



UNIVERSIDAD TÉCNICA AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**PROYECTO TÉCNICO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO**

TEMA:

**“DESARROLLO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO DE LAS MÁQUINAS
HIDRÁULICAS DE GENERACIÓN ELÉCTRICA TIPO FRANCIS PARA LA
CENTRAL LA PENÍNSULA MEDIANTE EL MANTENIMIENTO
CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD RCM.”**

AUTOR: Bolívar Marcel Lascano Constante

TUTOR: Ing. Mg. Jorge Enrique López Velástegui

AMBATO - ECUADOR

Enero – 2021

CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutor del Proyecto Técnico, previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico, con el tema: **“DESARROLLO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO DE LAS MÁQUINAS HIDRAÚLICAS DE GENERACIÓN ELÉCTRICA TIPO FRANCIS PARA LA CENTRAL LA PENÍNSULA MEDIANTE EL MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD RCM.”**, elaborado por el Sr. Bolívar Marcel Lascano Constante, portador de la cedula de ciudadanía: C.I. 175072033-4, estudiante de la Carrera de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el presente proyecto técnico es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Esta concluido en su totalidad

Ambato, Enero 2021



.....
Ing. Mg. Jorge Enrique López Velástegui
TUTOR

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Yo, Bolívar Marcel Lascano Constante con C.I. 175072033-4, declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente proyecto técnico con el tema **“DESARROLLO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO DE LAS MÁQUINAS HIDRAÚLICAS DE GENERACIÓN ELÉCTRICA TIPO FRANCIS PARA LA CENTRAL LA PENÍNSULA MEDIANTE EL MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD RCM”**, así como también los análisis estadísticos, gráficos, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor del proyecto, a excepción de las fuentes bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, Enero 2021



.....
Bolívar Marcel Lascano Constante

C.I.: 175072033-4

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Proyecto Técnico o parte de él un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi proyecto Técnico, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento, dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, Enero 2021



.....

Bolívar Marcel Lascano Constante
C.I.: 175072033-4
AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

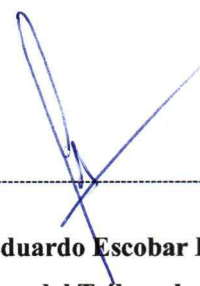
Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Proyecto Técnico, realizado por el estudiante Bolívar Marcel Lascano Constante de la Carrera de Ingeniería Mecánica, bajo el tema: **“DESARROLLO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO DE LAS MÁQUINAS HIDRÁULICAS DE GENERACIÓN ELÉCTRICA TIPO FRANCIS PARA LA CENTRAL LA PENÍNSULA MEDIANTE EL MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD RCM”**

Ambato, Enero 2021

Para constancia firman:



Ing. Mg. Christian Byron Castro Miniguano
Miembro del Tribunal



Ing. Mg. Luis Eduardo Escobar Luna
Miembro del Tribunal

DEDICATORIA

El presente proyecto de titulación dedico a todos los jóvenes que tienen la meta de formarse como profesionales líderes en ingeniería Mecánica, mediante su esfuerzo y dedicación pueden solventar todos los niveles.

“Solo hay una cosa que hace a un sueño imposible de alcanzar: el miedo al fracaso”

Paulo Coelho de Souza.

A mis sobrinas Samantha y Salomé, pequeñas niñas que alegran a la familia, quienes en un futuro también cosecharan logros, ahí estaré en cada uno de sus pasos.

Bolívar Lascano

AGRADECIMIENTO

Agradezco:

A mis padres José Lascano y Marina Constante, quienes con la bendición de Dios supieron transmitir sus valores y actitud de superación a mis hermanos Jisela, y Edwin, formandonos como personas con principios sólidos.

A la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica y en especial a la Carrera de ingeniería Mecánica que me acogió como uno más de sus estudiantes y permitió que me forme como profesional.

Al Ing. Mg. Jorge López tutor de este trabajo, le expreso mi gratitud por compartirme sus conocimientos y motivarme en cada momento, un gran docente y amigo.

Al Ing. Diego Medina Jefe de Área 4 de la Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A, quien permitió que desarrolle este proyecto de titulación en la Central hidroeléctrica “La Península” entidad que se encuentra a su cargo.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN	iii
DERECHOS DE AUTOR	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	viii
ÍNDICE GENERAL DE FIGURAS	xii
ÍNDICE GENERAL DE TABLAS.....	xiii
RESUMEN EJECUTIVO	xv
MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Tema.....	1
1.2. Antecedentes Investigativos	1
1.3. Marco Teórico	3
1.3.1. Centrales Hidroeléctricas	3
1.3.2. Clasificación de turbinas hidráulicas	3
1.3.2.1. Turbinas de Impulso	4
1.3.3.1. Misión del mantenimiento.....	5
1.3.3.2. Mantenimiento Correctivo	5
1.3.3.3. Mantenimiento Predictivo	6
1.3.3.4. Mantenimiento productivo Total.....	6
1.3.3.5. Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM).....	6

A.	Planificación	7
B.	Proceso de revisión basado en RCM	7
C.	Grupos de trabajo en RCM	8
1.3.3.6.	Las preguntas del RCM	8
	Funciones	11
	Efectos de fallo.....	12
1.3.4.	Análisis de modo de fallo y de sus efectos AMFE o FMEA	12
1.3.4.1.	Gravedad o Severidad	13
1.3.4.2.	Índice de frecuencia (F).....	13
1.3.4.3.	Índice de detección (D)	14
1.3.4.4.	Índice de prioridad de riesgo IPR.....	14
1.3.5.	El análisis de modo de fallo, sus efectos y criticidad.....	15
1.3.6.	Confiabilidad.....	17
1.3.6.1.	Alcances del RCM.....	17
1.3.7.	Indicadores de gestión de mantenimiento	18
1.3.7.1.	Disponibilidad	19
1.3.7.2.	Tiempo Medio En Fallos (MTBF)	19
1.3.7.3.	Tiempo promedio operativo (MTTF).....	20
1.3.7.4.	Tiempo Medio De Reparación (MTTR)	20
1.3.8.	Diagrama de Pareto	20
1.3.9.	Hoja de decisión del RCM	21
1.3.10.	Plan de mantenimiento	22
1.4.	Objetivos	23
1.4.1.	General	23

1.4.2. Específicos	23
CAPÍTULO II	24
METODOLOGÍA	24
2.1. Recursos	24
2.1.1. Recursos ofimáticos	24
2.1.2. Recursos materiales.....	24
2.1.3. Recursos humanos.....	25
2.2. Métodos.....	25
2.2.1. Investigación Bibliográfica	25
2.2.2. Investigación Descriptiva.....	25
2.2. Protocolo para la recolección de datos.	25
2.3. Plan de procesamiento y análisis	25
3.1. Descripción de la central hidroeléctrica	26
3.1.1. Información de la Central La Península.....	26
3.1.2. Obras Principales	27
3.1.3. Obra de conducción.....	28
3.1.4. Tubería de presión.....	28
3.1.5. Casa de máquinas	28
3.1.6. Turbinas Francis.....	29
3.1.7. Verificación de seguridad	32
3.1.7.1. Equipos de protección personal.....	32
3.2.2. Proceso de revisión basado en RCM.....	33
3.3.3. Actividades de mantenimiento frecuentes	48
3.3.4. Análisis de modo de fallo y de sus efectos AMFE o FMEA	54

Gamas de mantenimiento	85
CAPÍTULO IV	91
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	91
4.1. Conclusiones	91
4.2. Recomendaciones	92
Bibliografía	93
ANEXOS	96

ÍNDICE GENERAL DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de mesa de reunión de un grupo de revisión de RCM	8
Figura 2. Diagrama de Pareto	21
Figura 3. Casa de máquinas de la central hidroeléctrica “La Península”	26
Figura 5. Bocatoma, piscina de sedimentación.....	27
Figura 6. Generadores tipo Francis de la Central la Península.	28
Figura 7. Carcasa de Caracol	29
Figura 8. Distribuidor de la máquina de generación.	30
Figura 9. Distribuidor Fick.....	30
Figura 10. Rodete tipo Francis	31
Figura 11. Tubo de aspiración en una turbina Francis	32
Figura 12. Diagrama de Pareto para la unidad 1	49
Figura 13. Diagrama de Pareto para la unidad 2.....	50
Figura 14. Diagrama de Pareto para la unidad 3.....	51
Figura 15. Diagrama de Pareto para la unidad 4.....	53

ÍNDICE GENERAL DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de Centrales Hidráulicas	3
Tabla 2. Matriz AMFE.....	12
Tabla 3. Clasificación de la gravedad del modo fallo	13
Tabla 4. Clasificación de la frecuencia/ probabilidad de ocurrencia del modo de fallo.	13
Tabla 5. Clasificación de la facilidad de detección del modo de fallo.....	14
Tabla 6. Clasificación de la facilidad de detección del modo de fallo.....	14
Tabla 7. Código de color utilizado para definir el grado de criticidad.	15
Tabla 8. Aspectos que deben considerarse para fijar la criticidad de los equipos.	16
Tabla 9. Hoja de decisión del RCM.....	22
Tabla 10. Características técnicas de la Central La Península.	27
Tabla 11. Ficha Técnica de la Unidad 1.....	34
Tabla 12. Ficha Técnica de la Unidad 2.....	35
Tabla 13. Ficha Técnica de la Unidad 3.....	36
Tabla 14. Ficha Técnica de la Unidad 4.....	37
Tabla 15. Formato de Matriz para recolección de datos	38
Tabla 16. Cálculo de disponibilidad de la unidad 1.....	39
Tabla 17. Cálculo de disponibilidad del grupo de unidad 2.....	41
Tabla 18. Cálculo de disponibilidad de la unidad 3.....	44
Tabla 19. Cálculo de disponibilidad de la unidad 4.....	46
Tabla 20. Nomenclatura para tablas de frecuencia.	48
Tabla 21. Cálculo de frecuencia de actividades de mantenimiento de la unidad 1....	49
Tabla 22. Cálculo de frecuencia de actividades de mantenimiento de la unidad 2....	50
Tabla 23. Cálculo de frecuencia de actividades de mantenimiento de la unidad 3....	51
Tabla 24. Cálculo de frecuencia de actividades de mantenimiento de la unidad 4....	52
Tabla 25. Clasificación de la facilidad de detección del modo de fallo.....	54
Tabla 26. Análisis AMFE del sistema de transmisión de la unidad 1	55
Tabla 27. Análisis AMFE del sistema de lubricación de la unidad 1	58
Tabla 28. Análisis AMFE del sistema de eléctrico de la unidad 1	60
Tabla 29. Análisis AMFE del sistema de transmisión de la unidad 2.	61

Tabla 30. Análisis AMFE del sistema de lubricación de la unidad 2	64
Tabla 31. Análisis AMFE del sistema de eléctrico de la unidad 2	66
Tabla 32. Análisis AMFE del sistema de transmisión de la unidad 3	67
Tabla 33. Análisis AMFE del sistema de lubricación de la unidad 3	70
Tabla 34. Análisis AMFE del sistema de eléctrico de la unidad 3.	72
Tabla 35. Análisis AMFE del sistema de transmisión de la unidad 4.	73
Tabla 36. Análisis AMFE del sistema de Lubricación de la unidad 4.....	76
Tabla 37. Análisis AMFE del sistema de eléctrico de la unidad 4	78
Tabla 38. Criticidad de los elementos de la Unidad 1.....	79
Tabla 39. Criticidad de los elementos de la Unidad 2	80
Tabla 40. Criticidad de los elementos de la Unidad 3.....	81
Tabla 41. Criticidad de los elementos de la Unidad 4.....	82
Tabla 42. Hoja de decisión RCM del sistema mecánico de las unidades.	83
Tabla 43. Hoja de decisión RCM del sistema de lubricación de las unidades.....	84
Tabla 44. Hoja de decisión RCM del sistema eléctrico de las unidades.....	84
Tabla 46. Gama de mantenimiento Diario y Semanal	85
Tabla 47. Gama de mantenimiento Mensual.....	86
Tabla 48. Gama de mantenimiento Semestral, anual y bianual.	87
Tabla 49. Plan de Mantenimiento para la Central hidroeléctrica “La Península”.	89

RESUMEN EJECUTIVO

El presente proyecto de titulación permitió el desarrollo de un plan de mantenimiento para la Central hidroeléctrica “La Península”, elaborado mediante la recolección de información descrita en la bitácora de actividades diarias de los Operadores de Generación, en el que se procedió a levantar datos de las cuatro máquinas hidráulicas, para la obtención de fichas técnicas de los equipos, sugerencias ambientales y de seguridad para los operadores.

Las unidades de generación se dividieron en tres sistemas de funcionamiento para su análisis y aplicación de la metodología RCM, utilizando lo siguiente: cálculo de disponibilidad, frecuencia de modos de fallo tabulados mediante el análisis de Pareto y determinando las actividades de mantenimiento recurrentes, el método AMFE (Análisis de modos y efectos de fallo) está enfocado en las siete preguntas del RCM, mediante el cual se identificó el IPR (Índice de Prioridad de Riesgo) de cada componente de las unidades generadoras, la criticidad fue calculada mediante criterios ponderados que evalúan el riesgo que representa cada elemento ante la presentación de un modo de fallo y el último paso fueron las hojas de decisión de RCM en las que se detalla las actividades propuestas de mantenimiento. Todas estas actividades preventivas y correctivas son programadas en gamas de mantenimiento y plan de mantenimiento para las cuatro unidades de generación de la Central.

EXECUTIVE SUMMARY

This titling project allowed the development of a maintenance plan for the hydroelectric plant "La Peninsula", prepared by collecting information described in the daily activity log of generation operators, in which data was collected from the four hydraulic machines, for obtaining technical data from the equipment, environmental and safety suggestions for operators.

The generation units were divided into three operating systems for their analysis and application of the RCM methodology, using the following: availability calculation, frequency of tabulated failure modes by pareto analysis and determining recurrent maintenance activities, the FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) method focuses on the seven questions of the RCM , by which the IPR (Risk Priority Index) of each component of the generating units was identified, the criticality was calculated using weighted criteria that assess the risk posed by each element to the presentation of a failure mode and the last step were the RCM decision sheets detailing the proposed maintenance activities. All these preventive and corrective activities are scheduled in maintenance and maintenance plan ranges for the four generation units of the Central

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. Tema

DESARROLLO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO DE LAS MÁQUINAS HIDRAÚLICAS DE GENERACIÓN ELÉCTRICA TIPO FRANCIS PARA LA CENTRAL “LA PENÍNSULA” MEDIANTE EL MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD RCM.

1.2. Antecedentes Investigativos

Entre las fuentes de energía renovables que existen, la pequeña energía hidroeléctrica es una de las tecnologías más rentables y ecológicas para la generación de electricidad. En las centrales hidroeléctricas, la turbina es un componente importante y tiene muchos problemas asociados que degradan su condición y eficiencia los cuales requieren operación y mantenimiento adecuados. Después de algunos años de operación, las turbinas pueden mostrar un rendimiento disminuido debido a varias razones: Cavitación, erosión, fatiga y defecto en el material. [1].

El mantenimiento de la turbina hidráulica es esencial en un intervalo de tiempo predeterminado, para la reparación de componentes acuáticos de la turbina en proyectos de energía hidroeléctrica cargados de sedimentos, para garantizar el funcionamiento confiable de la planta. Estudios de caso sobre la turbina Francis vertical de las centrales hidroeléctricas de Nepal, incluyen que al influir en los parámetros de mantenimiento de la turbina hace que aumente el tiempo de inactividad de la máquina [2].

Las diferentes metodologías de Análisis de Causa Raíz, ACR referenciadas en la literatura y se presentan en detalle cada uno de los pasos de la metodología PROACT utilizada para analizar la falla que se presentó en los alabes móviles de las turbinas Francis den la Central hidroeléctrica Alto Anchicaya [3].

La Empresa Electro Generadora del Austro, ELECAUSTRO S.A. es una empresa visionaria y sostenible, que genera energía eléctrica renovable y diversificada, aportando así energía al sistema eléctrico ecuatoriano, con criterios de eficiencia, ética, calidad y responsabilidad con la sociedad y el medio ambiente con sede en la ciudad de Cuenca, propone la implementación de mantenimiento centrado en la confiabilidad para la Unidad de Generación 2 que forma parte de la Central Hidroeléctrica Sr. Arturo Salazar Orrego con capacidad de 15,4 Mw [4].

La Unidad 2 de la Hidroeléctrica Illuchi determinaron los sistemas más críticos de la unidad y mediante las decisiones del RCM elaboraron el plan de mantenimiento en el que recogen las actividades y frecuencias para realizar los trabajos de mantenimiento. La tesis de trabajo de titulación de Llamba W, constó de la descripción de operación de la central, así como un análisis del modo, causa y efectos de las fallas que podría tener la central, también se registró de las fallas y su costo financiero si saliera fuera de servicio, de la misma manera en este capítulo se llevó a cabo pruebas no destructivas a la central basándonos en las hojas de trabajo realizadas [5] .

Los trabajos investigados plantean la necesidad de implementar planes de mantenimiento y metodologías que permitan mantener operativas las máquinas generadoras de electricidad, con lo cual se pueden determinar que es factible y necesario desarrollar el plan de mantenimiento e implementar la metodología de mantenimiento centrado en la confiabilidad para el análisis de las unidades de generación de la central La Península [Autor].

1.3. Marco Teórico

1.3.1. Centrales Hidroeléctricas

Las hidroeléctricas se diferencian en función del umbral de potencia que se obtiene de la central. Una minicentral hidroeléctrica tiene una potencia instalada inferior a 10 MW. Por encima de este nivel de referencia, se sigue la denominación tradicional de central hidroeléctrica. Las grandes centrales hidroeléctricas, compuestas por varias turbinas en paralelo, pueden producir varios gigawatios de potencia. En una minicentral, sin embargo, puede estar presente un embalse o bien no ser necesario, al obtenerse el salto de energía directamente sobre el curso de un río. En los últimos años, la denominación de Energía Micro hidráulica se ha aplicado a las centrales de abastecimiento eléctrico muy localizado, con máquinas de potencia del orden o inferior incluso a 1 kW (por ejemplo, ruedas Pelton “domésticas” que aprovechan cursos hidráulicos de montaña de poco caudal, para el abastecimiento eléctrico de una casa rural; en realidad, estos sistemas de producción distribuida en escalas pequeñas han existido desde muchos años atrás [6].

Tabla 1. Clasificación de Centrales Hidráulicas, [6].

Tipo de Central Hidráulica	Capacidad instalada
Micro hidráulica	Menor a 1 MW
Minihidráulica	Entre 1 a 10 MW
Hidráulica	Entre 10 y 50 MW
Gran hidráulica	Mayor a 50 MW

1.3.2. Clasificación de turbinas hidráulicas

La turbina es un motor principal utilizado para convertir el potencial hidroeléctrico en energía mecánica. Esta energía mecánica es utilizada además para impulsar el generador para la producción de electricidad en una central hidroeléctrica. Hay dos tipos básicos de turbinas, es decir, impulso y reacción [1].

1.3.2.1. Turbinas de Impulso

En el caso de las turbinas de impulso, la tubería de carga está conectada con la boquilla y, por lo tanto, la energía de presión total del agua se transforma en energía cinética. El agua que sale de la boquilla tiene la forma de un chorro libre, que golpea con una serie de cubos montados en la periferia del corredor. Ejemplos de turbinas de impulso son turbina Pelton, turbina Turgo-Impulse y turbina de flujo cruzado [1].

1.3.2.2. Turbinas de Reacción

En las turbinas de reacción, la presión del agua aplica una fuerza sobre la superficie de las palas del corredor, que disminuye a medida que procede a través de la turbina. Las turbinas que funcionan de esta manera se denominan turbinas de reacción. Opera con su corredor sumergido en agua. Las turbinas de reacción se pueden clasificar además en turbinas de flujo mixto y axial. Ejemplo de turbina de flujo mixto es la turbina Francis. Ejemplos de turbinas de flujo axial son: turbina de hélice, turbina Kaplan, turbina de bulbo y turbina de borde [18]. Se ve que los problemas operativos son diferentes en los varios tipos de turbinas hidráulicas. Se ha encontrado que las fallas o problemas desarrollados en una turbina de impulso y reacción se deben a la cavitación, erosión, fatiga y defectos materiales. Con el efecto de la cavitación, la turbina de reacción ha fallado la cantidad máxima de veces que turbina de impulso debido a la erosión del limo. El defecto material y la fatiga dependen principalmente de las condiciones de funcionamiento de las plantas, y principalmente defectos materiales ocurridos en la turbina durante el proceso de instalación [1].

1.3.3. Generalidades del mantenimiento

El mantenimiento industrial para Sánchez [7], se proyecta de la necesidad de toda industria de permanecer produciendo un bien sin parar su maquinaria por fallos, generar riquezas, sin afectar al ambiente, lo cual depende del mercado en el cual se encuentre operando, pues así, si vende tanto como se ha producido, las industrias tratan de maximizar el tiempo de disponible, en este sentido acorde al autor Díaz [8], el mantenimiento permite garantizar el buen funcionamiento.

Alrededor del mundo las industrias están perdiendo millones por no producir a máxima capacidad, por no contar con programas de mantenimiento efectivo que disminuya los paros improductivos debido a fallas [9].

1.3.3.1. Misión del mantenimiento

El Mantenimiento Industrial como parte de la producción, su propósito es garantizar el óptimo funcionamiento de los equipos, y demás infraestructura empresarial, mediante programas de prevención y predicción de fallas, reparación de daños y mejoramiento continuo de sus condiciones operativas [9] .

Son misiones del mantenimiento:

- La vigilancia permanente y/ó periódica.
- Las acciones preventivas.
- Las acciones correctivas (reparaciones).
- El reemplazo de maquinaria.

1.3.3.2. Mantenimiento Correctivo

Las actividades de mantenimiento que se efectúen tras un fallo o llamado mantenimiento frente a rotura tienen como principio la rápida recuperación de la máquina a condiciones de operatividad, enfatizando la restitución o reparación de piezas que fallaron según Sánchez [7].

Este método, sólo es aplicable, cuando existe disponibilidad suficiente de equipos de repuesto y la sustitución es rápida, económica, y no supone interrupciones ni perjuicios en el proceso productivo con la finalidad de alargar la vida útil de las máquinas y para ello son inevitables las intervenciones correctivas, pero sí todas las actividades son correctivas será un error grave [5]. Esto suele ser así en el caso de máquinas sencillas y baratas y de las cuales existen varias unidades en la planta industrial, lo que permite con un repuesto reducido cubrir gran parte de los eventuales fallos. En estos casos, probablemente el mantenimiento correctivo sea más económico y eficiente que cualquier otro [7].

1.3.3.3. Mantenimiento Predictivo

Este método de mantenimiento está basado en la condición, situación que permite una programación de actividades solamente cuando se requiera, se analiza el estado de la máquina mediante variables relacionadas con el estado como la temperatura, el nivel de ruido, el nivel de vibración, etc. Cuando la información obtenida de los parámetros permite detectar la posibilidad de próximas averías, se actúa con una operación correctiva que permite la optimización de tiempo y recursos empleados para incrementar la fiabilidad del equipo [5], [7].

La vibración en las máquinas es el parámetro usado en general para él, mantenimiento predictivo de maquinarias, debido a que permite localizar varios fallos potenciales que pueden provocar riesgo para la seguridad, provocar paradas prolongadas de producción o por el costo elevado que representa la máquina [7].

1.3.3.4. Mantenimiento productivo Total

Los autores pueden tener varias definiciones sobre en TPM, cada uno de acuerdo con el ámbito de aplicación en que la empresa se enfoca. El Mantenimiento productivo Total se definiría como una filosofía que por misión tiene organizar el desarrollo industrial que administra los recursos tecnológicos de una institución para que produzcan con un mínimo de averías, estas funcionen correctamente y su producción aumente, alcanzando altos niveles de eficiencia, como explica Lozada [10].

1.3.3.5. Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)

La Confiabilidad Operacional se define como una serie de procesos de mejora continua, que incorporan en forma sistémica, avanzadas herramientas de diagnóstico, estrategias modernas y metodologías de análisis, para optimizar la gestión, planeación, ejecución y control de la producción industrial., la confiabilidad Operativa es una de las más modernas estrategias que generan grandes beneficios a quienes la han usado. Se basa en el análisis estadístico, orientados a mantener en alto la disponibilidad y confiabilidad de los activos, con la activa participación del personal de organización [9], [11].

Según Mierau [12], El objetivo de RCM es preservar la función del sistema. Esto contrasta con los enfoques de mantenimiento más tradicionales que se centran en preservar el equipo. RCM se utiliza durante las fases de análisis y control de un enfoque de gestión de activos basado en el riesgo.

A. Planificación

Una estrategia general para implementar el mantenimiento centrado en la confiabilidad debe ser encaminado en la necesidad de definir alternativas difíciles de seleccionar debido a los recursos, tiempo requerido y cambio en la filosofía establecida. Los recursos humanos que se precisa para el trabajo es el factor más importante por lo cual la Dirección debe tener presente [13].

Es obligación de la planificación asegurarse que el personal involucrado con el mantenimiento tenga claro y entendido en el contexto operacional en RCM y los objetivos de la empresa [13].

B. Proceso de revisión basado en RCM

El plan de mantenimiento comienza por elaborar un programa que escoja en primer lugar una actividad, sistema, equipo o área considerada prioritario para la empresa, bien por su conflictividad, o bien por su baja disponibilidad, o por costes que incurre la empresa para llevar a cabo su mantenimiento ordinario [13].

Definir metas y objetivos concretos a alcanzar sean costos, servicio, calidad, en tiempos o en disminución de riesgos, para ello se comenzará con los análisis de fallos funcionales, determinar sus modos de fallo y analizar las causas y los efectos. Ante cada modo de fallo y cada análisis concreto se deberá seleccionar una táctica de mantenimiento. Hacer determinadas revisiones periódicas, cumpliendo una hoja de trabajo de RCM [13].

C. Grupos de trabajo en RCM

El establecimiento del grupo de revisión del mantenimiento Centrado en la Confiabilidad debe estar presente el supervisor o guía quien conozca suficientemente el sistema, el equipo de instalación a revisar y su contexto operacional. Asimismo, dicho guía debe ser un perfecto conocedor de los objetivos empresariales que se están buscando al implantar esta técnica organizativa de mantenimiento, pues estará en su mano conseguir las metas marcadas [13].

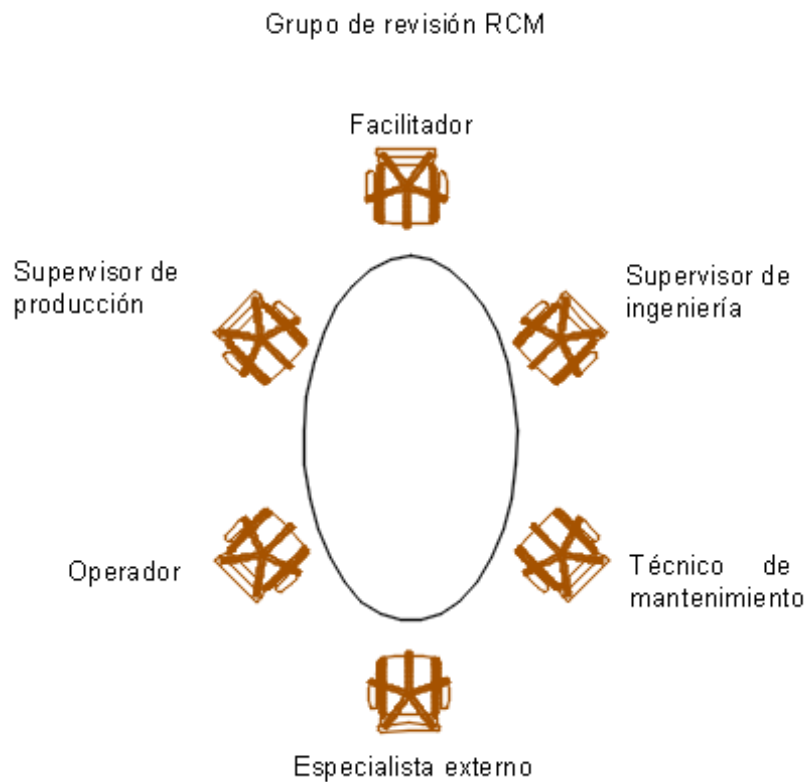


Figura 1. Esquema de mesa de reunión de un grupo de revisión de RCM, [13].

1.3.3.6. Las preguntas del RCM

El R.C.M. se centra en la relación entre la organización y los elementos físicos que la componen. Antes de que se pueda explorar esta relación detalladamente, se necesita saber qué tipo de elementos físicos existen en la empresa, y decidir cuáles son los que

deben estar sujetos al proceso de revisión del RCM, en la mayoría de los casos, esto significa que se debe realizar un registro de equipos completo [13].

El proceso sistemático del RCM formula siete preguntas acerca del activo o sistema que se intenta revisar [13], [14].

1. ¿Cuáles son las funciones y los estándares de funcionamiento en cada sistema?
2. ¿Cómo falla cada equipo?
3. ¿Qué ocasiona cada fallo funcional?
4. ¿Qué consecuencias tiene cada fallo?
5. ¿De qué modo afecta cada falla?
6. ¿Cómo puede evitarse o prevenir cada fallo?
7. ¿Qué debe hacerse si no es posible evitar un fallo?

Sexto Cabrera, considera una pregunta adicional respecto a qué sucede si los resultados no son aceptables o no satisfacen considerablemente las expectativas propuestas y una revisión de las tareas seleccionadas como no aceptadas [15].

En la figura 1 se observa el flujograma de preguntas y su secuencia que determina los requerimientos de mantenimiento [15].

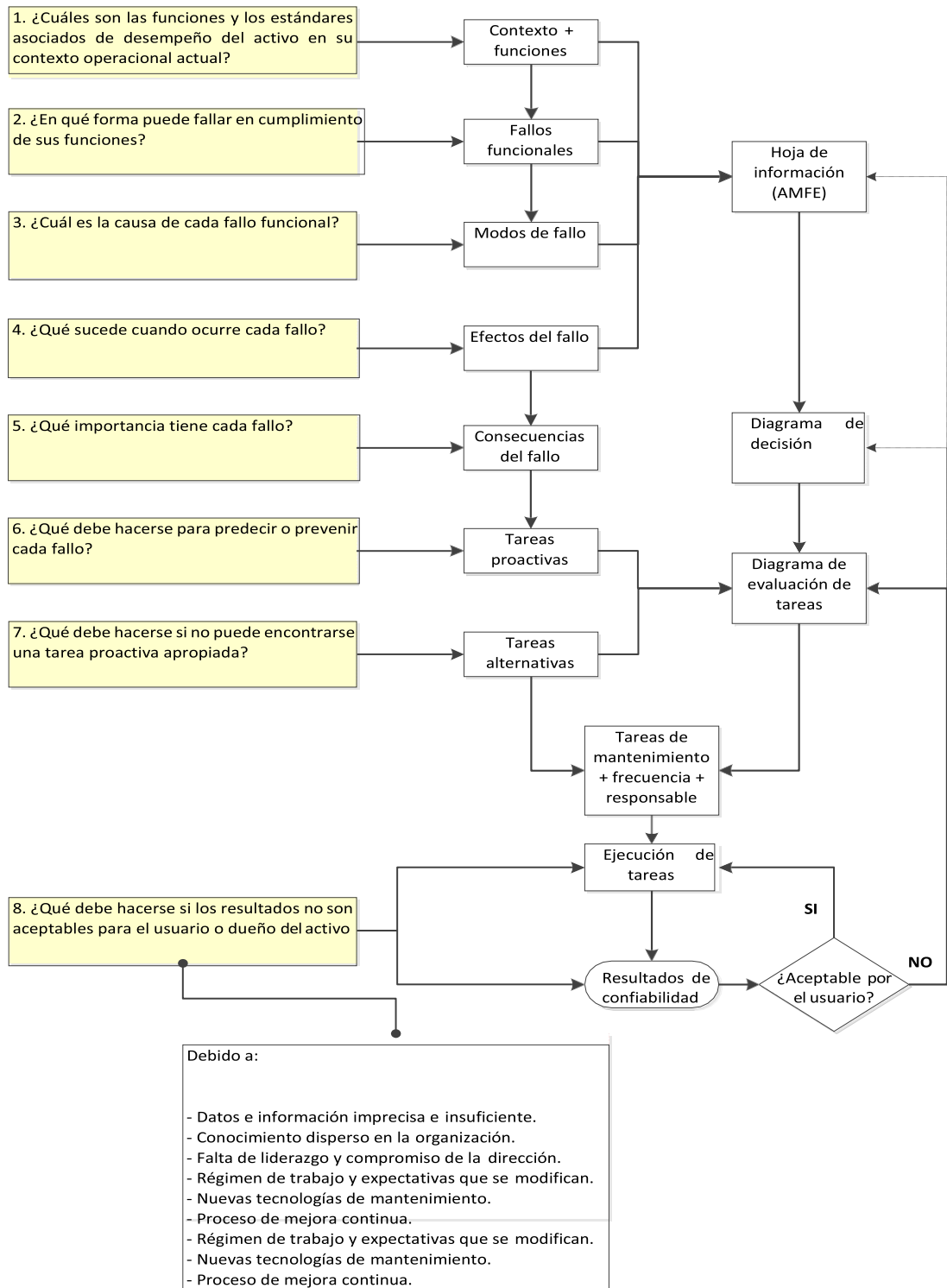


Figura 1. Secuencia del proceso RCM [15]

Funciones

El primer paso del RCM es definir las funciones de cada sistema en su contexto operacional, junto con los parámetros de funcionamiento deseados y lo que los equipos son capaces de hacer. Hay que definir, de manera concisa la función primaria del activo, pero también funciones secundarias relevantes [14].

Lo importante es efectuar una “tormenta de ideas”, donde varios participantes puedan hacer aflorar las funciones primarias o secundarias desde diversos puntos de vista. Claro está, este desglose tiene un límite racional, por ello se requiere de sentido común y experiencia [14].

Funciones Primarias. - Estas funciones evidencian por qué se adquirió el equipo cubriendo características como velocidad, producción, capacidad o calidad [14].

Funciones Secundarias. - Son las esperadas de cada equipo a más de las funciones primarias, relacionadas con ámbitos como la seguridad, control, contención, confort, economía, eficiencia operacional, regulaciones ambientales y de apariencia [14].

En el RCM necesitamos identificar que fallas pueden ocurrir mediante la segunda pregunta, y se lo hace en dos niveles:

- En primer lugar, identifica las circunstancias que llevaron a la falla.
- Luego se pregunta qué eventos pueden causar que el equipo falle.

En el mundo RCM, los estados de falla son conocidos como fallas funcionales es porque ocurre cuando el equipo no puede cumplir con una función de acuerdo con el parámetro de funcionamiento que se considera aceptable [14].

Modos de Falla

En los modos de falla se trata de encontrar las causas más probables para cada fallo funcional, identificando los hechos que de manera razonable contribuyeron que se pueda haber causado cada estado de falla o fallos ocurridos en equipos similares o iguales operando en condiciones similares indicados en la Tabla 1 [14].

Efectos de fallo

El cuarto paso del RCM descrito en las preguntas describe lo que ocurre con cada modo de fallo describiendo la información necesaria de lo que sucede cuando se produce cada modo de fallo. Nótese que efecto de falla no es lo mismo que consecuencia de falla [14].

1.3.4. Análisis de modo de fallo y de sus efectos AMFE o FMEA

AMFE identifica en primer lugar, el componente susceptible de averiarse, luego el modo de fallo dominante y a continuación sus efectos, tanto en el propio sistema como en la instalación, en el área de trabajo. Tras ello intenta cuantificar la probabilidad de fallo y de ahí obtiene tareas de mantenimiento preventivo requeridas [13].

El AMFE permite la elaboración de estrategias y planes de mantenimiento no basados en la concepción histórica de los preventivos definidos por el constructor, sino en planes de mantenimiento partiendo de las propias averías, esto partiendo de las averías de cada sistema funcionando en su entorno o contexto operacional [13].

Tabla 2. Matriz AMFE [14].

Hoja de información RCM	Área		Sistema N°	Facilitador:	Fecha:	Hoja N°
	Subsistema		Subsistema N°	Auditor:	Fecha:	De
Función	Falla funcional	Modo de falla	Efecto de falla			
1	A	1				
		2				
		3				
		n				
	B	1				
		2				

1.3.4.1. Gravedad o Severidad

Es el índice numérico de la severidad de un fallo o de una avería combinado con la probabilidad o frecuencia de su ocurrencia y otra de las herramientas del RCM.

Tabla 3. Clasificación de la gravedad del modo fallo [16].

GRAVEDAD	CRITERIO	VALOR
Muy Baja Repercusiones imperceptibles	No es razonable esperar que este fallo de pequeña importancia origine efecto real alguno sobre el rendimiento del sistema. Probablemente, el cliente ni se daría cuenta del fallo.	1
Baja Repercusiones irrelevantes apenas perceptibles	El tipo de fallo originaría un ligero inconveniente al cliente. Probablemente, éste observaría un pequeño deterioro del rendimiento del sistema sin importancia. Es fácilmente subsanable	2-3
Moderada Defectos de relativa importancia	El fallo produce cierto disgusto e insatisfacción en el cliente. El cliente observará deterioro en el rendimiento del sistema	4-6
Alta	El fallo puede ser crítico y verse inutilizado el sistema. Produce un grado de insatisfacción elevado.	7-8
Muy Alta	Modalidad de fallo potencial muy crítico que afecta el funcionamiento de seguridad del producto o proceso y/o involucra seriamente el incumplimiento de normas reglamentarias. Si tales incumplimientos son graves corresponde un 10	9-10

1.3.4.2. Índice de frecuencia (F)

Es el índice de frecuencia hace referencia a la periodicidad con la que llega a ocurrir el fallo.

Tabla 4. Clasificación de la frecuencia/ probabilidad de ocurrencia del modo de fallo [16].

FRECUENCIA	CRITERIO	VALOR
Muy Baja Improbable	Ningún fallo se asocia a procesos casi idénticos, ni se ha dado nunca en el pasado, pero es concebible.	1
Baja	Fallos aislados en procesos similares o casi idénticos. Es razonablemente esperable en la vida del sistema, aunque es poco probable que suceda.	2-3
Moderada	Defecto aparecido ocasionalmente en procesos similares o previos al actual. Probablemente aparecerá algunas veces en la vida del componente/sistema.	4-5
Alta	El fallo se ha presentado con cierta frecuencia en el pasado en procesos similares o previos procesos que han fallado.	6-8
Muy Alta	Fallo casi inevitable. Es seguro que el fallo se producirá frecuentemente.	9-10

1.3.4.3. Índice de detección (D)

En este índice se indica la facilidad de detección, es decir si el fallo se puede detectar a tiempo o se presentan inconvenientes [16].

Tabla 5. Clasificación de la facilidad de detección del modo de fallo [16].

DETECTABILIDAD	CRITERIO	VALOR
Muy Alta	El defecto es obvio. Resulta muy improbable que no sea detectado por los controles existentes	1
Alta	El defecto, aunque es obvio y fácilmente detectable, podría en alguna ocasión escapar a un primer control, aunque sería detectado con toda seguridad a posteriori.	2-3
Mediana	El defecto es detectable y posiblemente no llegue al cliente . Posiblemente se detecte en los últimos estadios de producción	4-6
Pequeña	El defecto es de tal naturaleza que resulta difícil detectarlo con los procedimientos establecidos hasta el momento.	7-8
Improbable	El defecto no puede detectarse. Casi seguro que lo percibirá el cliente final	9-10

1.3.4.4. Índice de prioridad de riesgo IPR

Dentro del desarrollo del AMEF se determina el NPR (Número de prioridad de riesgo), el cual se da por la multiplicación por tres índices de probabilidad, los cuales son la gravedad o severidad, el nivel de ocurrencia y por la facilidad de detección, como se muestra en la siguiente expresión [17]:

$$\text{NPR} = \text{Gravedad} \times \text{Ocurrencia} \times \text{Detección}$$

Las características de análisis del NPR (Número de Prioridad de Riesgo) se enuncian en la Tabla 2.4.

Tabla 6. Clasificación de la facilidad de detección del modo de fallo [17].

NPR > 200	Inaceptable (I)
200 > NPR > 125	Reducción deseable (R)
NPR < 125	Aceptable (A)

1.3.5. El análisis de modo de fallo, sus efectos y criticidad

La condición criticidad de un equipo se puede determinar mediante el uso de una matriz de frecuencia por consecuencia de la falla. En un eje se representa la frecuencia de las fallas y los impactos en que ocurrirá la unidad de estudio en el caso de ocurrir una falla. Dicha matriz posee un código de colores que permite identificar el grado de riesgo relacionado con el valor de criticidad de la instalación o unidad bajo análisis. [18]

Tabla 7. Código de color utilizado para definir el grado de criticidad. [18].

Criticidad baja	Color verde
Criticidad media	Color amarillo
Criticidad alta	Color rojo

Para determinar qué tan crítico es cada uno de los equipos se establece los siguientes criterios:

- Impacto operacional (IO)
- Costo de reparación (CR)
- Equipo de respaldo (ER)
- Tiempo promedio para reparar (TPPR)
- Índice de seguridad (IS)
- Índice ambiental (IA)
- Frecuencia de ocurrencia (FO)

Tabla 8. Aspectos que deben considerarse para fijar la criticidad de los equipos.

[18]

IO: Impacto Operacional	
No afecta	0,75
Afecta a un 25%	1,5
Afecta a un 50%	2,5
Afecta a un 75%	3

CR: Costo de la reparación	
Menos de 500	0,25
Entre 500 y 3000 USD	0,5
Entre 3000 y 8000 USD	0,75
Mayor de 8000 USD	1

ER: Equipo de respaldo	
Equipo de respaldo disponible	0,25
Sistema de respaldo compartido	1,5
Sin equipo de respaldo	2

TPPR: Tiempo promedio para reparar	
Menos de una hora	0,25
Entre 1 y 5 horas	0,5
Entre 5 y 20 horas	0,75
Mas de 20 horas	1

IS: índice de seguridad	
No hay efecto sobre el personal o las instalaciones	0,25
Heridas leves	0,5
Heridas graves	0,75
Muerte	1

IA: Índice Ambiental	
No hay impacto ambiental	0
Poco daño al ambiente o a terceros	1
Puede ser percibido y se considera afectación ambiental	1,5
Daño ambiental causa sanción	2

FO: Ocurrencia	
No hay registro	1
Una vez en tres años	5
Una vez cada año	6
Dos veces cada año	7
Tres veces cada año	8
Cuatro veces cada año	9
Cinco veces o mas	10

RIESGO= Gravedad X Ocurrencia

$$G=EO+CR+IS+IA$$

$$EO=IO*ER*TPPR$$

1.3.6. Confiabilidad

La medida de la confiabilidad de un equipo es la frecuencia con la cual ocurren las fallas en el tiempo. Si no hay fallas, el equipo es 100% confiable; si la frecuencia de fallas es muy baja, la confiabilidad del equipo es aún aceptable, pero si es muy alta, el equipo es poco confiable. Un equipo con un muy buen diseño, con excelente montaje, con adecuadas pruebas de trabajo en campo y con un apropiado mantenimiento nunca debe fallar (en teoría); sin embargo, la experiencia demuestra que incluso los equipos con mejores diseños, montajes y mantenimientos fallan alguna vez [19].

La confiabilidad está estrechamente relacionada con la calidad de un producto y es con frecuencia considerada un componente de ella. La calidad se define cualitativamente como la cantidad de satisfacción en cuanto a los requerimientos de los usuarios de un producto. La confiabilidad se interesa por cuánto tiempo el producto continúa en funcionamiento después de entrar en operación. Una baja calidad del producto implica disminución de su confiabilidad, de la misma manera que una calidad alta implica confiabilidad elevada [19].

1.3.6.1. Alcances del RCM

El alcance del Mantenimiento Centrado en la confiabilidad es el de mejora continua de forma sistémica mediante avanzadas técnicas de diagnóstico y modernas metodológicas de análisis para optimizar la gestión, planeación, ejecución y control de la producción [9].

Está basado en el análisis de la condición y el análisis de estadísticos, orientados a mantener en alto la disponibilidad y confiabilidad, con activa participación del personal y organización cuyo fin es el de cambiar las actividades reactivas y

correctivas programadas, que dependan de diagnósticos objetivos de la situación actual y del historial del equipo [9].

El grupo de trabajo deben tener clara las metas indicadas por la empresa y la forma de implementar esta metodología. Cualquiera de los integrantes del grupo debe ser capaz, en un determinado elemento, subsistema o sistema de su planta, de establecer un proceso lógico de la implementación del RCM [13].

Actualmente se puede decir que los alcances específicos que se desglosan del alcance principal del RCM son 2: operacional y organizacional [13].

1.3.6.1. Alcance operacional

La confiabilidad en el mantenimiento se entiende como la probabilidad de que un sistema, sobreviva sin fallas durante un periodo de tiempo, bajo unas condiciones de operación específicas. Sin embargo, la definición no demuestra todos los alcances que conlleva. Algunas metas buscan que todas las actividades de producción y en general todas las tareas se desarrollen bien desde la primera vez y por siempre, con tendencia al mejoramiento, esto implica un cambio de mentalidad del personal dando paso al alcance organizacional [9].

1.3. Alcance organizacional

La confiabilidad del talento humano se define como la probabilidad de desempeño eficiente y eficaz, de las personas, dentro de un contexto organizacional específico durante su competencia laboral. el sistema de confiabilidad humana incluye varios elementos de proyección personal que permiten optimizar los conocimientos, competencias y habilidades de los miembros de la organización con la finalidad de general capital intelectual [9].

1.3.7. Indicadores de gestión de mantenimiento

Los indicadores de gestión de mantenimiento son indicadores técnicos de control que están relacionados con localidad de la gestión o con la productividad del departamento, que permite ver el comportamiento y el rendimiento operacional de las instalaciones,

sistemas y equipos, y además mide la calidad de los trabajos y el grado de cumplimiento de los planes de mantenimiento” [20].

Los indicadores de gestión de categoría mundial más utilizados son:

- a) La confiabilidad (C)
- b) Disponibilidad (D)
- c) Mantenibilidad (M)
- d) Tiempo promedio en fallos (MTBF)
- e) Tiempo promedio operativo ((MTTF)
- f) Tiempo promedio para reparar (MTTR)

1.3.7.1. Disponibilidad

Probabilidad de que, en cualquier instante dado, el equipo esté operando satisfactoriamente o esté listo para operar satisfactoriamente.

El factor de disponibilidad de un equipo o sistema es una medida que indica el tiempo está funcionando ese equipo o sistema operativo respecto de la duración total durante el periodo en el que se desea que funcione. Generalmente se expresa en porcentaje [21].

La disponibilidad es un término probabilístico exclusivo de los “equipos reparables” que se define como la probabilidad de que el equipo esté operando (es decir que no esté en reparación) a un tiempo “t”. Para estimar la disponibilidad se requiere estimar la “tasa de falla $\lambda(t)$ ” y la “tasa de reparación $\mu(t)$ ”; es decir, se requiere analizar estadísticamente los tiempos para la falla, y los tiempos en reparación. Para un periodo de tiempo “t” [22].

1.3.7.2. Tiempo Medio En Fallos (MTBF)

El tiempo medio entre fallos es la medida ponderada que se aplica a máquinas que admiten reparación y cumplen con su función sin interrupción, debido a una falla funcional luego llegan al fin de su vida útil y entonces son sustituidos.

Se calcula, dividiendo, el tiempo total de operación entre el número de paros o fallas funcionales [23]:

$$MTBF = \frac{(\text{Tiempo Total de Funcionamiento})}{(\text{Número de Fallas Funcionales})}$$

1.3.7.3. Tiempo promedio operativo (MTTF)

Se define como el indicador que mide el tiempo promedio que puede operar un equipo a su mayor capacidad sin interrupciones dentro del periodo considerado; este constituye un indicador indirecto de la confiabilidad del equipo o sistema. El tiempo promedio Operativo se calcula de la siguiente manera [24]:

$$\begin{aligned} & \text{MTTF} \\ &= \frac{\sum \text{Tiempo total de operación de un conjunto de ítems no reparables}}{\text{Número total de fallas detectadas en esos ítems, en el periodo observado}} \end{aligned}$$

1.3.7.4. Tiempo Medio De Reparación (MTTR)

Este parámetro indica la efectividad de recuperar la unidad a condiciones óptimas de trabajo una vez que la unidad este fuera de servicio por una falla, en un determinado periodo de tiempo

El tiempo promedio para reparar es un parámetro de medición asociado a la mantenibilidad el tiempo de reparación depende de la naturaleza de la falla y de las mencionadas características de diseño. El tiempo promedio para reparar se calcula de la siguiente manera [24].

$$\begin{aligned} & \text{MTTR} \\ &= \frac{\sum \text{Tiempo total de intervención correctiva en un conjunto de ítems con falla}}{\text{Número total de fallas detectadas en esos ítems, en el periodo observado}} \end{aligned}$$

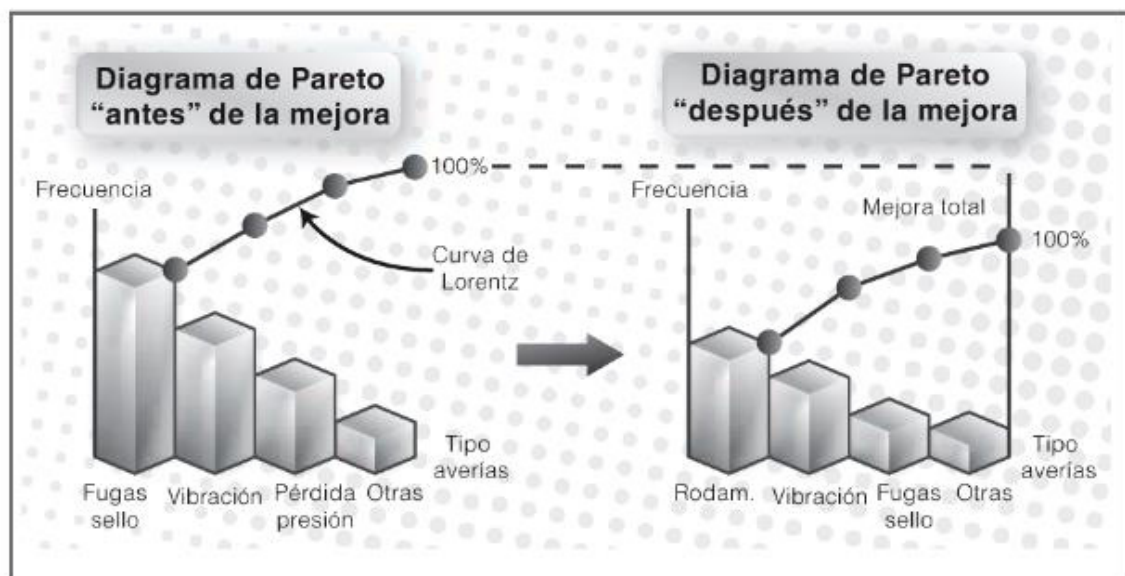
1.3.8. Diagrama de Pareto

Después de observar que pocas causas generan la mayor cantidad de problemas de calidad, Joseph Juran popularizó el principio de Vilfredo Pareto (1848-1923). El

análisis de Pareto separa con claridad los elementos vitales de los triviales. A menudo se usa para revisar los datos recopilados de hojas de verificación. También es posible trazar una curva de frecuencia acumulada en el histograma en el que 20% de las causas ocasionan el 80% de los problemas.

Los diagramas de Pareto ayudan a enfocarse en los problemas específicos aislando con el tiempo los problemas más importantes que se presentan en los generadores de esta central [25].

Figura 2. Diagrama de Pareto [18].



1.3.9. Hoja de decisión del RCM

La hoja de decisión del RCM va dividida en varias columnas detalladas en la Tabla 2, las columnas F, FF, MF identifican a la Función, falla funcional y modo de fallo, estas relacionan los datos de la matriz AMFE [14].

Tabla 9. Hoja de decisión del RCM [14].

HOJA DE DECISIÓN RCM			Sistema:						Facilitador:				Fecha		Hoja N°
			Subsistema:						Auditor:				Fecha		de
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Acción a falta de				Intervalo o inicial	A realizarse por
F	FF	FM	H	S	E	O	O1	O2	O3	H4	H5	S4			
							N1	N2	N3						

1.3.10. Plan de mantenimiento

En el plan de mantenimiento se gestionarán tareas de mantenimiento enfocadas a: recuperar las prestaciones perdidas por el desgaste de los equipos, evitar el conjunto de averías críticas y significativas para la producción o costes mediante mantenimiento preventivo y por último al desarrollo de actividades de predicción que permitan conocer el comportamiento de la instalación. [10].

Existen tres formas aceptadas casi universalmente para determinar dichas tareas. En orden de complejidad dichas formas son:

- Basarse en las instrucciones del fabricante
- Basarse en protocolos genéricos de mantenimiento para equipos similares
- Basarse en análisis de fallos potenciales y criterios de confiabilidad (RCM)

1.4. Objetivos

1.4.1. General

- Desarrollar un Plan de Mantenimiento de las máquinas hidráulicas de generación eléctrica tipo Francis mediante la metodología RCM, Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, para garantizar la disponibilidad de los equipos de la Central “Península” de la Empresa Eléctrica Ambato S.A.

1.4.2. Específicos

- Determinar un inventario técnico de la estructura y partes de los equipos de generación, mediante bitácora de mantenimiento, estableciendo su estado actual y fallos recurrentes.

El inventario técnico se lo elaborará a partir de una revisión teórico-técnica de la estructura y partes de los equipos de generación, mediante recolección de información de la bitácora de mantenimiento, además se procederá a establecer su estado actual y la aplicación del análisis de Pareto permitirá identificar los fallos recurrentes.

- Aplicar la metodología RCM al mantenimiento de los equipos de generación mediante criterios ponderados, la frecuencia de fallo, severidad, tiempo operacional, impacto ambiental y seguridad personal.

Los criterios ponderados se los calculará mediante la recolección de información de la Hidroeléctrica, cuyos resultados nos permitirán evaluar los componentes de los generadores mediante la Matriz AMFE determinando su Índice de prioridad de riesgo y su criticidad al aplicar las 7 preguntas de la metodología RCM.

- Diseñar el plan de mantenimiento basado en el RCM para los componentes de criticidad elevado, de los equipos de la Central Península.

El plan de mantenimiento se elaborará con las tareas propuestas de las hojas de decisión del RCM, y en las gamas de mantenimiento, que gestionarán tareas de mantenimiento enfocadas a recuperar y mantener las prestaciones perdidas por el desgaste de los equipos y al desarrollo de actividades de predicción.

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

El proyecto técnico está sustentado mediante los materiales, recursos empleados y metodología que se detallan en el presente capítulo.

2.1. Recursos

2.1.1. Recursos ofimáticos

Paquete Office

Microsoft Office es un paquete de programas informáticos para oficina desarrollado por Microsoft Corp. Se trata de un conjunto de aplicaciones que realizan tareas ofimáticas, es decir, que permiten automatizar y perfeccionar las actividades habituales de una oficina.

2.1.2. Recursos materiales

Computador

La tecnología es una herramienta que se torna necesaria y obligatoria para la gestión de información y gestión de tiempo con la ayuda de los distintos softwares

Bitácora

El libro de bitácora en la central hidroeléctrica la península se lo llena de forma escrita a mano, detallando cada actividad por el operador de central, describiendo el nombre del operador, potencia de generación, actividades de mantenimiento, y novedades varias en cada turno de trabajo.

Biblioteca

- Biblioteca Virtual
- Repositorio Institucional

2.1.3. Recursos humanos

- Docente tutor: Ing. Jorge López
- Ejecutor del proyecto técnico: Bolívar Marcel Lascano Constante

2.2. Métodos

2.2.1. Investigación Bibliográfica

El estudio se utilizó el método bibliográfico para la descripción de conceptos de funcionamiento, parámetros de mantenimiento, análisis, recomendaciones que permitieron el desarrollo del tema expuesto.

2.2.2. Investigación Descriptiva

El estudio es de tipo descriptivo ya que el proceso de análisis de modos y causas de fallo para el mantenimiento es basado en la metodología de RCM.

2.2. Protocolo para la recolección de datos.

Durante el desarrollo de la presente investigación se realizaron estudios de tipo bibliográfico y descriptivo, los cuales se desarrollaron en la biblioteca de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica y en la Central Hidráulica La Península, se recopiló información de bibliotecas virtuales para obtener datos técnicos de las turbinas y generadores, los mismos que aportan en el buen desarrollo del proyecto.

En el trabajo técnico se obtendrán datos reales de mantenimiento como funciones, modo de fallo, causa de fallo los mismos que se registrará de forma práctica; y se notificará en formatos establecidos a partir del análisis de las siguientes preguntas.

2.3. Plan de procesamiento y análisis

- Revisión y selección adecuada de la información recogida.
- Realizar y analizar las matrices registrando los datos obtenidos.
- Análisis de los resultados.
- Interpretación de los resultados.
- Conclusiones y recomendaciones

CAPITULO III

3.1. Descripción de la central hidroeléctrica

3.1.1. Información de la Central La Península



Figura 3. Casa de máquinas de la central hidroeléctrica “La Península” [Autor].

La central hidroeléctrica La Península se localiza en la provincia del Tungurahua, cantón Ambato en la parroquia La Península, sector Lligua en la ribera del río Ambato, al nororiente de la ciudad, es un proyecto de la EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO S.A., cuyo nombre se debe a su ubicación geográfica [26].

La infraestructura de la Hidroeléctrica se inicia en 1945, la construcción de un azud para una piscina que desvía el cauce del río Ambato, además el canal de conducción, el tanque de presión y los cimientos para la casa de máquinas [27].

La capacidad instalada de la central cuenta con 4 turbinas Francis con una potencia nominal de 3MW, con una caída de 95m y un caudal de 4600 l/s. en la Tabla 7 se detallan las características principales de la Central [Autor].

Tabla 10. Características técnicas de la Central “La Península” [Autor].

Potencia Instalada	3MW
Caída bruta	95m
Longitud de canal de conducción	2530m
Longitud de tubería de presión	210m
Tipo de turbinas	Francis de eje horizontal
Caudal máximo	4800 l/s
Caudal ecológico promedio 2019	2516 l/s

3.1.2. Obras Principales

Bocatoma es conceptualizada por Paguay [28], como la captación de agua desde la orilla del río Ambato en el Sector del Socavón admitiendo el cauce del río mediante un azud de piedra, admitiendo un caudal de $4,5 \text{ m}^3/\text{s}$, con el cual se inicia el proceso de conducción del agua a la piscina de sedimentación de partículas suspendidas y extracción de desechos sólidos y flotantes, así se permite el paso del agua al Canal de conducción.



Figura 4. Bocatoma, piscina de sedimentación, [Autor].

3.1.3. Obra de conducción

La conducción de agua cruza la parroquia de la Península, mediante túneles y canal abierto, atravesando una distancia de 2500m hasta el denominado Tanque de presión.

3.1.4. Tubería de presión

El canal de conducción está conectado con dos tuberías de presión a la salida del túnel, tiene un diámetro de 1.1 m y 1.3m, una longitud total de 210 m, la primera tubería es la encargada de alimentar 3 de las turbinas de potencia nominal 0,5 MW cada una, y la segunda tubería abastece a la turbina de 1,5 MW. [26]

3.1.5. Casa de máquinas

Casa de Maquinas está ubicada en el Sector Lligua a un costado del puente del paso lateral, alberga cuatro maquinas hidráulicas Turbina- Generador, como indica en [26] y [27], estos son, tres con capacidad de 0,5 MW cada uno de marca VOITH y una de capacidad 1,5 MW, sus turbinas son tipo Francis de eje horizontal y sus generadores son de marca General Electric.



Figura 5. Generadores tipo Francis de la central La Península. [Autor]

3.1.6. Turbinas Francis

Las turbinas Francis poseen una carcasa espiral cónica para distribuir el agua uniformemente alrededor de todo el perímetro del corredor y las paletas guía alimentan el agua al corredor en el lugar correcto ángulo. La turbina Francis están equipada con paletas de guía ajustables que regulan el flujo de agua a medida que ingresa al corredor [1].

Partes de las Turbinas Francis

Las turbinas Francis cuenta con varios componentes, pero aquí solo vamos a mencionar los principales:

Cámara espiral

La cámara espiral tiene como misión el dirigir convenientemente el agua en el distribuidor, de sección circular, aunque también puede ser rectangular; su forma es tal que la velocidad media tiene que ser la misma en cualquier punto del caracol, evitándose así las pérdidas ocasionadas por los cambios bruscos de velocidad. A su vez, el agua no debe penetrar en la cámara espiral con una velocidad demasiado grande, ya que las pérdidas podrían ser excesivas [29].



Figura 6. Carcasa de Caracol, [Autor].

Distribuidor: El distribuidor tiene como misión dirigir proporcionalmente el agua hacia los álabes del rodete, regulando el caudal admitido, y modificando de esta forma la potencia de la turbina, ajustándose en lo posible a las variaciones de carga de la red, No genera energía (como órgano estático que es), pero sí transforma energía de presión en energía cinética [29].



Figura 7. Distribuidor de la máquina de generación [Autor].

Las directrices orientables del distribuidor se accionan mediante un anillo de maniobra que se puede mover mediante un servomotor dependiente del regulador de la turbina.

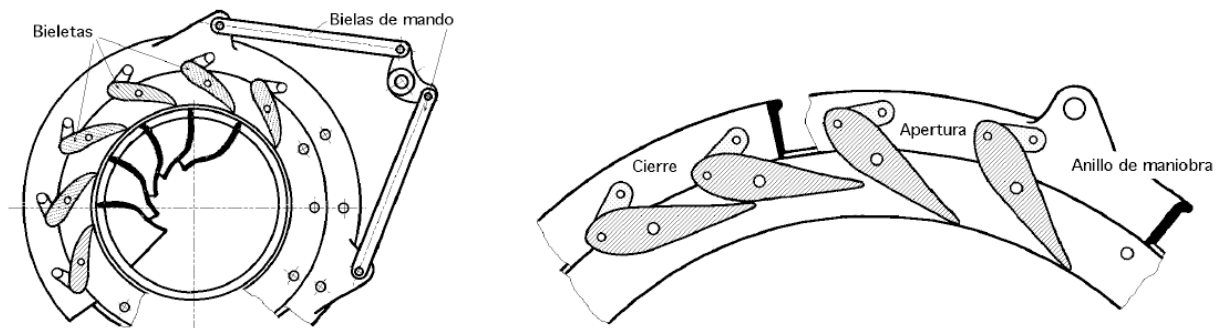


Figura 8. Distribuidor Fick [29].

Rodete: Las turbinas Francis, son de tipo radial, admisión centrípeta y tubo de aspiración; siempre se construyen en condiciones de rendimiento máximo, dando lugar a tres tipos fundamentales, lentas, normales y rápidas, diferenciándose unas de otras en la forma del rodete [29].

Lenta: Usada para saltos de gran altura, alrededor de 200 m o más.

Normal: Empleada en saltos de altura media, entre 200 y 20 m

Rápidas y extrarrápidas: Apropriadas para saltos de pequeña altura, inferiores a 20 m.



Figura 9. Rodete tipo Francis, [Autor].

Tubo de aspiración: El tubo de aspiración es un auténtico transformador de energía, ya que al originar a la salida del rodete una depresión, recupera no sólo la mayor parte de la energía cinética que lleva el agua a la salida, sino que también amplía la altura geométrica del salto en una distancia H_s igual a la existente entre la salida del rodete y el nivel del canal de desagüe aguas abajo; este órgano se conoce también como aspirador-difusor.

- En las turbinas Francis lentas, el papel principal del tubo de aspiración es crear la depresión estática (vacío) correspondiente a la altura de aspiración H_s , por lo que, fundamentalmente, actúa como aspirador.
- En las turbinas Francis rápidas y en las turbinas hélice y Kaplan, esta misión del aspirador disminuye, siendo su principal papel el de actuar como difusor.



Figura 10. Tubo de aspiración en una turbina Francis, [Autor].

3.1.7. Verificación de seguridad

3.1.7.1. Equipos de protección personal

Los Equipos de Protección Personal son las herramientas con las que los operadores cuentan para la prevención de riesgos e incidentes en las diferentes actividades que desempeñan en la central, estas sean operación de generadores y actividades de mantenimiento de la central, previniendo en lo posible incurrir en un factor de riesgo. Es obligación de la empresa contratada de proveer estos servicios entregar a sus operarios los insumos de protección para cada parte del cuerpo y verificar el correcto uso por parte del personal. [30].

3.1.6.2. Medio ambiente

La Central la Península cuenta con una bodega para el destino de lixiviados que fueron utilizados y que son almacenados para su destino final, evitando así propagar fuentes de contaminación al medio [30].

Las aguas del río Ambato son monitoreadas por el departamento de medio ambiente del Gobierno Autónomo Descentralizado de Ambato, mediante el diagnóstico de la calidad de agua del cantón Ambato tiene en cuenta dos ámbitos, las fuentes de agua

para consumo y los cuerpos receptores de descarga. En el que concluyen: En los cinco años de monitoreo, los Sólidos Suspendidos Totales presentan un incremento de la concentración conforme avanza el flujo del río, La concentración de cromo total y hierro en el año 2014 al 2018 en todos los puntos superan el límite permisible de 0,3 mg/l (hierro) y 0,005mg/l (cobre). Por lo cual los operadores deben cuidarse ante el contacto directo con el agua mediante el uso de sus EPP [30].

3.2. Desarrollo del RCM.

3.2.1. Planificación

El plan de mantenimiento se inicia con la obtención de información mediante los documentos de la central en los que se detalla diariamente las actividades realizadas por operación y mantenimiento de la central registrados en libros para cada año.

Se elaborará las fichas técnicas de las turbinas y generadores de la central Península y estado Actual de sus sistemas, mediante la información descrita en la bitácora de actividades se procede con el cálculo de disponibilidad y análisis de Pareto, además esta información es organizada y analizada mediante la Matriz AMFE.

3.2.2. Proceso de revisión basado en RCM.

3.2.2.1. Datos técnicos de la Central “La Península”

Se realizó un inventario describiendo los datos y características técnicas de las unidades de generación de la central, encontradas en las placas de características de los equipos, estos datos permiten establecer las características de cada uno de sus elementos.

Tabla 11. Ficha Técnica de la Unidad 1 [Autor].





HIDROELÉCTRICA LA PENINSULA				
 Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A.				
FICHA DE:	MÁQUINA	X	EQUIPO	SISTEMA
			 	
			CÓDIGO:	TPM-001.08
			Unidad de generación N ° 1	
Turbina				
SERIE:	S163504 Sn-10	TIPO:	S6669/8	
MARCA:	VOITH	VELOCIDAD:	1200RPM	
PROCEDENCIA:	EE.UU.	CAUDAL REQUERIDO	800 L/s	
MODELO:	FRANCIS HORIZONTAL	AÑO DE INSTALACIÓN	1960	
GENERADOR				
MARCA:	GENERAL ELE CTRIC	FRECUENCIA	60Hz	
PROCEDENCIA:	EE.UU.	AMPERAJE	52.3	
POTENCIA	500Kw	VOLTAJE	6900V	
FACTOR POTENCIA	0.8	VELOCIDAD:	1200RPM	
ESTADO ACTUAL				
En funcionamiento				

Tabla 12. Ficha Técnica de la Unidad 2 [Autor].

HIDROELÉCTRICA LA PENINSULA			
 Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A.			
FICHA DE:	MÁQUINA	X	EQUIPO
		 	
		CÓDIGO:	TPM-001.08
		Unidad de generación N ° 2	
Turbina			
SERIE:	No divisible	TIPO:	S6669/8
MARCA:	VOITH	VELOCIDAD:	1200RPM
PROCEDENCIA:	EE.UU.	CAUDAL REQUERIDO	800 L/s
MODELO:	FRANCIS HORIZONTAL	AÑO DE INSTALACIÓN	1960
GENERADOR			
MARCA:	GENERAL ELE CTRIC	FRECUENCIA	60Hz
PROCEDENCIA:	EE.UU.	AMPERAJE	52.3
POTENCIA	500Kw	VOLTAJE	6900V
FACTOR POTENCIA	0.8	VELOCIDAD:	1200RPM
ESTADO ACTUAL			
En funcionamiento			

Tabla 13. Ficha Técnica de la Unidad 3 [Autor].

HIDROELÉCTRICA LA PENINSULA			
 Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A.			
FICHA DE:	MÁQUINA	X	EQUIPO
			
		CÓDIGO:	TPM-001.08
		Unidad de generación N ° 3	
Turbina			
SERIE:	No divisible	TIPO:	S6669/8
MARCA:	VOITH	VELOCIDAD:	1200RPM
PROCEDENCIA:	EE.UU.	CAUDAL REQUERIDO	800 L/s
MODELO:	FRANCIS HORIZONTAL	AÑO DE INSTALACIÓN	1960
GENERADOR			
MARCA:	GENERAL ELE CTRIC	FRECUENCIA	60Hz
PROCEDENCIA:	EE.UU.	AMPERAJE	52.3
POTENCIA	500Kw	VOLTAJE	6900V
FACTOR POTENCIA	0.8	VELOCIDAD:	1200RPM
ESTADO ACTUAL			
En funcionamiento			

Tabla 14. Ficha Técnica de la Unidad 4 [Autor].

HIDROELÉCTRICA LA PENINSULA			
			
FICHA DE:	MÁQUINA	X	EQUIPO
			
		CÓDIGO:	TPM-001.08
Unidad de generación N ° 4			
Turbina			
SERIE:	GEH-709 G	TIPO:	ATB
MARCA:	VOITH	VELOCIDAD:	900/1660 RPM
PROCEDENCIA:	EE.UU.	CAUDAL REQUERIDO	1500-2500 L/s
MODELO:	FRANCIS HORIZONTAL	AÑO DE INSTALACIÓN	1960
GENERADOR			
MARCA:	GENERAL ELE CTRIC	FRECUENCIA	60Hz
PROCEDENCIA:	EE.UU.	AMPERAJE	157 A
POTENCIA	1500KW	VOLTAJE	6900V
FACTOR POTENCIA	0.8	VELOCIDAD:	1200RPM
ESTADO ACTUAL			
En funcionamiento			

3.3. Aplicación de RCM a los equipos de generación Turbina-Generador


3.3.1. Levantamiento de información

Para el desarrollo del plan de mantenimiento se inició con la recolección y levantamiento de información de las bitácoras de actividades existentes en los archivos de la Central.

Posteriormente se procederá a la elaboración de fichas técnicas, Cálculo de disponibilidad, cálculo de frecuencias para ser analizados en la Matriz AMFE y criticidad, que permite determinar los elementos que presentan mayor riesgo.

El mantenimiento de los equipos de generación se aplica mediante criterios ponderados, los datos analizados corresponden a las actividades de mantenimiento desde enero de 2017 a diciembre de 2018.

Tabla 15. Formato de Matriz para recolección de datos, [Autor]

		Elaborado por:		Bolívar Lascano			CENTRAL "LA PENÍNSULA" DESDE 1961				
		Máquina:		Turbina-Generador							
		Sistema:									
		Subsistema:									
Registro de la inspección							Registro de la acción correctiva				
N°	Fecha de detección del fallo	Hora de paro por falla	Identificación equipo inspeccionado	Sistema o componente	Falla y/o Anomalia encontrada	Operador Responsable	Fecha de la acción correctiva	Hora de finalizada la tarea	Acción Correctiva	Responsable	Observaciones
1											
2											
3											

3.3.2. Análisis de disponibilidad

En las tablas 16, 17, 18 y 19 se muestran los datos de disponibilidad obtenidos de las unidades 1, 2, 3, 4 en ese orden de los años 2017 y 2018. De los datos que se pudo obtener de la central los cuales nos permiten saber las actividades de mantenimiento realizados por fallos para los cálculos de IPR en la matriz AMFE.

Estos datos fueron obtenidos mediante recolección de datos en campo, se revisó la bitácora de actividades diarias de la Hidroeléctrica “La Península” y se procedió con tabulación y análisis de tiempos de reparación y frecuencias.

Tabla 16. Cálculo de disponibilidad de la unidad N ° 1, [Autor].

Grupo 1			DIAS LABORABLES	HORA DE TRABAJO DIARIA	TIEMPO DE OPERACIÓN	TIEMPO DE REPARACIÓN	NÚMERO DE ACTIVIDADES EN EL MES n	TIEMPO MEDIO ENTRE FALLA	TASA DE FALLAS	TIEMPO MEDIO DE REPARACIÓN	TASA DE REPARACIÓN	DISPONIBILIDAD (D%)
N	Fecha	Actividad										
Enero	9/1/2017	Mantenimiento interno del grupo	9	24	216	2	1	216	0,005	2,000	0,500	99,083
Febrero	4/2/2017	Comprobar nivel de aceite en el sistema de lubricación.	26	24	624	2	1	624	0,002	2,000	0,500	99,681
Marzo	7/3/2017	Comprobar nivel de aceite en el sistema de lubricación.	31	24	744	1	3	336	0,003	18,000	0,056	94,915
	16/3/2017	Mantenimiento de chumacera	9	24	216	5						
	18/3/2017	Mantenimiento interno del grupo	2	24	48	48						
Abril	4/4/2017	Comprobar nivel de aceite en el sistema de lubricación.	17	24	408	3	3	248	0,004	18,000	0,056	93,233
	10/4/2017	Mantenimiento interno del grupo	6	24	144	43						
	18/4/2017	Cambio de aceite lubricante y limpieza de filtros	8	24	192	8						
Mayo	2/5/2017	Revisión de carbones y anillos	14	23	322	12	2	219	0,005	10,000	0,100	95,624
	7/5/2017	Revisión o cambio de banda	5	23	115	8						
Junio	1/6/2017	Comprobar nivel de aceite en el sistema de lubricación.	25	24	600	8	1	600	0,002	8,000	0	98,684
Julio	7/7/2017	Revisión o cambio de banda	36	23	828	8	1	828	0,001	8,000	0,125	99,043
Agosto	9/8/2017	Revisión o cambio de banda	33	24	792	1	1	792	0,001	1,000	1,000	99,874
Septiembre	1/9/2017	Mantenimiento de chumacera	23	24	552	1	1	552	0,002	0,500	2,000	99,910
Octubre	26/10/2017	Mantenimiento interno del grupo	55	24	1320	1	1	1320	0,001	1,000	1,000	99,924
Noviembre	8/11/2017	Mantenimiento interno del grupo	13	24	312	1	2	384	0,000	1,000	1,000	99,740
	27/11/2017	Mantenimiento interno del grupo	19	24	456	1						
Diciembre	7/12/2017	Mantenimiento interno del grupo	10	24	240	34	1	240	0,000	34,200	0,029	87,527
Enero	15/1/2018	Mantenimiento interno del grupo	39	24	936	180	2	588	0,002	90,750	0,011	86,630
	25/1/2018	Revisión o cambio de banda	10	24	240	2						
Febrero	1/2/2018	Sin Actividades	7	24	168	0	1	168	0,006	0,000		100,000
Marzo	1/3/2018	Comprobar nivel de aceite en el sistema de lubricación.	28	24	672	0	1	672	0,001	0,100	10,000	99,985

Grupo 1			DIAS LABORABLES	HORA DE TRABAJO DIARIA	TIEMPO DE OPERACIÓN	TIEMPO DE REPARACIÓN	NÚMERO DE ACTIVIDADES EN EL MES n	TIEMPO MEDIO ENTRE FALLA	TASA DE FALLAS	TIEMPO MEDIO DE REPARACIÓN	TASA DE REPARACIÓN	DISPONIBILIDAD (D%)
N	Fecha	Actividad										
Abril	3/4/2018	Mantenimiento de chumacera	33	24	792	1	1	792	0,001	1,000	1,000	99,874
Mayo	4/5/2018	Mantenimiento interno del grupo	31	24	744	284	1	744	0,001	284,000	0,004	72,374
Junio	5/6/2018	Revisión eléctrica	32	24	768	50	1	768	0,001	50,000	0,020	93,888
Julio	7/7/2018	Revisión o cambio de banda	32	24	768	3	1	768	0,001	3,000	0,333	99,611
Agosto	5/8/2018	Revisión o cambio de banda	29	24	696	2	2	348	0,003	8,500	0,118	97,616
	25/8/2018	Cambio de codo	20	25	500	15						
Septiembre	11/9/2018	Cambio de aceite lubricante y limpieza de filtros	17	24	408	5	1	408	0,002	5,000	0,200	98,789
Octubre	26/10/2018	Engrase de partes móviles	62	23	1426	5	1	1426	0,001	5,000	0,200	99,651
Noviembre	26/10/2018	Mantenimiento de chumacera	62	23	1426	5	1	1426	0,001	5,000	0,200	99,651
Diciembre	27/10/2018	Mantenimiento interno del grupo	46	24	1104	66	1	1104	0,001	66,000	0,015	94,359
								15570,500		622,050		96,236

Tabla 17. Cálculo de disponibilidad del grupo de unidad N ° 2, [Autor].

Grupo 2				DÍAS LABORABLES	HORA DE TRABAJO DIARIA	TIEMPO DE OPERACIÓN	TIEMPO DE REPARACIÓN	NÚMERO DE ACTIVIDADES EN EL MES n	TIEMPO MEDIO ENTRE FALLA	TASA DE FALLAS	TIEMPO MEDIO DE REPARACIÓN	TASA DE REPARACIÓN	DISPONIBILIDAD (D%)
Mes	Fecha	Actividad	Grupo										
Enero	23/1/2017	Cambio de banda	G2	23	24	552	1	1	552	0,002	1	2,000	99,910
Febrero	3/2/2017	Comprobar nivel de aceite en el sistema de lubricación.	G2	11	24	264	1	3	280	0,004	0,8	1,200	99,703
	13/2/2017	Cambio de banda	G2	10	24	240	1						
	27/2/2017	Comprobar nivel de aceite en el sistema de lubricación.	G2	14	24	336	1						
Marzo	18/3/2017	Mantenimiento interno del grupo	G2	19	24	456	36	2	228	0,004	18	0,056	92,683
	24/3/2017	Comprobar nivel de aceite en el sistema de lubricación.	G2	6	24	144	1						
Abril	10/4/2017	Mantenimiento interno del grupo	G3	17	24	408	16	3	152	0,007	9,000	0,111	94,410
	11/4/2017	Revisión de carbones y anillos	G2	1	24	24	7						
	12/4/2017	Comprobar nivel de aceite en el sistema de lubricación.	G2	1	24	24	4						
Mayo	17/5/2017	Mantenimiento de chumacera	G2	35	24	840	90	4	459	0,002	64,000	0,016	87,763
	18/5/2017	Mantenimiento de la válvula de ingreso	G1	36	23	828	120						
	21/5/2017	Mantenimiento de la válvula de ingreso	G2	4	24	96	30						
	24/5/2017	Mantenimiento de la válvula de ingreso	G2	3	24	72	16						
Junio	14/6/2017	Mantenimiento de bomba	G2	21	24	504	6	3	280	0,004	5,667	0,176	98,016
	22/6/2017	Cambio de banda	G2	8	24	192	3						
	28/6/2017	Revisión de carbones y anillos	G2	6	24	144	8						
Julio	18/7/2017	Mantenimiento interno del grupo	G2	20	24	480	29	2	336	0,003	15,500	0,065	95,590
	26/7/2017	Comprobar nivel de aceite en el sistema de lubricación.	G1	8	24	192	2						

Grupo 2				DÍAS LABORABLES	HORA DE TRABAJO DIARIA	TIEMPO DE OPERACIÓN	TIEMPO DE REPARACIÓN	NÚMERO DE ACTIVIDADES EN EL MES n	TIEMPO MEDIO ENTRE FALLA	TASA DE FALLAS	TIEMPO MEDIO DE REPARACIÓN	TASA DE REPARACIÓN	DISPONIBILIDAD (D%)
Mes	Fecha	Actividad	Grupo										
Agosto	15/8/2017	Sin actividades	G1	20	24	480	0	1	480	0,002	0,0		100,000
Septiembre	17/9/2017	Sin actividades	G2	33	24	792	0	1	792	0,001	0,000		100,000
Octubre	3/10/2017	Cambio de aceite lubricante y limpieza de filtros	G2	16	24	384	1	2	276	0,004	1,000	1,000	99,639
	10/10/2017	Mantenimiento interno del grupo	G2	7	24	168	1						
Noviembre	8/11/2017	Mantenimiento interno del grupo	G2	29	24	696	1	1	696	0,001	1,000	1,000	99,857
Diciembre	17/12/2017	Mantenimiento interno del grupo	G1	39	24	936	130	1	936	0,001	130,000	0,008	87,805
Enero	5/1/2018	Mantenimiento de la válvula de ingreso	G2	19	24	456	24	3	240	0,004	46,667	0,021	83,721
	9/1/2018	Mantenimiento de la válvula de ingreso	G2	4	24	96	46						
	16/1/2018	Mantenimiento de la válvula de ingreso	G2	7	24	168	70						
Febrero	10/2/2018	Comprobar nivel de aceite en el sistema de lubricación.	G1	25	24	600	1	1	600	0,002	0,500	2,000	99,917
Marzo	15/3/2018	Comprobar nivel de aceite en el sistema de lubricación.	G1	33	24	792	1	1	792	0,001	0,500	2,000	99,937
Abril	3/4/2018	Cambio de cableado de la excitatriz	G2	19	24	456	8	2	516	0,002	5,000	0,200	99,040
	27/4/2018	Cambio de banda	G2	24	24	576	2						
Mayo	3/5/2018	Mantenimiento interno del grupo	G1	6	24	144	57	1	144	0,007	57,000	0,018	71,642
Junio	5/6/2018	Mantenimiento interno del grupo	G2	33	24	792	52	1	792	0,001	52,000	0,019	93,839
Julio	7/7/2018	Cambio de banda	G2	32	24	768	1	2	420	0,002	3,500	0,286	99,174
	10/7/2018	Mantenimiento interno del grupo	G2	3	24	72	6						
Agosto	2/8/2018	Cambio de banda	G2	23	24	552	8	1	552	0,002	8,000	0,125	98,571
Septiembre	10/9/2018	Comprobar nivel de aceite en el sistema de lubricación.	G1	39	24	936	4	1	936	0,001	4,000	0,250	99,574

Grupo 2				DIAS LABORABLES	HORA DE TRABAJO DIARIA	TIEMPO DE OPERACIÓN	TIEMPO DE REPARACIÓN	NÚMERO DE ACTIVIDADES EN EL MES n	TIEMPO MEDIO ENTRE FALLA	TASA DE FALLAS	TIEMPO MEDIO DE REPARACIÓN	TASA DE REPARACIÓN	DISPONIBILIDAD (D%)
Mes	Fecha	Actividad	Grupo										
Octubre	27/10/2018	Engrase de partes móviles	G2	109	24	2616	1	1	2616	0,000	1,000	1,000	99,962
Noviembre	27/10/2018	Sin actividades	G3	86	24	2064	0	1	2064	0,000	0,000		100,000
Diciembre	30/10/2018	Engrase de partes móviles	G2	50	24	1200	1	1	1200	0,001	1,000	1,000	99,917
									16339,000		424,667		95,861

Tabla 18. Cálculo de disponibilidad de la unidad N ° 3, [Autor].

Grupo 3				DIAS LABORABLES	HORA DE TRABAJO DIARIA	TIEMPO DE OPERACIÓN	TIEMPO DE REPARACIÓN	NÚMERO DE ACTIVIDADES EN EL MES n	TIEMPO MEDIO ENTRE FALLA	TASA DE FALLAS	TIEMPO MEDIO DE REPARACIÓN	TASA DE REPARACIÓN	DISPONIBILIDAD (D%)
N	Fecha	Actividad	Tiempo										
Enero	22/1/2017	Comprobar nivel de aceite en el sistema de lubricación.	G3	22	24	528	2	1	528,000	0,002	2,000	0,500	99,623
Febrero	2/2/2017	Mantenimiento interno del grupo	G3	11	24	264	5	4	216,000	0,005	1,875	0,533	99,139
	4/2/2017	Comprobar nivel de aceite en el sistema de lubricación.	G3	2	24	48	0,5						
	25/2/2017	Revisión de carbones y anillos	G3	21	24	504	1						
	27/2/2017	Comprobar nivel de aceite en el sistema de lubricación.	G3	2	24	48	1						
Marzo	1/3/2017	Cambio de banda	G3	2	24	48	1	4	138,000	0,007	7,500	0,133	94,845
	4/3/2017	Limpieza del generador	G3	3	24	72	1						
	14/3/2017	Mantenimiento de la válvula de ingreso	G3	10	24	240	20						
	22/3/2017	Comprobar nivel de aceite en el sistema de lubricación.	G3	8	24	192	8						
Abril	12/4/2017	Mantenimiento interno del grupo	G3	21	24	504	34	1	504,000	0,002	34,000	0,029	93,680
Mayo	25/5/2017	Mantenimiento de la válvula de ingreso	G3	43	24	1032	48	2	516,000	0,002	24,000	0,042	95,556
Junio	3/6/2017	Comprobar nivel de aceite en el sistema de lubricación.	G3	9	24	216	3	1	216,000	0,005	3,000	0,333	98,630
Julio	1/7/2017	Comprobar nivel de aceite en el sistema de lubricación.	G3	28	24	672	4	1	672,000	0,001	4,000	0,250	99,408
Agosto	17/8/2017	Comprobar nivel de aceite en el sistema de lubricación.	G3	47	24	1128	0,5	1	1128,000	0,001	0,500	2,000	99,956
Septiembre	7/9/2017	Mantenimiento de la válvula de ingreso	G3	21	24	504	4	1	504,000	0,002	4,000	0,250	99,213
Octubre	2/10/2017	Comprobar nivel de aceite en el sistema de lubricación.	G3	25	24	600	0,5	1	600,000	0,002	0,500	2,000	99,917
Noviembre	25/11/2017	Comprobar nivel de aceite en el sistema de lubricación.	G3	54	24	1296	0,5	1	1296,000	0,001	0,500	2,000	99,961
Diciembre	1/12/2017	Mantenimiento interno del grupo	G4	6	24	144	20	1	144,000	0,007	20,000	0,050	87,805
Enero	2/1/2018	Mantenimiento interno del grupo	G3	32	24	768	140	1	768,000	0,001	140,000	0,007	84,581
Febrero	1/2/2018	Limpieza del generador	G3	30	24	720	1	1	720,000	0,001	1,000	1,000	99,861
Marzo	18/3/2018	Mantenimiento interno del grupo	G3	45	24	1080	2	1	1080,000	0,001	2,000	0,500	99,815
Abril	3/4/2018	Cambio de banda	G3	16	24	384	1	1	384,000	0,003	1,000	1,000	99,740
Mayo	7/5/2018	Mantenimiento interno del grupo	G3	34	24	816	292	1	816,000	0,001	292,000	0,003	73,646

Grupo 3													
N	Fecha	Actividad	Tiempo	DIAS LABORABLES	HORA DE TRABAJO DIARIA	TIEMPO DE OPERACIÓN	TIEMPO DE REPARACIÓN	NÚMERO DE ACTIVIDADES EN EL MES n	TIEMPO MEDIO ENTRE FALLA	TASA DE FALLAS	TIEMPO MEDIO DE REPARACIÓN	TASA DE REPARACIÓN	DISPONIBILIDAD (D%)
Junio	25/6/2018	Revisión de carbones y anillos	G3	49	24	1176	24	2	588,000	0,002	12,000	0,083	98,000
Julio	10/7/2018	Cambio de banda	G3	15	24	360	1	1	360,000	0,003	1,000	1,000	99,723
Agosto	25/8/2018	Cambio de codo	G3	46	24	1104	24	1	1104,000	0,001	24,000	0,042	97,872
Septiembre	1/9/2018	Comprobar nivel de aceite en el sistema de lubricación.	G3	7	24	168	3	1	168,000	0,006	3,000	0,333	98,246
Octubre	27/10/2018	Engrase de partes móviles	G3	56	24	1344	3	2	672,000	0,001	1,500	0,667	99,777
Noviembre	28/11/2018	Cambio de banda	G4	32	25	800	8	2	400,000	0,003	4,000	0,250	99,010
Diciembre	29/12/2018	Mantenimiento interno del grupo	G5	31	26	806	14	2	403,000	0,002	7,000	0,143	98,293
									13522,000		583,375		96,435

Tabla 19. Cálculo de disponibilidad de la unidad N ° 4, [Autor].

Grupo 4				DIAS LABORABLES	HORA DE TRABAJO DIARIA	TIEMPO DE OPERACIÓN	TIEMPO DE REPARACIÓN	NÚMERO DE ACTIVIDADES EN EL MES n	TIEMPO MEDIO ENTRE FALLA	TASA DE FALLAS	TIEMPO MEDIO DE REPARACIÓN	TASA DE REPARACIÓN	DISPONIBILIDAD (D%)
N	Fecha	Actividad	Tiempo										
Enero	5/1/2017	Limpieza exterior	G4	5	24	120	0	1	120	0,008	0,000		100,000
Febrero	8/2/2017	Limpieza exterior	G4	5	24	120	0	1	120	0,000	0,000		100,000
Marzo	1/3/2017	Revisión de carbones y anillos	G4	5	24	120	4	6	92	0,000	7,333	0,136	92,617
	2/3/2017	Mantenimiento interno del grupo	G4	1	24	24	8						
	4/3/2017	Mantenimiento interno del grupo	G4	2	24	48	8						
	13/3/2017	Mantenimiento interno del grupo	G4	9	24	216	8						
	18/3/2017	Mantenimiento de la válvula de ingreso	G4	5	24	120	8						
	19/3/2017	Alineamiento del grupo	G4	1	24	24	8						
	Mantenimiento interno del grupo												
Abril	10/4/2017	Mantenimiento interno del grupo	G4	22	24	528	30	4	132	0,008	7,500	0,133	94,624
	17/4/2017	Mantenimiento de la válvula de ingreso	G5	42842	24	1028208	8						
	22/4/2017	Mantenimiento de la válvula de ingreso	G6	12	24	288	8						
	29/4/2017	Comprobar nivel de aceite en el sistema de lubricación.	G4	12	24	288	3						
Mayo	26/5/2017	Mantenimiento interno del grupo	G4	39	24	936	144	1	936	0,001	144,000	0,007	86,667
Junio	28/6/2017	Cambio de banda	G4	33	24	792	3	2	396	0,003	1,500	0,667	99,623
Julio	21/7/2017	Comprobar nivel de aceite en el sistema de lubricación.	G4	23	24	552	3	1	552	0,002	3,000	0,333	99,459
Agosto	15/8/2017	Comprobar nivel de aceite en el sistema de lubricación.	G4	25	24	600	0	1	600	0,002	0,000		100,000
Septiembre	18/9/2017	Mantenimiento interno del grupo	G4	34	24	816	0	1	816	0,001	0,000		100,000
Octubre	5/10/2017	Mantenimiento interno del grupo	G4	17	4	68	0	1	68	0,015	0,000		100,000
Noviembre	24/11/2017	Comprobar nivel de aceite en el sistema de lubricación.	G4	50	24	1200	0,5	1	1200	0,001	0,500	2,000	99,958
Diciembre	1/12/2017	Cambio de aceite lubricante y limpieza de filtros	G4	7	23	161	8	1	161	0,006	8,000	0,125	95,266
Enero	2/1/2018	Mantenimiento interno del grupo	G4	32	24	768	160	4	192	0,005	40,000	0,025	82,759
	4/1/2018	Cambio de banda	G4	2	0	0	48						

Grupo 4													
N	Fecha	Actividad	Tiempo	DÍAS LABORABLES	HORA DE TRABAJO DIARIA	TIEMPO DE OPERACIÓN	TIEMPO DE REPARACIÓN	NÚMERO DE ACTIVIDADES EN EL MES n	TIEMPO MEDIO ENTRE FALLA	TASA DE FALLAS	TIEMPO MEDIO DE REPARACIÓN	TASA DE REPARACIÓN	DISPONIBILIDAD (D%)
	10/1/2018	Mantenimiento de la válvula de ingreso	G4	6	24	144	48						
	17/1/2018	Mantenimiento de la válvula de ingreso	G4	7	24	168	8						
Febrero	8/2/2018	Comprobar nivel de aceite en el sistema de lubricación.	G4	22	24	528	0,5	1	528	0,002	0,500	2,000	99,905
Marzo	22/3/2018	Cambio de banda	G4	42	24	1008	3	1	1008	0,001	3,000	0,333	99,703
Abril	1/4/2018	Comprobar nivel de aceite en el sistema de lubricación.	G4	10	24	240	2	1	240	0,004	2,000	0,500	99,174
Mayo	1/5/2018	Mantenimiento interno del grupo	G4	30	0	0	190	4	138	0,007	47,500	0,021	74,394
	8/5/2018	Mantenimiento de la válvula de ingreso	G4	7	24	168	60						
	20/5/2018	Comprobar nivel de aceite en el sistema de lubricación.	G4	12	24	288	2						
	24/5/2018	Cambio de banda	G4	4	24	96	2						
Junio	5/6/2018	Mantenimiento interno del grupo	G4	35	23	805	82	3	789,6666667	0,001	30,333	0,033	96,301
	12/6/2018	Comprobar nivel de aceite en el sistema de lubricación.		35	23	805	8						
	22/6/2018	Cambio de banda	G4	33	23	759	1						
Julio	11/7/2018	Mantenimiento de chumacera	G4	19	24	456	1	1	456	0,002	1,000	1,000	99,781
Agosto	1/8/2018	Comprobar nivel de aceite en el sistema de lubricación.	G4	21	24	504	0,5	1	504	0,002	0,500	2,000	99,901
Septiembre	1/9/2018	Mantenimiento de chumacera	G4	31	24	744	0,5	1	744	0,001	0,500	2,000	99,933
Octubre	13/10/2018	Revisión del regulador de velocidad	G4	142	24	3408	20	3	1248	0,001	8,333	0,120	99,337
	24/10/2018	Cambio de banda	G4	11	24	264	2						
	27/10/2018	Engrase de partes móviles	G4	3	24	72	3						
Noviembre	2/11/2018	Revisión de carbones y anillos	G4	6	24	144	8	2	288	0,003	5,500	0,182	98,126
	20/11/2018	Comprobar nivel de aceite en el sistema de lubricación.	G4	18	24	432	3						
Diciembre	13/12/2018	Mantenimiento de chumacera	G4	42	24	1008	28	2	672	0,001	15,500	0,065	97,745
	27/10/2018	Engrase de partes móviles	G4	14	24	336	3						
									12000,66667		326,500		96,470

3.3.3. Actividades de mantenimiento frecuentes

La distribución de frecuencias es una tabla que presentan los datos ordenados de manera que muestra numéricamente las características de distribución de un conjunto de datos de la muestra. Se utiliza para variables cuantitativas o cualitativas ordinales.

Mediante las tablas 21, 22, 23 y 24 se presentan las actividades de mantenimiento recurrentes en cada unidad de generación de la Central hidroeléctrica, por lo cual se presentan los datos obtenidos y utilizados anteriormente en el cálculo de disponibilidad de las unidades.

En las siguientes tablas se calcula las frecuencias, absoluta, acumulada y relativa, las cuales se le añade una columna de ponderación de frecuencia cuyo rango comprende entre 1 y 10 para estimar la frecuencia o probabilidad de ocurrencia del modo de fallo presentada en la Tabla 4.

La frecuencia de ocurrencia de modos de fallo es utilizada de acuerdo con criterios o ponderación por calculo y son utilizadas en el cálculo del índice de prioridad de riesgo de la matriz AMFE y en el cálculo de Criticidad

Se utilizará la siguiente nomenclatura de tallada en la tabla 14.

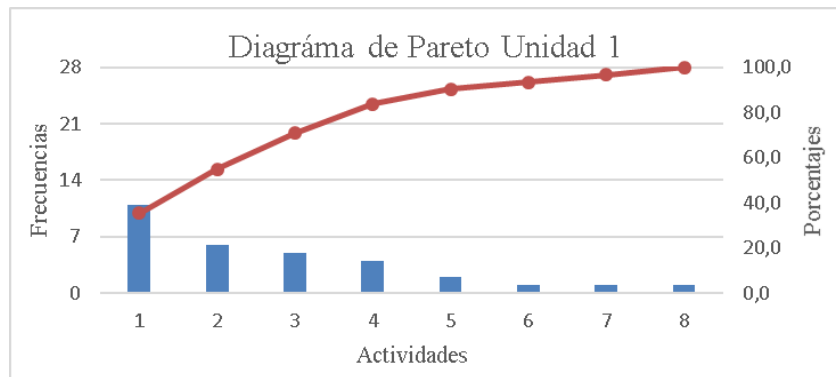
Tabla 20. Nomenclatura para tablas de frecuencia, [Autor].

f	Frecuencia absoluta
F	Frecuencia acumulada
fr	Frecuencia relativa

Tabla 21. Cálculo de frecuencia de actividades de mantenimiento de la unidad N ° 1, [Autor].

Frecuencias unidad 1						
	Actividad	f	F	fr	%	Ponderación
1	Mantenimiento interno del grupo	11	11	0,354839	35,48	10,00
2	Revisión o cambio de banda	6	17	0,193548	19,35	6,00
3	Comprobar nivel de aceite en el sistema de lubricación.	5	22	0,16129	16,13	5,00
4	Mantenimiento de chumacera	4	26	0,129032	12,90	4,00
5	Cambio de aceite lubricante y limpieza de filtros	2	28	0,064516	6,45	2,00
6	Revisión de carbones y anillos	1	29	0,032258	3,23	1,00
7	Revisión eléctrica	1	30	0,032258	3,23	1,00
8	Engrase de partes móviles	1	31	0,032258	3,23	1,00
		31		1	100,00	

Figura 11. Diagrama de Pareto para la unidad N ° 1, [Autor].



Análisis para la unidad N ° 1

En base de los datos obtenidos de la central, mediante el análisis de Pareto el 83,86% de efectos se controlarán enfocándose a las actividades: Mantenimiento interno del grupo,

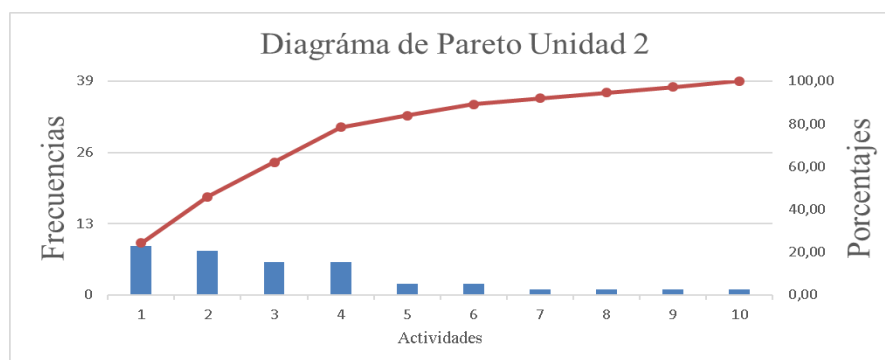
Revisión o cambio de banda, Comprobación de nivel de aceite en el sistema de lubricación, y mantenimiento de chumacera, estas actividades se presentan con recurrencia.

Tabla 22. Cálculo de frecuencia de actividades de mantenimiento de la unidad N ° 2

[Autor].

Frecuencias unidad 2						
	Actividad	f	F	fr	%	Ponderación
1	Mantenimiento interno del grupo	9	9	0,2432	24,32	10,00
2	Comprobar nivel de aceite en el sistema de lubricación.	8	17	0,2162	21,62	9,00
3	Cambio de banda	6	23	0,1622	16,22	7,00
4	Mantenimiento de la válvula de ingreso	6	29	0,1622	16,22	7,00
5	Revisión de carbones y anillos	2	31	0,0541	5,41	3,00
6	Engrase de partes móviles	2	33	0,0541	5,41	3,00
7	Mantenimiento de chumacera	1	34	0,027	2,70	2,00
8	Cambio de aceite lubricante y limpieza de filtros	1	35	0,027	2,70	2,00
9	Cambio de cableado de la excitatriz	1	36	0,027	2,70	2,00
10	Mantenimiento de bomba	1	37	0,027	2,70	2,00
		39		1	100,00	

Figura 12. Diagrama de Pareto para la unidad N ° 2, [Autor].



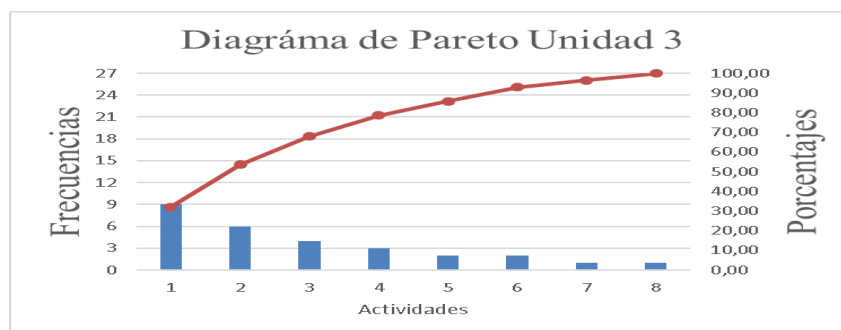
Análisis para la unidad N ° 2

El análisis de frecuencia para la unidad 2 de la central, mediante el análisis de Pareto el 83,78% de efectos se controlarán enfocándose a las actividades: Comprobación de nivel de aceite en el sistema de lubricación, Mantenimiento interno del grupo, Revisión o cambio de banda, y mantenimiento de la válvula de ingreso, estas actividades se presentan con recurrencia

Tabla 23. Cálculo de frecuencia de actividades de mantenimiento de la unidad N ° 3
[Autor].

Frecuencias unidad 3						
	Actividad	f	F	fr	%	Ponderación
1	Comprobar nivel de aceite en el sistema de lubricación.	9	9	0,3214	32,14	10,00
2	Mantenimiento interno del grupo	6	15	0,2143	21,43	7,00
3	Cambio de banda	4	19	0,1429	14,29	5,00
4	Mantenimiento de la válvula de ingreso	3	22	0,1071	10,71	4,00
5	Revisión de carbones y anillos	2	24	0,0714	7,14	3,00
6	Limpieza del generador	2	26	0,0714	7,14	3,00
7	Engrase de partes móviles	1	27	0,0357	3,57	2,00
8	Cambio de codo	1	28	0,0357	3,57	2,00
		27		1	100,00	

Figura 13. Diagrama de Pareto para la unidad 3 [Autor].



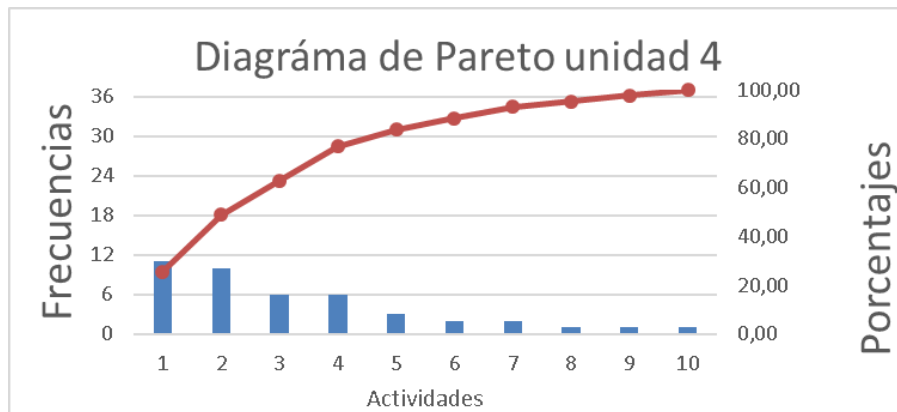
Análisis para la unidad 3

La unidad 3 de la Central presenta que el 78,57% de efectos se controlarán enfocándose a las actividades: Mantenimiento interno del grupo, Comprobación de nivel de aceite en el sistema de lubricación, Revisión o cambio de banda, y Mantenimiento de la válvula de ingreso estas actividades se presentan con recurrencia

Tabla 24. Cálculo de frecuencia de actividades de mantenimiento de la unidad N ° 4
[Autor].

Frecuencias unidad 4						
	x	f	F	fr	%	Ponderación
1	Mantenimiento interno del grupo	11	11	0,2558	25,58	10,00
2	Comprobar nivel de aceite en el sistema de lubricación.	10	21	0,2326	23,26	10,00
3	Cambio de banda	6	27	0,1395	13,95	6,00
4	Mantenimiento de la válvula de ingreso	6	33	0,1395	13,95	6,00
5	Mantenimiento de chumacera	3	36	0,0698	6,98	3,00
6	Revisión de carbones y anillos	2	38	0,0465	4,65	2,00
7	Engrase de partes móviles	2	40	0,0465	4,65	2,00
8	Cambio de aceite lubricante y limpieza de filtros	1	41	0,0233	2,33	1,00
9	Revisión del regulador de velocidad	1	42	0,0233	2,33	1,00
10	Alineamiento del grupo	1	43	0,0233	2,33	1,00
		37		1	100,00	

Figura 14. Diagrama de Pareto para la unidad N ° 4 [Autor].



Análisis para la unidad N ° 4

En base de los datos obtenidos de la central, mediante el análisis de Pareto el 76,74% de efectos se controlarán enfocándose a las actividades: Mantenimiento interno del grupo, Comprobación de nivel de aceite en el sistema de lubricación, Revisión o cambio de banda, y Mantenimiento de la válvula de ingreso, estas actividades se presentan con recurrencia.

Analizadas las frecuencias de las cuatro unidades de generación de la central la Península se muestran similitud en la ocurrencia de modos de fallo y actividades de mantenimiento frecuentes en todas las máquinas para lo cual se detallan a continuación.

Mantenimiento interno del grupo. – Esta actividad en la central establece que se ha realizado la revisión del estado físico de los componentes mecánicos de las turbinas Francis, Rodete, eje, y palas directrices, se establece su estado y se ha realizado el cambio de los elementos desgastados o que han finalizado su vida útil.

Comprobar nivel de aceite en el sistema de lubricación. - El lubricante es esencial para conservar el buen funcionamiento de las unidades y maximizar su disponibilidad, por lo cual esta actividad es de suma importancia para detectar de forma temprana modos de fallo como fugas de líquido lubricante, taponamiento de filtro o taponamiento de cañerías que afectarían en cadena a el estado del sistema de lubricación.

Revisión o cambio de banda. – La banda al estar en tensión y continuo rozamiento es un elemento en frecuente deterioro por el cual este se debe controlar periódicamente y realizar su cambio a tiempo, evitando así paros no programados por falla de esta.

3.3.4. Análisis de modo de fallo y de sus efectos AMFE o FMEA




El desarrollo para la obtención de la prioridad de riesgo en la matriz de modo de fallo y de sus efectos AMFE, se basa en los criterios de valoración detallados en la tabla 3, tabla 4 y tabla 5 (frecuencia, gravedad y detectabilidad), basados en la NTP 679.




Las siguientes tablas se detallan la función, fallo funcional, modo de fallo y efecto de fallo donde se explora a los sistemas de las cuatro unidades de generación de la central divididos en sistemas, analizando cada uno de sus componentes a fin de determinar acciones preventivas.

Tabla 25. Clasificación de la facilidad de detección del modo de fallo [17].

NPR > 200	Inaceptable (I)
200 > NPR >125	Reducción deseable (R)
NPR <125	Aceptable (A)

Tabla 26. Análisis AMFE del sistema de transmisión de la unidad 1, [Autor].

ANÁLISIS AMFE						UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO					
	Elaborado por:	Bolívar Lascano	Revisado por:	Ing. Jorge López		 					
	Máquina:	Turbina-Generador	Aprobado por:	Ing. Jorge López							
	Sistema:	Generador N ° 1	Fecha de elaboración:	15/4/2020							
	Subsistema:	Sistema Transmisión	Fecha de Revisión:	16/6/2020							
	N° Página:	1	De:	3							
COMPONENTE	FUNCIÓN		FALLO FUNCIONAL	MODO DE FALLO	EFECTO DE FALLO	G	F	D	IPR	RECOMENDACIÓN	
Rodete/Turbina	1	Transformar la energía potencial del agua contenida en 93 metros de altura en energía cinética.	A	No se puede revolucionar la unidad para ingresar en paralelo a la red.	1	Desechos en el agua provocan obstrucción en las rejillas del Tanque de presión u obstrucción en los alabes de la turbina.	7	10	4	280	Revisión anual, sin funcionamiento
			B	Número de revoluciones inferior al nominal requerido.	1	Partículas químicas y sólidas en el agua (arena, cromo y cobre) provocan deterioro del material de los alabes de la turbina					
Eje	1	Transmitir el Movimiento de la turbina al volante de inercia.	A	No transmite el movimiento rotacional de la turbina hacia el rotor	1	Fractura o desprendimiento de material del eje que provoca un desacoplamiento de este con el demás elemento de la turbina.	6	10	4	240	Revisión anual, sin funcionamiento

ANÁLISIS AMFE						UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO				
	Elaborado por:	Bolívar Lascano	Revisado por:	Ing. Jorge López		 				
	Máquina:	Turbina-Generador	Aprobado por:	Ing. Jorge López						
	Sistema:	Generador N° 1	Fecha de elaboración:	15/4/2020						
	Subsistema:	Sistema Transmisión	Fecha de Revisión:	16/6/2020						
	N° Página:	1	De:	3						
COMPONENTE	FUNCIÓN		FALLO FUNCIONAL	MODO DE FALLO	EFFECTO DE FALLO	G	F	D	IPR	RECOMENDACIÓN
		B	Deformaciones en la simetría del eje	1	Transmite el movimiento rotacional de manera desbalanceada					
Directrices	1	A	Las palas directrices no permiten regular el caudal y velocidad de la turbina	1	Corrosión a bloqueo el libre movimiento de las palas directrices	4	4	6	96	Revisión anual, sin funcionamiento
Carol		A	Grietas en el caracol no brinda seguridad para la generación eléctrica	1	Partículas químicas, partículas sólidas en el agua y la corrosión han debilitado el espesor del caracol.	10	2	4	80	Revisión anual, sin funcionamiento
Regulador de Carga y Velocidad	1	A	Mal funcionamiento del regulador de carga y potencia	1	Desgaste de engranes	10	2	2	40	Revisión anual, sin funcionamiento







ANÁLISIS AMFE										UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO				
 Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A.		Elaborado por:	Bolívar Lascano	Revisado por:	Ing. Jorge López	 								
		Máquina:	Turbina-Generador	Aprobado por:	Ing. Jorge López									
		Sistema:	Generador N° 1	Fecha de elaboración:	15/4/2020									
		Subsistema:	Sistema Transmisión	Fecha de Revisión:	16/6/2020									
		N° Página:	1	De:	3									
COMPONENTE		FUNCIÓN		FALLO FUNCIONAL		MODO DE FALLO		EFECTO DE FALLO		G	F	D	IPR	RECOMENDACIÓN
Banda	1	Transmitir movimiento entre dos elementos	A	No transmite movimiento entre elementos	1	Rotura por falta de calibración	El operador deberá salir de paralelo de la red con la unidad hasta cambiar o reparar la banda deteriorada	4	3	1	12	Revisión cada 15 días, con funcionamiento		
Válvula	1	Proteger el circuito de altas presiones peligrosas.	A	Mala operación de la válvula	1	Deterioro de elementos internos, mangueras mal acopladas	Disminución de parámetros de funcionamiento, al producirse una falla en la válvula no se puede regular el caudal que ingresa hacia la turbina y puede provocar envalamiento de la turbina.	6	2	2	24	Revisión anual, sin funcionamiento		
Tuercas y pernos de fijación	1	Ajustar las diferentes bridas.	A	Holgura o desacoplamiento entre elementos mecánicos	1	Ajuste inadecuado provoca daños en la rosca de pernos y tuercas	Fuga de líquidos	2	2	2	8	Revisión anual, sin funcionamiento		

Tabla 27. Análisis AMFE del sistema de lubricación de la unidad 1, [Autor].

ANÁLISIS AMFE					UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO				
 <p>Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A.</p>	Elaborado por:	Bolívar Lascano	Revisado por:	Ing. Jorge López	 				
	Máquina:	Turbina-Generador	Aprobado por:	Ing. Jorge López					
	Sistema:	Generador N ° 1	Fecha de elaboración:	15/4/2020					
	Subsistema:	Sistema Lubricación	Fecha de Revisión:	16/6/2020					
	N° Página:	2	De:	3					
COMPONENTE	FUNCIÓN	FALLO FUNCIONAL	MODO DE FALLO	EFECTO DE FALLO	G	F	D	IPR	RECOMENDACIÓN
Bomba interna de Engranés	1 Impulsar el Aceite mediante el movimiento del volante de inercia	A No impulsa el flujo de lubricante	1 Sobrecalentamiento de los cojinetes	Este efecto incrementa la temperatura de los cojinetes. La bomba auxiliar se ha colocado para compensar el flujo de lubricante.	1	3	3	9	Revisión semestral, sin funcionamiento
Bomba auxiliar	1 Compensar el flujo de aceite al sistema	A No impulsa el flujo de lubricante requerido por el sistema	1 Obstrucción de los conductos o cañerías	El lubricante puede reventar una cañería y provocar derrame de lubricante y se corre el riesgo que no se lubriquen los cojinetes.	1	1	3	3	Revisión semestral, con funcionamiento
			2 Cortocircuito en los devanados del motor eléctrico de la bomba	Los cojinetes estarán sin lubricación provocando que se sobrecalienten, pierdan dureza y resistencia, se agrieten y pierdan material					
Cojinete	1 Soportar cargas axiales y radiales del eje.	A Sobrecalentamiento	1 No existe suficiente caudal de lubricante para enfriamiento de magnolias	Las magnolias pierdan dureza y resistencia, se agrieten y pierdan material	3	3	5	45	Revisión semestral, sin funcionamiento
Serpentín	1 Transferencia de calor para enfriamiento del aceite	A Disminución del nivel lubricante en el deposito	1 Fisuras o grietas en el serpentín permitirían fugas de lubricante.	La disminución del lubricante provoca daños en los cojinetes, sobrecalentamiento del eje	6	1	8	48	Revisión anual, sin funcionamiento




ANÁLISIS AMFE					UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO					
 <p>Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A.</p>	Elaborado por:	Bolívar Lascano	Revisado por:	Ing. Jorge López	 					
	Máquina:	Turbina-Generador	Aprobado por:	Ing. Jorge López						
	Sistema:	Generador N ° 1	Fecha de elaboración:	15/4/2020						
	Subsistema:	Sistema Lubricación	Fecha de Revisión:	16/6/2020						
	N° Página:	2	De:	3						
COMPONENTE	FUNCIÓN		FALLO FUNCIONAL	MODO DE FALLO	EFECTO DE FALLO	G	F	D	IPR	RECOMENDACIÓN
					y derrame del lubricante contamina el agua de descarga.					
Filtro de aceite	1	Evitar el paso de impurezas en el sistema de lubricación	A Flujo de aceite obstaculizado	1 Sedimentación de partículas contenidos en el lubricante y partículas de materiales desgastados son retenidas en el filtro	La disminución o obstrucción del flujo de lubricante provoca daños en los cojinetes, sobrecalentamiento del eje y derrame del lubricante contamina el agua de descarga.	6	2	4	48	Revisión cada 15 días, con funcionamiento
Cañerías		Transportar el lubricante por el sistema hasta los cojinetes y su retorno	B Elevada presión en las cañerías	1 Excesiva cantidad de lubricante	El exceso de lubricante puede causar derrames y fugas de aceite	6	1	4	24	

Tabla 28. Análisis AMFE del sistema de eléctrico de la unidad 1, [Autor].










ANÁLISIS AMFE						UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO					
 <p>Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A.</p>	Elaborado por:	Bolívar Lascano	Revisado por:	Ing. Jorge López	 						
	Máquina:	Turbina-Generador	Aprobado por:	Ing. Jorge López							
	Sistema:	Generador N° 1	Fecha de elaboración:	15/4/2020							
	Subsistema:	Sistema Eléctrico	Fecha de Revisión:	16/6/2020							
	N° Página:	3	De:	3							
COMPONENTE		FUNCIÓN	FALLO FUNCIONAL	MODO DE FALLO	EFECTO DE FALLO	G	F	D	IPR	RECOMENDACIÓN	
Rotor y estator	1	Transformar la energía cinética del caudal 800 l/s en energía eléctrica de corriente alterna con una potencia de 500 kW.	A	El generador no entrega potencia a la red	1	Cortocircuito entre los devanados de campo o entre las fases del rotor y estator.	6	2	8	96	Revisión semestral, sin funcionamiento
			B	El generador produce energía eléctrica por debajo de su potencia nominal.	1	Deterioro del aislamiento del bobinado del estator					
Excitatriz	1	Generar el campo de excitación del generador	A	Desgaste o rotura de carbones	1	No genera campo magnético para excitar al generador	8	2	2	32	Revisión mensual, sin funcionamiento
Tablero de control	1	Indicar lecturas de mediciones de Voltaje, Potencia y frecuencia.	A	Sin señal	1	Sensores obsoletos	10	1	2	20	Revisión mensual, sin funcionamiento

Tabla 29. Análisis AMFE del sistema de transmisión de la unidad 2, [Autor].

ANÁLISIS AMFE						UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO						
	Elaborado por:	Bolívar Lascano	Revisado por:	Ing. Jorge López		 						
	Máquina:	Turbina-Generador	Aprobado por:	Ing. Jorge López								
	Sistema:	Generador N° 2	Fecha de elaboración:	15/4/2020								
	Subsistema:	Sistema Transmisión	Fecha de Revisión:	16/6/2020								
	N° Página:	1	De:	3								
COMPONENTE	FUNCIÓN	FALLO FUNCIONAL	MODO DE FALLO	EFECTO DE FALLO	G	F	D	IPR	RECOMENDACIÓN			
Rodete/Turbina	1	Transformar la energía potencial del agua contenida en 93 metros de altura en energía cinética.	A	No se puede revolucionar la unidad para ingresar en paralelo a la red.	1	Desechos en el agua provocan obstrucción en las rejillas del Tanque de presión u obstrucción en los alabes de la turbina.	Pérdida de revoluciones nominales, indicando una señal en las agujas del sincronoscopio. El operador reportará el hecho con el jefe de central y se programará una evaluación de este fallo.	7	10	4	280	Revisión anual, sin funcionamiento
			B	Número de revoluciones inferior al nominal requerido.	1	Partículas químicas y sólidas en el agua (arena, cromo y cobre) provocan deterioro del material de los alabes de la turbina	Disminuye la potencia de generación y provoca vibración en los cojinetes.					
Eje	1	Transmitir el Movimiento de la turbina al volante de inercia.	A	No transmite el movimiento rotacional de la turbina hacia el rotor	1	Fractura o desprendimiento de material del eje que provoca un desacoplamiento de este con los demás elementos de la turbina.	Al producirse este fallo el operador no podrá encender la unidad, no tendrá señales de sincronización ni de potencia.	6	10	4	240	Revisión anual, sin funcionamiento

ANÁLISIS AMFE						UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO						
 Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A.	Elaborado por:	Bolívar Lascano	Revisado por:	Ing. Jorge López		 						
	Máquina:	Turbina-Generador	Aprobado por:	Ing. Jorge López								
	Sistema:	Generador N ° 2	Fecha de elaboración:	15/4/2020								
	Subsistema:	Sistema Transmisión	Fecha de Revisión:	16/6/2020								
	N° Página:	1	De:	3								
COMPONENTE	FUNCIÓN		FALLO FUNCIONAL	MODO DE FALLO	EFECTO DE FALLO	G	F	D	IPR	RECOMENDACIÓN		
		B	Deformaciones en la simetría del eje	1	Transmite el movimiento rotacional de manera desbalanceada							
Directrices	1	Dirigir la Fuerza del agua a las ventanas de la turbina para regular la potencia de generación.	A	Las palas directrices no permiten regular el caudal y velocidad de la turbina	1	Corrosión a bloqueo del libre movimiento de las palas directrices	Disminuye la potencia de generación e impide regular la carga de trabajo de la turbina	4	4	6	6	Revisión anual, sin funcionamiento
Carol		Dirigir la entrada y salida del agua.	A	Grietas en el caracol no brinda seguridad para la generación eléctrica	1	Partículas químicas, partículas sólidas en el agua y la corrosión han debilitado el espesor del caracol.	Fuga de agua desde el interior del caracol hacia las instalaciones de la casa de máquinas provocarían riesgo en la seguridad de los operadores por inundación, riesgo de electrocución y riesgo de deslizamiento	10	2	4	80	Revisión anual, sin funcionamiento
Regulador de Carga y Velocidad	1	Regular la potencia y velocidad de la máquina mediante el flujo de agua.	A	Mal funcionamiento del regulador de carga y potencia	1	Desgaste de engranes	No se puede sincronizar la velocidad y potencia, Elevada temperatura. Bajo nivel de aceite Des calibración de mandos	10	2	2	40	Revisión anual, sin funcionamiento







ANÁLISIS AMFE						UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO						
 Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A.	Elaborado por:	Bolívar Lascano	Revisado por:	Ing. Jorge López		 						
	Máquina:	Turbina-Generador	Aprobado por:	Ing. Jorge López								
	Sistema:	Generador N ° 2	Fecha de elaboración:	15/4/2020								
	Subsistema:	Sistema Transmisión	Fecha de Revisión:	16/6/2020								
	N° Página:	1	De:	3								
COMPONENTE		FUNCIÓN		FALLO FUNCIONAL	MODO DE FALLO	EFECTO DE FALLO	G	F	D	IPR	RECOMENDACIÓN	
Banda	1	Transmitir movimiento entre dos elementos	A	No transmite movimiento entre elementos	1	Rotura por falta de calibración	El operador deberá salir de paralelo de la red con la unidad hasta cambiar o reparar la banda deteriorada	4	3	1	12	Revisión cada 15 días, con funcionamiento
Válvula	1	Proteger el circuito de altas presiones peligrosas.	A	Mala operación de la válvula	1	Deterioro de elementos internos, mangueras mal acopladas	Disminución de parámetros de funcionamiento, al producirse una falla en la válvula no se puede regular el caudal que ingresa hacia la turbina y puede provocar envalamiento de la turbina.	6	4	2	48	Revisión anual, sin funcionamiento
Tuercas y pernos de fijación	1	Ajustar las diferentes bridas.	A	Holgura o desacoplamiento entre elementos mecánicos	1	Ajuste inadecuado provoca daños en la rosca de pernos y tuercas	Fuga de líquidos	2	2	2	8	Revisión anual, sin funcionamiento

Tabla 30. Análisis AMFE del sistema de lubricación de la unidad 2, [Autor].

ANÁLISIS AMFE							UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO						
 Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A.	Elaborado por:	Bolívar Lascano		Revisado por:	Ing. Jorge López		 						
	Máquina:	Turbina-Generador		Aprobado por:	Ing. Jorge López								
	Sistema:	Generador N ° 2		Fecha de elaboración:	15/4/2020								
	Subsistema:	Sistema Lubricación		Fecha de Revisión:	16/6/2020								
	N° Página:	2		De:	3								
COMPONENTE		FUNCIÓN		FALLO FUNCIONAL		MODO DE FALLO	EFECTO DE FALLO		G	F	D	IPR	RECOMENDACIÓN
Bomba interna de Engranés	1	Impulsar el Aceite mediante el movimiento del volante de inercia	A	No impulsa el flujo de lubricante	1	Sobrecalentamiento de los cojinetes	Este efecto incrementa la temperatura de los cojinetes. La bomba auxiliar se ha colocado para compensar el flujo de lubricante.	1	1	3	3	Revisión semestral, sin funcionamiento	
Bomba auxiliar	1	Compensar el flujo de aceite al sistema	A	No impulsa el flujo de lubricante requerido por el sistema	1	Obstrucción de los conductos o cañerías	el lubricante puede reventar una cañería y provocar derrame de lubricante y se corre el riesgo que no se lubriquen los cojinetes.	1	1	3	3	Revisión semestral, con funcionamiento	
					2	Cortocircuito en los devanados del motor eléctrico de la bomba	Los cojinetes estarán sin lubricación provocando que se sobrecalienten, pierdan dureza y resistencia, se agrieten y pierdan material						
Cojinete	1	Soportar cargas axiales y radiales del eje.	A	Sobrecalentamiento	1	No existe suficiente caudal de lubricante para enfriamiento de magnolias	Las magnolias pierdan dureza y resistencia, se agrieten y pierdan material	3	2	5	30	Revisión semestral, sin funcionamiento	
Serpentín	1	Transferencia de calor para enfriamiento del aceite	A	Disminución del nivel lubricante en el deposito	1	Fisuras o grietas en el serpentín permitirían fugas de lubricante.	La disminución del lubricante provoca daños en los cojinetes, sobrecalentamiento del eje y derrame del lubricante contamina el agua de descarga.	6	1	8	48	Revisión anual, sin funcionamiento	




ANÁLISIS AMFE						UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO					
 Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A.	Elaborado por:	Bolívar Lascano	Revisado por:	Ing. Jorge López		 					
	Máquina:	Turbina-Generador	Aprobado por:	Ing. Jorge López							
	Sistema:	Generador N ° 2	Fecha de elaboración:	15/4/2020							
	Subsistema:	Sistema Lubricación	Fecha de Revisión:	16/6/2020							
	N° Página:	2	De:	3							
COMPONENTE		FUNCIÓN		FALLO FUNCIONAL	MODO DE FALLO	EFECTO DE FALLO	G	F	D	IPR	RECOMENDACIÓN
Filtro de aceite	1	Evitar el paso de impurezas en el sistema de lubricación	A	Flujo de aceite obstaculizado 1	Sedimentación de partículas contenidos en el lubricante y partículas de materiales desgastados son retenidas en el filtro	La disminución u obstrucción del flujo de lubricante provoca daños en los cojinetes, sobrecalentamiento del eje y derrame del lubricante contamina el agua de descarga.	6	1	4	24	Revisión cada 15 días, con funcionamiento
Cañerías		Transportar el lubricante por el sistema hasta los cojinetes y su retorno	B	Elevada presión en las cañerías 1	Excesiva cantidad de lubricante	El exceso de lubricante puede causar derrames y fugas de aceite	6	2	4	48	

Tabla 31. Análisis AMFE del sistema de eléctrico de la unidad 2, [Autor].










ANÁLISIS AMFE							UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO				
 <p>Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A.</p>	Elaborado por:	Bolívar Lascano	Revisado por:	Ing. Jorge López	 						
	Máquina:	Turbina-Generador	Aprobado por:	Ing. Jorge López							
	Sistema:	Generador N ° 2	Fecha de elaboración:	15/4/2020							
	Subsistema:	Sistema Eléctrico	Fecha de Revisión:	16/6/2020							
	N° Página:	3	De:	3							
COMPONENTE	FUNCIÓN			FALLO FUNCIONAL	MODO DE FALLO	EFECTO DE FALLO	G	F	D	IPR	RECOMENDACIÓN
Rotor y estator	1	Transformar la energía cinética del caudal 800 l/s en energía eléctrica de corriente alterna con una potencia de 500 kw.	A	El generador no entrega potencia a la red	1	Cortocircuito entre los devanados de campo o entre las fases del rotor y estator.	6	1	8	48	Revisión semestral, sin funcionamiento
			B	El generador produce energía eléctrica por debajo de su potencia nominal.	1	Deterioro del aislamiento del bobinado del estator					
Excitatriz	1	Generar el campo de excitación del generador	A	Desgaste o rotura de carbones	1	No genera campo magnético para evitar al generador	8	1	2	16	Revisión mensual, sin funcionamiento
Tablero de control	1	Indicar lecturas de mediciones de Voltaje, Potencia y frecuencia.	A	Sin señal	1	Sensores obsoletos	10	1	2	20	Revisión mensual, sin funcionamiento

Tabla 32. Análisis AMFE del sistema de transmisión de la unidad 3, [Autor].

ANÁLISIS AMFE						UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO					
 <p>Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A.</p>	Elaborado por:	Bolívar Lascano	Revisado por:	Ing. Jorge López		 					
	Máquina:	Turbina-Generador	Aprobado por:	Ing. Jorge López							
	Sistema:	Generador N ° 3	Fecha de elaboración:	15/4/2020							
	Subsistema:	Sistema Transmisión	Fecha de Revisión:	16/6/2020							
	N° Página:	1	De:	3							
COMPONENTE	FUNCIÓN		FALLO FUNCIONAL	MODO DE FALLO	EFECTO DE FALLO	G	F	D	IPR	RECOMENDACIÓN	
Rodete/Turbina	1	Transformar la energía potencial del agua contenida en 93 metros de altura en energía cinética.	A	No se puede revolucionar la unidad para ingresar en paralelo a la red.	1	Desechos en el agua provocan obstrucción en las rejillas del Tanque de presión u obstrucción en los alabes de la turbina.	7	5	4	140	Revisión anual, sin funcionamiento
			B	Número de revoluciones inferior al nominal requerido.	1	Partículas químicas y sólidas en el agua (arena, cromo y cobre) provocan deterioro del material de los alabes de la turbina					
Eje	1	Transmitir el Movimiento de la turbina al volante de inercia.	A	No transmite el movimiento rotacional de la turbina hacia el rotor	1	Fractura o desprendimiento de material del eje que provoca un desacoplamiento de este con los demás elementos de la turbina.	6	5	4	120	Revisión anual, sin funcionamiento

ANÁLISIS AMFE						UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO						
 Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A.	Elaborado por:	Bolívar Lascano	Revisado por:	Ing. Jorge López		 						
	Máquina:	Turbina-Generador	Aprobado por:	Ing. Jorge López								
	Sistema:	Generador N ° 3	Fecha de elaboración:	15/4/2020								
	Subsistema:	Sistema Transmisión	Fecha de Revisión:	16/6/2020								
	N° Página:	1	De:	3								
COMPONENTE	FUNCIÓN		FALLO FUNCIONAL	MODO DE FALLO	EFECTO DE FALLO	G	F	D	IPR	RECOMENDACIÓN		
		B	Deformaciones en la simetría del eje	1	Transmite el movimiento rotacional de manera desbalanceada	Genera fricción en los cojinetes elevando la temperatura de estos.						
Directrices	1	A	Las palas directrices no permiten regular el caudal y velocidad de la turbina	1	Corrosión a bloqueado el libre movimiento de las palas directrices	Disminuye la potencia de generación e impide regular la carga de trabajo de la turbina		4	4	6	96	Revisión anual, sin funcionamiento
Carol		A	Grietas en el caracol no brinda seguridad para la generación eléctrica	1	Partículas químicas, partículas sólidas en el agua y la corrosión han debilitado el espesor del caracol.	Fuga de agua desde el interior del caracol hacia las instalaciones de la casa de máquinas provocarían riesgo en la seguridad de los operadores por inundación, riesgo de electrocución y riesgo de deslizamiento		10	2	4	80	Revisión anual, sin funcionamiento
Regulador de Carga y Velocidad	1	A	Mal funcionamiento del regulador de carga y potencia	1	Desgaste de engranes	No se puede sincronizar la velocidad y potencia, Elevada temperatura. Bajo nivel de aceite Des calibración de mandos		10	2	2	40	Revisión anual, sin funcionamiento







ANÁLISIS AMFE						UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO							
 Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A.	Elaborado por:	Bolívar Lascano	Revisado por:	Ing. Jorge López		 							
	Máquina:	Turbina-Generador	Aprobado por:	Ing. Jorge López									
	Sistema:	Generador N ° 3	Fecha de elaboración:	15/4/2020									
	Subsistema:	Sistema Transmisión	Fecha de Revisión:	16/6/2020									
	N° Página:	1	De:	3									
COMPONENTE		FUNCIÓN		FALLO FUNCIONAL		MODO DE FALLO	EFECTO DE FALLO		G	F	D	IPR	RECOMENDACIÓN
Banda	1	Transmitir movimiento entre dos elementos	A	No transmite movimiento entre elementos	1	Rotura por falta de calibración	El operador deberá salir de paralelo de la red co la unidad hasta cambiar o reparar la banda deteriorada		4	5	1	20	Revisión cada 15 días, con funcionamiento
Válvula	1	Proteger el circuito de altas presiones peligrosas.	A	Mala operación de la válvula	1	Deterioro de elementos internos, mangueras mal acopladas	Disminución de parámetros de funcionamiento, al producirse una falla en la válvula no se puede regular el caudal que ingresa hacia la turbina y puede provocar envalamiento de la turbina.		6	3	2	36	Revisión anual, sin funcionamiento
Tuercas y pernos de fijación	1	Ajustar las diferentes bridas.	A	Holgura o desacoplamiento entre elementos mecánicos	1	Ajuste inadecuado provoca daños en la rosca de pernos y tuercas	Fuga de líquidos		2	10	2	40	Revisión anual, sin funcionamiento

Tabla 33. Análisis AMFE del sistema de lubricación de la unidad 3, [Autor].

ANÁLISIS AMFE							UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO							
 <p>Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A.</p>	Elaborado por:		Bolívar Lascano		Revisado por:		Ing. Jorge López		 					
	Máquina:		Turbina-Generador		Aprobado por:		Ing. Jorge López							
	Sistema:		Generador N° 3		Fecha de elaboración:		15/4/2020							
	Subsistema:		Sistema Lubricación		Fecha de Revisión:		16/6/2020							
	N° Página:		2		De:		3							
COMPONENTE		FUNCIÓN		FALLO FUNCIONAL		MODO DE FALLO		EFECTO DE FALLO		G	F	D	IPR	RECOMENDACIÓN
Bomba interna de Engranés	1	Impulsar el Aceite mediante el movimiento del volante de inercia	A	No impulsa el flujo de lubricante	1	Sobrecalentamiento de los cojinetes	Este efecto incrementa la temperatura de los cojinetes. La bomba auxiliar se ha colocado para compensar el flujo de lubricante.	1	2	3	6	Revisión semestral, sin funcionamiento		
Bomba auxiliar	1	Compensar el flujo de aceite al sistema	A	No impulsa el flujo de lubricante requerido por el sistema	1	Obstrucción de los conductos o cañerías	El lubricante puede reventar una cañería y provocar derrame de lubricante y se corre el riesgo que no se lubriquen los cojinetes.	1	2	3	6	Revisión semestral, con funcionamiento		
					2	Cortocircuito en los devanados del motor eléctrico de la bomba	Los cojinetes estarán sin lubricación provocando que se sobrecalienten, pierdan dureza y resistencia, se agrieten y pierdan material							




ANÁLISIS AMFE						UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO						
 Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A.	Elaborado por:	Bolívar Lascano	Revisado por:	Ing. Jorge López		 						
	Máquina:	Turbina-Generador	Aprobado por:	Ing. Jorge López								
	Sistema:	Generador N° 3	Fecha de elaboración:	15/4/2020								
	Subsistema:	Sistema Lubricación	Fecha de Revisión:	16/6/2020								
	N° Página:	2	De:	3								
COMPONENTE	FUNCIÓN		FALLO FUNCIONAL		MODO DE FALLO	EFECTO DE FALLO		G	F	D	IPR	RECOMENDACIÓN
Cojinete	1	Soportar cargas axiales y radiales del eje.	A	Sobrecalentamiento	1	No existe suficiente caudal de lubricante para enfriamiento de magnolias	Las magnolias pierdan dureza y resistencia, se agrieten y pierdan material	3	2	5	30	Revisión semestral, sin funcionamiento
Serpentín	1	Transferencia de calor para enfriamiento del aceite	A	Disminución del nivel lubricante en el deposito	1	Fisuras o grietas en el serpentín permitirían fugas de lubricante.	La disminución del lubricante provoca daños en los cojinetes, sobrecalentamiento del eje y derrame del lubricante contamina el agua de descarga.	6	1	8	48	Revisión anual, sin funcionamiento
Filtro de aceite	1	Evitar el paso de impurezas en el sistema de lubricación	A	Flujo de aceite obstaculizado	1	Sedimentación de partículas contenidas en el lubricante y partículas de materiales desgastados son retenidas en el filtro	La disminución u obstrucción del flujo de lubricante provoca daños en los cojinetes, sobrecalentamiento del eje y derrame del lubricante contamina el agua de descarga.	6	2	8	96	Revisión cada 15 días, con funcionamiento
Cañerías		Transportar el lubricante por el sistema hasta los cojinetes y su retorno	B	Elevada presión en las cañerías	1	Excesiva cantidad de lubricante	El exceso de lubricante puede causar derrames y fugas de aceite	6	2	4	48	

Tabla 34. Análisis AMFE del sistema de eléctrico de la unidad 3, [Autor].










ANÁLISIS AMFE					UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO				
 <p>Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A.</p>	Elaborado por:	Bolívar Lascano	Revisado por:	Ing. Jorge López	 				
	Máquina:	Turbina-Generador	Aprobado por:	Ing. Jorge López					
	Sistema:	Generador N° 3	Fecha de elaboración:	15/4/2020					
	Subsistema:	Sistema Eléctrico	Fecha de Revisión:	16/6/2020					
	N° Página:	3	De:	3					
COMPONENTE	FUNCIÓN	FALLO FUNCIONAL	MODO DE FALLO	EFECTO DE FALLO	G	F	D	IPR	RECOMENDACIÓN
Rotor y estator	1 Transformar la energía cinética del caudal 800 l/s en energía eléctrica de corriente alterna con una potencia de 500 kW.	A El generador no entrega potencia a la red	1 Cortocircuito entre los devanados de campo o entre las fases del rotor y estator.	El aislamiento de los devanado o desgaste de este puede producir un cortocircuito al menorar su impedancia, provoca calentamiento y destrucción de los devanados.	6	2	8	96	Revisión semestral, sin funcionamiento
		B El generador produce energía eléctrica por debajo de su potencia nominal.	1 Deterioro del aislamiento del bobinado del estator						
Excitatriz	1 Generar el campo de excitación del generador	A Desgaste o rotura de carbones	1 No genera campo magnético para excitar al generador	Desbalance de corrientes y No puede sincronizar la máquina	8	3	2	48	Revisión mensual, sin funcionamiento
Tablero de control	1 Indicar lecturas de mediciones de Voltaje, Potencia y frecuencia.	A Sin señal	1 Sensores obsoletos	No se puede activar la máquina por falta de lecturas.	10	2	2	40	Revisión mensual, sin funcionamiento

Tabla 35. Análisis AMFE del sistema de transmisión de la unidad 4, [Autor].

ANÁLISIS AMFE						UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO								
	Elaborado por:		Bolívar Lascano		Revisado por:		Ing. Jorge López							
	Máquina:		Turbina-Generador		Aprobado por:		Ing. Jorge López							
	Sistema:		Generador N° 4		Fecha de elaboración:		15/4/2020							
	Subsistema:		Sistema Transmisión		Fecha de Revisión:		16/6/2020							
	N° Página:		1		De:		3							
						 								
COMPONENTE		FUNCIÓN		FALLO FUNCIONAL		MODO DE FALLO		EFECTO DE FALLO		G	F	D	IPR	RECOMENDACIÓN
Rodete/Turbina	1	Transformar la energía potencial del agua contenida en 93 metros de altura en energía cinética.	A	No se puede revolucionar la unidad para ingresar en paralelo a la red.	1	Desechos en el agua provocan obstrucción en las rejillas del Tanque de presión u obstrucción en los alabes de la turbina.	Pérdida de revoluciones nominales, indicando una señal en las agujas del sincronoscopio. El operador reportará el hecho con el jefe de central y se programará una evaluación de este fallo.	7	10	4	280	Revisión anual, sin funcionamiento		
			B	Número de revoluciones inferior al nominal requerido.	1	Partículas químicas y sólidas en el agua (arena, cromo y cobre) provocan deterioro del material de los alabes de la turbina	Disminuye la potencia de generación y provoca vibración en los cojinetes.							
Eje	1	Transmitir el Movimiento de la turbina al volante de inercia.	A	No transmite el movimiento rotacional de la turbina hacia el rotor	1	Fractura o desprendimiento de material del eje que provoca un desacoplamiento de este con los demás elementos de la turbina.	Al producirse este fallo el operador no podrá encender la unidad, no tendrá señales de sincronización ni de potencia.	6	10	4	240	Revisión anual, sin funcionamiento		

ANÁLISIS AMFE							UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO				
 Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A.	Elaborado por:	Bolívar Lascano	Revisado por:	Ing. Jorge López	 						
	Máquina:	Turbina-Generador	Aprobado por:	Ing. Jorge López							
	Sistema:	Generador N° 4	Fecha de elaboración:	15/4/2020							
	Subsistema:	Sistema Transmisión	Fecha de Revisión:	16/6/2020							
	N° Página:	1	De:	3							
COMPONENTE	FUNCIÓN		FALLO FUNCIONAL	MODO DE FALLO	EFECTO DE FALLO	G	F	D	IPR	RECOMENDACIÓN	
		B	Deformaciones en la simetría del eje	1	Transmite el movimiento rotacional de manera desbalanceada						
Directrices	1	A	Las palas directrices no permiten regular el caudal y velocidad de la turbina	1	Corrosión a bloqueo el libre movimiento de las palas directrices	4	4	6	96	Revisión anual, sin funcionamiento	
Carol		A	Grietas en el caracol no brinda seguridad para la generación eléctrica	1	Partículas químicas, partículas sólidas en el agua y la corrosión han debilitado el espesor del caracol.	10	2	4	80	Revisión anual, sin funcionamiento	
Regulador de Carga y Velocidad	1	A	Mal funcionamiento del regulador de carga y potencia	1	Desgaste de engranes	10	2	2	40	Revisión anual, sin funcionamiento	







ANÁLISIS AMFE							UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO				
 Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A.	Elaborado por:	Bolívar Lascano	Revisado por:	Ing. Jorge López	 						
	Máquina:	Turbina-Generador	Aprobado por:	Ing. Jorge López							
	Sistema:	Generador N ° 4	Fecha de elaboración:	15/4/2020							
	Subsistema:	Sistema Transmisión	Fecha de Revisión:	16/6/2020							
	N° Página:	1	De:	3							
COMPONENTE	FUNCIÓN		FALLO FUNCIONAL	MODO DE FALLO	EFECTO DE FALLO	G	F	D	IPR	RECOMENDACIÓN	
Banda	1	Transmitir movimiento entre dos elementos	A No transmite movimiento entre elementos	1 Rotura por falta de calibración	El operador deberá salir de paralelo de la red con la unidad hasta cambiar o reparar la banda deteriorada	4	3	1	12	Revisión cada 15 días, con funcionamiento	
Válvula	1	Proteger el circuito de altas presiones peligrosas.	A Mala operación de la válvula	1 Deterioro de elementos internos, mangueras mal acopladas	Disminución de parámetros de funcionamiento, al producirse una falla en la válvula no se puede regular el caudal que ingresa hacia la turbina y puede provocar envalamiento de la turbina.	6	3	2	36	Revisión anual, sin funcionamiento	
Tuercas y pernos de fijación	1	Ajustar las diferentes bridas.	A Holgura o desacoplamiento entre elementos mecánicos	1 Ajuste inadecuado provoca daños en la rosca de pernos y tuercas	Fuga de líquidos	2	1	2	4	Revisión anual, sin funcionamiento	

Tabla 36. Análisis AMFE del sistema de Lubricación de la unidad 4, [Autor].

ANÁLISIS AMFE						UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO								
 <p>Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A.</p>	Elaborado por:		Bolívar Lascano		Revisado por:		Ing. Jorge López		 					
	Máquina:		Turbina-Generador		Aprobado por:		Ing. Jorge López							
	Sistema:		Generador N° 4		Fecha de elaboración:		15/4/2020							
	Subsistema:		Sistema Lubricación		Fecha de Revisión:		16/6/2020							
	N° Página:		2		De:		3							
COMPONENTE		FUNCIÓN		FALLO FUNCIONAL		MODO DE FALLO		EFECTO DE FALLO		G	F	D	IPR	RECOMENDACIÓN
Bomba interna de Engranajes	1	Impulsar el Aceite mediante el movimiento del volante de inercia	A	No impulsa el flujo de lubricante	1	Sobrecalentamiento de los cojinetes	Este efecto incrementa la temperatura de los cojinetes. La bomba auxiliar se ha colocado para compensar el flujo de lubricante.	1	1	3	3	Revisión semestral, sin funcionamiento		
Bomba auxiliar	1	Compensar el flujo de aceite al sistema	A	No impulsa el flujo de lubricante requerido por el sistema	1	Obstrucción de los conductos o cañerías	el lubricante puede reventar una cañería y provocar derrame de lubricante y se corre el riesgo que no se lubriquen los cojinetes.	1	1	3	3	Revisión semestral, con funcionamiento		
					2	Cortocircuito en los devanados del motor eléctrico de la bomba	Los cojinetes estarán sin lubricación provocando que se sobrecalienten, pierdan dureza y resistencia, se agrieten y pierdan material							







ANÁLISIS AMFE						UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO				
 Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A.	Elaborado por:	Bolívar Lascano	Revisado por:	Ing. Jorge López		 				
	Máquina:	Turbina-Generador	Aprobado por:	Ing. Jorge López						
	Sistema:	Generador N ° 4	Fecha de elaboración:	15/4/2020						
	Subsistema:	Sistema Lubricación	Fecha de Revisión:	16/6/2020						
	N° Página:	2	De:	3						
COMPONENTE	FUNCIÓN		FALLO FUNCIONAL	MODO DE FALLO	EFECTO DE FALLO	G	F	D	IPR	RECOMENDACIÓN
Cojinete	1	Soportar cargas axiales y radiales del eje.	A Sobrecalentamiento	1 No existe suficiente caudal de lubricante para enfriamiento de magnolias	Las magnolias pierdan dureza y resistencia, se agrieten y pierdan material	3	1	5	5	Revisión semestral, sin funcionamiento
Serpentín	1	Transferencia de calor para enfriamiento del aceite	A Disminución del nivel lubricante en el deposito	1 Fisuras o grietas en el serpentín permitirían fugas de lubricante.	La disminución del lubricante provoca daños en los cojinetes, sobrecalentamiento del eje y derrame del lubricante contamina el agua de descarga.	6	1	8	48	Revisión anual, sin funcionamiento
Filtro de aceite	1	Evitar el paso de impurezas en el sistema de lubricación	A Flujo de aceite obstaculizado	1 Sedimentación de partículas contenidos en el lubricante y partículas de materiales desgastados son retenidas en el filtro	La disminución u obstrucción del flujo de lubricante provoca daños en los cojinetes, sobrecalentamiento del eje y derrame del lubricante contamina el agua de descarga.	6	1	4	24	Revisión cada 15 días, con funcionamiento
Cañerías		Transportar el lubricante por el sistema hasta los cojinetes y su retorno	B Elevada presión en las cañerías	1 Excesiva cantidad de lubricante	El exceso de lubricante puede causar derrames y fugas de aceite	6	1	4	24	

Tabla 37. Análisis AMFE del sistema de eléctrico de la unidad 4, [Autor].

ANÁLISIS AMFE						UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO				
	Elaborado por:		Bolívar Lascano		Revisado por:		Ing. Jorge López			
	Máquina:		Turbina-Generador		Aprobado por:		Ing. Jorge López			
	Sistema:		Generador 4		Fecha de elaboración:		15/4/2020			
	Subsistema:		Sistema Eléctrico		Fecha de Revisión:		16/6/2020			
	Nº Página:		3		De:		3			
										
COMPONENTE		FUNCIÓN	FALLO FUNCIONAL	MODO DE FALLO	EFECTO DE FALLO	G	F	D	IPR	RECOMENDACIÓN
Rotor y estator	1	Transformar la energía cinética del caudal 800 l/s en energía eléctrica de corriente alterna con una potencia de 500 kW.	A El generador no entrega potencia a la red	1 Cortocircuito entre los devanados de campo o entre las fases del rotor y estator.	El aislamiento de los devanados o desgaste de este puede producir un cortocircuito al menorar su impedancia, provoca calentamiento y destrucción de los devanados.	6	1	8	48	Revisión semestral, sin funcionamiento
			B El generador produce energía eléctrica por debajo de su potencia nominal.	1 Deterioro del aislamiento del bobinado del estator						
Excitatriz	1	Generar el campo de excitación del generador	A Desgaste o rotura de carbones	1 No genera campo magnético para excitar al generador	Desbalance de corrientes y No puede sincronizar la máquina	8	1	2	16	Revisión mensual, sin funcionamiento
Tablero de control	1	Indicar lecturas de mediciones de Voltaje, Potencia y frecuencia.	A Sin señal	1 Sensores obsoletos	No se puede activar la máquina por falta de lecturas.	10	1	2	20	Revisión mensual, sin funcionamiento

3.3.5. Análisis de criticidad

Se realizó el cálculo de criticidad con la finalidad de determinar el grado de criticidad de los elementos de las unidades de generación de la hidroeléctrica.

Tabla 38. Criticidad de los elementos de la Unidad N° 1 [Autor].



ANÁLISIS DE CRITICIDAD								
 Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A.		ANÁLISIS DE CRITICIDAD HIDROELECTRICA LA PENÍNSULA UNIDAD DE GENERACIÓN N° 1						
SISTEMA MECÁNICO								
COMPONENTE	IMPACTO OPERACIONAL (IO)	EQUIPO DE RESPALDO (ER)	TIEMPO PROMEDIO PARA REPARAR (TPPR)	COSTO DE REPARACIÓN (CR)	ÍNDICE DE SEGURIDAD (IS)	ÍNDICE AMBIENTAL (IA)	FRECUENCIA DE OCURRENCIA (FO)	RIESGO
Rodete/Turbina	3	2	1	1	0,25	0	6	43,5
Eje	2,5	2	1	0,75	0,25	0	5	30
Directrices/ Palas	1,5	1,5	0,25	0,25	0,25	0	1	1,1
Carol	3	2	0,75	0,5	0,5	0	1	5,5
Regulador de Carga y Velocidad	3	2	1	0,5	0,25	0	5	33,75
Banda	3	0,25	0,25	0,25	0,25	0	10	6,875
Válvula	1,5	2	0,75	0,75	0,25	0	7	22,75
Tuercas y pernos de fijación	0,75	0,25	0,5	0,25	0,25	0	1	0,6
SISTEMA DE LUBRICACIÓN								
COMPONENTE	IO	ER	TPPR	CR	IS	IA	FO	RIESGO
Bomba interna de Engranajes	1,5	2	1	0,5	0,25	0	1	3,8
Bomba auxiliar	2,5	1,5	0,5	0,25	0,5	0	1	2,6
Cojinete	2,5	2	0,75	0,25	0,25	0	8	34,0
Serpentín	3	2	1	0,5	0,25	0	1	6,8
Filtro de aceite	1,5	0,25	0,25	0,25	0,25	0	7	4,2
Cañerías	3	0,25	0,25	0,25	0,5	1	1	1,9
SISTEMA ELÉCTRICO								
COMPONENTE	IO	ER	TPPR	CR	IS	IA	FO	RIESGO
Rotor y estator	3	2	1	1	0,75	0	5	38,8
Excitatriz	3	2	0,75	1	0,75	0	6	37,5
Tablero de control	3	1,5	1	0,75	0,5	0	1	5,8

Tabla 39. Criticidad de los elementos de la Unidad N ° 2 [Autor].



ANÁLISIS DE CRITICIDAD								
 Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A.		ANÁLISIS DE CRITICIDAD HIDROELECTRICA LA PENÍNSULA UNIDAD DE GENERACIÓN N ° 2						
SISTEMA MECÁNICO								
COMPONENTE	Impacto operacional (IO)	Equipo de respaldo (ER)	Tiempo promedio para reparar (TPPR)	Costo de reparación (CR)	Índice de seguridad (IS)	Índice ambiental (IA)	Frecuencia de ocurrencia (FO)	RIESGO
Rodete/Turbina	3	2	1	1	0,25	0	10	72,5
Eje	2,5	2	1	0,75	0,25	0	5	30
Directrices/ Palas	1,5	1,5	0,25	0,25	0,25	0	1	1,1
Carol	3	2	0,75	0,5	0,5	0	1	5,5
Regulador de Carga y Velocidad	3	2	1	0,5	0,25	0	5	33,75
Banda	3	0,25	0,25	0,25	0,25	0	10	6,875
Válvula	1,5	2	0,75	0,75	0,25	0	10	32,5
Tuercas y pernos de fijación	0,75	0,25	0,5	0,25	0,25	0	1	0,6
SISTEMA DE LUBRICACIÓN								
COMPONENTE	IO	ER	TPPR	CR	IS	IA	FO	RIESGO
Bomba interna de Engranajes	1,5	2	1	0,5	0,25	0	1	3,8
Bomba auxiliar	2,5	1,5	0,5	0,25	0,5	0	1	2,6
Cojinete	2,5	2	0,75	0,25	0,25	0	7	29,8
Serpentín	3	2	1	0,5	0,25	0	1	6,8
Filtro de aceite	1,5	0,25	0,25	0,25	0,25	0	6	3,6
Cañerías	3	0,25	0,25	0,25	0,5	1	1	1,9
SISTEMA ELÉCTRICO								
COMPONENTE	IO	ER	TPPR	CR	IS	IA	FO	RIESGO
Rotor y estator	3	2	1	1	0,75	0	5	38,8
Excitatriz	3	2	0,75	1	0,75	0	5	31,3
Tablero de control	3	1,5	1	0,75	0,5	0	1	5,8

Tabla 40. Criticidad de los elementos de la Unidad N° 3 [Autor].






ANÁLISIS DE CRITICIDAD								
 Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A.		ANÁLISIS DE CRITICIDAD HIDROELECTRICA LA PENÍNSULA UNIDAD DE GENERACIÓN N° 3					 	
SISTEMA MECÁNICO								
COMPONENTE	Impacto operacional (IO)	Equipo de respaldo (ER)	Tiempo promedio para reparar (TPPR)	Costo de reparación (CR)	Índice de seguridad (IS)	Índice ambiental (IA)	Frecuencia de ocurrencia (FO)	RIESGO
Rodete/Turbina	3	2	1	1	0,25	0	7	50,75
Eje	2,5	2	1	0,75	0,25	0	5	30
Directrices/ Palas	1,5	1,5	0,25	0,25	0,25	0	1	1,1
Carol	3	2	0,75	0,5	0,5	0	1	5,5
Regulador de Carga y Velocidad	3	2	1	0,5	0,25	0	5	33,75
Banda	3	0,25	0,25	0,25	0,25	0	8	5,5
Válvula	1,5	2	0,75	0,75	0,25	0	8	26
Tuercas y pernos de fijación	0,75	0,25	0,5	0,25	0,25	0	1	0,6
SISTEMA DE LUBRICACIÓN								
COMPONENTE	IO	ER	TPPR	CR	IS	IA	FO	RIESGO
Bomba interna de Engranajes	1,5	2	1	0,5	0,25	0	1	3,8
Bomba auxiliar	2,5	1,5	0,5	0,25	0,5	0	1	2,6
Cojinete	2,5	2	0,75	0,25	0,25	0	1	4,3
Serpentín	3	2	1	0,5	0,25	0	1	6,8
Filtro de aceite	1,5	0,25	0,25	0,25	0,25	0	6	3,6
Cañerías	3	0,25	0,25	0,25	0,5	1	1	1,9
SISTEMA ELÉCTRICO								
COMPONENTE	IO	ER	TPPR	CR	IS	IA	FO	RIESGO
Rotor y estator	3	2	1	1	0,75	0	1	7,8
Excitatriz	3	2	0,75	1	0,75	0	1	6,3
Tablero de control	3	1,5	1	0,75	0,5	0	1	5,8

Tabla 41. Criticidad de los elementos de la Unidad N ° 4 [Autor].

ANÁLISIS DE CRITICIDAD								
 Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A.		ANÁLISIS DE CRITICIDAD HIDROELECTRICA LA PENÍNSULA UNIDAD DE GENERACIÓN N ° 4						
SISTEMA MECÁNICO								
COMPONENTE	Impacto operacional (IO)	Equipo de respaldo (ER)	Tiempo promedio para reparar (TPPR)	Costo de reparación (CR)	Índice de seguridad (IS)	Índice ambiental (IA)	Frecuencia de ocurrencia (FO)	RIESGO
Rodete/Turbina	3	2	1	1	0,25	0	9	65,25
Eje	2,5	2	1	0,75	0,25	0	5	30
Directrices/ Palas	1,5	1,5	0,25	0,25	0,25	0	5	5,3
Carol	3	2	0,75	0,5	0,5	0	1	5,5
Regulador de Carga y Velocidad	3	2	1	0,5	0,25	0	6	40,5
Banda	3	0,25	0,25	0,25	0,25	0	8	5,5
Válvula	1,5	2	0,75	0,75	0,25	0	8	26
Tuercas y pernos de fijación	0,75	0,25	0,5	0,25	0,25	0	1	0,6
SISTEMA DE LUBRICACIÓN								
COMPONENTE	IO	ER	TPPR	CR	IS	IA	FO	RIESGO
Bomba interna de Engranajes	1,5	2	1	0,5	0,25	0	1	3,8
Bomba auxiliar	2,5	1,5	0,5	0,25	0,5	0	1	2,6
Cojinete	2,5	2	0,75	0,25	0,25	0	6	25,5
Serpentín	3	2	1	0,5	0,25	0	1	6,8
Filtro de aceite	1,5	0,25	0,25	0,25	0,25	0	7	4,2
Cañerías	3	0,25	0,25	0,25	0,5	1	1	1,9
SISTEMA ELÉCTRICO								
COMPONENTE	IO	ER	TPPR	CR	IS	IA	FO	RIESGO
Rotor y estator	3	2	1	1	0,75	0	1	7,8
Excitatriz	3	2	0,75	1	0,75	0	1	6,3
Tablero de control	3	1,5	1	0,75	0,5	0	1	5,8

3.3.6. Hoja de decisión RCM

Tabla 42. Hoja de decisión RCM del sistema mecánico de las unidades, [Autor].

HOJA DE DECISIÓN RCM			Sistema: Generador Turbina					Facilitador: Hipólito García				Fecha:15/06/2020		Hoja N°		
			Subsistema: Mecánico					Auditor: Ing. Mauro Llambo				Fecha: 15/06/2020		de		
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Acción a falta de				Tarea propuesta	Intervalo inicial	A realizarse por
							S1	S2	S3							
F	FF	FM	H	S	E	O	O1	O2	O3	H4	H5	S4	Tarea propuesta	Intervalo inicial	A realizarse por	
							N1	N2	N3							
1	A	1	S	N	N	S	S						Inspeccionar que no exista desechos sólidos que interrumpen el libre funcionamiento de la turbina. Limpiar de sedimentos el interior del caracol y pozas.	Al ocurrir el fallo	Mecánico	
1	B	1	S	N	N	S	N	N	S				Inspeccionar anualmente el desgaste del rodete y programar su reemplazo.	Anual	Mecánico	
1	A	1	S	N	N	S	N	N	S				Revisar el eje la presencia de descamaciones o pérdida de material y programar su reemplazo.	Anual	Operador	
1	B	1	S	N	N	S	N	S					Balancear el eje para compensar deformaciones.	Anual	Mecánico	
1	A	1	S	N	N	S	N	N	S				Revisar el correcto funcionamiento de las palas directrices	Anual	Mecánico	
1	A	1	S	N	N	N	S						Reparar las grietas mediante soldadura	Al ocurrir el fallo	Mecánico	
1	A	1	N	N	N	N	S	S					Reparar los engranajes del regulador de velocidad.	Anual	Mecánico	
1	A	1	S	N	N	S	S						Revisar el estado de la banda y cambiar de banda de ser necesario.	Diario	Operador	
1	A	1	S	N	N	S	N	N	S				Revisar el funcionamiento de la válvula	Mensual	Operador	
1	A	1	S	N	N	S	S						Ajustar los pernos flojos.	Anual		

Tabla 43. Hoja de decisión RCM del sistema de lubricación de las unidades, [Autor].

HOJA DE DECISIÓN RCM			Sistema: Generador Turbina					Facilitador: Hipólito García					Fecha:15/06/2020	Hoja N°		
			Subsistema: Mecánico					Auditor: Ing. Mauro Ilambo					Fecha:15/06/2020	de		
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Acción a falta de				Tarea propuesta	Intervalo inicial	A realizarse por
F	FF	FM	H	S	E	O	S1	S2	S3	H4		H5	S4			
							O1	O2	O3							
1	A	1	S	N	N	S	S							Recuperación de la bomba de engranes	anual	Mecánico
1	A	1	S	N	N	S	S							Revisión de las cañerías que estén libres de impurezas.	Trimestral	Operador
1	A	2	S	N	N	S	S							Rebobinar el motor eléctrico de la bomba auxiliar	Al ocurrir el fallo	Eléctrico
1	A	1	S	N	S	N	S							Revisar grietas que causen fugas de lubricante	anual	Mecánico
1	A	1	S	N	N	S	S							Lavar el filtro de aceite para evitar su taponamiento y deterioro	15 días	Mecánico
1	A	1	S	N	N	S	N	S2						Inspeccionar la presión de flujo de lubricante.	diario	Operador

Tabla 44. Hoja de decisión RCM del sistema eléctrico de las unidades, [Autor].

HOJA DE DECISIÓN RCM			Sistema: Generador Turbina					Facilitador: Hipólito García					Fecha:15/06/2020	Hoja N°		
			Subsistema: Mecánico					Auditor: Ing. Mauro Ilambo					Fecha:15/06/2020	de		
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Acción a falta de				Tarea propuesta	Intervalo inicial	A realizarse por
F	FF	FM	H	S	E	O	S1	S2	S3	H4		H5	S4			
							O1	O2	O3							
1	A	1	S	N	N	S	N	N	S					Rebobinar rotor o estator de ser el caso.	Al ocurrir el fallo	Eléctrico
1	B	1	S	N	N	S	S							Barnizado de bobinados.	anual	Operador
1	A	1	S	N	N	S	S							Reemplazar los carbones deteriorados por un juego de las mismas características	mensual	Operador
1	A	1	S	N	N	S	S							Reemplazar sensores o indicadores obsoletos por repuestos de igual características.	anual	Mecánico




ETAPA III: Diseño un plan de mantenimiento basado en el RCM.

Gamas de mantenimiento

Las gamas de mantenimiento se han enlistado las actividades necesarias que intentaran reducir y minimizar algunos posibles fallos que pueden suscitar en el sistema, equipo o componente. Siempre el personal de mantenimiento y los operadores para realizar las actividades obligatoriamente deberán vestir y utilizar todos los equipos de protección personal necesarios. Para que la organización y comprensión de las gamas no sea compleja, se han dividido los sistemas principales (mecánicos) a los cuales pertenecen, los cuales son los siguientes:

- Sistema mecánico
- Sistema de Lubricación, y
- Sistema eléctrico.

Tabla 45. Gama de mantenimiento Diario y Semanal, [Autor].

ANÁLISIS AMFE							UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
 Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A.		Elaborado por:		Bolívar Lascano	Revisado por:	Ing. Jorge López	 
		Máquina:		Turbina-Generador	Aprobado por:	Ing. Jorge López	
		Sistema:		Generador	Fecha de elaboración:	15/6/2020	
		Subsistema:		Mecánico, eléctrico y lubricación	Fecha de Revisión:	07/08/2020	
		N° Página:		1	De:	3	
No	EQUIPO o INSTALACIÓN	SISTEMA	COMPONENTE	FRECUENCIA	ACTIVIDAD/TAREA	TRABAJO EN FUNCIONAMIENTO (F) O SIN FUNCIONAMIENTO (SF)	EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL
1	GENERADOR 1, 2, 3 y 4	Eléctrico	Rotor y Estator	SEMANAL	Limpieza exterior manual	F/SF	Casco, protectores auditivos, guantes, calzado dieléctrico libre de metal, guantes dieléctricos, gafas y mascarilla
				DIARIA	Detectar ruidos anormales, vibraciones, roces excesivos, endurecimientos, funcionamiento anormal.	F	
				DIARIA	Inspección de puntos calientes, medición de temperatura por láser.	F	
			Excitatriz	DIARIA	Verificar estado físico de escobillas en excitatriz y campo.	SF	
				SEMANAL	Verificación visual funcionamiento excitatriz	F	
				DIARIA	Inspección visual de componentes y funcionamiento anormal.	F	
2	TURBINA 1, 2, 3 y 4	Mecánico interno	Eje	DIARIA	Detectar ruidos anormales, vibraciones, roces excesivos, endurecimientos, funcionamiento anormal.	F	
		Hidráulico	Carol	SEMANAL	Limpieza exterior manual.	F/SF	







ANÁLISIS AMFE							UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
 Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A.		Elaborado por:		Bolívar Lascano	Revisado por:		Ing. Jorge López
		Máquina:		Turbina-Generador	Aprobado por:		Ing. Jorge López
		Sistema:		Generador	Fecha de elaboración:		15/6/2020
		Subsistema:		Mecánico, eléctrico y lubricación	Fecha de Revisión:		07/08/2020
		Nº Página:		1	De:		3
						 	
No	EQUIPO o INSTALACIÓN	SISTEMA	COMPONENTE	FRECUENCIA	ACTIVIDAD/TAREA	TRABAJO EN FUNCIONAMIENTO (F) O SIN FUNCIONAMIENTO (SF)	EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL
		Mecánico exterior	Codo	DIARIA	Limpieza exterior manual.	F/SF	
			Válvula	DIARIA	Revisión de válvulas de guardia.	F/SF	
			Regulador de Carga y Velocidad	SEMANTAL	Limpieza exterior manual.	F/SF	
				DIARIA	Detectar ruidos anormales, vibraciones, roces excesivos, endurecimientos, funcionamiento anormal.	F/SF	
				DIARIA	Verificar niveles de aceite en regulador de velocidad.	F/SF	
			Volante de inercia	SEMANTAL	Limpieza exterior manual.	SF	
			Banda	DIARIA	Comprobar estado físico de bandas y sus grapas en control de velocidad.	SF	
3	LUBRICACIÓN	Lubricación	Bomba interna de Engranajes	DIARIA	Comprobar nivel de aceite en el sistema de lubricación.	F/SF	
			Chumacera	DIARIA	Inspección de puntos calientes, medición de temperatura por láser.	F	

Tabla 46. Gama de mantenimiento Mensual, [Autor].

ANÁLISIS AMFE							UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
 Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A.		Elaborado por:		Bolívar Lascano	Revisado por:		Ing. Jorge López
		Máquina:		Turbina-Generador	Aprobado por:		Ing. Jorge López
		Sistema:		Generador	Fecha de elaboración:		15/6/2020
		Subsistema:		Mecánico, eléctrico y lubricación	Fecha de Revisión:		07/08/2020
		Nº Página:		2	De:		3
						 	
No	EQUIPO o INSTALACIÓN	SISTEMA	COMPONENTE	FRECUENCIA	ACTIVIDAD/TAREA	TRABAJO EN FUNCIONAMIENTO (F) O SIN FUNCIONAMIENTO (SF)	EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL
1	GENERADOR 1, 2, 3 y 4	Eléctrico	Excitatriz	MENSUAL	Limpieza de colector de excitatriz y anillos de campo	SF	Casco, protectores auditivos, guantes, calzado dieléctrico libre de metal, guantes dieléctricos, gafas y mascarilla
				MENSUAL	Reemplazar los carbones deteriorados.		
			tablero de control	MENSUAL	Revisión de conexiones, ajustes y limpieza de gabinetes (aisladores, interruptores).	SF	
2	TURBINA 1, 2, 3 y 4	Mecánico interno	Eje	MENSUAL	Inspección de estado físico, (desprendimiento de material, deflexión o fisuras).	SF	
		Hidráulico	Caracol	MENSUAL	Control de fallas en el recubrimiento de caracol.	F/SF	








ANÁLISIS AMFE							UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
 Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A.		Elaborado por:	Bolívar Lascano	Revisado por:	Ing. Jorge López	 	
		Máquina:	Turbina-Generador	Aprobado por:	Ing. Jorge López		
		Sistema:	Generador	Fecha de elaboración:	15/6/2020		
		Subsistema:	Mecánico, eléctrico y lubricación	Fecha de Revisión:	07/08/2020		
		N° Página:	2	De:	3		
No	EQUIPO o INSTALACIÓN	SISTEMA	COMPONENTE	FRECUENCIA	ACTIVIDAD/TAREA	TRABAJO EN FUNCIONAMIENTO (F) O SIN FUNCIONAMIENTO (SF)	EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL
			Codo	MENSUAL	Control de fallas en el recubrimiento del codo	F/SF	
		Mecánico exterior	Regulador de Carga y Velocidad	MENSUAL	Lubricación: aplicación de aceite o grasa según corresponda en partes móviles.	SF	
3	LUBRICACIÓN	Lubricación	Bomba interna de Engranés	MENSUAL	Lubricación: aplicación de aceite o grasa según corresponda en partes móviles.	SF	
				MENSUAL	Ajuste de chavetas en muñones.	F/SF	
			Cojinetes	MENSUAL	Observar estado de cojinetes, nivel de lubricación.	F/SF	
			Filtro	MENSUAL	Limpieza de filtros del sistema de lubricación	F/SF	
			Cañerías	MENSUAL	Verificación del estado de tuberías y mangueras.	F/SF	
			Válvulas	MENSUAL	Verificación de funcionamiento de válvulas del sistema de lubricación.	F/SF	

Tabla 47. Gama de mantenimiento Semestral, anual y bianual, [Autor].

ANÁLISIS AMFE							UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
 Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A.		Elaborado por:	Bolívar Lascano	Revisado por:	Ing. Jorge López	 	
		Máquina:	Turbina-Generador	Aprobado por:	Ing. Jorge López		
		Sistema:	Generador	Fecha de elaboración:	15/6/2020		
		Subsistema:	Mecánico, eléctrico y lubricación	Fecha de Revisión:	07/08/2020		
		N° Página:	3	De:	3		
No	EQUIPO o INSTALACIÓN	SISTEMA	COMPONENTE	FRECUENCIA	ACTIVIDAD/TAREA	TRABAJO EN FUNCIONAMIENTO (F) O SIN FUNCIONAMIENTO (SF)	EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL
1	GENERADOR 1, 2, 3 y 4	Eléctrico	Rotor y Estator	ANUAL	Comprobar balanceo dinámico y estático de rotor.	F/SF	Casco, protectores auditivos, guantes, calzado dieléctrico libre de metal, guantes dieléctricos, gafas y mascarilla
				ANUAL	Comprobar entrehierros y devanados.	SF	
				ANUAL	Medir el espesor de aislante	F/SF	
				ANUAL	Barnizado de bobinados	SF	
				BIANUAL	Mantenimiento eléctrico generadores.	SF	
			Excitatriz	SEMESTRAL	Comprobación de funcionamiento de diodos.	SF	
				BIANUAL	Mantenimiento eléctrico generadores.	SF	
			Tablero de control	ANUAL	Pruebas de operación mecánica de interruptores.	F	

ANÁLISIS AMFE						UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO	
 Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A.		Elaborado por:	Bolívar Lascano	Revisado por:	Ing. Jorge López	 	
		Máquina:	Turbina-Generador	Aprobado por:	Ing. Jorge López		
		Sistema:	Generador	Fecha de elaboración:	15/6/2020		
		Subsistema:	Mecánico, eléctrico y lubricación	Fecha de Revisión:	07/08/2020		
		Nº Página:	3	De:	3		
No	EQUIPO o INSTALACIÓN	SISTEMA	COMPONENTE	FRECUENCIA	ACTIVIDAD/TAREA	TRABAJO EN FUNCIONAMIENTO (F) O SIN FUNCIONAMIENTO (SF)	EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL
				ANUAL	Medición de resistencia de aislamiento de interruptores.	SF	
				ANUAL	Inspección de puntos calientes, termografía infrarroja.	F	
				ANUAL	Reemplazar sensores obsoletos	SF	
				BIANUAL	Mantenimiento eléctrico generadores.	SF	
2	TURBINA 1, 2, 3 y 4	Mecánico interno	Rodete/Turbina	ANUAL	Inspección de estado físico de rodete: fisuras y superficies desgastadas.	SF	
			Eje	ANUAL	Alineamiento	SF	
			Directrices/ Palas	ANUAL	Inspección de estado físico, (desgaste del material).	SF	
			Laberinto hidráulico	ANUAL	Inspección de estado físico, (desgaste del material).	SF	
		Hidráulico	Caracol	ANUAL	Revestido exterior de pintura	SF	
				ANUAL	Inspeccionar que no exista desechos sólidos en las pozas		
				ANUAL	De existir grietas, reparar con proceso de soldadura.		
		Codo	ANUAL	Revestido exterior de pintura	SF		
		Mecánico exterior	Tuercas y pernos de fijación	ANUAL	Ajuste de pernos y seguros de las turbinas.	SF	
3	LUBRICACIÓN	Lubricación	Chumacera	ANUAL	Control de fallas en el recubrimiento de caracol y cojinetes.	F/SF	
			Serpentín	ANUAL	Revisión de fugas	F/SF	

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- Durante la recolección de información permitió involucrar la experiencia del personal de operación de la Central y la metodología RCM, para un bien común, conservar el buen funcionamiento de las turbinas y generadores que permite alargar su vida útil.
- La metodología RCM, ayudó a determinar tareas preventivas ante fallos y tareas correctivas incorporadas al plan de mantenimiento, que aplicara la empresa con la colaboración del jefe de mantenimiento, los miembros del equipo de mantenimiento y de bodega además permite obtener información detallada para futuros análisis y toma de decisiones aplicando esta metodología.
- El establecimiento de las frecuencias de inspección se basó en datos generales y no específicos por falta de datos detallados de las actividades de mantenimiento, debido a que la central no cuenta con un seguimiento a las actividades de mantenimiento, los datos para la estimación de frecuencias se recopilaron de las bitácoras de actividades diarias registradas por los operadores, las cuales se revisó los 24 meses correspondiente a los años 2017 y 2018, las que sirvió para estimar la disponibilidad de las unidades de generación y contrastarlas con la Bitácora Web de CENACE.
- El Índice de prioridad de riesgo mediante la matriz AMFE, realizado para todos los componentes de las unidades de generación de la central, se basó en la Nota Técnica NTP 679, analizado la frecuencia de modos de fallo, gravedad y detectabilidad, se determinó que los elementos con mayor IPR son el rodete y el eje, estos elementos requieren periodos largos de tiempo para su fabricación y reemplazo, provocando pérdidas económicas a la empresa por no generar electricidad hasta que el equipo esté disponible.
- Analizadas las frecuencias de las cuatro unidades de generación de la central la Península, se muestra similitud en la ocurrencia de modos de fallo y actividades

de mantenimiento frecuentes en todas las máquinas. a) Mantenimiento interno del grupo, b) Comprobar nivel de aceite en el sistema de lubricación y c) Revisión o cambio de banda.

- Mediante el análisis de criticidad se determinó que los componentes de la turbina presentan criticidad alta debido al elevado costo que representa su mantenimiento y el elevado impacto operacional que representan al sistema mecánico.
- El plan de mantenimiento basado en RCM mejorará la disponibilidad de las unidades de generación, que se traduce en mayor producción eléctrica anual e incrementar los ingresos generación.

4.2.Recomendaciones

- A fin de conservar el buen estado, funcionamiento y la vida útil de las unidades de generación, se recomienda seguir las actividades de mantenimiento periódicamente según lo detallado en el plan de Mantenimiento establecido.
- La mejora continua es esencial para la aplicación de sistemas de calidad, para lo cual se recomienda levantar información detallada de cada actividad de mantenimiento, identificando el número de unidad, sistema en el que se localiza el componente, modo de fallo y acción correctiva aplicada, cuya información será de utilidad para una futura aplicación de esta metodología y comparación de resultados.
- Se recomienda la construcción de trampas de sólidos en suspensión en el trayecto del canal de conducción, ya que estos se acumulan en el tanque de presión afectando a la tubería de presión y la turbina, también se sugiere elevar la altura de los muros de canal en tramos que son afectados por derrumbes y deslizamiento de arena, ya que el rodete es el elemento mecánico que presenta un elevado desgaste, debido al fluido que está contaminado con partículas sólidas que ingresan a la turbina, erosionando el material y reduciendo su vida útil.

Bibliografía

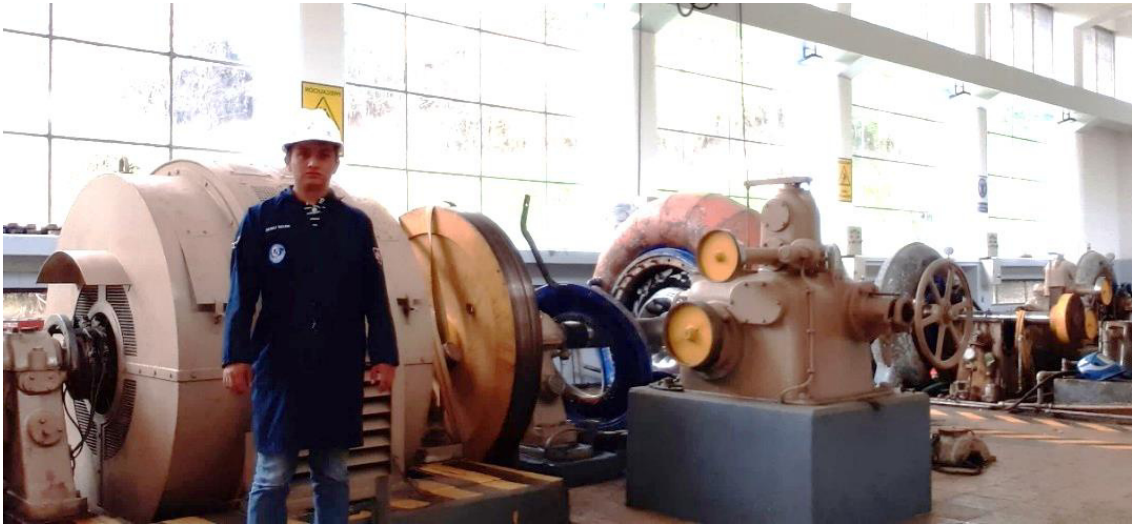
- [1] R. Kumar y S. Singal, "Operation and Maintenance problems in hydro turbine material in small hydro power plant", de *4th International Conference on Materials Processing and Characterization*, Uttarakhand, 2015.
- [2] B. Chhetry, B. Thapa, Singh y Biraj, "Design optimization of vertical Francis turbine components from a maintenance perspective in the context of sediment-laden river projects," *ReseachGate*, 2016.
- [3] E. Vargas, N. Caicedo y J. ortegón, "Método de análisis de fallas aplicado en centrales hidroeléctricas," *I+D Revista de Investigaciones*, vol. 13, nº 1, pp. 68-84, 2018.
- [4] E. Cabrera y T. Jorge, Propuesta de implementación de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) en la unidad de generación 2 de la Central Saymarín, Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana, 2019.
- [5] W. Llamba, Elaboración del plan de mantenimiento centrado en confiabilidad (Rcm) de la central hidráulica Illuchi N° 2, Latacunga: Departamento de Electrica y Electrónica de La Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-Extensión Latacunga, 2014.
- [6] B. Zamora y A. Viedma, Máquinas Hidráulicas, Cartagena: ediciones@upct.es, 2016.
- [7] F. Sánchez, Mantenimiento Mecánico de Máquinas, Universidad de Jaumme, 2007.
- [8] J. Díaz, Técnicas de mantenimiento industrial, Unión Europea: Calpe Institute of Technology, 2010.
- [9] O. García, «Estrategías del mantenimiento moderno,» de *Gestión Moderna del Mantenimiento Industrial*, Bogotá, Ediciones de la U, 2012, pp. 90-115.
- [10] J. Lozada, "Elaboración de un plan de mantenimiento basado en el Mantenimiento Productivo Total (TPM) para la maquinaria de recuperación de turbinas del CIRT en La Empresa Celec EP Hidroagoyán.", Ambato: Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, 2017.

- [11] H. Espín, "El RCM (Mantenimiento Centrado En La Confiabilidad) de los equipos del área húmeda y de acabados del cuero de la Empresa Tenería Díaz cía. Ltda," Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2018.
- [12] D. Mierau, "Reliability-Based Maintenance," de *Maintenance Engineering*, Charleston, Mc Graw Hill Education, 2014, pp. 1.31-1.39.
- [13] F. González, Teoría y Práctica del Mantenimiento Avanzado, Madrid: Fundación Confemental, 2015.
- [14] J. Moubray, Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, Leicestershire: Aladon Ltda, 2004.
- [15] S. Cabrera, Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, apuntes y reflexiones, 2015.
- [16] M. Bestratén Belloví, R. M. Orriols Ramos y C. Mata París, NTP 679: Análisis modal de fallos y efectos. AMFE, 2004.
- [17] E. Pico, "Plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para la inyectora de poliuretano de la empresa Calzado Marcia - Buffalo Industrial" Tesis de grado, Ambato: Universidad Técnica de Ambato, 2016.
- [18] V. Gonzalez, E-Libro, 2017. [En línea]. Available: <https://elibro.net/es/ereader/uta/40508?page=51>. [Último acceso: 07 Agosto 2020].
- [19] A. Mora, Mantenimiento, Planificación, ejecución y control, Mexico: Alfaomega, 2009.
- [20] H. Ronquillo, "Estudio del estado actual de la maquinaria de la empresa Agrocueros S. A y su incidencia en la disponibilidad" Tesis de grado, Ambato: Universidad Técnica de Ambato, 2015.
- [21] J. Barrera, "Estudio de los parámetros de mantenimiento en el patio automotriz del Ministerio de Transporte y obras públicas del cantón Ambato y su incidencia en su disponibilidad" Tesis de grado, Ambato: Universidad Técnica de Ambato, 2015.
- [22] C. Alavedra Flores, Y. Gastelu Pinedo, G. Méndez Orellana, C. Minaya Luna, B. Pineda Ocas, K. Prieto Gilio y K. Ríos Mejía, Gestión de mantenimiento preventivo y su relación con la disponibilidad de la flota de camiones 730e Komatsu-2013, Chimbote: Universidad Nacional del Santa, 2016.

- [23] C. Ortiz, de *El concepto del Tiempo Medio Entre Fallas (Mean Time Between Failures MTBF) y la Confiabilidad (Reliability) aplicados a los Departamentos Mantenimiento*, Relimans, 2016, p. 6.
- [24] C. Alcalá Flores, M. J. Arteaga Herrera, D. G. Bastidad Rivera, V. Peraya Climaco, C. A. Rivera Ramírez y K. L. Toledo Nieves, "Modelo de gestión de mantenimiento para incrementar la calidad en el servicio en el departamento de alta tensión de STC metro de la ciudad de México". Tesis de grado, Zacatepec: Instituto Tecnológico de Zacatepec, 2019.
- [25] J. Evans y W. Lindsay, *Administración y control de la calidad.*, Mexico D.F: CENGAGE Learning, 2008.
- [26] M. Castillo, *Rediseño de la Turbina, eje y laberinto de la Máquina Hidráulica de generación eléctrica de 500[KW] y la simulación para la central "Península" en Ambato.*, Ambato: Facultad de Ingeniería Mecánica de la Escuela Politécnica nacional, 2015.
- [27] A. Cañar, "Diseño e implementación de un Sistema SCADA para la Central Hidroeléctrica La Península," Departamento de Eléctrica y Electrónica de la Escuela Politécnica del Ejército, Sangolquí, 2009.
- [28] G. Paguay, *Sistema Automático de Control de Mantenimiento preventivo de la Microcentral Hidraulica Península*, Ambato: Facultad de Ingeniería en Sistemas de la Universidad Técnica de Ambato, 2004.
- [29] P. Fernandez, *Turbinas hidráulicas*, Cantabria: Universidad de Cantabria, 1996.
- [30] GAD Municipalidad de Ambato, *Monitoreo de la microcuenca del río Ambato*, Ambato: Dirección de Control y Gestión Ambiental, 2019.
- [31] GoogleMaps, "Central Hidroeléctrica La Península," [En línea]. Available: <https://www.google.com.ec/maps/@-1.2402084,-78.602893,155m/data=!3m1!1e3?hl=es>. [Último acceso: 03 Enero 2020].
- [32] ARCONEL, *Aplicación del factor de disponibilidad para centrales generadoras*, Quito: Resolución N. 069/26, 2016.

ANEXOS

Anexo 1. Unidades de generación en la casa de máquinas de la central la Península.

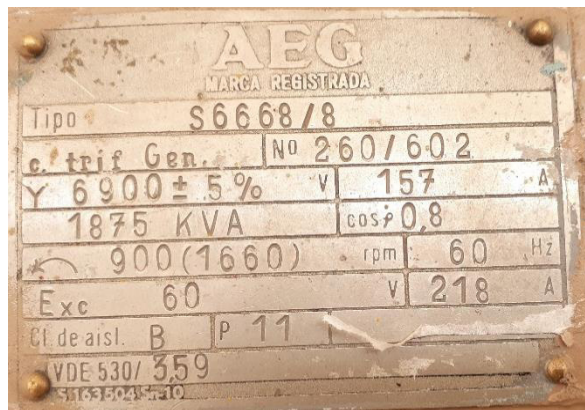


Anexo 2. Localización de la Central Península mediante el satélite de Google Maps.

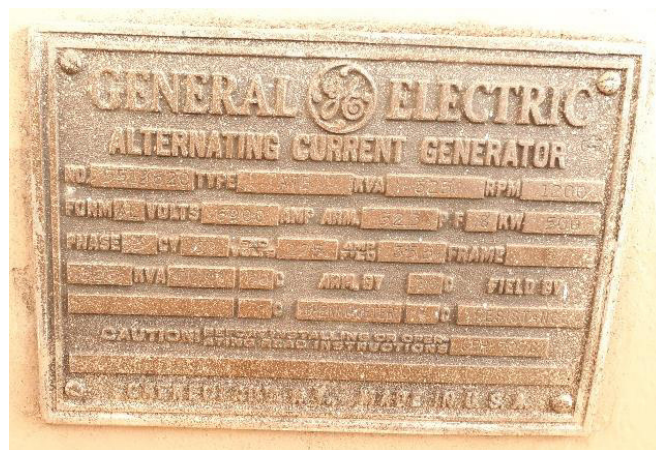
[31]



Anexo 3. Etiqueta de especificaciones de los generadores de 500Kw



Anexo 4. Etiqueta de especificaciones del generador de 1500Kw



Anexo 5. Marca de las turbinas y año de fabricación.



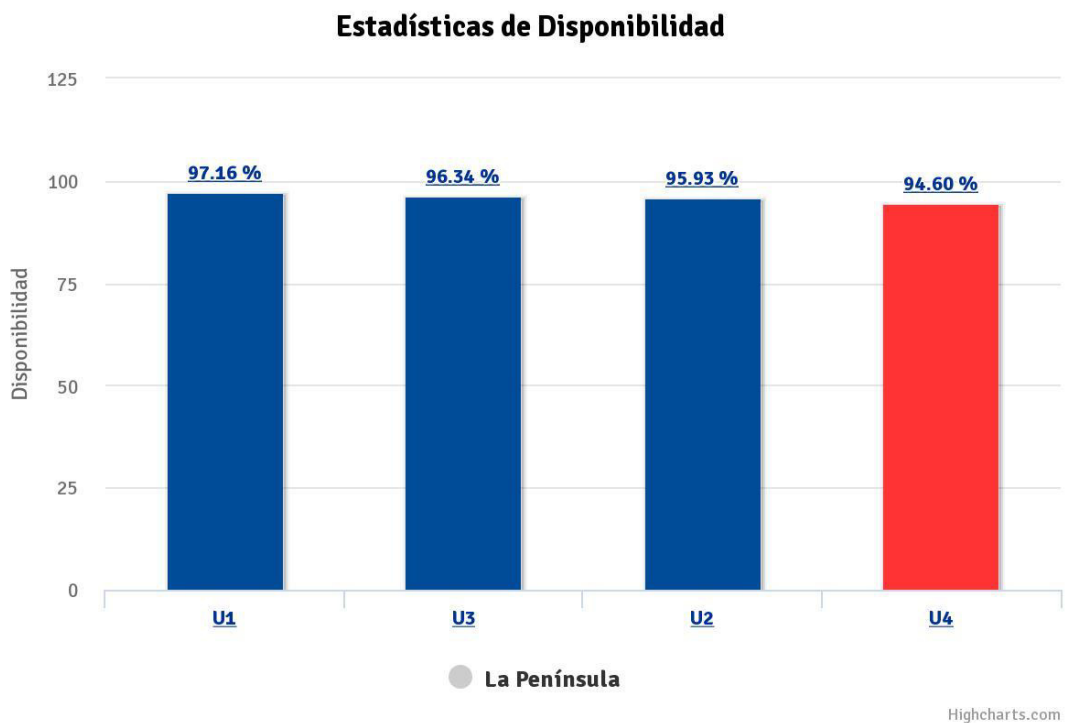
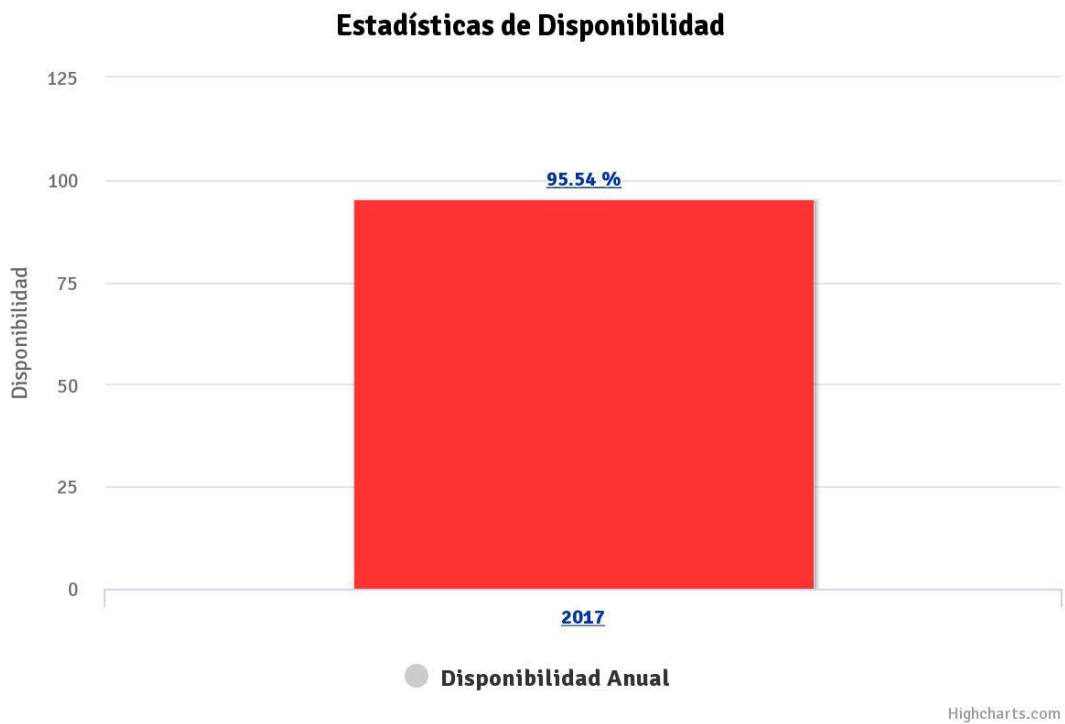
Anexo 6. Construcción de la casa de Máquinas.



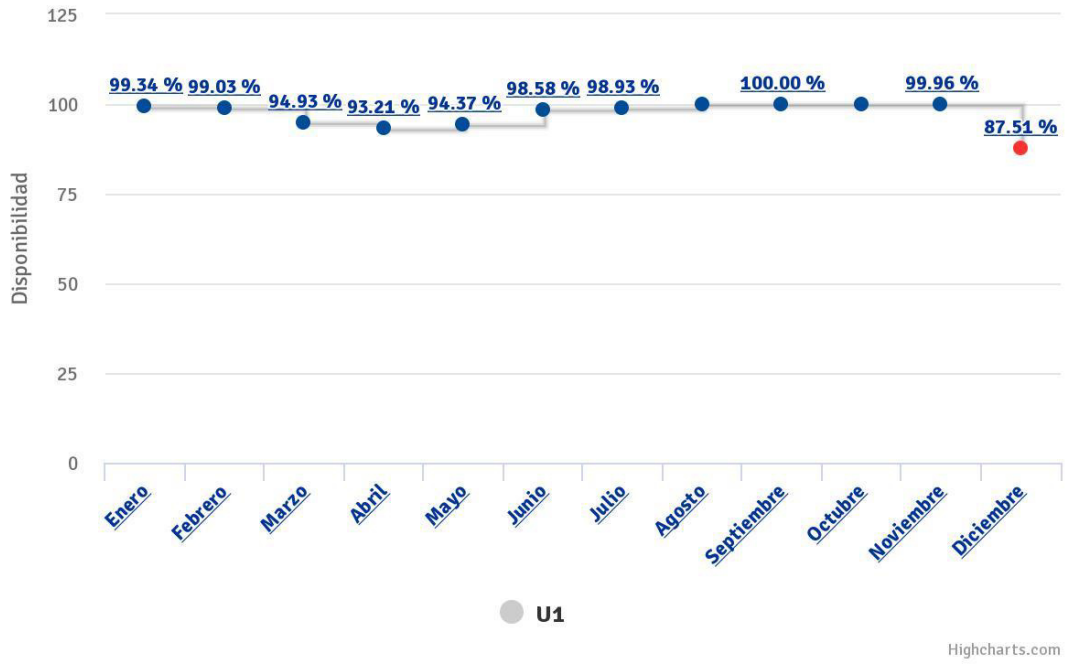
Anexo 7. Construcción de la Captación o Bocatoma.



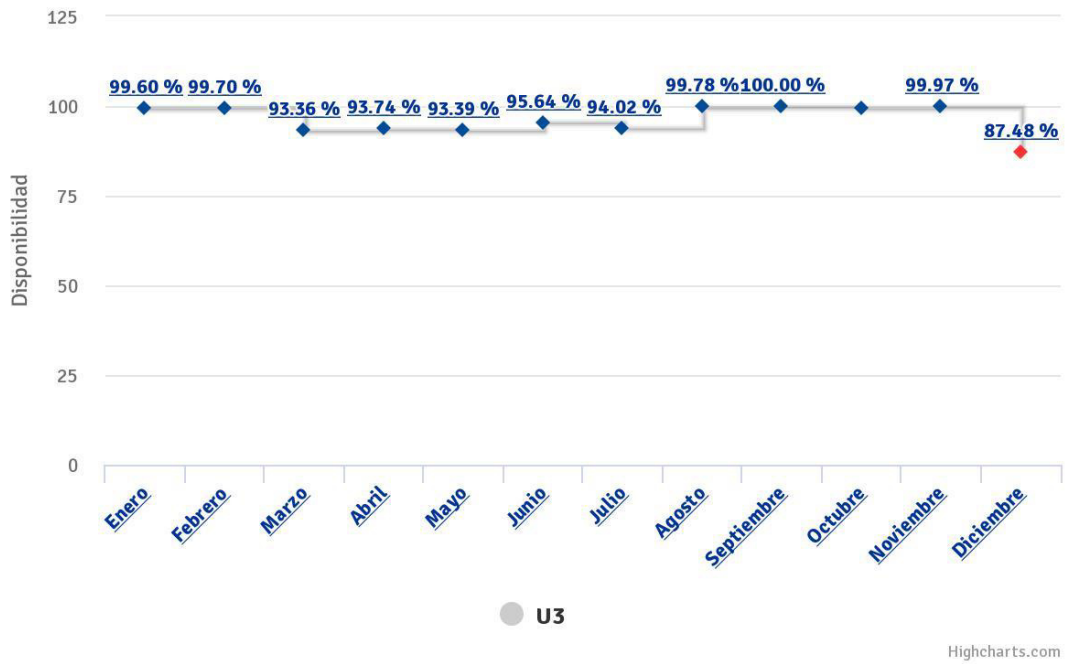
Anexo 8. Estadísticas de disponibilidad 2017.



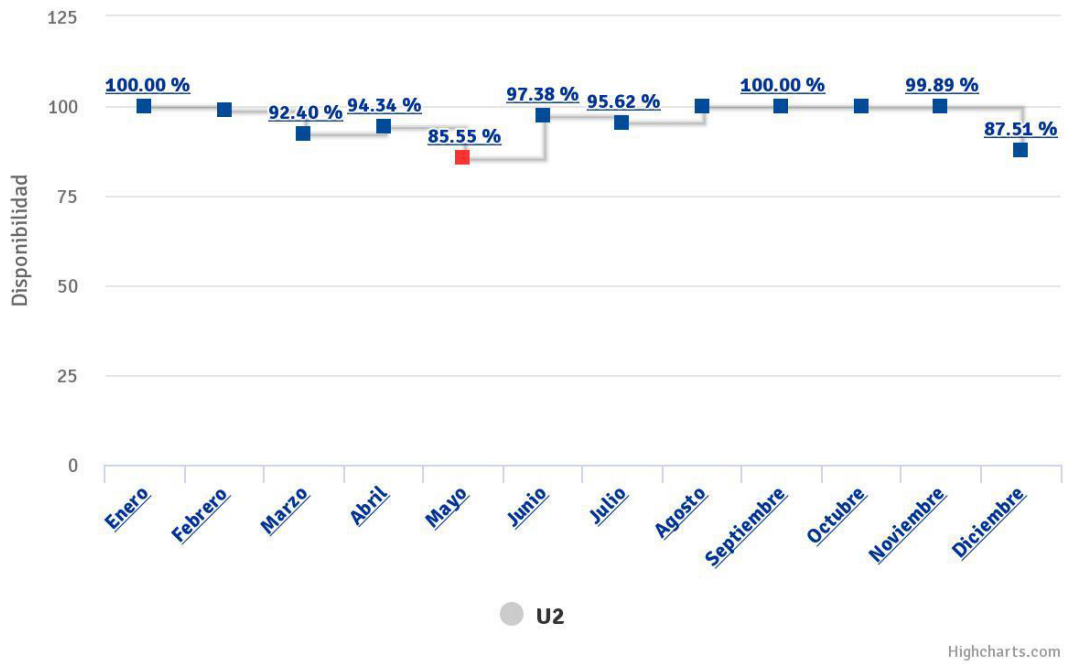
Estadísticas de Disponibilidad



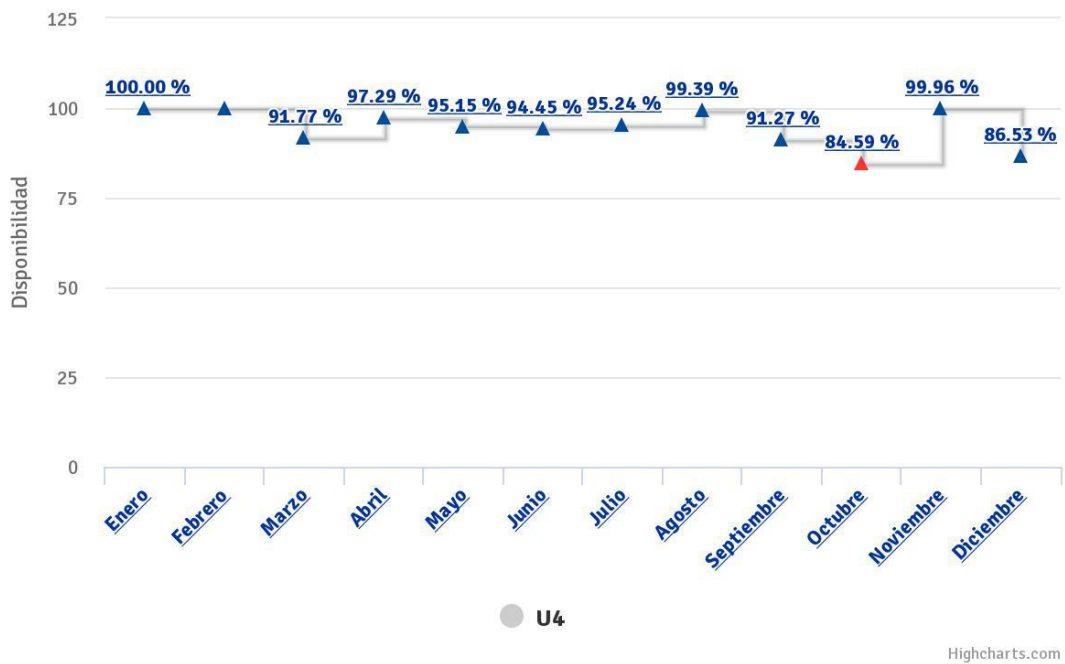
Estadísticas de Disponibilidad



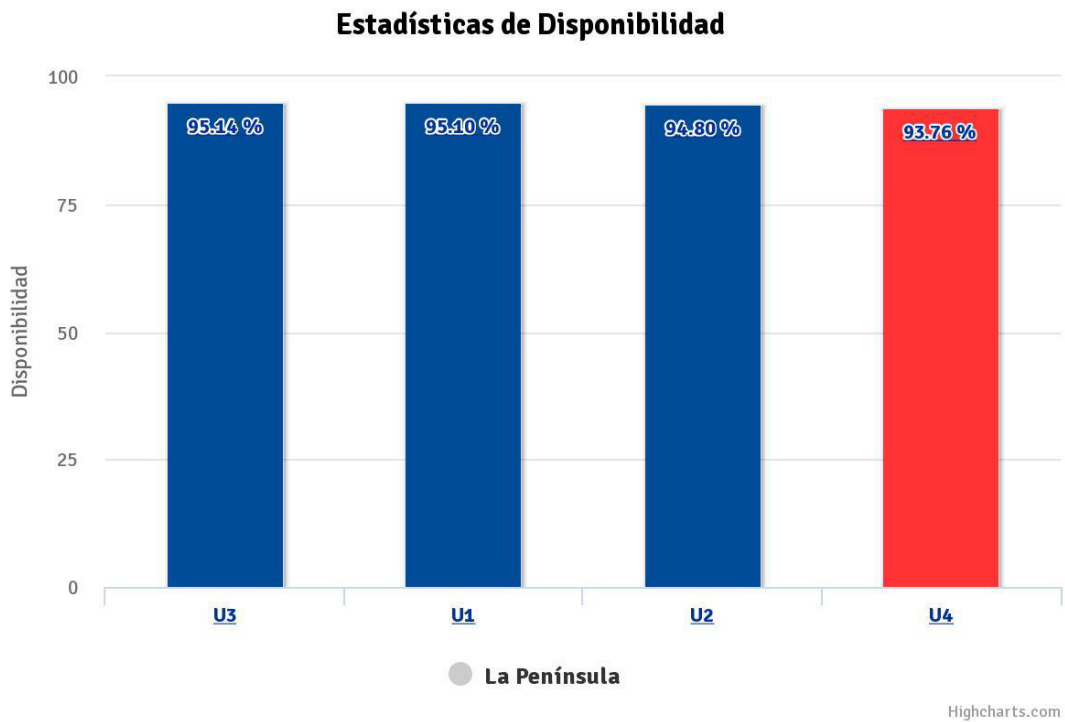
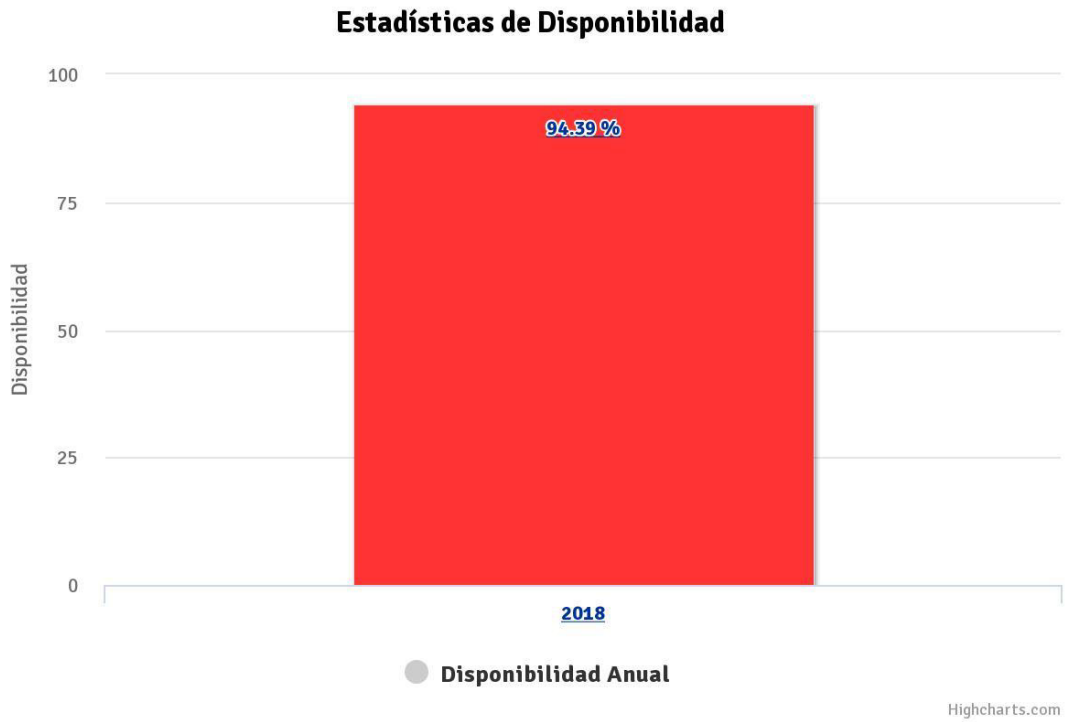
Estadísticas de Disponibilidad



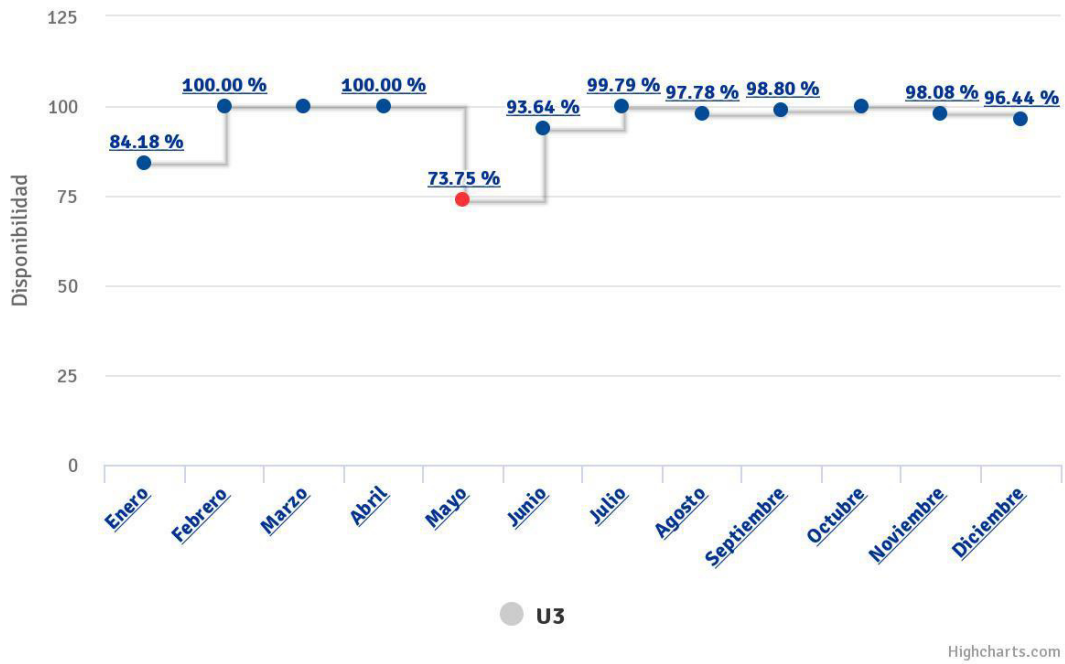
Estadísticas de Disponibilidad



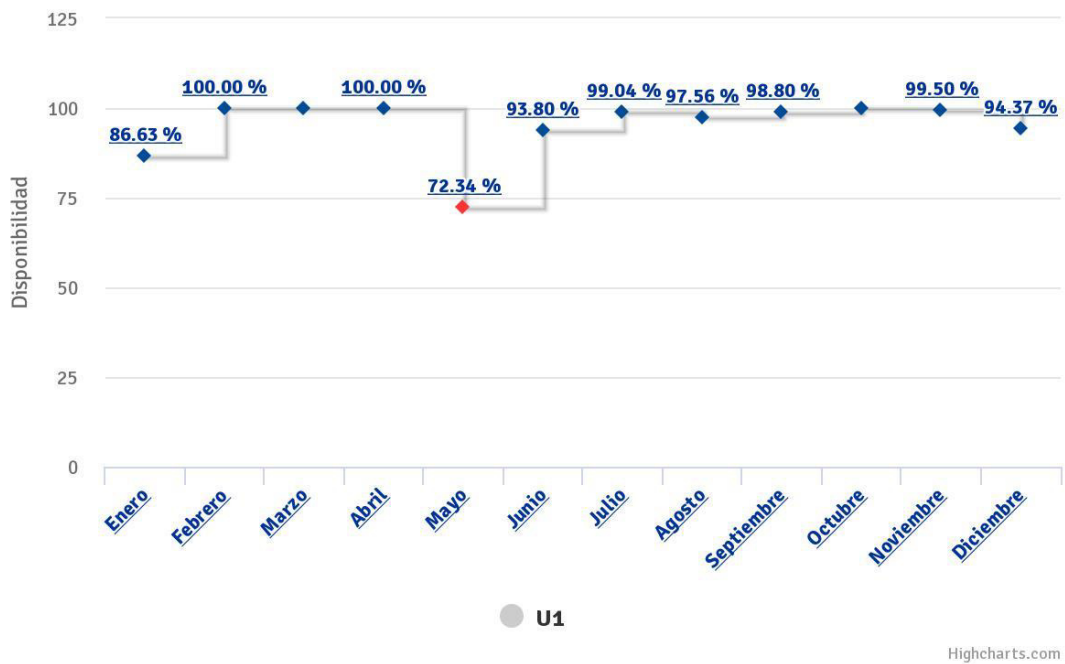
Anexo 9. Estadísticas de disponibilidad 2018.



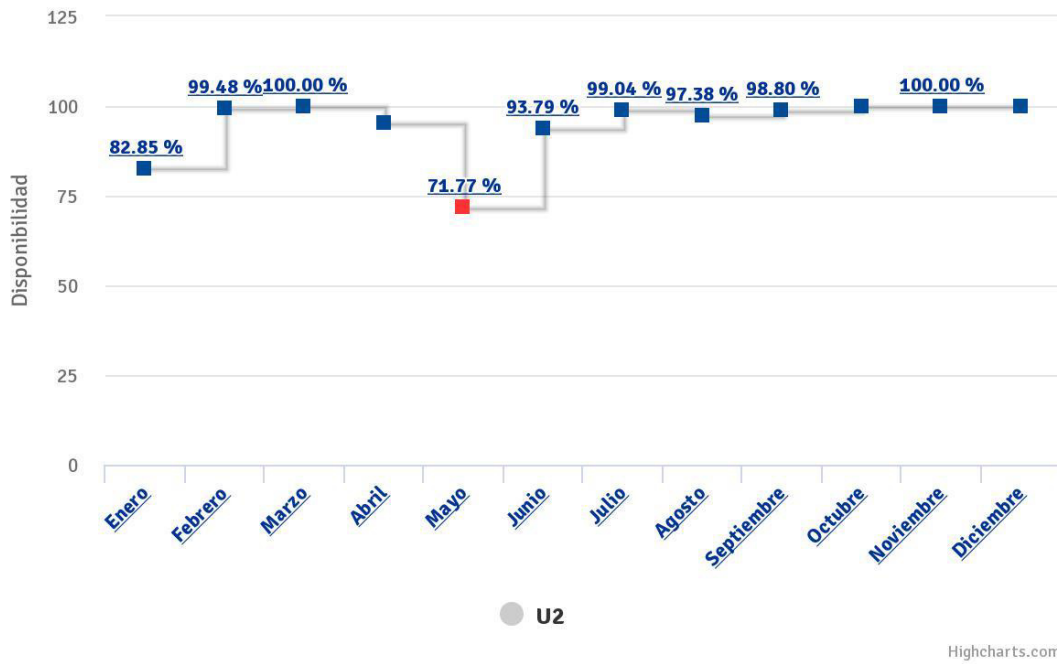
Estadísticas de Disponibilidad



Estadísticas de Disponibilidad



Estadísticas de Disponibilidad



Estadísticas de Disponibilidad

