA pasó a formar parte de la Corporación Eléctrica Nacional (CORPOELEC) y está adscrita al Ministerio del Poder Popular para la Energía y Petróleo. Está encargada de la realización de las actividades de Generación, Transmisión, Distribución y Comercialización de potencia y energía eléctrica.

La Central Hidroeléctrica “Simón Bolívar”: está conformada por un Aliviadero y dos Casas de Máquinas. La Central posee una capacidad instalada total de 10.000 MW, con veinte (20) Unidades Generadoras en servicio comercial.

Ubicación Geográfica

CORPOELEC, La Central Hidroeléctrica Simón Bolívar división planta Gurí, está ubicada en Gurí, sobre la región de la cuenca del río Caroní, la cual está situada en el Estado Bolívar, al sureste de Venezuela; en el cañón de Nekuima a 100 km aguas arriba de la desembocadura del Río Caroní en el Río Orinoco. Esta cuenca hidrográfica cubre aproximadamente 92.170 Km² que representan el 10,5% del territorio venezolano, la misma posee el mayor potencial hidroeléctrico de Venezuela y uno de los mayores del Mundo.



LA EMPRESA



Garantizar un servicio eléctrico en todo el territorio nacional, eficiente, con calidad, y sentido social, sostenible y en equilibrio ecológico, que promueva el desarrollo del país, con la participación activa, protagónica y corresponsable del Poder Popular, comprometido con la Ética Socialista y el Plan de la Patria, contribuyendo a la Seguridad y Defensa de la Nación.

Ser una Corporación con ética socialista, ambiental y económicamente sustentable, modelo en la prestación de servicio público y motor de desarrollo del país; con talento humano consciente, garante del suministro de energía eléctrica, promotora del uso racional y eficiente de la energía, así como de la participación del poder popular y la preservación de la vida en el planeta.



Proceso Productivo

El objetivo de la Central Hidroeléctrica es transformar la energía hidráulica en energía eléctrica. Este principio de transformación pasa por una serie de etapas en las cuales la energía hidráulica se convierte en energía mecánica y esta a su vez en energía eléctrica.

Fundamentalmente se necesita obtener energía mecánica rotacional en un eje, el cual esta acoplado a un dispositivo denominado rotor en conjunto con otro equipo a su alrededor (el estator); y por medio de una conversión electromecánica hace posible la transformación energética. Esta energía mecánica rotacional se obtiene de la energía hidráulica almacenada en un embalse y disponible en todo momento. Para aprovechar esa energía almacenada se sigue del siguiente proceso:

El agua del embalse entra por las tomas de aguas arriba, pasa por las compuertas de toma y recorre la tubería forzada, de unos 120 m de longitud y un diámetro de 7.5 m. Cuando el agua recorre la tubería forzada, transforma la energía potencial en energía cinética, la cual cae desde una altura neta de 125 m. Esta caída depende del nivel del embalse, el cual es determinado por factores como: caudal turbinado, estación del año y otros.

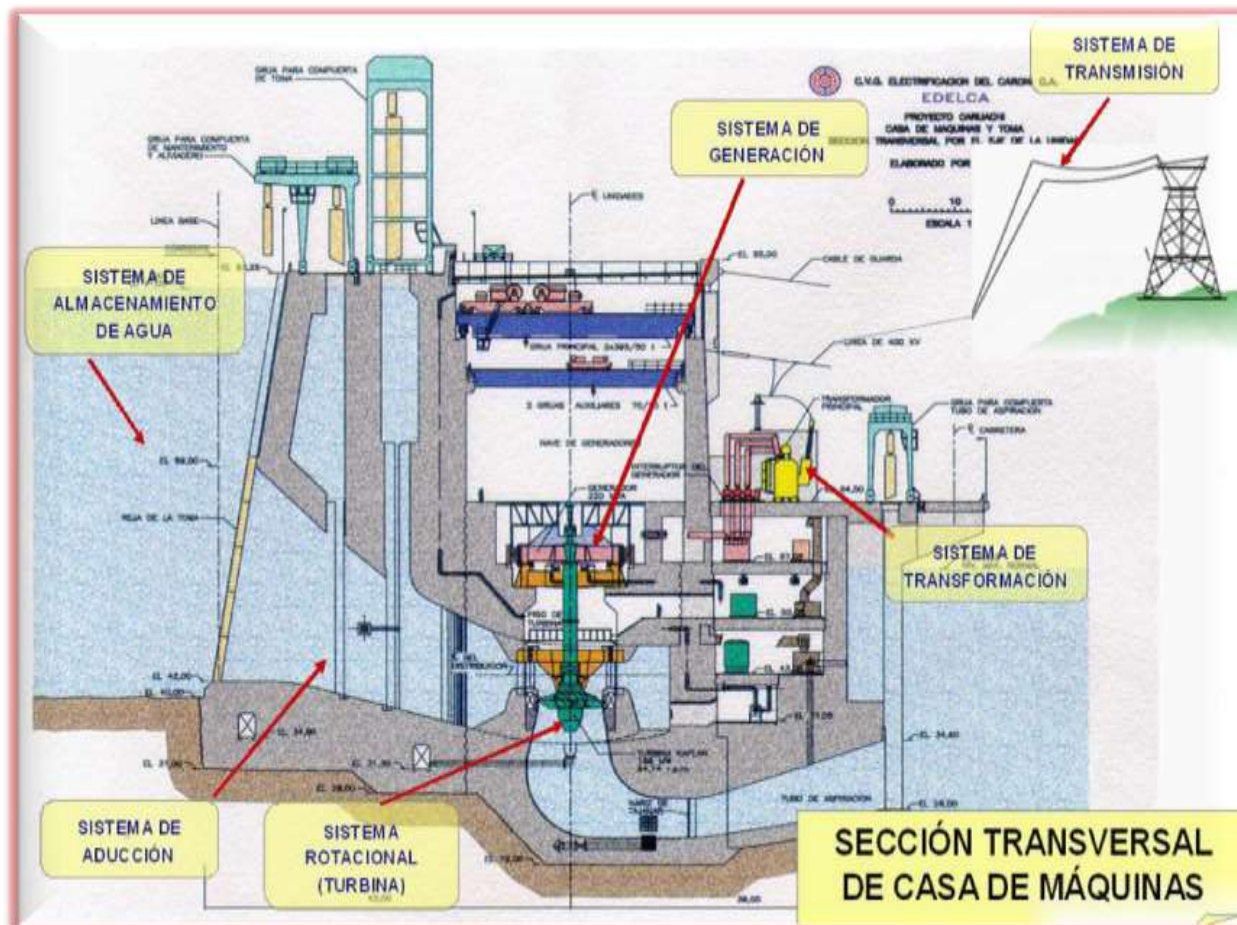
Proceso Productivo

Luego de completar el recorrido por dichas tuberías, el caudal de agua entra en una tubería en forma de espiral; de la caja espiral pasa al anillo distribuidor, cuya función es direccional el flujo hacia el rodete y distribuir el agua que va a los alabes móviles, los cuales regulan el caudal que va a ser turbinado.

El agua que ha circulado por las paletas reguladoras incide sobre los alabes del rodete; los cuales tienen un perfil con un ángulo determinado, lo que permite generar un empuje en los alabes al desviar el flujo de agua, sea lo más uniforme posible, produciendo el movimiento giratorio en el rodete, el cual esta acoplado con el eje del rotor.

Dentro del generador, el movimiento del rotor, debidamente excitado, producirá el flujo necesario para inducir la tensión en los arrollados del estator. Con esta conversión electromagnética el estator puede entregar la energía en forma eléctrica, la cual pasa a los transformadores de potencia, que por medio de las líneas de transmisión de alta tensión, se lleva al patio de distribución de Gurí, lugar donde se analiza las necesidades del suministro de energía eléctrica del Territorio Nacional.

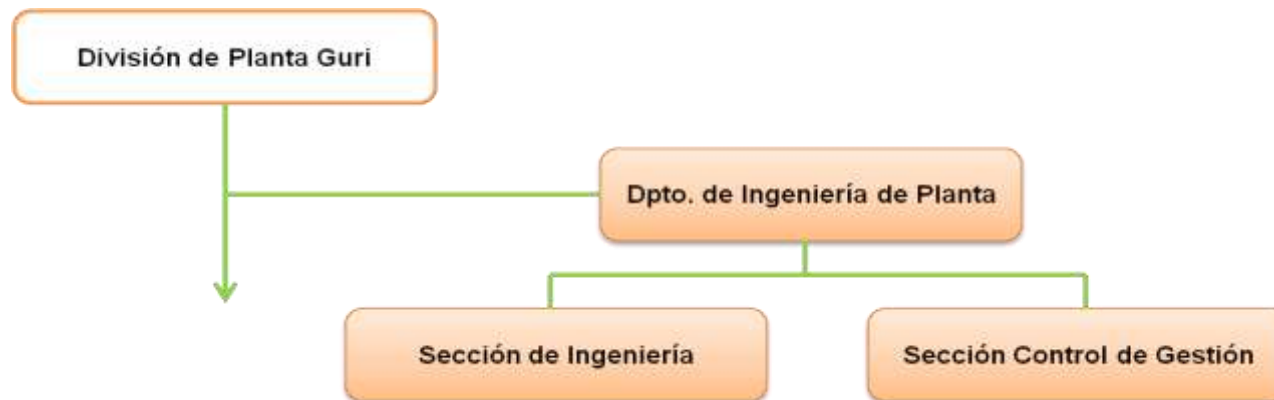
Proceso Productivo



Organigrama de la División Planta Guri



Organigrama del Departamento de Ingeniería de Planta



El Departamento tiene como objetivos integrar, consolidar y mejorar las prácticas de mantenimiento de los equipos, sistemas e instalaciones para la generación de energía eléctrica asociados a la Central Hidroeléctrica “Simón Bolívar”, así como coordinar los procesos de gestión necesarios con las respectivas unidades involucradas de División, mediante la incorporación de herramientas, metodologías y estándares que optimicen el ciclo de vida de los activos, para garantizar su máxima disponibilidad, asegurando o restableciendo su funcionamiento de acuerdo con los parámetros de calidad de servicio establecidos.

Sección Control de Gestión



Desarrollar la integración de la planificación, control y evaluación de la gestión de los procesos asociados a la generación de energía eléctrica en la Central Hidroeléctrica “Simón Bolívar”, mediante la incorporación de herramientas metodológicas que optimicen la gestión y el uso de los recursos, de acuerdo con los parámetros de calidad establecidos en EDELCA.

- Integrar y controlar los planes tácticos y operativos para la generación de energía eléctrica en la Central Hidroeléctrica “Simón Bolívar”.
- Analizar y documentar los resultados de la gestión de la División de Planta Guri, para apoyar la toma de decisiones.
- Coordinar y participar en la evaluación de los planes tácticos y operativos para la generación de energía eléctrica en la Central Hidroeléctrica “Simón Bolívar”.
- Promover la aplicación de los soportes metodológicos requeridos para la gestión de los procesos asociados a la generación de energía eléctrica en la Central Hidroeléctrica “Simón Bolívar”.



LA EMPRESA



Las Unidades Generadoras de la central, en el tiempo vienen presentando fallos que son producidos por el desgaste natural del equipo, y que progresivamente aumentan por el tiempo de vida útil que tenga la máquina, según el principio de la bañera, estos fallos son descritos como fallos de desgaste, pues son debido al transcurso del tiempo, ya que en estos momentos las unidades tienen un funcionamiento aproximado de 4 décadas de actividad comercial, debido a ello se puede denotar signos de desgaste que se ven evidenciados por anomalías que presentan las máquinas y fallas progresivas, por este motivo se implementan acciones de mantenimiento para reducir y evitar las fallas y mejorar el rendimiento de los activos.

EL PROBLEMA

Los activos de la Central Hidroeléctrica presentan mayor probabilidad de fallas por el tiempo de servicio que tienen, aunado a esto los valores de Mantenibilidad están desviados y la capacidad que se tiene para entregar el equipo reparado en el tiempo establecido es menor, se busca determinar las causas del incremento de los tiempos de reparación, puesto que los altos tiempos que se tardan en reparar las máquinas, afectan los planes de mantenimiento, siendo menos eficientes en las practicas de mantenimiento y contando con menos disponibilidad en el sistema, afectando todo el proceso de generación eléctrico.



Los valores de Mantenibilidad y TPPR (Tiempo Promedio Para Reparar) en los últimos tres años no han cumplido con los índices de control que fueron establecidos. La Mantenibilidad promedio de los últimos tres años calculada a 15 horas se ubico en un 50,13 % y un TPPR de 74,67 horas, donde se evidencia un comportamiento decreciente en los últimos tres años.

Desviados de los índices meta que son para la Mantenibilidad de 65% y TPPR de 40 horas.

EL PROBLEMA

El Departamento de ingeniería de Planta, Sección Control de gestión ha dado lugar a la presente investigación para estudiar la Mantenibilidad que ha venido presentándose en las unidades generadoras de casa de máquinas I y II, con el propósito de desarrollar una propuesta de mejora para las unidades y componentes que presenten valores de mantenibilidad desviados, con respecto de los índices meta establecidos para el control del mantenimiento.



EL PROBLEMA

Objetivo General

Desarrollar una propuesta de mejora para la mantenibilidad de la Unidades Generadoras de la Central Hidroeléctrica “Simón Bolívar”.



EL PROBLEMA

Objetivos Específicos

1. Describir la situación actual de las Unidades Generadoras de la Central Hidroeléctrica “Simón Bolívar”.
2. Analizar la Mantenibilidad de las Unidades Generadoras y los principales subsistemas de Planta Guri.
3. Determinar los Componentes afectados por las fallas en las Unidades Generadoras.
4. Examinar las causas de las fallas presentes en los Componentes de las Unidades Generadoras.
5. Elaborar un Plan de acción que permita aumentar la Mantenibilidad en las Unidades Generadoras.

EL PROBLEMA



Justificación

La presente investigación es de gran importancia, pues existe la necesidad de solucionar el problema del incremento de los tiempos de mantenimiento de las Unidades Generadoras de la Central Hidroeléctrica, debido a las fallas y anomalías que las mismas vienen presentando por su uso continuo, de manera de identificar las unidades y subsistemas que presenten menor mantenibilidad y sean las más afectadas.

Con la finalidad de cubrir la demanda eléctrica nacional, se persigue el incremento de los porcentajes de Mantenibilidad de las Unidades Generadoras y una intervención más rápida en los procesos de mantenimiento, para detectar el diagnostico de fallas y efectuar de manera exitosa la reparación del equipo, aportando beneficios en la implementación de los planes de mantenimiento y un mayor incremento en la vida útil de dichas unidades.

EL PROBLEMA

Delimitaciones



El presente estudio de investigación se llevó a cabo en la División de Planta Guri, en el Departamento de Ingeniería de Planta, Sección control de Gestión, contando con un tiempo de culminación máximo de 16 semanas para el desarrollo del mismo.

En el Departamento de Ingeniería de Planta se realizarán los análisis de la Mantenibilidad de las Unidades Generadoras de Planta Guri, donde se desarrollará una propuesta de mejora para los tiempos promedios de reparación de las máquinas.



DISEÑO METODOLÓGICO

Tipo de Estudio

Descriptivo

- Permitió identificar, describir, y registrar la situación actual de la Unidades Generadoras de la División de Planta Guri, además se busca analizar las causas del porqué de los tiempos altos de reparación.

De campo

- los hechos en la División de Planta Guri, más específicamente en el Departamento de Ingeniería de planta, y por medio de esto se utilizaron herramientas y técnicas que ayudaron la recolección de información de la problemática presente.

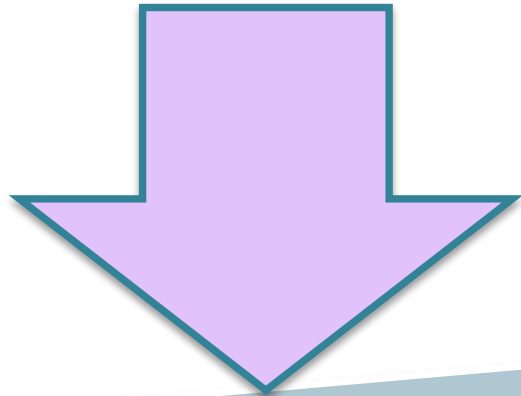
Aplicado

- tiene como finalidad mejorar los procesos de mantenimiento, al conseguir las causas que generan el descontrol de los valores de mantenibilidad y proponer un plan de acción para dicho indicador.



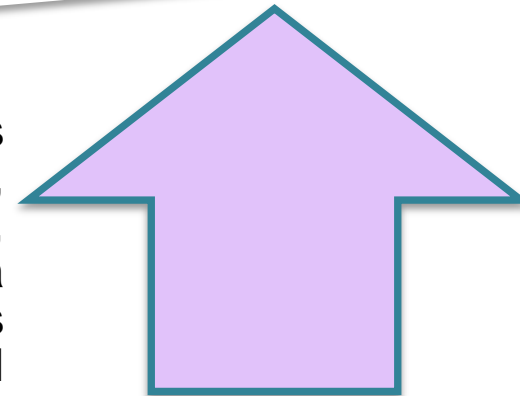
DISEÑO METODOLÓGICO

POBLACIÓN



La población de esta investigación está conformada por las veinte (20) Unidades Generadoras de la Central Hidroeléctrica “Simón Bolívar”.

La muestra seleccionada son todos los Subsistemas o Componentes de la población, los subsistemas serían (Auxiliares, Generador, Turbina, Gobernador, Transformador, Compuerta de Toma y Excitatriz) pertenecientes a las Unidades Generadoras de la “Central Hidroeléctrica “Simón Bolívar”.



MUESTRA



DISEÑO METODOLÓGICO



OBSERVACIÓN DIRECTA

Se visualizaron de primera mano las actividades realizadas en las áreas de investigación.



ENTREVISTAS NO ESTRUCTURADAS

Se realizaron preguntas para conocer y dar un diagnostico operativo de los activos, es por ello que todas las preguntas contemplaron lo referente a mantenimiento, fallas, tiempo de reparación, acciones correctivas, modificaciones, entre otras.



REVISIÓN DOCUMENTAL

Este instrumento permitió extraer información a través de la consulta de manuales, historiales de fallas, informes, folletos, catálogos y otras fuentes bibliográficas como la documentación de las labores de mantenimiento y operaciones realizadas en las Unidades Generadoras.

DISEÑO METODOLÓGICO

INSTRUMENTOS UTILIZADOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS



RECURSOS FÍSICOS

- Intranet de CORPOELEC, para recopilar información general concerniente a la empresa y trabajos similares relacionados.
- Computadora para el registro de la información y desarrollo (digital) de la investigación.
- Memoria USB (Pendrive) para el almacenamiento de la información en digital.
- Lápiz, hojas, bolígrafo.

EQUIPOS DE PROTECCIÓN PERSONAL

- Botas de Seguridad.
- Casco.
- Lentes de Seguridad.
- Camisas de tela gruesa para las visitas al área de máquinas.
- Protectores auditivos.



DISEÑO METODOLÓGICO

Procedimiento Metodológico

- Se realizaron trabajos de Campo en las áreas de estudio, con el propósito de conocer la situación actual de las Unidades Generadoras de la Central Hidroeléctrica “Simón Bolívar”.
- Se recolectó información por medio del estudio de la data de cada una de las Unidades Generadoras para observar la situación en que se encuentran dichos activos y las fallas que han presentado.
- Se clasificó los Subsistemas y Componentes para analizar los índices de mantenibilidad que se vienen presentando en Planta Guri, por medio de tablas de frecuencia.
- Se Identificaron las unidades Generadoras que presenten menor Mantenibilidad, para esto se aplico el Diagrama de Pareto.



DISEÑO METODOLÓGICO

Procedimiento Metodológico



- Se analizaron los historiales de fallas de las Unidades resultantes del Diagrama de Pareto, y los tiempos de reparación.
- Se estudiaron con el Diagrama de Causa- Efecto, los problemas que están afectando a la Mantenibilidad, después de haber obtenido toda la información referente a las causas de las fallas correspondientes y de los tiempos de reparación, para obtener una visión clara sobre las causas reales y potenciales de esta problemática.
- Se realizó el plan de mejoras para el aumento de los porcentajes de Mantenibilidad de las Unidades Generadoras, sus Componentes y Subsistemas.
- Se realizó el informe correspondiente para el Departamento de Ingeniería de Planta.



SITUACIÓN ACTUAL

Para la descripción de la situación presente en las Unidades Generadoras, primero se deben explicar los procedimientos, estudios y consideraciones tomados en cuenta para el cálculo de la Mantenibilidad y el TPPR, siendo necesarios presentarlos, ya que son estudios que contienen consideraciones que se utilizan en la actualidad para obtener los valores de Mantenibilidad total de la planta.

Descripción del Procedimiento para el cálculo de la Mantenibilidad Actual

Para obtener los valores probabilísticos de Mantenibilidad y TPPR se debe seguir un procedimiento en el cual, primeramente se deben calcular los Tiempos Fuera de Servicio (TFS) de la data histórica de cada una de las Unidades Generadoras, para posteriormente trasladar los TFS a un programa estadístico que permita realizar los cálculos respectivos, utilizando la distribución Log-Normal, debido a que por estudios previos se determinó que es la que se ajusta mejor para el cálculo de Mantenibilidad, para finalmente obtener los TPPR y la Mantenibilidad Calculada a 15 horas de servicio de las Unidades generadoras.

El tiempo de estudio de 15 horas utilizado, fue realizado en 2010 por algunos especialistas del Departamento de Ingeniería de Planta, con la finalidad de conocer el estado de la Mantenibilidad y TPPR de la Planta y de las Unidades Generadoras, con el establecimiento de un tiempo (t) promedio que satisfaga el cálculo de Mantenibilidad, tomando en cuenta los eventos largos de TPPR, para tomar acciones en relación a los valores desviados.

Establecimiento de Índices de Control para el estudio de la Mantenibilidad

Los valores meta se establecen todos los años, en una reunión planificada donde participan los representantes del Departamento de Ingeniería de Planta y los jefes de sección, donde evalúan y revisan los resultados de Mantenibilidad del año anterior para luego establecer las metas, donde se encargan de designar los lineamientos y la metodología que establece un 5% por encima de la meta.

Índices de Control (Valores Meta)		
Años	% Mantenibilidad	TPPR (hr)
2013	68,00%	18
2014	65,00%	20
2015	65,00%	40
2016	65,00%	40

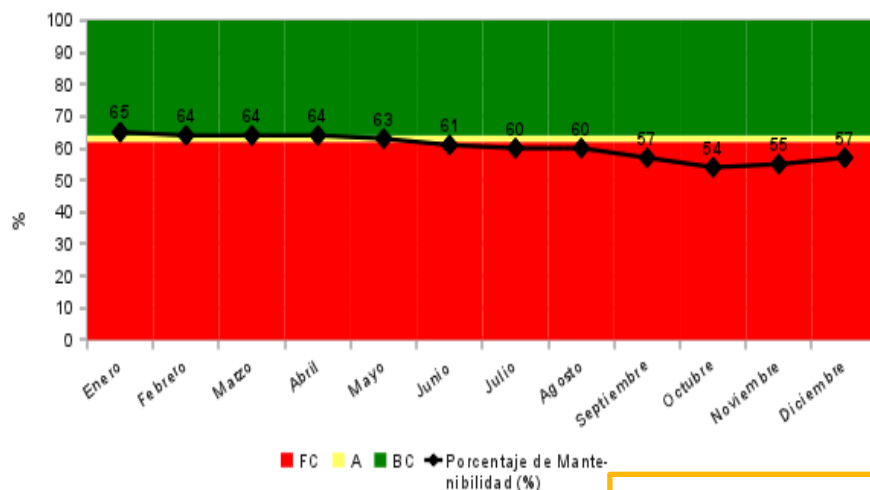
Dicha metodología es usada para establecer las consideraciones a tomar para catalogar si los valores están bien o no, en base a un 100 %, donde se puede decir que la Mantenibilidad es clasificada por tres colores, verde, amarillo y rojo, verde es bajo control, amarillo es un valor de alerta y rojo representa un valor fuera de control.

Consideraciones de Gestión 2016		
Consideraciones	% Mantenibilidad	TPPR (hr)
Bajo Control: (Verde)	Valor > 62%	Valor <= 41,2
Alerta: (Amarillo)	62% ≥ Valor > 60%	42 ≥ Valor > 41,2
Fuera de Control: (Rojo)	60 ≥ Valor	Valor ≥ 43

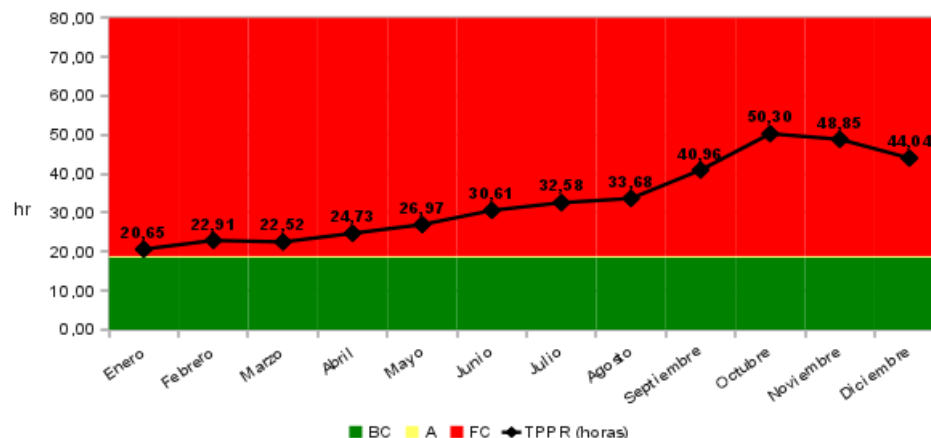
Gráficos de Comportamiento de Mantenibilidad (%) y TPR (horas)

Mantenibilidad y TPR del Año 2013

Mantenibilidad del Año 2013



Tiempo Promedio Para Reparar del Año 2013

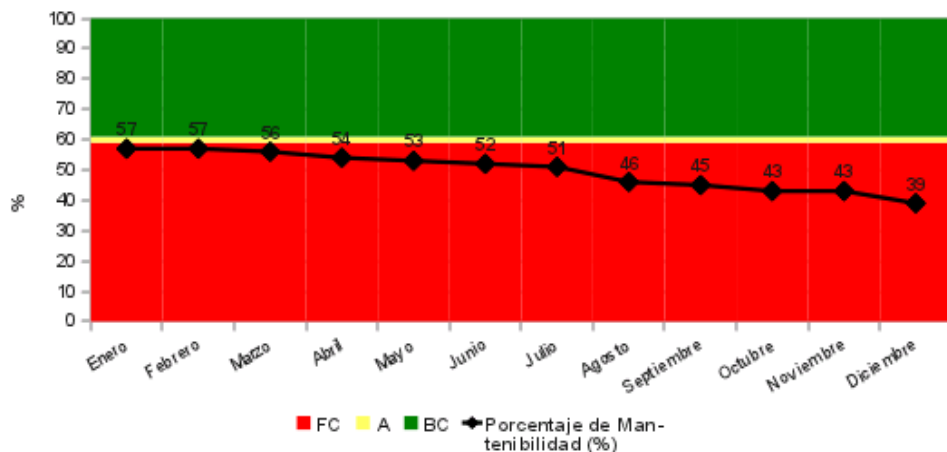


Concluyendo que el Indicador esta fuera de control en el año 2013 y se debió principalmente a las fallas presentadas en las Unidades Generadoras 17, 06, 03 (G17, G06, G03), ocasionadas en los subsistemas Transformador de Potencia, Generador y la Excitatriz respectivamente. Cabe destacar que no se derivaron acciones de los estudios realizados en el año 2013 y del análisis de los datos obtenidos.

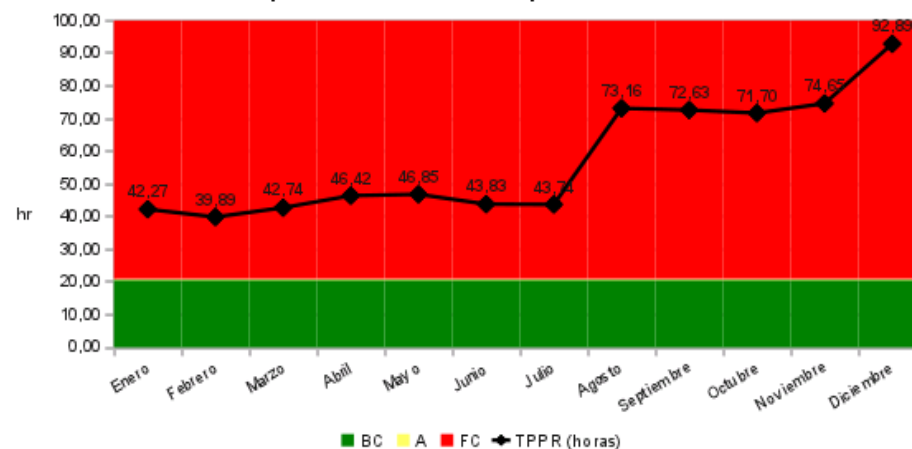
Gráficos de Comportamiento de Mantenibilidad (%) y TPRR (horas)

Mantenibilidad y TPRR del Año 2014

Mantenibilidad del Año 2014



Tiempo Promedio Para Reparar del Año 2014

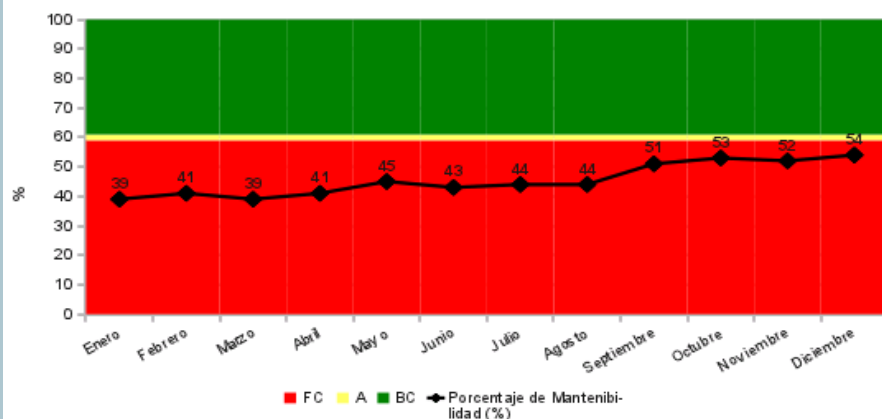


En el año se observa que el indicador esta fuera de control y se debe a las fallas presentadas en las Unidades G15, G01 y G08 principalmente, por fallas en los subsistemas de Turbina en Alabes, Turbina en Cojinete y Generador respectivamente. De los estudios no se derivó un análisis profundo de los datos o acciones para corregir los valores.

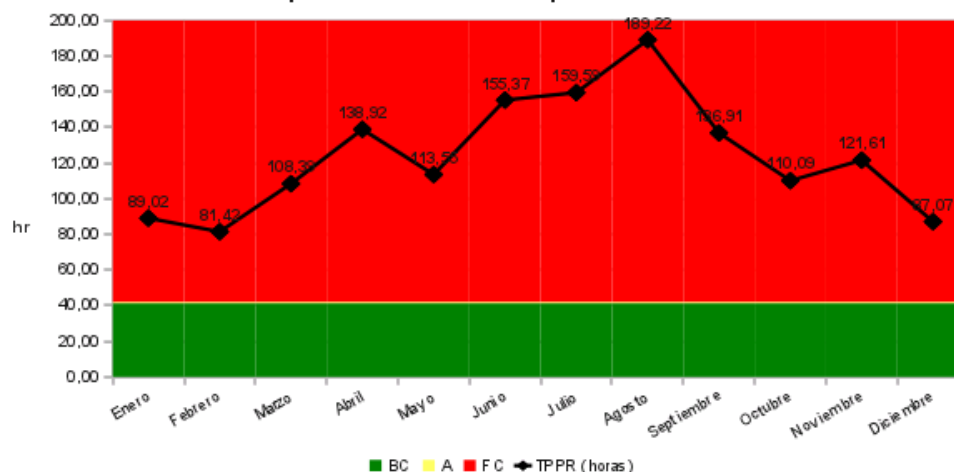
Gráficos de Comportamiento de Mantenibilidad (%) y TPRR (horas)

Mantenibilidad y TPRR del Año 2015

Mantenibilidad del Año 2015



Tiempo Promedio Para Reparar del Año 2015



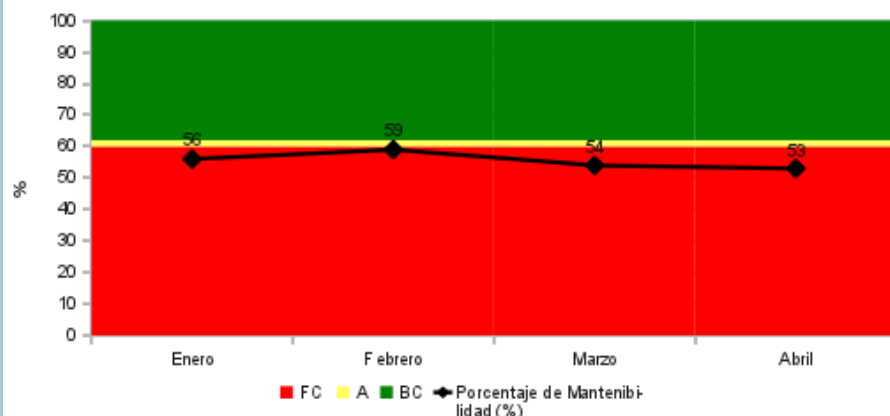
En los Gráficos de Mantenibilidad y TPRR se observa que el Indicador se encuentra desviado y fuera de control, por las fallas y emergencias presentadas en la Unidades G08 y G10, por el Cojinete de Empuje del Generador y por el Rotor del Generador respectivamente, no realizándose un análisis exhaustivo de los datos estudiados y del cómo reducir los tiempos fuera de servicio de las unidades, para tomar las acciones más idóneas.

Gráficos de Comportamiento de Mantenibilidad (%) y TPRR (horas)

Mantenibilidad y TPRR del Año 2016

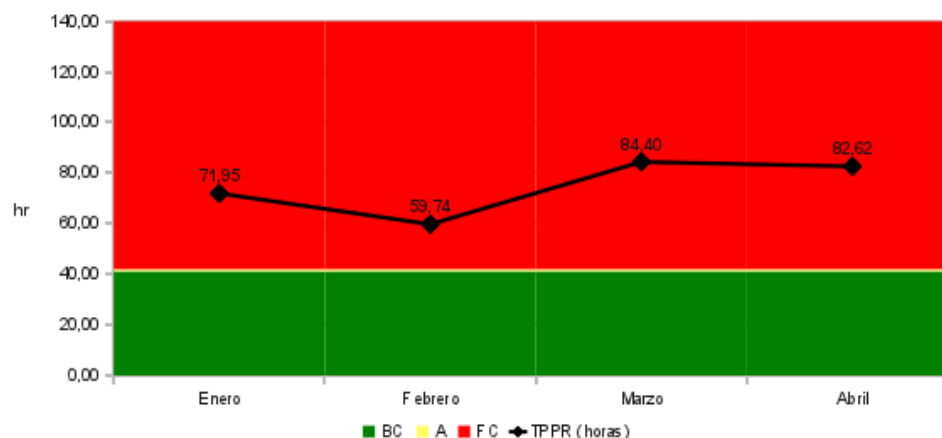
Mantenibilidad del Año 2016

Primeros meses



Tiempo Promedio Para Reparar del Año 2016

Primeros meses

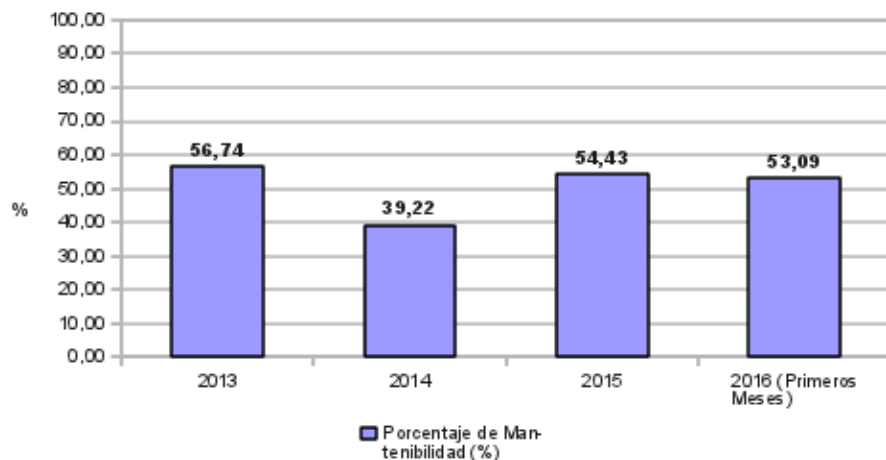


En los Gráficos de Mantenibilidad y TPRR se observa que el Indicador se encuentra desviado y fuera de control, por las fallas y emergencias presentadas en la Unidades G06, G04 y G08, por fallas en los subsistemas Generador, Gobernador y Transformador respectivamente. Es importante destacar que se debe realizar un estudio profundo de los datos obtenidos para derivar acciones que mejoren el estado del Indicador en la Planta.

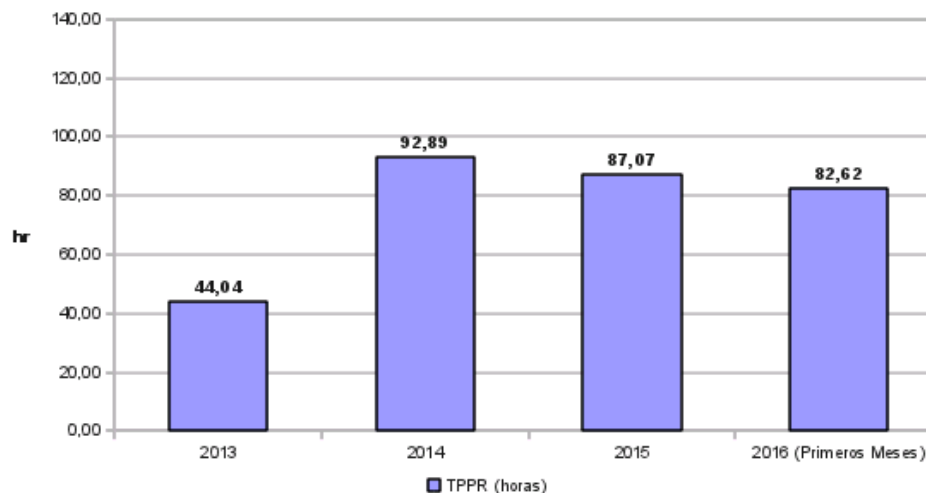
Gráficos de Comportamiento de Mantenibilidad (%) y TPRR (horas)

Mantenibilidad y TPRR de los últimos 3 años

Mantenibilidad de los Últimos Años



TPRR de los Últimos Años



En la situación actual se puede observar el comportamiento del Indicador de Mantenibilidad en los últimos tres (3) años, incluyendo los primeros meses del 2016 y de los aspectos relacionados a este como lo es el Tiempo promedio para Reparar (TPRR), denotándose en los gráficos comportamientos variados y desviados de las metas establecidas para cada año, se deben analizar los valores para mejorar los Índices de Mantenibilidad y mantener controlado el Indicador, tomando acciones que busquen la mejora y disminución de los TFS de las fallas largas de la Unidades Generadoras.

ANÁLISIS Y RESULTADOS

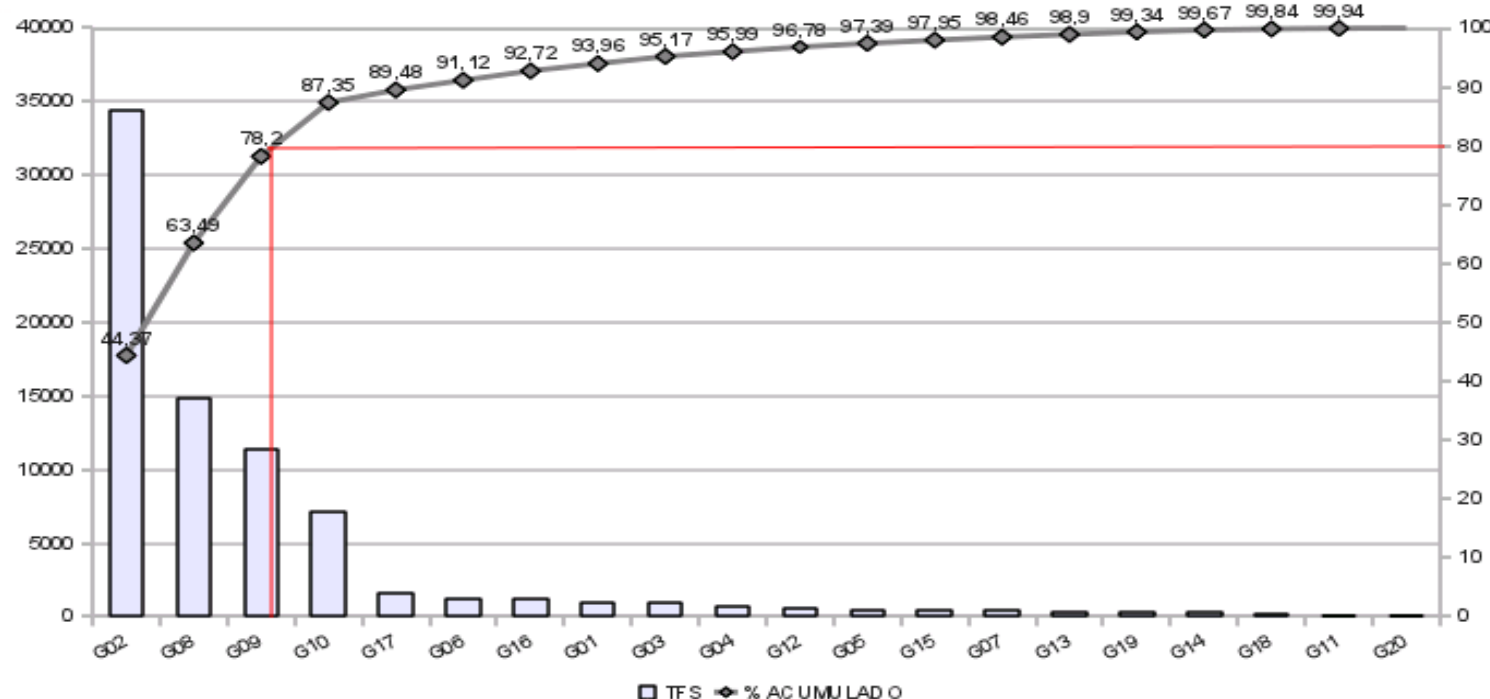
Análisis de la Mantenibilidad de las Unidades Generadoras y los principales subsistemas de Planta Guri 2013-2016

Para determinar las Unidades Generadoras críticas se procedió a ordenar de manera descendente a las Unidades por el Tiempo Fuera de Servicio (TFS) y calcular sus porcentajes general y acumulado, para cada Unidad Generadora.

el diagrama de Pareto nos dará la frecuencia del tiempo y el porcentaje acumulado de los tiempos fuera de servicio de las Unidades Generadoras, determinando las que representan el 80% de las fallas.

UNIDAD	TFS	%	% ACUMULADO
G02	34449,07	44,37	44,37
G08	14846,25	19,12	63,49
G09	11417,73	14,71	78,2
G10	7104,95	9,15	87,35
G17	1653,51	2,13	89,48
G06	1275,79	1,64	91,12
G16	1239,43	1,6	92,72
G01	959,1	1,24	93,96
G03	939,85	1,21	95,17
G04	641,96	0,83	95,99
G12	613,23	0,79	96,78
G05	473,49	0,61	97,39
G15	429,09	0,55	97,95
G07	402,27	0,52	98,46
G13	340,93	0,44	98,9
G19	335,54	0,43	99,34
G14	259,6	0,33	99,67
G18	134,38	0,17	99,84
G11	78,95	0,1	99,94
G20	42,83	0,06	100
Total	77637,95	100	

Análisis de la Mantenibilidad de las Unidades Generadoras y los principales subsistemas de Planta Guri 2013-2016



La utilización de esta herramienta permitió visualizar que el 80% de las fallas son ocasionadas principalmente por las causas de las Unidades Generadoras 02, 08 y 09. De esta manera, centrados los esfuerzos en dichas Unidades críticas se puede observar cuáles deben ser las causas del problema que deben ser atacadas mediante un Plan de Mejora. Para el estudio se tomarán las 3 Unidades críticas, G02, G08 y G09.

Análisis de la Mantenibilidad de las Unidades Generadoras y los principales subsistemas de Planta Guri 2013-2016

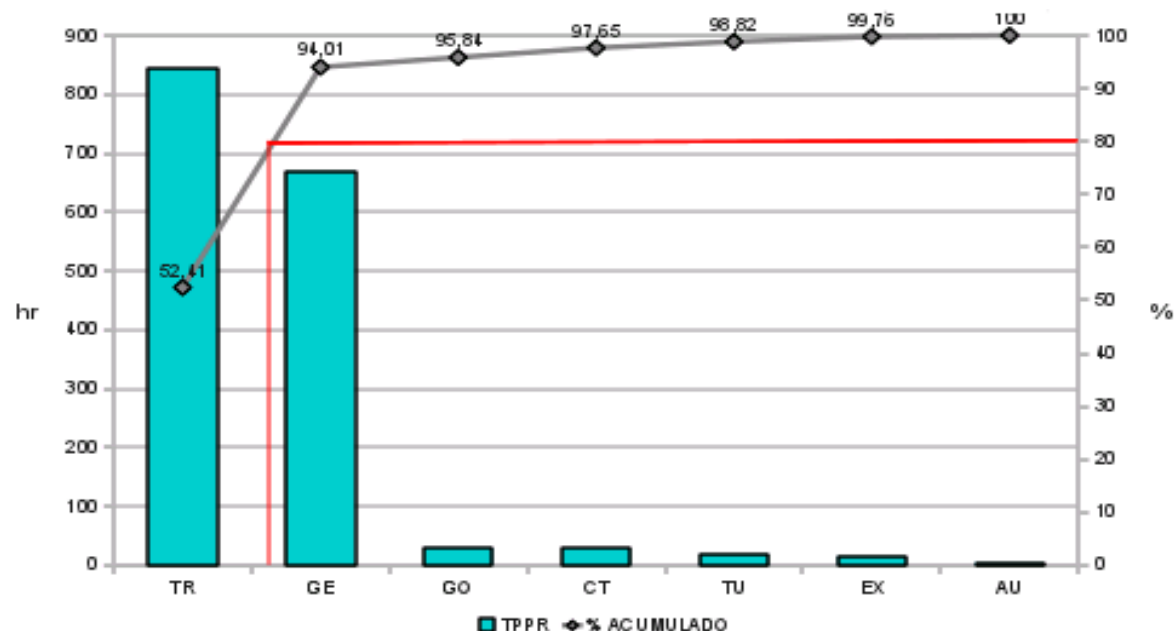
Análisis de los Subsistemas de las 20 Unidades Generadoras

Para el análisis de la Mantenibilidad primeramente se procedió a elaborar un Diagrama de Pareto general de los principales Subsistemas, tomando en cuenta todas las unidades generadoras además de las críticas, con el fin de determinar que Subsistemas de todas las unidades de la Planta son los que presentan el 80% de los problemas.

Subsistema	TPPR	%	% ACUMULADO
TR	843,2	52,41	52,41
GE	669,39	41,6	94,01
GO	29,49	1,83	95,84
CT	29,09	1,81	97,65
TU	18,8	1,17	98,82
EX	15,2	0,94	99,76
AU	3,83	0,24	100

Análisis de la Mantenibilidad de las Unidades Generadoras y los principales subsistemas de Planta Guri 2013-2016

Análisis de los Subsistemas de las 20 Unidades Generadoras



Con la utilización de esta herramienta se observó que el 80% de las fallas generales de las veinte Unidades Generadoras son ocasionadas principalmente por las causas del Subsistema Transformador de Potencia (TR). De esta manera, se debe centrar el esfuerzo en dicho Subsistema además de los Subsistemas asociados a las tres (3) Unidades Generadoras críticas 02, 08 y 09, donde se puede observar cuáles deben ser las causas del 80% de los problemas que deben ser atacadas mediante un Plan de Mejora.

Análisis de la Mantenibilidad de las Unidades Generadoras y los principales subsistemas de Planta Guri 2013-2016

Calculo del Tiempo (t) para calcular el Indicador de Mantenibilidad

Seguidamente después del análisis por los Diagramas de Pareto se procedió a realizar el cálculo del tiempo (t) utilizado para calcular la Mantenibilidad y el TPPR, ya que el periodo en el cual se realizó puede presentar características distintas al periodo actual, por ello se calcularon tres tiempos, un tiempo total, con todos los tiempos fuera de servicio, y dos tiempos acotados al 10 y al 15 % de los valores

Calculo del Tiempo t			
	Total	Acotado al 10%	Acotado al 15%
TFS Total	77637,93	4752,37	3140,9
Promedio	77637,93 / 307	4752,37 / 247	3140,9 / 215
Tiempo t	252,89	19,24	14,61

Con el análisis de los tiempos t calculados, se puede observar que el tiempo resultante de la acotación de los valores al 15% es de 14,61 horas, siendo este el tiempo más cercano al tiempo utilizado actualmente de 15 horas, el tiempo acotado al 10% es de 19,24 horas y el obtenido de los TFS totales es de 252,89 horas siendo este el tiempo real pues se toman en cuenta todos los TFS con picos altos.

ANÁLISIS Y RESULTADOS

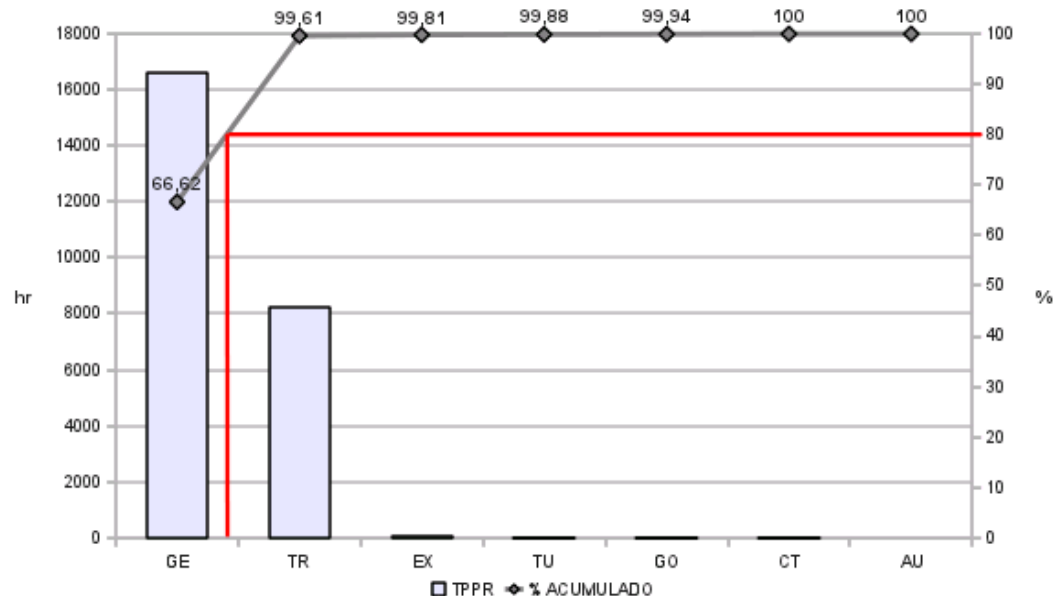
Determinación de los Componentes afectados por las fallas en las Unidades Generadoras

se procedió a calcular los Tiempos Fuera de Servicio por subsistemas, basados en las Unidades Generadoras críticas 02, 08 y 09, con los valores clasificados por Subsistemas se calculo el TPPR y se ordenaron en la tabla de frecuencia, calculando los porcentajes tanto general como acumulado para elaborar el posterior Diagrama de Pareto y determinar los Subsistemas críticos.

Subsistema	TPPR	%	% ACUMULADO
GE	16623,6	66,62	66,62
TR	8231	32,99	99,61
EX	50,37	0,2	99,81
TU	17,07	0,07	99,88
GO	15,9	0,06	99,94
CT	15,21	0,06	100
AU	0	0	100
Total	24953,14	100	

Determinación de los Componentes afectados por las fallas en las Unidades Generadoras

Con la utilización del Diagrama de Pareto se observó que el 80% de las fallas de las tres (3) Unidades Generadoras críticas 02, 08 y 09 son ocasionadas principalmente por las causas del Subsistema Generador (Ge), donde otro Subsistema que presenta gran porcentaje acumulado es el Transformador de Potencia pero es descartado porque no se encuentra entre los subsistemas críticos con relación a las Unidades Generadoras 02, 08 y 09.



Determinación de los Componentes afectados por las fallas en las Unidades Generadoras

Fallas en el Subsistema Generador

los equipos que causan las fallas de tiempos más extensos en el Generador son dos, el Estator y el Cojinete Combinado, y más específicamente los componentes que originaron las fallas son las Barras del Estator y el Cojinete de Empuje respectivamente.

Subsistema	Unidades G02, G08, G09			
	Emergencia	TFS	Equipo	Componente
GE	Trabajos de emergencia, en el proceso de sincronización, por actuación de la Protección Diferencial del Generador	8149,92	Estator	Barras del Estator
	Paro de Emergencia Eléctrico, 5 CE	1132,95	Estator	Barras del Estator
	Disparo de la Unidad por alta Temperatura del metal del cojinete de empuje del generador	7130,77	Cojinete Combinado	Cojinete de Empuje
	Disparo de la Unidad por actuación del Paro de Emergencia Mecánico (5 CM), debido a alta temperatura del metal del Cojinete de Empuje del Generador.	3719,37	Cojinete Combinado	Cojinete de Empuje
	Disparo de la unidad, por alta temperatura del metal del cojinete de empuje del generador.	7508,07	Cojinete Combinado	Cojinete de Empuje
	Disparo de la Unidad por actuación del Paro de Emergencia Mecánico (5 CM), debido a alta temperatura del metal del Cojinete de Empuje del Generador.	7367,37	Cojinete Combinado	Cojinete de Empuje

Determinación de los Componentes afectados por las fallas en las Unidades Generadoras

Fallas en el Subsistema Transformador de Potencia (TR)

los Componentes que causan las fallas de tiempos más largos en el Transformador de Potencia son tres, el Bushing de Alta Tensión del Transformador Fase A, el Bushing de Alta fase B del Transformador y la Tapa de Acceso parte inferior más específicamente la empacadura.

Subsistema	20 Unidades Generadoras			
TR	Emergencia	TFS	Equipo	Componente
	Reemplazar Transformador Hitachi Fase A	1375,97	Transformador Fase A	Bushing de Alta Tensión
	Disparo por Activación del Relé de Paro de Emergencia Eléctrico (5CE)	7622,2	Transformador de Potencia	Bushing de Alta fase B
	Disparo por Activación del Relé de Paro de Emergencia Eléctrico (5CE)	8760	Transformador de Potencia	Bushing de Alta fase B
	Trabajos de emergencia, para Investigación y Corrección de Fuga de aceite	108,8	Transformador de Potencia	Tapa de Acceso parte inferior (Empacadura)
	Disparo por Activación del Relé de Paro de Emergencia Eléctrico (5CE)	8784	Transformador de Potencia	Bushing de Alta fase B

ANÁLISIS Y RESULTADOS

Examinar las causas de las fallas presentes en los Componentes de las Unidades Generadoras

Con el personal especialista se verificaron las condiciones y se encontraron cuatro (4) tipos de fallas, con tiempos de reparación muy altos ocasionando la indisponibilidad de la Unidad por un largo tiempo

Fallas en los componentes	Subsistema
Barras del Estator	Generador
Alta Temperatura del Cojinete de Empuje	Generador
Falla del Bushing de Alta Tensión	Transformador de Potencia
Fuga de Aceite en la Empacadura de la Tapa de Acceso parte inferior	Transformador de Potencia

se clasificaron las fallas de los componentes presentes en los Subsistemas Generador y Transformador de Potencia, con lo cual se uso dicha información para Identificar las Causas raíz del problema, primeramente se recopilo información con el personal, y se observaron causas de fallas similares, de la información recibida se derivaron los siguientes Diagramas de Ishikawa en donde se exhiben las relaciones entre un problema y sus posibles causas, lo cual nos permitirá conocer las causas que generaron el problema, y así encontrar una posible solución.

Examinar las causas de las fallas presentes en los Componentes de las Unidades Generadoras

Causas raíz de las fallas en los Componentes del Generador

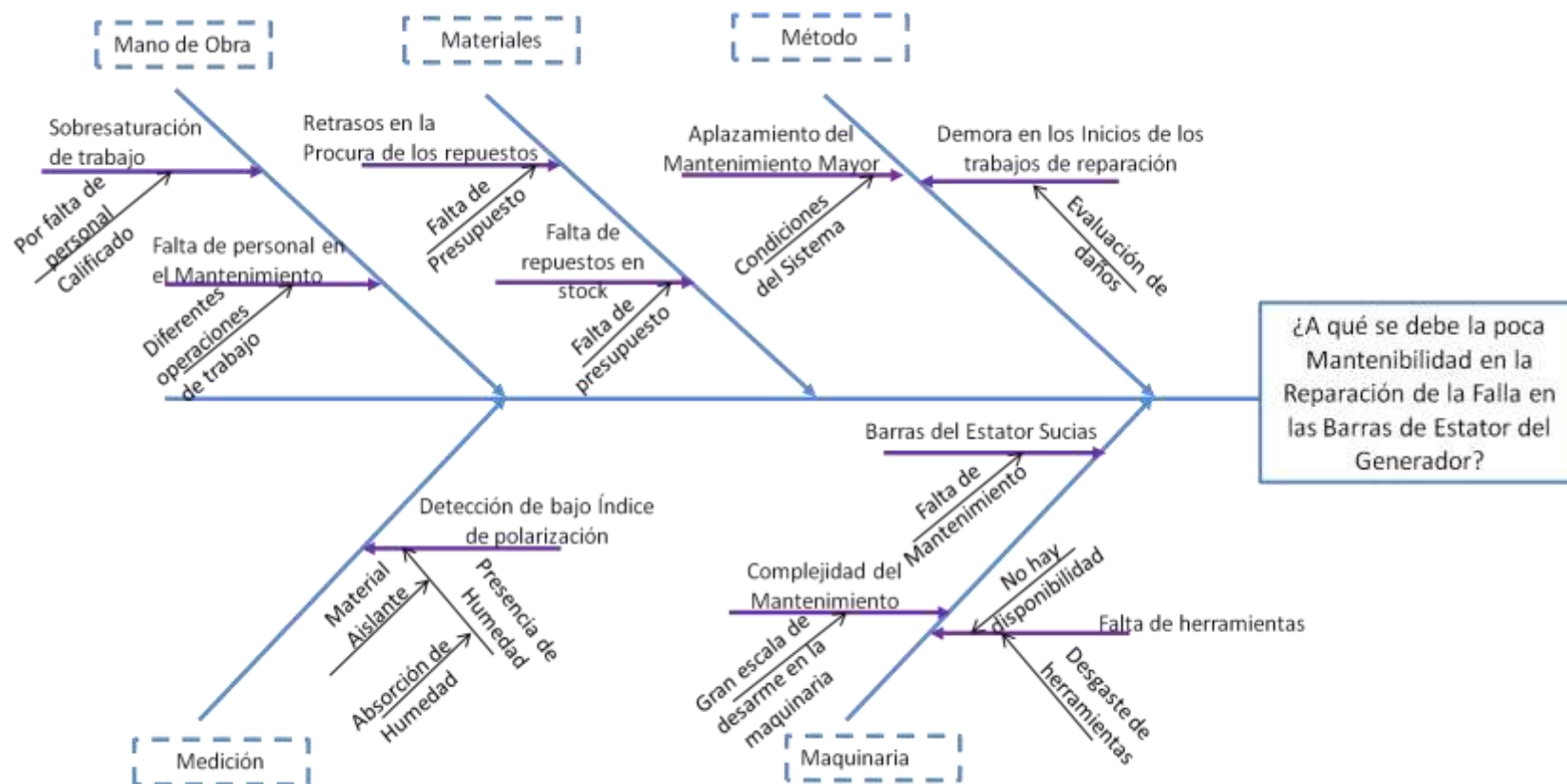
¿A qué se debe la poca Mantenibilidad en la Reparación de la Falla en las Barras de Estator del Generador?

El Subsistema Generador de la Unidad Generadora 02 de la Central Hidroeléctrica de Planta Guri ha presentado fallas en las Barras del Estator que requieren largos periodos de reparación y la utilización de recursos Humanos y materiales, lo cual afecta negativamente los índices de Disponibilidad y Mantenibilidad de la Central.

Las causas propuestas en el Diagrama de Causa-Efecto se presentan seguidamente, donde se describen las causas raíz de las fallas en los Elementos Mano de obra, materiales, método, medición y maquinaria.

Examinar las causas de las fallas presentes en los Componentes de las Unidades Generadoras

¿A qué se debe la poca Mantenibilidad en la Reparación de la Falla en las Barras de Estator del Generador?



ANÁLISIS Y RESULTADOS

Examinar las causas de las fallas presentes en los Componentes de las Unidades Generadoras

Causas raíz de las fallas en los Componentes del Generador

¿A qué se debe la poca Mantenibilidad en la Reparación de la Falla de Alta Temperatura del Cojinete de Empuje del Generador?

El Subsistema Generador de la Unidad Generadora 08 y 09 de la Central Hidroeléctrica de Planta Guri ha presentado fallas en el Cojinete de Empuje que requieren largos periodos de reparación y la utilización de recursos Humanos y materiales, lo cual afecta negativamente los índices de Disponibilidad y Mantenibilidad de la Central.

Las causas propuestas en el Diagrama de Causa-Efecto se presentan seguidamente, donde se describen las causas raíz de las fallas.



Examinar las causas de las fallas presentes en los Componentes de las Unidades Generadoras

¿A qué se debe la poca Mantenibilidad en la Reparación de la Falla de Alta Temperatura del Cojinete de Empuje del Generador?



Examinar las causas de las fallas presentes en los Componentes de las Unidades Generadoras

Causas raíz de las fallas en los Componentes del Transformador de Potencia

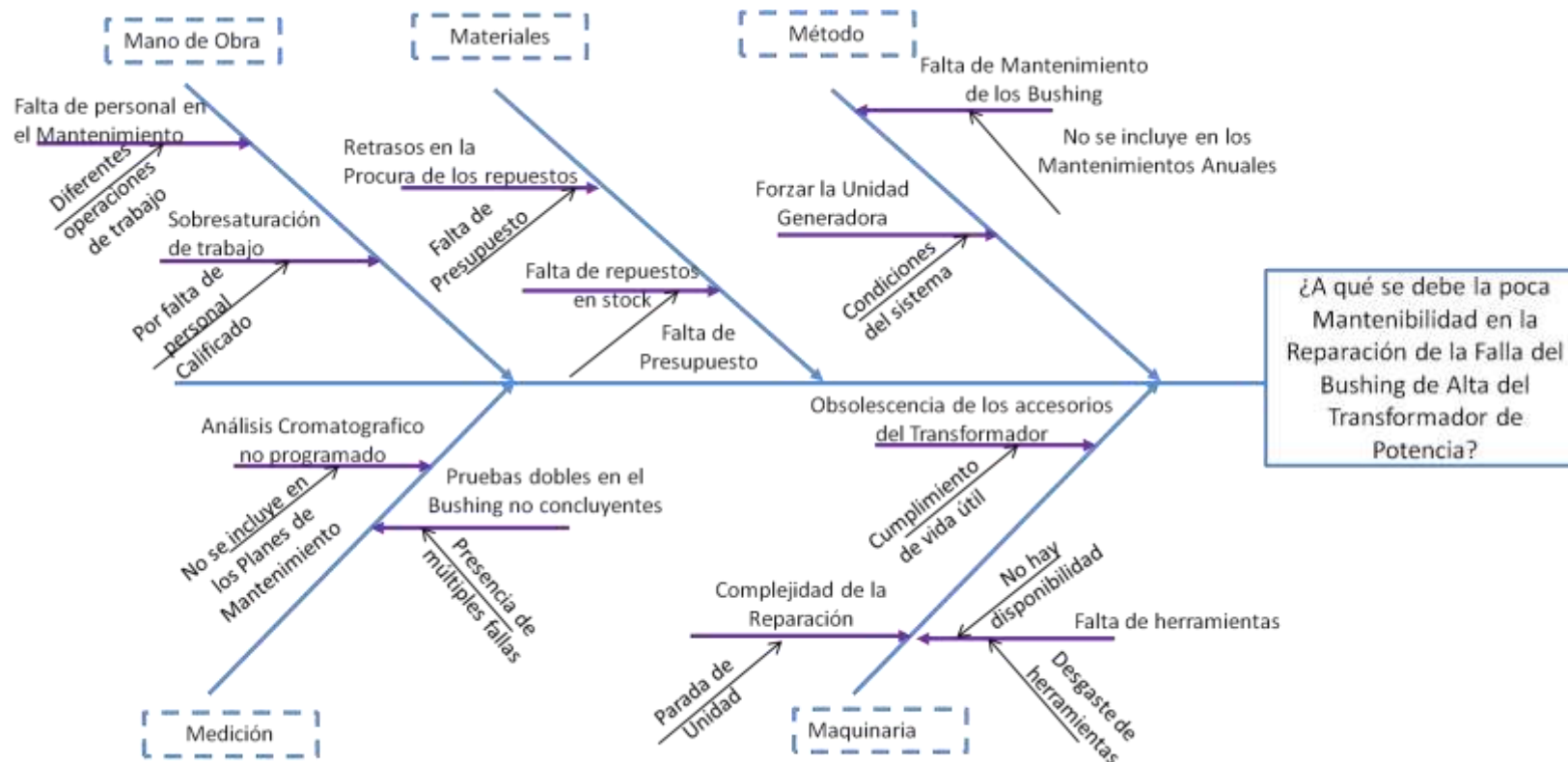
¿A qué se debe la poca Mantenibilidad en la Reparación de la Falla del Bushing de Alta del Transformador de Potencia?

El Subsistema Transformador de Potencia de las Unidades Generadoras 02 y 17 de la Central Hidroeléctrica de Planta Guri han presentado fallas en el Bushing de Alta que requieren largos periodos de reparación y la utilización de recursos Humanos y materiales, lo cual afecta negativamente los índices de Disponibilidad y Mantenibilidad de la Central.

Las causas propuestas en el Diagrama de Causa-Efecto se presentan seguidamente, donde se describen las causas raíz de las fallas en los Elementos Mano de obra, materiales, método, medición y maquinaria.

Examinar las causas de las fallas presentes en los Componentes de las Unidades Generadoras

¿A qué se debe la poca Mantenibilidad en la Reparación de la Falla del Bushing de Alta del Transformador de Potencia?



Examinar las causas de las fallas presentes en los Componentes de las Unidades Generadoras

Causas raíz de las fallas en los Componentes del Transformador de Potencia

¿A qué se debe la poca Mantenibilidad en la Reparación de la fuga de aceite por la Empacadura de la Tapa de acceso inferior del Transformador de Potencia?

El Subsistema Transformador de Potencia de la Unidad Generadora 06 de la Central Hidroeléctrica de Planta Guri ha presentado fallas en la Empacadura de la Tapa de Acceso parte inferior que requieren largos periodos de reparación y la utilización de recursos Humanos y materiales, lo cual afecta negativamente los índices de Disponibilidad y Mantenibilidad de la Central.

Las causas propuestas en el Diagrama de Causa-Efecto se presentan seguidamente, donde se describen las causas raíz de las fallas en los Elementos Mano de obra, materiales, método, medición y maquinaria.

Examinar las causas de las fallas presentes en los Componentes de las Unidades Generadoras

¿A qué se debe la poca Mantenibilidad en la Reparación de la fuga de aceite por la Empacadura de la Tapa de acceso inferior del Transformador de Potencia?



Elaboración del Plan de acción para aumentar la Mantenibilidad en las Unidades Generadoras

Una vez logrados los objetivos descritos anteriormente se procede a realizar una propuesta del Plan de Acción de Mejora de la Mantenibilidad, el mismo está descrito por medio de un diagrama Gantt, el cual contiene las Acciones, tiempo y los responsables encargados de llevar a cabo las actividades, es importante mencionar que algunas acciones no poseen tiempos de ejecución ni responsables, porque sus causas y aplicación se derivan en entes externos a la Planta, donde dichas acciones presentan observaciones. Por otro lado, El tiempo descrito para la realización de las acciones es de 39 semanas (9 meses).

Plan de acción para aumentar la Mantenibilidad en las Unidades Generadoras



DIVISIÓN DE PLANTA GURI DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO GURI

PLAN DE ACCIÓN DE MEJORA DE LA MANTENIBILIDAD CMI Y CMII AÑO 2016

				SEPTIEMBRE				OCTUBRE				NOVIEMBRE				DICIEMBRE				ENERO				FEBRERO				MARZO				ABRIL				MAYO				OBSERVACIONES					
ITEM	ACCIONES	TIEMPO/ FRECUENCIA	RESPONSABLE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36		37	38	39		
1	Seguimiento y control del Indicador de Mantenibilidad	1 Semana/ Mensual	Sección de Control de Gestión																																										
2	Realizar un estudio sobre la viabilidad del método utilizado para calcular el Indicador de Mantenibilidad	1 Mes/ Quinquenal	Sección de Control de Gestión																																										
3	Realizar un Análisis de Fallas a las veinte (20) Unidades Generadoras	2 Meses/ Cada 4 meses	Sección de Control de Gestión																																										
4	Reforzar los Análisis del Indicador de Mantenibilidad	4 Meses/ Semestral	Sección de Control de Gestión																																										
5	Realizar un nuevo cálculo de tiempo t para las Unidades que presenten TFS muy largos	1 Mes/ Anual	Sección de Control de Gestión																																										
6	Monitoreo y Documentación de las variables	FRECUENCIA	RESPONSABLE																																										
6.1	Análisis Cromatografico del aceite de los transformadores	Anual	Centro de Investigaciones Aplicadas (CIAP) - Sección de Líneas y Transformadores																																										
6.2	Sensores de temperatura del Cojinete de Empuje	Mensual	Sección de Equipos de Instrumentación																																										
7	Seguimiento y Control de Materiales	FRECUENCIA	RESPONSABLE																																										
7.1	Realizar un seguimiento a los repuestos solicitados	Mensual	Unidad de Procura de cada Departamento																																										
8	Plan de Control y Seguimiento de Mantenimientos	FRECUENCIA	RESPONSABLE																																										
8.1	Mantener el Seguimiento del cumplimiento de los Mantenimientos	Mensual	Departamento de Ingeniería de Mantenimiento																																										
9	Seguimiento del pronunciamiento de la Unidad de PRTT para evaluación de contrato con la Contratista Alstom	Semanal	Unidad de Proyecto de Recepción y Transferencia de Tecnología (PRTT)																																										
9.1	Propuesta de Modernización del Cojinete de Empuje por Diseño	No establecido	No establecido																																										
10	Seguimiento del Plan de Acción de Mejora de la Mantenibilidad CMI y CMII Año 2016	1 Semana/ Mensual	Departamento de Ingeniería de Mantenimiento																																										

ELABORACIÓN Y APROBACIÓN		NOMBRE	CARGO	FIRMA	FECHA
	ELABORADO POR:				
	APROBADO POR:				

CONCLUSIONES

En relación a la investigación y lo anteriormente expuesto, se concluye lo siguiente:

1. De acuerdo con el diagnóstico de la situación actual se pudo observar el comportamiento del Indicador de Mantenibilidad en los últimos tres (3) años, incluyendo los primeros meses del 2016 y de los aspectos relacionados a este como lo es el Tiempo promedio para Reparar (TPPR), denotándose comportamientos variados y desviados de las metas establecidas para cada año.
2. El cálculo del Indicador debe ser sometido a revisión, debido a que el método utilizado para calcular toma en cuenta los TFS de las unidades que presentan largos tiempos de reparación y se debe analizar si dichos datos se deben usar para el procedimiento de cálculo.
3. Se debe considerar mostrar distintos valores de Mantenibilidad para toda la Planta, en rangos distintos, para Unidades que tengan periodos largos de TFS y otras que no, de manera de no catalogar el valor de Mantenibilidad utilizando todos los tiempos de reparación, y así poder analizar que rangos presentan mejores % de Mantenibilidad y de TPPR.
4. En los últimos años no se evidencia un registro de análisis de datos y por lo tanto no se establecieron acciones para revertir la tendencia que viene presentando el Indicador.
5. Con el análisis de la Mantenibilidad se determinó que las Unidades Generadoras críticas que están desviando la Mantenibilidad son las G02, G08 y G09, pues son las que generan el 80% de las fallas y que una vez resueltas mejoran en gran medida el cálculo del indicador.

CONCLUSIONES

6. El 80% de las fallas generales de las veinte Unidades Generadoras son ocasionadas principalmente por las causas del Subsistema Transformador de Potencia (TR), debido a que de todas las Unidades Generadoras este es el que presenta más Tiempos Fuera de Servicio.
7. El estudio realizado para determinar el tiempo t usado de 15 horas para el cálculo de Mantenibilidad, fue objeto de revisión, donde en el nuevo cálculo se obtuvieron tres tiempos t , uno total de 252,89 horas, uno acotado al 10 % de 19,24 horas y el último acotado al 15 % de 14,61 horas.
8. Con la determinación de los componentes afectados, se evidenció que el Subsistema crítico que afecta a las Unidades Generadoras 02, 08 y 09, es el Generador.
9. Los componentes del Subsistema Generador que afectan el Indicador de Mantenibilidad por las fallas ocurridas en los mismos son, las Barras del Estator y el Cojinete de Empuje.
10. Se determinó que los componentes del Subsistema Transformador de Potencia que afectan el indicador de Mantenibilidad por las fallas presentadas en ellos son, el Bushing de Alta Tensión del Transformador Fase A, el Bushing de Alta fase B del Transformador y la Empacadura de la Tapa de Acceso parte inferior.

CONCLUSIONES

11. Al examinar las causas de las fallas presentes en los Componentes de las Unidades Generadoras, determinó que las causas raíz que afectan la Mantenibilidad del Subsistema Generador se deben a la falta de presupuesto para realizar los pagos a la contratista Alstom y para la adquisición de los repuestos, equipos e insumos en stock para realizar las operaciones, además de la postergación de los mantenimientos y principalmente el Diseño del Cojinete de Empuje no confiable.
12. Las causas raíz que afectan la Mantenibilidad del Subsistema Transformador de Potencia son la ausencia de repuestos, insumos, equipos y herramientas en stock por la situación financiera de la Central Hidroeléctrica y la falta de presupuesto para adquirir los materiales de prioridad, además de la necesidad de políticas reemplazo para los componentes que cumplan con la vida útil recomendada por el fabricante y la carencia de mantenimientos a los Bushing de Alta.
13. El Plan de Acción propuesto en este estudio, tiene la finalidad de exponer las estrategias y acciones a seguir para reducir los tiempos fuera de servicio de las Unidades y componentes que están afectando el Indicador de Mantenibilidad, por lo cual contribuye en el seguimiento y control de los procesos a realizar del Departamento de Ingeniería de Mantenimiento Guri, donde algunas acciones no tienen tiempo de aplicación por agentes externos que no controla Planta Guri.

RECOMENDACIONES

Luego de conocer los resultados de la investigación y definir las conclusiones, se recomienda lo siguiente:

1. Realizar un seguimiento periódico del Indicador de Mantenibilidad de Planta Guri, para fomentar la atención oportuna a las Unidades Generadoras que afecten el cálculo del indicador.
2. Contratar nuevo ingreso de personal, para evitar las transferencias entre departamentos y la falta de personal.
3. Darle importancia a la adquisición de los repuestos más críticos, basados a las necesidades de los mantenimientos programados.
4. Implantar políticas de reemplazo de maquinarias, equipos y/o herramientas que cumplan con los tiempos de vida útil recomendados, para garantizar la confiabilidad del Sistema.

RECOMENDACIONES

5. Realizar un seguimiento a las negociaciones con la contratista Alstom, para retomar los trabajos de reparación de los Cojinetes de Empuje, y proponer una posterior modernización con un diseño más confiable.
6. Brindarle nuevamente oportunidades de adiestramiento a toda la Planta Gurí, abarcando los mantenimientos realizados a las Unidades Generadoras.
7. Incluir en los Planes de Mantenimientos de los Transformadores de Potencia los mantenimientos periódicos a los Bushing de Alta,
8. Aplicar el Plan propuesto para fortalecer la Mantenibilidad de las Unidades Generadoras.

