



Universidad
Técnica de
Cotopaxi

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA

PROPUESTA TECNOLÓGICA

**TITULO “ DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PARA LAS
MÁQUINAS DE GENERACIÓN DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA
ILLUCHI I”**

Autor:

Hidalgo Negrete Joel Aldemar

Tutor:

Ing. Ms.C Segundo Ángel Cevallos Betún.

LATACUNGA – ECUADOR

AGOSTO 2018



Universidad
Técnica de
Cotopaxi



Ingeniería
Electromecánica

DECLARACIÓN DE AUTORIA

Yo, HIDALGO NEGRETE JOEL ALDEMAR declaro ser el Autor del presente proyecto de propuesta tecnológica cuyo título versa: "DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PARA LAS MÁQUINAS DE GENERACIÓN DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA ILLUCHI I" siendo el Ing. SEGUNDO ÁNGEL CEVALLOS BETÚN; Ms.C tutor del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos procedimientos y resultados en el presente trabajo, son de mi exclusiva responsabilidad



Universidad
Técnica de
Cotopaxi

Hidalgo Negrete Joel Aldemar

C.C: 050423038-4



Universidad
Técnica de
Cotopaxi



Ingeniería
Electromecánica

AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN

En calidad de Tutor de la Propuesta Tecnológica sobre el título:

“DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PARA LAS MÁQUINAS DE GENERACIÓN DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA ILLUCHI I” de, Hidalgo Negrete Joel Aldemar de la carrera Ingeniería Electromecánica considero que dicho Informe de Propuesta Tecnológica cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el **CONSEJO DIRECTIVO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS** de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, Julio del 2018

Ing. Segundo Ángel Cevallos. Ms.C
C.C: 050178243-7

Ing. Luis Rolando Cruz Ms.C
C.C: 050259517-6



Universidad
Técnica de
Cotopaxi



Ingeniería
Electromecánica

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE LECTORES

En calidad de tribunal de lectores, aprueban el presente informe de propuesta tecnológica de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas; por cuanto, el postulante: Hidalgo Negrete Joel Aldemar con título de propuesta **"DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PARA LAS MÁQUINAS DE GENERACIÓN DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA ILLUCHI I"**. Ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, Julio del 2018

Para constancia firman:

Ing. Mauro Albarracín Álvarez; Ms. C.
C.C: 050311373-0

Ing. Paúl Corrales Bastidas; Mg.C.
C.C: 050234776-8

Ing. Marcia Criollo Camacho; Mg.
C.C: 180415869-7

AGRADECIMIENTO

A dios por haberme dado la vida, Al Ing. Luis Rolando Cruz Panchi, Al Ing. Ángel Segundo Cevallos por toda la colaboración y accesoria brindada como tutores durante la elaboración de este proyecto. Al Ing. Fernando Corrales Director del departamento de Generación de ELEPCO S.A, por haberme dado la apertura para realizar el proyecto. Al Ing. Nicolás León por la colaboración y accesoriamente brindado en la planta de generación.

DEDICATORIA

El presente trabajo se lo dedico a mis queridos padres, José Mario Hidalgo y Sara Negrete, quienes me guiaron por un buen camino, en el transcurso de este sendero brindándome su confianza, cariño, apoyo y comprensión, hasta este momento, tan importante de mi formación profesional, alcanzando este sueño anhelada. A mi hijo José Daniel por alegrar mi vida con su ternura e inocencia. Este trabajo a sido posible gracias a ustedes dios los bendiga siempre.

ÍNDICE GENERAL

DECLARACIÓN DE AUTORIA	¡Error! Marcador no definido.
AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN	¡Error! Marcador no definido.
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE LECTORES.....	¡Error! Marcador no definido.
<i>AGRADECIMIENTO</i>	V
<i>DEDICATORIA</i>	VI
ÍNDICE GENERAL.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	XI
ÍNDICE DE TABLAS.....	XII
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI.....	XIII
RESUMEN	XIII
ABSTRACT	XIV
AVAL DE TRADUCCIÓN.....	¡Error! Marcador no definido.
1. INFORMACIÓN GENERAL.....	1
2. DISEÑO INVESTIGATIVO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA.	2
2.1 Título de la propuesta tecnológica.....	2
2.2 Tipo de alcance	2
2.3 Área del conocimiento	3
2.4 Sinopsis de la propuesta.....	3
2.5 Objeto de estudio y campo de acción	4
2.5.1 Objeto de Estudio	4
2.5.2 Campo de Acción	4
2.6 Situación problémica y problema	4

2.6.1	Situación Problemática.....	4
2.6.2	Problema.....	5
2.7	Hipótesis	5
2.8	Objetivos	5
2.9	Descripción de las actividades y tareas propuestas con objetivos establecidos.....	6
3	MARCO TEÓRICO	7
3.1	Reseña Histórica ELEPCO S.A.....	7
3.2	Evolución del Mantenimiento.....	8
3.3	Funciones del Mantenimiento en la Industria.....	9
3.3.1	Disponibilidad	9
3.3.2	Fiabilidad.....	9
3.3.3	Vida Útil de la Planta.....	10
3.3.4	Cumplimiento del Presupuesto.....	10
3.4	Frecuencia de las Inspecciones	11
3.5	Tipos de Mantenimiento	11
3.5.1	Mantenimiento Correctivo.....	11
3.5.2	Mantenimiento Preventivo	12
3.5.3	Mantenimiento Predictivo.	12
3.6	Plan de Mantenimiento	13
3.7	Mantenimiento preventivo a las unidades de generación	13
3.8	Centrales Hidroeléctricas.....	13
3.8.1	Clasificación de las centrales hidroeléctricas	14
3.9	Elementos que conforman la Central Illuchi I.....	14
3.9.1	Compuertas.....	15
3.9.2	Accionamiento de las compuertas	15

3.9.3	Tuberías	15
3.9.4	Válvulas	16
3.9.5	Canal de Desagüe	16
3.10	Casa de Máquinas	17
3.11	Hidrogrupos: turbinas y generadores	17
3.11.1	Turbina Hidráulica.....	18
3.11.2	Clasificación de las turbinas.....	18
3.11.3	Turbina Pelton	18
3.12	Elementos de una turbina Pelton.....	19
3.12.1	Rodete.....	19
3.12.2	Distribuidor.....	19
3.12.3	Inyectores.....	19
3.12.4	Regulador de Velocidad	19
3.12.5	Eje de la turbina.....	19
3.12.6	Turbinas en la Central Illuchi I.....	20
3.13	Generador.....	20
3.13.1	Clasificación de los generadores síncronos.....	20
3.13.2	Componentes de un generador síncrono.....	21
3.14	Sistema de Excitación	23
3.15	Tablero de control y medida	23
3.16	Generación de la Central Hidroeléctrica Illuchi I	24
3.16.1	Generación de las unidades de la Central Hidroeléctrica Illuchi I	24
4	METODOLÓGICO.....	32
4.1	Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM).....	32
4.1.1	Las siete preguntas básicas del RCM	33

4.1.2	Fallas Funcionales	33
4.1.3	Modos de Falla	33
4.4.3	Efectos de Falla	34
4.4.4	Hoja de Decisión RCM.....	35
4.4.5	Que sucede si no se puede prevenir el fallo.....	36
4.4.6	Como se puede prevenir el fallo.....	36
4.2	Codificación de Equipos	37
4.3	Historial de fallos de las unidades de generación	37
4.4	Análisis de Criticidad.....	38
4.4.1	Tipos de Equipos	41
4.5	Ficha Técnica.....	42
4.6	Orden de Trabajo	42
4.7	Disponibilidad de las unidades	43
4.7.1	Cálculo de disponibilidad de la unidad.....	43
4.7.2	Fiabilidad de las unidades.....	44
4.8	Planos eléctricos y mecánicos.....	44
4.9	Diseño del plan de mantenimiento.....	44
5	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	45
5.1	Hoja de trabajo de información RCM.....	45
5.2	Hoja de trabajo de decisión RCM.....	45
5.3	Codificación de Equipos	46
5.4	Historial de fallos de las unidades	51
5.5	Criticidad de Equipos.....	52
5.6	Fichas Técnicas.....	56
5.7	Orden de Trabajo	57

5.8	Cálculo horas de disponibilidad y disponibilidad de las unidades de generación	58
5.9	Cálculo de fiabilidad de las unidades de generación	60
5.10	Planos eléctricos y mecánicos.....	61
5.11	Diseño del plan de mantenimiento.....	61
6	PRESUPUESTO Y ANÁLISIS DE IMPACTOS.....	68
6.1	Presupuesto	68
6.2	Análisis de Impactos	69
7	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	69
7.1	Conclusiones	69
7.2	Recomendaciones	70
	ANEXOS	71

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3:	Tuberías de la Central Hidroeléctrica Illuchi I hacia la casa de maquinas	16
Figura 3.1:	Casa de máquinas de la central hidroeléctrica Illuchi I	17
Figura 3.2:	Unidades de generación de la Central Illuchi I.....	22
Figura 3.3:	Tablero de control para cada grupo generador de la Central Illuchi I	23
Figura 3.4:	Generación unidad 1	25
Figura 3.5:	Horas generadas unidad 1	25
Figura 3.6:	Generación unidad 2	27
Figura 3.7:	Horas generadas unidad 2	27
Figura 3.8:	Generación unidad 3	29
Figura 3.9:	Horas generadas unidad 3	29
Figura 3.10:	Horas generadas unidad 4	31
Figura 3.11:	Horas generadas unidad 4.....	31
Figura 4:	Hoja de trabajo de información RCM.....	34
Figura 4.1:	Hoja de decisión RCM.....	35

Figura 5:Disponibilidad de unidades de generación.....	59
Figura 5.1:Fiabilidad	61
Figura 5.2:Hoja principal de trabajo.....	63
Figura 5.3:Registro de trabajo por unidad	64
Figura 5.4:Base de datos de horas de trabajo por unidad	64
Figura 5.5:Activación de alertas.....	65
Figura 5.6:Control de horas cumplidas al 100%	66
Figura 5.7:Orden de trabajo.....	67
Figura 5.8: Base de órdenes de trabajo generadas.....	68

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Generación en Kw-h y horas de funcionamiento de la unidad 1.....	24
Tabla 2: Generación en Kw- h y horas de funcionamiento de la unidad 2.....	26
Tabla 3: Generación en Kw- h y horas de funcionamiento de la unidad 3.....	28
Tabla 4: Generación en Kw- h y horas de funcionamiento de la unidad 4.....	30
Tabla 5: Hoja de trabajo de información R.C.M del regulador de velocidad.....	45
Tabla 6 : Hoja de decisión R.C.M del regulador de velocidad.....	46
Tabla 7:Codificación de equipos de la unidad 1.....	47
Tabla 8: Codificación de equipos de la unidad 2.....	48
Tabla 9: Codificación de equipos de la unidad 3.....	49
Tabla 10: Codificación de los equipos de la unidad 4.....	50
Tabla 11: Historial de fallos de las unidades de generación de la Central Iluchi I	51
Tabla 12: Criticidad de equipos de la unidad 1	52
Tabla 13: Criticidad de equipos de la unidad 2	53
Tabla 14: Criticidad de equipos de la unidad 3	54
Tabla 15: Criticidad de equipos de la unidad 4	55
Tabla 16: Ficha técnica de la turbina y el generador de la unidad 1	56
Tabla 17: Orden de trabajo del Generador	57

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

**“DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PARA LAS MÁQUINAS DE
GENERACIÓN DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA ILLUCHI I”**

AUTOR:

Hidalgo Negrete Joel Aldemar

RESUMEN

El presente proyecto inició con la recopilación de información de mantenimientos realizados en la central hidroeléctrica, a continuación, se identificó cada uno de los sistemas que componen la misma, identificando cinco sistemas que son el sistema de conducción, sistema de generación, sistema de excitación, sistema de lubricación y refrigeración y sistema de control y medida, una vez identificado estos sistemas se realizaron los planos donde se detalla cada uno de los equipos y elementos que lo conforman. Además, se procedió a revisar información teórica sobre manteniendo centrado en la confiabilidad (RCM), así como la información necesaria para llenar las hojas de trabajo de información del RCM y la hoja de trabajo de decisión del RCM, posteriormente se hizo un análisis del modo, causa, y efectos de fallo, que puede ocurrir si fallase de la forma que se indica en las hojas de trabajo RCM. Mediante cálculo se obtuvo la disponibilidad y fiabilidad de las unidades de generación, obteniendo como resultado una disponibilidad y fiabilidad mayor al 95% en las cuatro unidades, ya que las dos guardan relación. Se diseñó el plan de mantenimiento utilizando el programa de Microsoft Excel; ya que en las instalaciones se maneja dicho programa; las frecuencias de mantenimiento de este plan se realizaron según las horas de operación de cada una de las unidades de generación ya que por distintas causas las unidades no trabajan las 24 horas continuas, logrando así que el mantenimiento sea en tiempo real; este plan consta de cuatro alertas: verde, amarillo, naranja y rojo las cuales se activarán en el orden mencionado según se van cumpliendo las horas de trabajo.

Palabras Clave: Central Hidroeléctrica, Mantenimiento; Fallo, Diseño, RCM

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

“DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PARA LAS MÁQUINAS DE GENERACIÓN DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA ILLUCHI I”.

AUTHOR: Hidalgo Negrete Joel Aldemar

ABSTRACT

This research Project began with a collection of maintenance information performed at the hydroelectric power station then each of their systems were identified, these are: driving, generation, excitation system, lubrication, cooling, control system and measure systems, after that, the plans were made with each equipment and elements. Besides a theoretical compilation of maintenance based on RCM reliability with information to complete the RCM worksheet and the RCM decision worksheet. Subsequently, a mode analysis, the mode, cause and effect of failure was made and assume that it has on the RCM worksheet. By calculation, availability and reliability was obtained, having as one 95% of the four units, because they are related. The maintenance plan was designed with Microsoft Excel program, because in these plants work with system, the frequencies of this plan are with the hours of operation of each units, but for different reasons the units don't work twenty four continuous hours and allowed maintenance in real time, this plan consist of four alarms: green, yellow, orange and red which are activated in the mentioned order according to the working hours.

Keywords: Hydroelectric power station, generation unit, maintenance, failure, desing, RCM



Universidad
Técnica de
Cotopaxi

CENTRO DE IDIOMAS

AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que: La traducción del resumen de tesis al Idioma Inglés presentado por el señor Egresado de la Carrera de **INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA** de la Facultad de **CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS**, **Joel Aldemar Hidalgo Negrete** cuyo título versa "**DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PARA LAS MÁQUINAS DE GENERACIÓN DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA ILLUCHI I**", lo realizó bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo al peticionario hacer uso del presente certificado de la manera ética que estimaren conveniente.

Latacunga, julio del 2018

Atentamente,

.....
Lic. José Ignacio Andrade
DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS
C.C. 050310104-0

1. INFORMACIÓN GENERAL

Propuesto por:

Hidalgo Negrete Joel Aldemar

Tema Aprobado:

“DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PARA LAS MÁQUINAS DE GENERACIÓN DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA ILLUCHI I”

Carrera:

Ingeniería Electromecánica

Director de la Propuesta Tecnológica

Ing. Ms.C Segundo Ángel Cevallos Betún

Fecha de inicio: octubre del 2017

Fecha de Finalización: julio del 2018

Equipo de trabajo:

Ing. Ms.C Segundo Ángel Cevallos Betú

Ing. Ms.C Luis Rolando Cruz Panchi.

Sr. Joel Aldemar Hidalgo Negrete

Lugar de ejecución

Zona Oriental, Provincia de Cotopaxi, Cantón Latacunga, Parroquia Juan Montalvo, Barrio Juan Pablo Segundo.

Tiempo de duración de la propuesta: 1 año

Fecha de entrega: julio del 2018

Línea y sublínea: Este proyecto corresponde a:

Procesos Industriales, Diseño Construcción y mantenimiento de elementos, prototipos y sistemas electromecánicos.

Tipo de Propuesta Tecnológica

El presente proyecto consiste en diseñar un plan de mantenimiento preventivo programado para los grupos de generación de energía eléctrica, de la Central Hidroeléctrica Illuchi I, y la programación de rutinas de mantenimiento, se realizó en un software que sea de fácil acceso y bajo costo.

2. DISEÑO INVESTIGATIVO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA.

2.1 Título de la propuesta tecnológica

Diseño de un plan de mantenimiento para las máquinas de generación de la Central Hidroeléctrica Illuchi I.

2.2 Tipo de alcance

Productivo

En la provincia de Cotopaxi, Cantón Latacunga opera la EMPRESA ELÉCTRICA PROVINCIAL COTOPAXI S.A. (ELEPCO S.A) la misma que tiene la función de prestar el servicio público de electricidad en su área de concesión que abarca la provincia de Cotopaxi la cual es 5556 km², mediante la generación, distribución y comercialización de energía eléctrica. Entre las centrales generadoras hidroeléctricas con que cuenta ELEPCO S.A están: Illuchi 1, Illuchi 2 ubicadas en el Cantón Latacunga, El Estado y Angamarca que corresponden al Cantón Pujilí y Catazacón localizada en el Cantón Pangua, la capacidad instalada disponible de estas 5 centrales de generación es de 15.26 MVA.

Para la realización de este proyecto se consideró a la central hidroeléctrica Illuchi I; esta central, para generar energía eléctrica, utiliza el flujo de agua procedente del Rio Illuchi, para la transformación de energía hidráulica a energía eléctrica emplea cuatro unidades de generación, distribuida en dos grupos, uno de 872 KVA de 1200 rpm y dos de 1750 KVA de 900 rpm, estas unidades utilizan turbinas marca Bell tipo Pelton con una capacidad total de generación de 5.22 KVA con un voltaje de 2400 V con una frecuencia de 60 Hz y un factor de potencia de 0.8, en la actualidad esta central no dispone de un plan de mantenimiento preventivo adecuado, lo cual ocasiona que tenga paradas repentinas de sus unidades, dejando a estas fuera de funcionamiento.

El presente proyecto está dirigido a elaborar el diseño de un plan de mantenimiento preventivo para las unidades de generación de la Central Hidroeléctrica Illuchi I, de ELEPCO S.A para esto se realizará un diagnóstico del estado actual de las unidades de generación, considerando sus elementos mecánicos y eléctricos.

Además, se realizó un análisis de fallos para determinar cuáles son los factores que ocasionan averías, provocando la existencia de paradas no programadas, se identificó los daños más

frecuentes que tienen las unidades de generación en base a datos de campo, los mismos que se obtendrán en la central hidroeléctrica.

Finalmente se elaboró, un plan de mantenimiento para las unidades de generación de la central hidroeléctrica Illuchi I, para ELEPCO S.A, tomando como referencia los mantenimientos realizados anteriormente, la experticia de los operadores de la central y la reducida documentación del fabricante de estas unidades.

2.3 Área del conocimiento

332203 Generadores de Energía

2.4 Sinopsis de la propuesta

Las centrales hidroeléctricas son de gran importancia dentro de los sistemas de generación de energía eléctrica, ya que cubren gran parte de la demanda diaria de energía, por lo tanto, es importante que se realicen adecuados mantenimientos a sus equipos y partes para prolongar la vida útil de los mismos y a la vez se encuentren disponibles para entrar en operación a plena carga cuando el sistema lo requiera.

La generación de energía eléctrica en forma hidráulica en la Provincia de Cotopaxi es de 15.26 MVA que representa un 0.34% de la totalidad generada en nuestro país, LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA ILLUCHI I aporta con 5.24 MVA que representa un 34.20% de la totalidad generada en nuestra Provincia, la misma que aporta al sistema Eléctrico Interconectado “para regular” el nivel de voltaje de la barra. Según RESOLUCIÓN Nro. ARCONEL – 043/16 Que él, artículo 54 de la Ley ibídem dispone: Precios sujetos a regulación de tarifas, EL ARCONEL, dentro del primer semestre de cada año, determinará los costos de generación, transmisión, distribución, comercialización y alumbrado público general que se aplicarán en las transacciones eléctricas, el precio medio de la energía generada en los últimos años tiene un costo aproximado de \$ 3,97 ¢USD/kWh, este costo se fija según el artículo 56 de la Ley ibídem que dispone: ...Para las empresas públicas y mixtas de generación y transmisión, los costos deberán considerar los rubros por concepto de calidad, confiabilidad, disponibilidad, administración, operación y mantenimiento; y, los costos asociados con la responsabilidad ambiental. [1]

Después de haber realizado una visita a la Central Hidroeléctrica Illuchi I se constató que no cuenta con un plan de mantenimiento preventivo adecuado, por lo que se propone realizar el diseño de un plan de mantenimiento preventivo para sus unidades de generación el mismo que contribuirá a reducir las paradas no programadas de las unidades tales como: ruptura de bandas, bajo nivel de aceite en los cojinetes, fugas de aceite por las tuberías de conducción, desgaste por fricción en los carbones, etc.

La empresa, ELEPCO S.A al contar con un plan de mantenimiento en la Central, reducirá tiempo y costos de reparación, ya que se conocerán los pasos a seguir y la frecuencia con que se debe realizar las actividades de mantenimiento a fin de mantener en stock los repuestos.

2.5 Objeto de estudio y campo de acción

2.5.1 Objeto de Estudio

Los equipos de generación de la Central Hidroeléctrica Illuchi I que opera para ELEPCO S.A localizada en Latacunga.

2.5.2 Campo de Acción

Diseñar un plan de mantenimiento preventivo programado para las unidades de generación de la Central Hidroeléctrica Illuchi I.

2.6 Situación problémica y problema

2.6.1 Situación Problemática

La Central Hidroeléctrica Illuchi I se encuentra operando desde el año 1951 en la Provincia de Cotopaxi como parte de ELEPCO S.A, tiene 67 años de operación en forma continua, durante estos años y hasta la actualidad no se ha implementado un plan adecuado de mantenimiento preventivo, únicamente se ha actuado cuando se ha presentado el fallo o daño, ocasionando así que existan paradas no programadas de las unidades de generación las cuales perjudican a ELEPCO S.A. Es por estos antecedentes que se vio la necesidad de diseñar un plan de mantenimiento para las unidades de generación, para lo cual se tomó como referencia el conocimiento de los operadores de estos equipos y la reducida documentación existente.

2.6.2 Problema

La Central Hidroeléctrica Illuchi I, a venido operando desde su puesta en funcionamiento con un plan de mantenimiento netamente correctivo, esto ha provocado que en el transcurso del tiempo se presenten paradas repentinas de los equipos, lo que ha ocasionado grandes pérdidas económicas a ELEPCO S.A. y a sus usuarios, es por esta razón que se plantea como respuesta a este problema, el diseño de un plan de mantenimiento preventivo “programado”, el mismo que contribuye a prolongar el tiempo de vida útil de los elementos de la Central así como a planificar rutas, rutinas y paradas de los equipos sin que afecten a los usuarios de este servicio.

2.7 Hipótesis

El diseño de un plan de mantenimiento programado para las unidades de generación de energía eléctrica de la Central Hidroeléctrica Illuchi I, disminuirá las paradas no programadas de las unidades e incrementará su confiabilidad y disponibilidad.

2.8 Objetivos

General

Diseñar un plan de mantenimiento programado en la Central Hidroeléctrica Illuchi I, para ELEPCO S.A el cual permita mantener operativas sus unidades de generación y así reducir las paradas no programadas.

Específicos

- Realizar un diagnóstico a las unidades de generación, sus elementos eléctricos y mecánicos, para tener un conocimiento general.
- Identificar los daños más frecuentes mediante una recolección de información, de mantenimientos realizados anteriormente en la Central.
- Elaborar el plan de mantenimiento programado en un sistema computacional, para las unidades de generación de la Central Hidroeléctrica Illuchi I de ELEPCO S.A.

2.9 Descripción de las actividades y tareas propuestas con objetivos establecidos

Objetivos planteados	Actividades	Resultado de la actividad	Descripción de la metodología de la investigación
Realizar un diagnóstico a las unidades de generación, a sus elementos eléctrico y mecánicos, para tener un conocimiento general.	Recolección de datos de placa a cada unidad de generación	Ficha con datos de las unidades	Investigación de campo
	Determinar las conexiones de los sistemas mecánicos y eléctricos con sus códigos	Esquema mecánico Diagrama Unifilar	Investigación de campo Investigación bibliográfica
Identificar los daños más frecuentes mediante una recolección de información de mantenimientos realizados anteriormente en la Central.	Determinar datos de mantenimiento realizados anteriormente y los repuestos utilizados	Listado de averías y su frecuencia.	Investigación de campo Entrevista a operadores
Elaborar el plan de mantenimiento programado en un sistema computacional para las unidades de generación de la Central Hidroeléctrica	Definir las actividades de mantenimiento eléctrico y mecánico por sistemas	Plantilla con la programación de las actividades de mantenimiento	Investigación de campo Investigación Bibliográfica

Illuchi I de ELEPCO S.A.	Frecuencias de mantenimiento y horas/hombre requeridas	Pasos a seguir para realizar el mantenimiento e instrumentos utilizados	Investigación de campo Investigación Bibliográfica
--------------------------	--	---	---

3 MARCO TEÓRICO

3.1 Reseña Histórica ELEPCO S.A

El día domingo 11 de abril de 1909 el Coronel Justiniano Viteri, presidente del Consejo Municipal de Latacunga, inauguró en forma oficial el servicio de alumbrado eléctrico de esta ciudad, conformándose lo que se llamó los Servicios Eléctricos Municipales, entidad que desde aquella fecha fue la encargada de administrar la energía eléctrica producida por una pequeña planta hidráulica de 30 KW localizada en el barrio Miraflores. En 1925 se inauguró otra central hidráulica de 300 KW en el río Yanayacu. El voltaje al cual se generaba era el mismo al que se distribuía y se consumía; es decir 110/220 V. con la primera central y luego con la segunda distribuida a 2.400 V, en 1951 el alcalde de Latacunga don Rafael Cajiao Enríquez inaugura la primera etapa de dos grupos hidráulicos de 700 KW cada uno. En la segunda etapa se instaló el tercer grupo, 1400 KW, entrando en operación en 1955. En 1967 entró en operación la Central Illuchi N° 2 con 1400 KW. Los caudales de agua que se aprovechaban eran de las lagunas de Piscacocha y Salayambo, y las captaciones de las acequias Retamales, Ashpacocha y Dragones. Con las nuevas centrales se cambió el sistema de distribución a 6.300 V. El primero de febrero de 1984 entra en funcionamiento la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A., siendo sus Accionistas INECEL y los Municipios de Latacunga, Saquisilí, Salcedo y Pujilí. En el mes de marzo de 1987 se realiza la construcción de la ampliación de las centrales Hidráulicas Illuchi N° 2, con el financiamiento de INECEL y de fondos propios de la Empresa. Esta ampliación tiene 5200 KW divididos en dos grupos, inició su funcionamiento en el mes de diciembre de 1987. La Compañía debe observar los reglamentos que ha expedido el Ejecutivo, destacándose el de Tarifas, de Concesiones, de Funcionamiento del Mercado Eléctrico Mayorista y el de Suministro del Servicio de Electricidad, cuya versión sustitutiva entró en vigencia en el mes de noviembre del año 2005 y que, en lo sustancial, norma las relaciones entre el consumidor, la ELEPCO S.A.

y el ente de regulación y control del sector eléctrico, CONELEC. En el aspecto legal, es importante anotar finalmente, la regulación 04/01 sobre la calidad del servicio en distribución que expidió el CONELEC en el año 2001. En base a ésta, la ELEPCOSA debe reportar su gestión en los aspectos de calidad del producto, calidad del servicio técnico y calidad del servicio comercial.

[2]

3.2 Evolución del Mantenimiento

El comienzo del siglo XX, da origen a la Primera Generación de mantenimiento, que se extiende hasta mediados del siglo, tiene como características relevantes:

- ✓ Equipos robustos, sobredimensionados y simples
- ✓ Las actividades demandaban poca destreza
- ✓ Poca importancia a los tiempos de parada de los equipos
- ✓ La prevención de fallas en los equipos no era la prioridad
- ✓ El mantenimiento era mantenimiento reactivo o de reparación [3]

En la segunda guerra mundial se implementa técnicas para prevenir fallas en equipos de combate y disminuir costos de reparación, vino a tomar importancia relevante, la disponibilidad y duración de la vida útil de la maquinaria, esto da origen a la Segunda Generación de mantenimiento que se extendió hasta mediados de los años 70, tiene como características principales:

- ✓ Importancia en la productividad
- ✓ Mayor interés a los tiempos de parada de los equipos
- ✓ Inicio del mantenimiento preventivo
- ✓ Sistemas de planificación y control de mantenimiento
- ✓ Aumento de la vida útil de los equipos y sistemas [3]

En la década de los 70 se desarrollan técnicas con el fin de prevenir las fallas de equipos y disminuir los costos de reparación, lo que dio origen a la Tercera Generación de mantenimiento, que se extendió hasta el fin de siglo y tiene entre sus características primordiales:

- ✓ Altos volúmenes de producción.
- ✓ Importancia a la producción y estándares de calidad
- ✓ Demanda de disponibilidad y confiabilidad de los equipos
- ✓ Significancia de los costos de mantenimiento

- ✓ Aplicación del mantenimiento productivo total (TMP) y del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) [4]

El final del siglo pasado y el nuevo milenio da inicio a la Cuarta Generación de mantenimiento que representa la revolución industrial enmarcada en la competitividad la misma que se extiende desde inicios del siglo hasta hoy, se destacan como principales características:

- ✓ Énfasis en los indicadores de disponibilidad y mantenibilidad.
- ✓ Confiabilidad y excelencia operacional
- ✓ Desarrollo de la optimización del mantenimiento planeado
- ✓ Análisis del costo del ciclo de vida [4]

3.3 Funciones del Mantenimiento en la Industria

El departamento de mantenimiento de una industrial tiene cuatro funciones que deben marcar y dirigir su trabajo:

- ✓ Cumplir un valor determinado de disponibilidad.
- ✓ Cumplir un valor determinado de fiabilidad.
- ✓ Asegurar una larga vida útil de la instalación en su conjunto, al menos acorde con el plazo de amortización de la planta.
- ✓ Conseguir todo ello ajustándose a un presupuesto dado, normalmente el presupuesto óptimo de mantenimiento para esa instalación [5]

3.3.1 Disponibilidad

La disponibilidad de una instalación se define como la proporción del tiempo que dicha instalación ha estado en disposición de producir, con independencia de que finalmente lo haya hecho o no por razones ajenas a su estado técnico, lo más importante de mantenimiento es asegurar que la instalación estará en disposición de producir un mínimo de horas determinado del año. Es un error pensar que el objetivo de mantenimiento es conseguir la mayor disponibilidad posible (100%) puesto que esto puede llegar a ser muy costoso. [6]

3.3.2 Fiabilidad

La fiabilidad es un indicador que mide la capacidad de una planta para cumplir su plan de producción previsto, en una instalación industrial se refiere habitualmente al cumplimiento de la

producción planificada, y comprometida en general con clientes internos o externos. El incumplimiento de este programa de carga puede llegar a acarrear penalizaciones económicas, y de ahí la importancia de medir este valor y tenerlo en cuenta a la hora de diseñar la gestión del mantenimiento de una instalación. [6]

3.3.3 Vida Útil de la Planta

Es asegurar una larga vida útil para la instalación, es decir, las plantas industriales deben presentar un estado de degradación acorde con lo planificado de manera que ni la disponibilidad ni la fiabilidad ni el coste de mantenimiento se vean fuera de sus objetivos fijados en un largo periodo de tiempo, normalmente acorde con el plazo de amortización de la planta. La esperanza de vida útil para una instalación industrial típica se sitúa habitualmente entre los 20 y los 30 años, en los cuales las prestaciones de la planta y los programas de mantenimiento deben estar siempre dentro de unos valores prefijados.

Un mantenimiento mal gestionado, con una baja proporción de horas dedicadas a tareas preventivas, con bajo presupuesto, con falta de medios y de personal y basado en reparaciones provisionales provoca la degrada rápidamente cualquier instalación industrial. Es característico de plantas mal gestionadas como a pesar de haber transcurrido poco tiempo desde su puesta en marcha inicial el aspecto visual no se corresponde con su juventud (en términos de vida útil). [7]

3.3.4 Cumplimiento del Presupuesto

El cumplimiento de disponibilidad, fiabilidad y vida útil no pueden conseguirse a cualquier precio. El departamento de mantenimiento debe conseguir las funciones marcadas ajustando sus costos a lo establecido en el presupuesto anual de la planta, este presupuesto ha de ser calculado con sumo cuidado, ya que un presupuesto inferior a lo que la instalación requiere empeora irremediablemente los resultados de producción y hace disminuir la vida útil de la instalación; por otro lado, un presupuesto superior a lo que la instalación requiere empeora los resultados de la cuenta de explotación. [7]

3.4 Frecuencia de las Inspecciones

Para lograr una buena programación del MP se basa en un estado experimental, la etapa básica en la fijación del ciclo de frecuencia de mantenimiento es el análisis técnico del equipo que tenga en cuenta los siguientes puntos:

- ✓ Edad, condición y costo. El activo más antiguo y con mayor deterioro requiere servicios de inspección más frecuente, pero siempre con base en el análisis técnico- económico que justifique la inversión en su mantenimiento.
- ✓ Severidad del servicio. Según la carga de trabajo de un equipo debe variar la frecuencia de inspección; para equipos idénticos, el de carga más severa requiere ciclos más cortos.
- ✓ Requisitos de seguridad. Dependiendo de los riesgos que afectan la seguridad de personas e instalaciones, las frecuencias de inspección deben aumentarse para disminuir al mínimo las situaciones que generen condiciones peligrosas.
- ✓ Susceptibilidad de deterioro. Con base en la vida útil probable y en las condiciones medio ambientales, la posibilidad de deterioro varía considerablemente por tanto la frecuencia de inspección debe ser mayor para las condiciones más desfavorables
- ✓ Condiciones particulares de operación. Las frecuencias de inspección deben ajustarse con base a las condiciones de funcionamiento, del equipo tomado individualmente, que tienen que ver con operación inadecuada, sobrecargas, vibraciones debidas al sistema de montaje, susceptibilidad de perder los ajustes, etc. [8]

3.5 Tipos de Mantenimiento

El mantenimiento de conservación se divide en dos partes que son mantenimiento:

- ✓ Mantenimiento Correctivo
- ✓ Mantenimiento preventivo
- ✓ Mantenimiento predictivo [9]

3.5.1 Mantenimiento Correctivo

Se lo realiza cuando el equipo sufre una avería o daño de forma inesperada, lo que da origen a parar la máquina, para proceder a su reparación sin estar previamente prevista, los cuales tienen un costo elevado.

Se emplea un porcentaje elevado de horas/hombre dedicadas al mantenimiento en dar solución a las fallas en equipos que no han sido detectados por mantenimiento, sino comunicados por el personal de producción u operadores.

El mantenimiento correctivo se clasifica en:

- ✓ Correctivo Contingente, hace referencia a las actividades que se realizan de formas inmediatas
- ✓ Correctivo Programable, refiriéndose a las actividades que se lleva a cabo en aquellas que aún no lo necesitan, pero con la finalidad de proporcionar un mejor servicio se lo realiza con anterioridad. [9]

3.5.2 Mantenimiento Preventivo

Se basa en prevenir las fallas que pueden ocasionar paradas no programadas, partiendo desde un control estadístico observaciones rutinarias y catálogos del fabricante de los equipos.

Con un buen plan de mantenimiento preventivo, se adquiere experiencia en la determinación de causas de fallas repetitivas o del tiempo de operación seguro de un equipo, la falta de mantenimiento preventivo en los equipos e instalaciones en una empresa ocasionan muchos accidentes que pueden poner en riesgo la vida de las personas que trabajan ahí

El mantenimiento preventivo por la razón de ser programable debe ser:

Periódico. Se lo realiza al pasar un periodo de tiempo con el fin de aplicar las actividades programadas, después de determinar horas de funcionamiento del equipo en el que algunas pruebas al equipo y sustitución de piezas.

- ✓ Analítico. Es un análisis muy profundo de la información que se obtiene de las maquinas más importantes de la empresa.
- ✓ Progresivo. Consiste en efectuar el mantenimiento por partes, progresando en el de acuerdo a los tiempos ociosos de la maquina
- ✓ Técnico. Es la combinación del mantenimiento periódico y del progresivo [10]

3.5.3 Mantenimiento Predictivo.

Es una de las actividades más importantes del plan de conservación, que se lleva a cabo para mantener la capacidad de trabajo del equipo durante su explotación. Previo al cuidado de los equipos, la realización de inspecciones, la vigilancia sistemática de su estado, el control de

regiones de trabajo. La observación de las normas de generación, instrucciones del fabricante e instrucciones locales propias de la empresa; incluyendo regulación, limpieza y lubricación, eliminación de pequeñas fallas que no requieren desconexiones del equipo. El servicio técnico se lo realiza con el personal de operación y/o el personal de mantenimiento y debe ser planificado, previsto en documentos con orden y periodicidad (inspecciones, pruebas, limpieza, etc.). [10]

3.6 Plan de Mantenimiento

Es una herramienta que nos permite agrupar todas las actividades de mantenimiento que se deben realizar en un sistema, generalmente se especifica con detalle, cada qué periodo se debe realizar mantenimiento estas pueden ser: diarias, semanales, mensuales, trimestrales y anuales con esto facilitamos una futura programación de actividades de esta forma conseguimos una operación del sistema con mayor fluidez y menor indisponibilidad. [10]

3.7 Mantenimiento preventivo a las unidades de generación

Se define como la supervisión regular de un grupo generador de electricidad para detectar posibles fallos, siendo esta la mejor manera de evitar que un grupo quede fuera de servicio por avería, el mantenimiento de grupos de generación eléctrica radica en la necesidad real de pararlos cada cierto tiempo para su revisión estas paradas deben estar programadas, de tal modo que desde un mantenimiento preventivo se evite fallos en su funcionamiento la enorme importancia de realizar este tipo de mantenimiento es que una parada imprevista en los grupos conllevaría una indeseable interrupción del suministro eléctrico, con esto podemos tener una repercusión económica negativa, además una avería imprevista puede afectar al sistema desestabilizándolo ya que todas las centrales de generación están interconectadas al sistema eléctrico global y por ultimo tendría un impacto negativo con la calidad de servicio que se proporcione a los consumidores. [11]

3.8 Centrales Hidroeléctricas

La función de una central hidroeléctrica es la generación de energía eléctrica mediante el uso de agua como fuerza motriz para las turbinas, aprovechan la energía potencial gravitatoria que tiene una masa de agua de cauce natural, la cual se determina por la caída de cada cauce para la

generación de energía eléctrica, al contar con este tipo de energía se producen algunos beneficios entre estos tenemos:

- ✓ Apoyo al desarrollo económico.
- ✓ Mejoramiento de la calidad de vida en el lugar que presta el servicio. [12]

3.8.1 Clasificación de las centrales hidroeléctricas

Las centrales hidráulicas se pueden clasificar según varios argumentos como características técnicas, funcionamiento entre otros, en este caso se clasificará según la altura de salto de agua o desniveles existentes:

- ✓ Centrales de alta presión
- ✓ Centrales de media presión
- ✓ Centrales de baja presión

3.8.1.1 Centrales de Alta Presión

Alturas de salto hidráulico superiores a los 200 m. Como máquina motriz se emplea, generalmente, turbinas Pelton o para los saltos de menor altura, turbinas Francis lentas, los caudales desalojados son relativamente bajos, de aproximadamente 20 m³/s por máquina, nuestra Central Hidroeléctrica en estudio se ubica dentro de esta clasificación, posee un salto hidráulico que está sobre los 290m.

3.8.1.2 Centrales de Media Presión

Alturas de salto hidráulico comprendidas entre 20 y 200 m utilizan caudales de 200 m³/s por máquina, como máquina motriz, se utiliza turbinas Francis medias y rápidas.

3.8.1.3 Centrales de Baja Presión

Altura de salto hidráulico inferior a 20 m. se emplea turbinas Francis extra rápidas, turbinas de hélice y en especial las turbinas Kaplan, cada unidad se alimenta de un caudal mayor o igual a 300 m³ /s. [13]

3.9 Elementos que conforman la Central Illuchi I

Se muestra un listado de forma general de los elementos que constituyen la misma:

- ✓ Compuertas

- ✓ Accionamiento de compuertas
- ✓ Válvulas (Órganos de obturación)
- ✓ Canal de desagüe
- ✓ Casa de máquinas
- ✓ Sistema de elevación
- ✓ Tanque de presión
- ✓ Tubería de presión

3.9.1 Compuertas

Las compuertas se utilizan para cerrar las conducciones de agua, canales y tuberías, así como para regular el caudal de agua.

3.9.2 Accionamiento de las compuertas

Para elevar una compuerta es necesario tener un esfuerzo que es superior al peso de la compuerta y a los rozamientos originados por la presión hidráulica, únicamente las compuertas de mínimas dimensiones se pueden accionar manualmente

3.9.3 Tuberías

Las tuberías de presión de la central en estudio son de acero con una altura de 310 m, con una longitud de 1150 m y 558mm de diámetro, con los siguientes espesores promedio:

Grupo 1 y 2.

4,40 – 4,42 mm

12,0 mm a la entrada de casa de máquinas y codos

Grupo 3

4,95 – 5,02 mm

11,0 mm a la entrada de casa de máquinas y codos

Grupo 4

7,05 – 7,18 mm

10,0 mm a la entrada de casa de máquinas y codos, como se muestra en la figura 3.



Figura 3: Tuberías de la Central Hidroeléctrica Illuchi I hacia la casa de maquinas

Fuente: Autor

3.9.4 Válvulas

Las válvulas se utilizan para abrir y cerrar el flujo de agua, en las tuberías de presión, los sistemas de cierre pueden ser:

- ✓ De seccionamiento, se encarga de cerrar el paso de agua hacia las turbinas, cuando estas lo requieran.
- ✓ De seguridad, es un dispositivo automático de cierre que actúa cuando el agua sobrepasa la velocidad de un valor máximo fijado y cuando el caudal sobrepasa el nivel de flujo que normalmente atraviesa por la turbina.

3.9.5 Canal de Desagüe

Es el depósito de agua a la salida de las turbinas, para retornar a su cauce natural, a la salida de las turbinas el agua aún posee una velocidad importante, y, por ende, poder erosivo para evitar que se produzca socavaciones en el piso hay que revestir cuidadosamente el desembocadura del agua de las turbinas.

3.11.1 Turbina Hidráulica

Es una maquina destinada a transformar la energía hidráulica, de una corriente o salto de agua, en energía mecánica, se puede transformar por su presión (energía potencial de la posición) o por la velocidad (energía cinética), en el trabajo mecánico existe en un eje de rotación, el trabajo mecánico desarrollado en la turbina es transformado en energía eléctrica, al hacer girar el rotor del generador, esto se produce por la unión de las ejes de las dos máquinas, Turbina- Generador, consiguiendo el sincronismo de giro entre estas dos máquinas.

En instalaciones con turbinas hidráulicas el rendimiento del sistema es alto, superando el 90%, considerando todas las perdidas hidráulicas por choque, de caudal, de fricción en el generador, mecánicas y otras. [15]

3.11.2 Clasificación de las turbinas

Turbinas Pelton: Adoptadas a saltos mayor a 400m

Turbinas Francis: adaptados a saltos medios entre 40 y 500m

Turbinas Hélice y Kaplan: para saltos inferiores a 400m

Grupos Bulbo: completamente sumergidos para saltos entre 2 y 15m

Turbinas Bomba: Para centrales de acumulación por bombeo

En nuestro Central tenemos instaladas Turbinas Pelton.

Esta turbina fue creada en 1889 y patentada por el norteamericano L.A. Su funcionamiento se base en la evolución de una rueda hidráulica , posee las mejores características para grandes alturas y desde luego la única maquina capaz de funcionar a alturas mayores 1.700m su giro es muy suave y tiene una gran suavidad de giro y un buen funcionamiento a carga parcial [15]

3.11.3 Turbina Pelton

La turbina Pelton es una turbina de acción, todo el cambio energético entre el fluido y el rodete se realiza a través del termino de presión dinámica, en nuestro medio los tipos de turbina que encontramos con frecuencia son: Pelton, Michell - Bankin y Francis, estas turbinas, necesitan poco mantenimiento siempre y cuando el agua que circula por ellas, se mantenga limpia cuando algún objeto se incruste en el interior de la turbina, es necesario desmontar los inyectores de las turbinas Pelton o de ser una turbina Francis o Michell – Banki es necesario retirar la tapa de inspecciones de esta forma se extrae el objeto y las turbinas recuperan su potencia. [16]

3.12 Elementos de una turbina Pelton

Se muestra los elementos que conforman una turbina hidráulica tipo Pelton y se realiza una descripción de los mismos:

3.12.1 Rodete

Es el elemento principal de la turbina está constituido por un disco provisto por un sistema de álabes, o cucharas esta gira con cierta velocidad angular, es aquí donde se realiza la transformación de energía hidráulica en energía mecánica aprovechando su aceleración y desviación.

3.12.2 Distribuidor

Puede estar constituida por uno o varios inyectores de agua, su función es la de dirigir de un chorro de agua, cilíndrico y de sección uniforme que se proyecta sobre el rodete y regula el chorro de agua hacia el rodete.

3.12.3 Inyectores

El inyector es una tobera que reduce el caudal hasta un valor deseado regula el chorro de agua, que impactara sobre las cucharas del rodete mediante los inyectores se regula el movimiento axial de las agujas, el accionamiento de las agujas se realiza mediante aceite a presión que procede del sistema de regulación.

3.12.4 Regulador de Velocidad

Es el encargado de regular la velocidad y potencia activa de las turbinas sin importar la condición de carga a la que se encuentre el sistema, este sistema se encarga de operar el anillo distribuidor en las paletas directrices mediante aceite almacenado a presión, realizan el cierre o apertura de las paletas.

3.12.5 Eje de la turbina

Esta unida rígidamente al rodete situados adecuadamente sobre cojinetes los mismos que se encuentran debidamente lubricados, se encarga de transmitir el movimiento de rotación al eje del generador [14]

3.12.6 Turbinas en la Central Illuchi I

La Central Hidroeléctrica cuenta con cuatro turbinas, una para cada grupo de generación las mismas que tienen las siguientes características:

Turbinas tipo Pelton, marca Teodoro Bell & Cía. de Fabricación Suiza, construidas en 1954; de dos jets, con sus respectivos deflectores de chorro, con eje horizontal, caída neta de 290 m, caudal de 610 l/s, potencia de 2000 CV (1470 KW), velocidad nominal de 900 RPM, velocidad de embalamiento de 1620 RPM.

3.13 Generador

Una máquina sincrónica (Generador o Motor sincrónico) es en la cual la velocidad promedio es directamente proporcional a la frecuencia del sistema eléctrico a la cual se conecta, es una máquina rotativa, que convierte la energía mecánica en energía eléctrica cuando funciona como generador y cuando funciona como motor convierte la energía eléctrica en energía mecánica, cuando la máquina sincrónica se conecta a una barra de voltaje y genera corriente que va a las barras esta funciona como generador, en este caso el voltaje generado en los bornes de la máquina es mayor al de la barra y en caso de funcionar como motor el voltaje de la barra es mayor al de los bornes de la máquina sincrónica [17]

3.13.1 Clasificación de los generadores síncronos

De acuerdo a su armadura fija y campo giratorio

- ✓ De polos salientes
- ✓ De polos lisos

En el Ecuador y la mayoría de países sudamericanos la frecuencia de generación de energía eléctrica es de 60 Hz.

La construcción de máquinas con polos salientes es característica de los generadores hidroeléctricos, debido a que las turbinas hidráulicas trabajan a velocidades relativamente bajas y requieren un gran número de polos para obtener la frecuencia deseada. Los polos salientes son los más adecuados para este caso, ya que a bajas velocidades no existe problema la fricción con el aire. [17]

3.13.2 Componentes de un generador síncrono

Las partes fundamentales de un generador síncrono son las siguientes:

3.13.2.1 Estator

Parte de la máquina, montada, envuelta del rotor de forma que el mismo pueda girar en su interior; también constituido de un material ferromagnético envuelto en un conjunto de enrollamientos distribuidos a lo largo de su circunferencia, la máquina síncrona está compuesta básicamente de una parte activa fija que se conoce como inducido o estator y de una parte giratoria coaxial que se conoce como inductor rotor.

3.13.2.2 Rotor

Es la parte de la máquina que realiza el movimiento rotatorio, constituido de un material ferromagnético envuelto en un enrollamiento llamado “enrollamiento de campo” que tiene como función producir un campo magnético constante, así como en el caso del generador de corriente continua para interactuar con el campo producido por el enrollamiento del estator

3.13.2.3 Anillos Rozantes

La corriente de excitación se transporta al bobinado inductor por medio de los anillos colectores, están constituidos por una brújula de acero, las conexiones entre bobina y anillos se realiza con conductores de cobre dentro del orificio axial.

3.13.2.4 Escobillas

Están fabricadas de carbón, tienen una dureza menor que la del colector, para evitar que este se desgaste rápidamente se encuentra albergadas por la porta escobillas, su función es transmitir la tensión y corriente de la fuente de alimentación hacia el colector y, por consiguiente, al embobinado del rotor.

3.13.2.5 Cojinetes

Uno de los elementos principales de una central de generación son los cojinetes combinados, el mismo que está compuesto de un cojinete guía y un cojinete de empuje, el cojinete guía es el encargado de soportar cargas radiales y mantener al eje centrado, el cojinete de empuje transmite

las cargas axiales del eje al soporte de la máquina y compensa la transmisión con una película de aceite auto lubricante durante esta operación. [17]

3.13.2.6 Generadores de la Central Hidroeléctrica Illuchi I

Los generadores que tenemos en la planta en estudio son:

Para los grupos 1 y 2:

Generadores trifásicos marca BROWN BOVERI, tipo WAS46d, con eje horizontal, 872 KVA, factor de potencia 0,8 voltaje nominal 2400V, corriente nominal 210 A, 60 Hz velocidad sincrónica 1200 RPM, velocidad de embalamiento 1620 RPM, rendimiento a plena carga 95%, con excitatriz marca BROWN BOVERI de 9,2 KW, corriente nominal 235 A cc, voltaje 35 V cc.

Para los grupos 3 y 4:

Generadores trifásicos, marca BROWN BOVERI, tipo WA58F, con eje horizontal, 1750 KVA, factor de potencia de 0,8 voltaje nominal 2400 V, corriente nominal 420 A, 60 Hz, velocidad sincrónica 900 RPM, velocidad de embalamiento 1620 RPM, rendimiento a plena carga 95%, con excitatriz de marca BROWN BOVERI de 15,8 KW, corriente nominal de 264 cc, voltaje 60 Vcc, como se muestra en la figura 3.2.



Figura 1.2: Unidades de generación de la Central Illuchi I

Fuente: Autor

3.14 Sistema de Excitación

El sistema de excitación está compuesto por procesos y elementos para suministrar corriente continua al rotor que se encuentra en movimiento para formar el campo magnético que necesita el generador para crear el voltaje inducido hasta alcanzar el valor nominal de esta forma predisponiendo a la unidad para ser sincronizada, la excitación puede ser controlada de forma automática por un regulador principal o secundario también se lo puede controlar de forma manual en caso de que se requiera.

3.15 Tablero de control y medida

La central está integrada por tableros de control y potencia, existe un tablero para cada grupo generador, donde tenemos el selector para la apertura y cierre del disyuntor, amperímetro para cada fase, medidor de energía, conmutador de voltaje y relés para la protección del generador estos tableros están divididos en tres partes:

- ✓ Llegada: se recibe las señales de protección y medición de los generadores.
- ✓ Salida: consta de un voltímetro, que mide el voltaje a la salida de la sub estación y un conmutador que se encarga de activar y desactiva el disyuntor
- ✓ Excitación: consta de un amperímetro y voltímetro para controlar la corriente y tensión de excitación del generador, y de un sin cronoscopio diferencial, Como se muestra en la figura 3.3.



Figura 3.3: Tablero de control para cada grupo generador de la Central Illuchi I
Fuente: Autor

3.16 Generación de la Central Hidroeléctrica Illuchi I

Se tiene la generación mensual de las cuatro unidades que operan en la central y sus horas de funcionamiento en el periodo 2017 – 2018, como se muestra en la tabla 1, 2, 3 y 4.

3.16.1 Generación de las unidades de la Central Hidroeléctrica Illuchi I

Tabla 1: Generación en Kw-h y horas de funcionamiento de la unidad 1

CENTRAL HIDROELÉCTRICA ILLUCHI 1

MES	GENERACIÓN Kw-h	HORAS DE FUNCIONAMIENTO DE LA UNIDAD
ENE-17	374.000	739
FEB-17	331.200	424
MAR-17	211.600	424
ABR-17	380.700	663
MAY-17	378.700	571
JUN-17	333.600	547
JUL-17	329.900	664
AGO-17	293.592	580
SEP-17	290.800	600
OCT-17	205.200	384
NOV-17	290.800	600
DIC-17	177.500	402
ENE-18	175.100	395
FEB-18	174.700	390
MAR-18	163.300	357
ABR-18	289.500	604
MAY-18	379.400	715
TOTAL	4.779.592	9059

Fuente: ELEPCO S.A.



Figura 3.4: Generación unidad 1

Fuente: ELEPCO S.A.



Figura 3.5: Horas generadas unidad 1

Fuente: ELEPCO S.A.

La curva de generación y de horas generadas de la unidad 1 indica que, durante el mes de abril, del 2017 se obtuvo mayor productividad siendo proporcional con las horas trabajadas esta productividad se obtiene por época lluviosa y trabajo de las unidades a su mayor capacidad mientras que en el mes de marzo del 2018 indica un descenso en la generación por diferentes mantenimientos no programadas en la unidad.

Tabla 2: Generación en Kw- h y horas de funcionamiento de la unidad 2

CENTRAL HIDROELÉCTRICA ILLUCHI 1

MES	GENERACIÓN Kw-h	HORAS DE FUNCIONAMIENTO DE LA UNIDAD
ENE-17	327.400	643
FEB-17	333.700	579
MAR-17	363.000	676
ABR-17	371.500	709
MAY-17	444.100	721
JUN-17	372.000	697
JUL-17	398.200	742
AGO-17	406.100	728
SEP-17	333.000	628
OCT-17	276.400	523
NOV-17	333.000	628
DIC-17	187.100	332
ENE-18	150.500	300
FEB-18	143.800	270
MAR-18	232.100	486
ABR-18	249.100	494
MAY-18	216.600	228
TOTAL	5.137.600	9384

Fuente: ELEPCO S.A.



Figura 3.6: Generación unidad 2
Fuente: ELEPCO S.A.



Figura 3.7: Horas generadas unidad 2
Fuente: ELEPCO S.A.

La curva de generación y de horas generadas de la unidad 2 indica que durante el mes de mayo del 2018 tiene el registro de mayor productividad relacionado con horas trabajadas por época invernal trabajando la unidad a su máxima capacidad, mientras que en el mes de enero 2018 indica un descenso en generación por mantenimientos programados.

Tabla 3: Generación en Kw- h y horas de funcionamiento de la unidad 3

CENTRAL HIDROELÉCTRICA ILLUCHI 1

MES	GENERACIÓN Kw-h	HORAS DE FUNCIONAMIENTO DE LA UNIDAD
ENE-17	0	0
FEB-17	484.600	518
MAR-17	699.200	736
ABR-17	635.200	709
MAY-17	634.300	744
JUN-17	608.000	720
JUL-17	621.700	744
AGO-17	615.800	744
SEP-17	621.900	720
OCT-17	654.400	731
NOV-17	621.900	720
DIC-17	634.000	695
ENE-18	600.000	693
FEB-18	608.100	692
MAR-18	657.300	743
ABR-18	694.100	699
MAY-18	618.000	726
TOTAL	10.008.500	11334

Fuente: ELEPCO S.A.

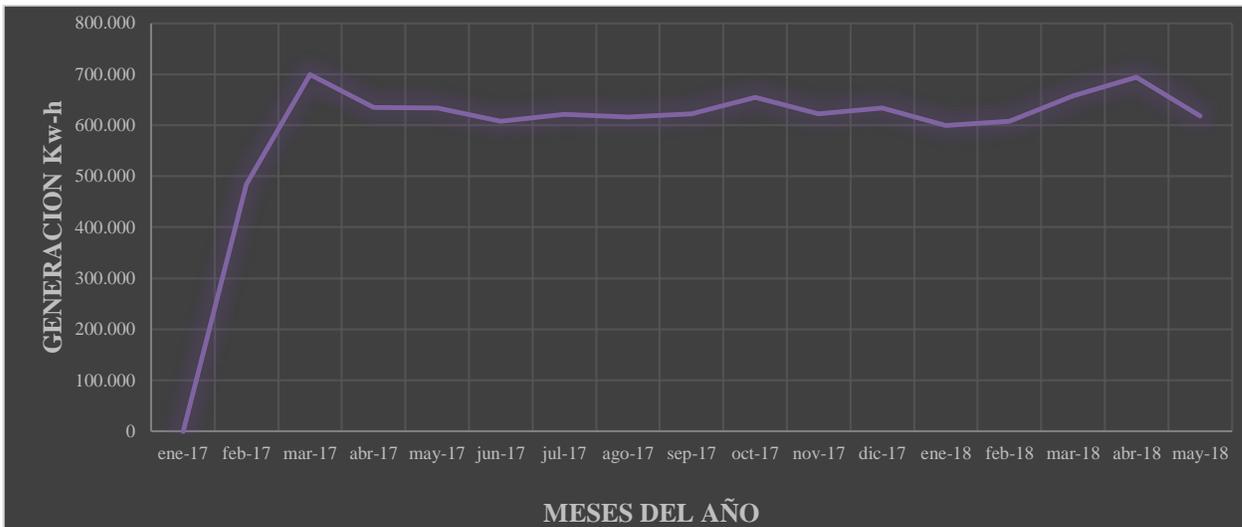


Figura 3.8: Generación unidad 3
Fuente: ELEPCO S.A.



Figura 3.9: Horas generadas unidad 3
Fuente: ELEPCO S.A.

En la unidad 3 durante el mes de marzo del 2017 indica la mayor generación manteniéndose casi constante durante el resto del año hasta el mes de mayo 2018, siendo proporcional en las horas generadas reflejando su mayor productividad en los meses de marzo, mayo del 2017 y marzo del 2018 por época invernal y su menor rendimiento en el mes de enero y mes de febrero.

Tabla 4: Generación en Kw- h y horas de funcionamiento de la unidad 4

CENTRAL HIDROELÉCTRICA ILLUCHI 1

MES	GENERACIÓN Kw-h	HORAS DE FUNCIONAMIENTO DE LA UNIDAD
ENE-17	907.200	739
FEB-17	649.200	520
MAR-17	920.200	739
ABR-17	894.000	705
MAY-17	996.700	718
JUN-17	870.000	694
JUL-17	928.100	702
AGO-17	938.800	725
SEP-17	810.700	710
OCT-17	694.300	606
NOV-17	810.700	710
DIC-17	819.500	744
ENE-18	780.100	698
FEB-18	729.800	692
MAR-18	762.100	744
ABR-18	804.200	716
MAY-18	863.800	732
TOTAL	14.179.400	11894

Fuente: ELEPCO S.A.

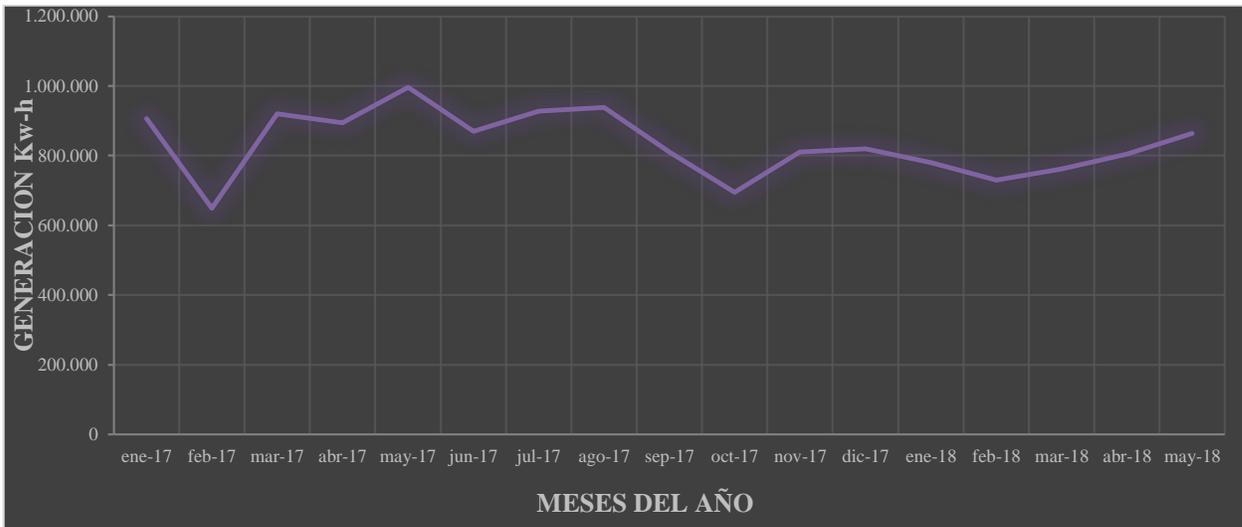


Figura 3.10: Horas generadas unidad 4

Fuente: ELEPCO S.A.

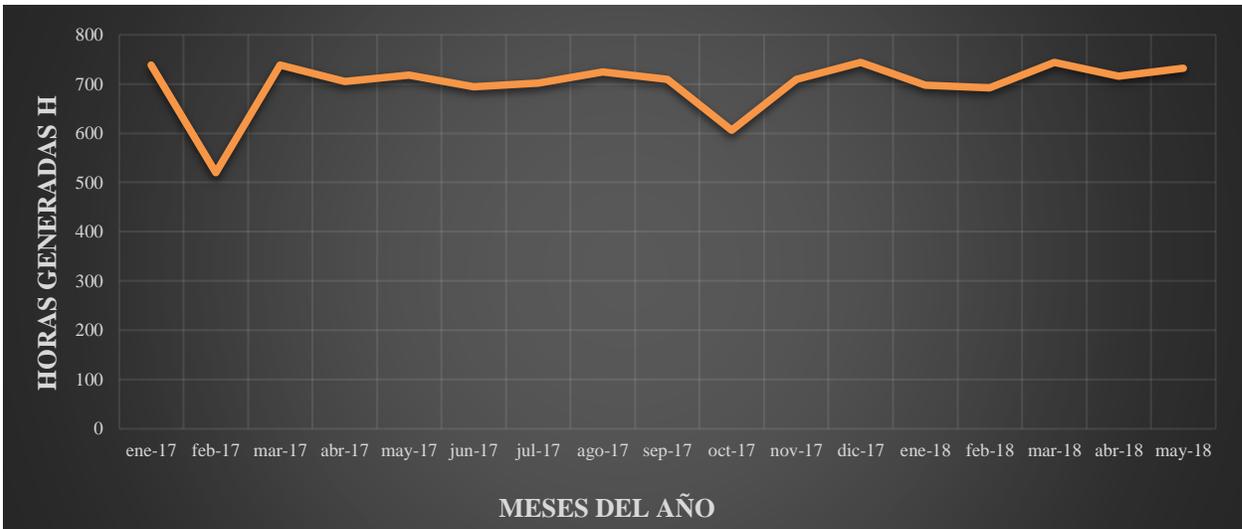


Figura 3.11: Horas generadas unidad 4

Fuente: ELEPCO S.A.

La unidad 4 produjo mayor generación en el mes de mayo por presentar fallos mínimos en sus elementos, a diferencia del mes de febrero que existe una baja generación y menor número de horas debido al bajo nivel de agua en los tanques teniendo que sacarlas de servicio.

4 METODOLÓGICO

Para realizar el plan de mantenimiento de este proyecto se utilizó la experiencia de los operadores de la Central Illuchi I, ya que esta central por su antigüedad carece de manuales de sus equipos también se empleó la metodología (RCM): Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad.

4.1 Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM)

Es una metodología que busca erradicar o al menos limitar las averías que se producen en las instalaciones de una planta, lo principal del (RCM) es aumentar la fiabilidad de la instalación con esto se busca disminuir los tiempos muertos por averías que impidan cumplir con la producción, como parte secundaria es aumentar la disponibilidad y disminuir al mismo tiempo los costos de mantenimiento para cumplir este método se emplea siete fases que son:

Fase 0: Codificación y listado de todos los equipos y elementos del sistema que se está estudiando, recopilación de esquemas diagramas funcionales y diagramas lógicos.

Fase 1: estudio detallado de funcionamiento del sistema listado de funciones de cada sub sistema y cada equipo significativo que integren el sub sistema.

Fase 2: Determinar los fallos funcionales y fallos técnicos.

Fase 3: Determinar los modos de fallos y causas de cada uno de los fallos encontrados en la fase anterior.

Fase 4: Estudio de las consecuencias de cada modo de fallo, clasificación de los modos de fallos en críticos, medios críticos y no críticos.

Fase 5: Determinación de medidas que eviten los efectos de los fallos.

Fase 6: Agrupación de las medidas preventivas en sus diferentes categorías elaboración del plan de mantenimiento, procedimiento de operación y de mantenimiento.

Fase 7: Puesta en marcha del plan de mantenimiento. [18]

4.1.1 Las siete preguntas básicas del RCM

El mantenimiento RCM se centra en una relación entre la organización y los elementos fijos que la componen, para poder explorar esta relación es necesario saber qué elementos físicos posee la empresa, y determinar cuáles son los que van estar sujetos al método RCM, este método formula siete preguntas del equipo o activo que se desea revisar:

- ¿Cuáles son las funciones?
- ¿De qué forma puede fallar?
- ¿Qué causa que falle?
- ¿Qué sucede cuando falla?
- ¿Qué ocurre si falla?
- ¿Qué se puede hacer para prevenir el fallo?
- ¿Qué sucede si no prevenir el fallo? [19]

4.1.2 Fallas Funcionales

La falla funcional se define como la incapacidad de un activo físico de cumplir con su función dada a nivel de rendimiento que sea aceptable para el usuario

- ✓ Fallo total parcial
- ✓ Límites superiores e inferiores
- ✓ Instrumentos de medición e indicadores
- ✓ El contexto operacional [18]

4.1.3 Modos de Falla

La norma (SAE JA1011) define lo siguiente para identificar y listar los modos de fallos:

- ✓ Se identificarán todos los estados de fallos ocasionados por fallas funcionales.
- ✓ El método utilizado para decidir qué es lo que constituye probabilidad de un modo de fallo será aceptable para el usuario o propietario del activo.
- ✓ Se debe identificar los modos de fallo a un nivel que se pueda identificar una política de gestión de falla

En la hoja de información debe ser listado los modos de falla que a ocurrido anteriormente los que en la actualidad son contrarrestados mediante el plan de mantenimiento y los que se

consideran razonables de ocurrir en su contexto operacional, incluyendo errores humanos, deterioro y defectos de diseño [19]

4.4.3 Efectos de Falla

Es cualquier evento que causa una falla funcional al equipo, al momento de analizar los efectos de falla, se debe considerar los siguientes aspectos.

- ✓ La evidencia del fallo
 - ✓ Los riesgos para seguridad y medio ambiente
 - ✓ Afectaciones a la producción y la operación
 - ✓ Daños físicos ocasionados
 - ✓ Acciones correctivas, hay que incluir el tiempo de parada necesario para su reparación
- toda la información se registra en la hoja RCM, como se muestra en la figura 4. [20]

CENTRAL HIDROELECTRICA ILLUCHI I					
HOJA DE TRABAJO DE INFORMACIÓN R.C.M		Elemento: TURBINA			
		Componente: RODETE			
FUNCIÓN		FALLO DE FUNCIÓN		MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA
1		A		1	
				2	
		B		1	
				2	
		C		1	
				2	
		D		1	
				2	

Figura 4: Hoja de trabajo de información RCM
Fuente: [20]

4.4.4 Hoja de Decisión RCM

La Hoja RCM está dividida en dieciséis columnas, la columna F, FF, MF analizan el modo de fallo, siendo:

F: Función

FF: Frecuencia de fallo

MF: Modo de fallo

Las diez columnas siguientes se refiere a las preguntas de decisión del RCM, las columnas H, S, E y O registran las respuestas a preguntas concernientes a las consecuencias de cada modo de fallo.

Las tres columnas siguientes H1, H2, H3 registran si se ha empleado una tarea proactiva.

Si es necesario responder cualquiera de las preguntas “a falta de” se utiliza las columnas H4, H5 O S4 que nos permiten registrar esas preguntas.

La columna H1/S1/O1/N1 se registra si se encontró una tarea a condición apropiada para anticipar el modo de fallo, para evitar las consecuencias.

La columna H2/S2/O2/N2 se registra si se pudo encontrar de reacondicionamiento cíclico, para prevenir fallos

Las últimas tres registran la tarea propuesta, la frecuencia con la que se realiza y quien es el personal encargado

La columna H3/S3/O3/N3 se registra si puede existir una tarea de sustitución cíclica para prevenir fallos, como se muestra en la figura 4.1. [20]

CENTRAL HIDROELECTRICA ILLUCHI I															
HOJA DE TRABAJO DE DECISIÓN R.C.M										Elemento :TURBINA					
										Componente: RODETE					
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Tarea "a falta de "			Tarea Propuesta	Frecuencia inicial	A realizar por
							S1	S2	S3						
							O1	O2	O3						
F	FF	MF	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4			

Figura 4.1 2:Hoja de decisión RCM

Fuente: [20]

4.4.5 Que sucede si no se puede prevenir el fallo

La segunda generación del mantenimiento sugiere que esta acción preventiva debe de consistir en una reparación del equipo a cambio de componentes a intervalos fijos, supone que la mayoría de los elementos funcionan con precisión para un periodo y luego se deterioran rápidamente, a continuación, se define que sucede si no se puede prevenir el fallo:

- ✓ Tareas de reacondicionamiento cíclico, con estas tareas los equipos son revisados o sus elementos reparados a frecuencias determinadas independientemente de cual sea su estado en ese momento, están gobernados por la vida de los elementos.
- ✓ Tareas de sustitución cíclica, Consiste en reemplazar un equipo o sus elementos a frecuencias determinadas independientemente de su estado en ese momento, están gobernadas por la vida de los elementos.
- ✓ Tareas a condición cíclicas, se basa en un gran número de fallos que no ocurren instantáneamente si no se desarrollan al transcurso de un determinado tiempo. [21]

4.4.6 Como se puede prevenir el fallo

Además de preguntarse si las tareas sistemáticas son técnicamente factibles el RCM se pregunta si vale la pena hacerlas, al hacer esta pregunta el RCM combina la evaluación de la consecuencia con la selección de la tarea en un proceso único de decisión que se basa en los principios siguientes:

- ✓ Una acción de prevenir el fallo de una función oculta solo valdrá la pena si reduce el riesgo de un fallo múltiple asociado con esa función a un nivel bajo aceptable
- ✓ Una acción de prevenir el fallo que tiene consecuencias en la seguridad o el medio ambiente valdrá la pena hacerlo si reduce el riesgo de esa falla mismo a un nivel realmente bajo, o si se elimina por completo.
- ✓ Si el fallo tiene consecuencias operacionales, valdrá la pena realizarlo si el costo total de hacerlo durante cierto tiempo es menor que el costo de las consecuencias operacionales y el costo de reparación durante el mismo tiempo.
- ✓ Si el fallo tiene consecuencias no operacionales, pero hay costos de mantenimiento, solo vale la pena realizar si el costo total de hacerlo durante cierto tiempo es menor que el costo de las consecuencias no operacionales. [21]

4.2 Codificación de Equipos

Codificar es crear un identificativo único para cada equipo, facilitando así su localización, su referencia en órdenes de trabajo, permite la elaboración estadística de fallos, de esta forma aportando con valiosa información, sobre el equipo existente de una planta. [22]

El sistema de codificación que se utilizara para la Central de Generación Illuchi I es alfanumérico el mismo que consta de cinco grupos cuatro de dos dígitos y uno de tres dígitos:

Planta	Área	Sistema	Equipo	Numero
XX	XX	XX	XX	XXX

Con los dos primeros dígitos (Planta) determina a la planta que corresponde siendo para la central en estudio el número 01

El siguiente campo de dos caracteres se refiere al área de ubicación de los equipos (Área): (A1) si está fuera de la casa de máquinas y (A2) si está dentro de la casa de máquinas

El siguiente campo de dos caracteres (Sistema) se identifica al sistema que pertenece el equipo: sistema de lubricación (SL), sistema de refrigeración (SR), sistema generación(SG), sistema de conducción del fluido (SC), sistema de control y medidas (SM)

El siguiente campo de dos caracteres (Equipo) corresponden al código del equipo, está encerrada toda la información para identificar al mismo, pero no se encuentra individualizada, es necesario recordar que todos los equipos idénticos tienen el mismo código sin importar su cantidad y ubicación, por ejemplo, motor (MO).

El siguiente campo de tres caracteres (Número) individualiza al equipo ya que se compone con numeradores consecutivos de equipos idénticos, con esto podemos concluir que no puede existir más de un equipo con el mismo número siendo el 100 para la U1, el 200 para la U2 el 300 para la U3 y el 400 para la U4

4.3 Historial de fallos de las unidades de generación

El historial de fallos se obtuvo mediante el registro diario de generación de las unidades esta, información fue proporcionada por el departamento de generación de ELEPCO S.A

4.4 Análisis de Criticidad

Es un método de análisis que nos permite establecer el orden jerárquico entre elementos mecánicos o eléctricos, así como instalaciones y sistemas que conforman una planta industrial, para el estudio de criticidad se toma en cuenta la frecuencia de los fallos, así como su complejidad, los dos están ligados y tienen la misma importancia.

Los pasos a realizar son:

- ✓ Identificación de equipos a estudiar
- ✓ Definición de alcance y objetivos del análisis, jerarquía, nivel y profundidad al que se quiere aplicar el estudio.
- ✓ Selección del grupo de trabajo. Encargado de definir el impacto de producción, económico, de personal, ambiental, costes de mantenimiento y seguridad.
- ✓ Recolección de datos y aplicación de las fórmulas de criticidad [23]

Para este proyecto se consideró el modelo de criticidad desarrollada por la consultoría inglesa “The Woodhouse Partnership Limited” llamado el modelo de criticidad “Factores ponderados basados en el riesgo” [24]

$$CT = FF * C \quad \text{ecuación (1)}$$

Donde:

CT= Criticidad Total

F= Frecuencia de fallas en un rango de tiempo

C= Consecuencia

La frecuencia como la consecuencia será evaluada en tablas que la metodología recomienda, al finalizar la evaluación los equipos que tenga un mayor puntaje serán los más críticos y los que menos califiquen será los menos críticos.

Calificación frecuencia de fallas

- ✓ Mayor a 2 fallas al año = 4
- ✓ Entre 1 y 2 fallas al año = 3

- ✓ Entre 0.5 y 1 falla al año = 2
- ✓ Menos de 0.5 fallas al año = 1

La consecuencia se determina según el impacto operacional que está asociada a los costos operacionales del equipo, costo por mantenimiento, y el impacto seguridad, higiene y ambiente. La fórmula que nos permite obtener la consecuencia es:

$$C = [Tpr + (IO * F) + Cr + Isc + Ia] \quad \text{ecuación (2)}$$

Donde:

C= Consecuencia

Tpr= Tiempo promedio para reparación

Io= Impacto Operacional

F= flexibilidad

Cr = Costo de mantenimiento

Isc= Impacto en la satisfacción del cliente

Ia= Impacto Ambiental

Calificación de tiempo promedio para reparar

- ✓ Más de 48 horas = 5
- ✓ Más de 48 horas = 4
- ✓ Más de 48 horas = 3
- ✓ Más de 48 horas = 2
- ✓ Más de 48 horas = 1

La calificación del tiempo promedio de reparación influye directamente en el impacto sobre el servicio y la flexibilidad

Calificación impacto operacional

- ✓ Impacto total de generación 100 % = 5
- ✓ Impacto de generación de un 75% = 4
- ✓ Impacto de generación de un 50% = 3
- ✓ Impacto de generación de un 25% = 2
- ✓ No afecta a la generación 0% = 1

Calificación de la flexibilidad

- ✓ No hay repuesto = 3
- ✓ Existe Opción de repuesto = 2
- ✓ Repuesto disponible en bodega = 1

Los costos de mantenimiento de una central estarán condicionados por el tamaño de la misma, a continuación, se muestra los valores de mantenimiento para nuestra central en estudio.

Calificación de los costos de mantenimiento

- ✓ Más de 1000.00
- ✓ Menos de 1000.00

Calificación de impacto de satisfacción a la empresa

- ✓ Puede ocasionar pérdidas mayores de \$ 5000.00 = 4
- ✓ Puede ocasionar pérdidas entre 1000.00 y 5000.00 = 3
- ✓ Puede ocasionar pérdidas económicas hasta 1000.00 = 2
- ✓ No ocasiona pérdidas económicas = 1

Calificación en seguridad, impacto, ambiente

- ✓ Afecta a la seguridad de los operadores y requiere notificar a entes externos =5
- ✓ Afecta el ambiente/ Instalaciones si existe fallo = 4
- ✓ Afecta a instalaciones causando daños severos a los operadores si hay falla = 3

- ✓ Provoca daños menores = 2
- ✓ No provoca daños a personas a instalaciones o al ambiente = 1

4.4.1 Tipos de Equipos

A.- Equipos Críticos (C): son aquellos equipos cuya parada afecta significativamente a la producción provocando que la misma no pueda continuar hasta que este equipo sea reparado.

B.- Equipos Medios Críticos (MC): son aquellos equipos cuya parada, avería o mal funcionamiento afecta a la empresa, pero sus consecuencias son asumibles

C.- Equipos No Críticos (NC): son aquellos que presentan una pequeña incomodidad de producción, o un pequeño costo adicional, en caso de presentarse no provoca detención de la producción [24].

F R E C U E N C I A	4	MC	MC	C	C	C
	3	MC	MC	MC	C	C
	2	NC	NC	MC	C	C
	1	NC	NC	NC	MC	C
		5 A 10	11 A 20	21 A 30	31 A 40	40 A 50

CONSECUENCIA

	Críticos
	Medios Críticos
	No Críticos

4.5 Ficha Técnica

Se implementó fichas técnicas que proporcionan información de los equipos existentes en la central, esta información se obtuvo de la placa de datos de cada uno de los equipos de la central, consta de la siguiente información para:

Generadores: Marca, serie, tipo, fases, potencia, frecuencia, voltaje, corriente, factor de potencia y rpm.

Excitatriz: Marca, serie, tipo, voltaje, corriente, potencia, sentido de giro y rpm.

Regulador de velocidad: Marca, procedencia, serie, capacidad, course y ferment.

Motor: Marca, fases, potencia, voltaje, frecuencia, factor de potencia y rpm.

Bomba de agua: Marca, fases, hp, voltaje, frecuencia y voltaje de línea.

4.6 Orden de Trabajo

Las ordenes de trabajo son específicas para cada empresa en función de su actividad, para nuestra central se implementó la orden de trabajo la misma que será emitida desde la dirección de generación de ELEPCO S.A, cuando una unidad o equipo requiera mantenimiento, la orden de trabajo consta de lo siguiente:

- ✓ Fecha
- ✓ Duración
- ✓ Código del equipo
- ✓ Tipo de mantenimiento
- ✓ Descripción de la actividad
- ✓ Equipos de protección para el personal
- ✓ Herramientas
- ✓ Repuestos

4.7 Disponibilidad de las unidades

Es cuando una unidad está en condiciones de ser operada, se encuentre en servicio o no, la unidad generadora puede estar “disponible conectada”, si no presenta ninguna limitación para atender una función específica, o “disponible desconectada”, si se encuentra desconectada debido a que no es requerida por el despacho, pero está en condiciones de entrar en operación cuando se requiera, las centrales hidroeléctricas indicaran semanalmente su potencia disponibilidad y cantidad de agua de embalse. [25]

Para calcular el valor de horas de disponibilidad de la unidad se lo hace mediante la siguiente formula:

$$HDU = (Pe * Kh) - (HIF + HMP) \quad \text{ecuación (3)}$$

Donde:

HDU = Horas disponibles de la unidad

Pe= Periodo a evaluar

Kh= Constante un día de trabajo (24horas)

HIF= Horas de indisponibilidad forzada

HMP=Horas de mantenimiento programado

4.7.1 Cálculo de disponibilidad de la unidad

Para el cálculo de disponibilidad de la Unidad, se puede calcular mensual o anual para nuestro caso el periodo a evaluar es de un año.

Se emplea la siguiente formula:

$$DU = \frac{HD + HMP - HED}{HD + HIF + HMP} \quad \text{ecuación (4)}$$

Donde:

DU= Disponibilidad de la unidad

HD= Horas de disponibilidad

HMP= Horas de mantenimiento programado

HED= Horas equivalentes por degradación cuando la unidad está disponible.

4.7.2 Fiabilidad de las unidades

La fiabilidad de las unidades se calcula con las mismas fórmulas que se calculó la disponibilidad, ya que la fiabilidad da las medidas de la disponibilidad de la unidad generadora para llevar a cabo su función.

$$FU = \frac{HD + HMP - HED * 100}{HD + HIF + HMP} \quad \text{ecuación (5)}$$

Donde:

FU= Fiabilidad de la Unidad

HD= Horas de disponibilidad

HMP= Horas de mantenimiento programado

HED= Horas equivalentes por degradación cuando la unidad está disponible.

4.8 Planos eléctricos y mecánicos

Para realizar los planos, se acudió a la planta para una inspección e identificación de los equipos que conforman la parte mecánica y eléctrica, los planos se elaboraron de acuerdo al formato que establece ELEPCO S.A. para el diseño de proyectos.

4.9 Diseño del plan de mantenimiento

El plan de mantenimiento se realizó en base a la experiencia de los operadores de la central, documentación existente de la misma y la aplicación del método (RCM), logrando que el

mantenimiento de las unidades de generación se de en tiempo real de acuerdo a las horas de operación de cada una de estas.

5 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

5.1 Hoja de trabajo de información RCM

La hoja de información RCM fue un factor fundamental para conocer los posibles fallos que se presentan en los equipos de la Central Hidroeléctrica Illuchi I, provocando que el equipo no cumpla con la función para la cual fue diseñada esta hoja de información nos permitió prevenir los fallos aplicando mantenimiento preventivo, ya que se conoce los puntos susceptibles de la planta, como se muestra en la tabla 5. [20]

Tabla 5: Hoja de trabajo de información R.C.M del regulador de velocidad

CENTRAL HIDROELÉCTRICA ILLUCHI I			
HOJA DE TRABAJO DE INFORMACIÓN R.C.M	Elemento: TURBINA		
	Componente: REGULADOR DE VELOCIDAD		
FUNCIÓN	FALLO DE FUNCIÓN	MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA
1. Regular la velocidad de la unidad a 900 rpm.	1A1. La unidad alcanza una velocidad inferior a 900 rpm.	1A1. Cortocircuito de la bobina de la válvula proporcional	Al arrancar la unidad al subir las revoluciones el inyector de arranca no se abre, pasa el tiempo establecido para continuar con la secuencia de arranque. Se para la unidad y se inspecciona
2. Descargar la presión del sistema cuando el rotor alcance una velocidad de giro de 1200rpm	1B1. No interrumpe el paso del agua	1B1. Desgaste de la aguja y el asiento	Se produce ruido en el recinto de la turbina, existe perdida de agua por la aguja del inyector. Tiempo de reparación 120 horas aproximadamente

Fuente: Autor

(Ver Anexo, I,III, V, VII, IX, XI, XIII, XV)

5.2 Hoja de trabajo de decisión RCM

La hoja de decisión (RCM), nos ayudó a planificar la frecuencia con la que realizamos mantenimiento para prevenir el posible fallo encontrado en la hoja de información (RCM),

también definimos las actividades a realizar sobre el posible fallo, y especificamos al recurso humano que se va a emplear, como se muestra en la tabla 6. [20]

Tabla 6 : Hoja de decisión R.C.M del regulador de velocidad.

CENTRAL HIDROELÉCTRICA ILLUCHI I																
HOJA DE TRABAJO DE DECISIÓN R.C.M						Elemento: TURBINA										
						Componente: REGULADOR DE VELOCIDAD										
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Tarea "a falta de "				Tarea Propuesta	Frecuencia inicial	A realizar por
							S1	S2	S3							
F	FF	MF	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4				
1	A	1	S	N	N	S	S							Tarea a condición termografía, medición de corriente en las bobinas	Mensual	Ingeniero Mecánico
1	B	1	N				N	N	N	S				Tarea buscar el fallo actuar el dispositivo de sobre velocidad mecánica de forma manual	Anual	Ingeniero Eléctrico

Fuente: Autor

(Ver Anexo, Tablas: II.IV, VI, VIII, X, XII, XIV, XVI, XVIII)

5.3 Codificación de Equipos

La codificación nos permitió tener un registro organizado, facilitando la creación de órdenes de trabajo de mantenimiento, se realizó la codificación para los equipos de las cuatro unidades de generación, los mismo que se encuentran individualizados por sistemas, de esta forma contribuyendo a su rápida ubicación e identificación dentro de la planta, como se muestra en la tabla 7, 8, 9, 10. [26]

Tabla 7: Codificación de equipos de la unidad 1

CENTRAL HIDROELECTRICA ILLUCHI 1				
UNIDAD	SISTEMA	CODIFICACIÓN	EQUIPO	
U N I D A D 1	SISTEMA DE CONDUCCIÓN	01A2SC-TU100	TURBINA	By Pass
			rodete	
			aguja	
			deflector	
			tobera	
			inyector	
			Camara de distribucion	
			<u>Regulador de velocidad</u>	
	SISTEMA DE GENERACIÓN	01A2SG-GE100	GENERADOR	Estator
				Rotor
				Escobillas
				Bobinado
				Acople
				Banda
	SISTEMA DE EXITACIÓN	01A2SE-EX100	EXITATRIZ	Rotor
				Estator
				Anillos Rosantes
				Escobillas
				Colector
	SISTEMA DE LUBRICACION Y REFRIGERACION	01A1SL-MO100	LUBRICACIÓN Y REFRIGERACIÓN	<u>Motor</u>
		01A1SL-BO100		<u>Bomba de Agua</u>
		01A1SL-BA100		Bomba de Aceite
		01A1SL-FH100		Filtro Hidraulico
		01A1SR-SE100		Serpentín
		01A2SL-CG100		Cojinete Guia
		01A2SL-CE100		Cojinete de Empuje
	SISTEMA DE CONTROL Y MEDIDAS	01A2SC-RM100	TABLERO DE CONTROL	Rele de minima tension 27
		01A2SC-RA100		Rele de maxima tension 59
01A2SC-RP100		Rele de potencia 32		
01A2SC-RS100		Rele de sobrecorriente 51		
01A2SM-MC100		Medidor de corriente		
01A2SM-ME100		Medidor de excitatriz		
01A2SM-MP100		Medidor de factor de potencia		
01A2MV-MV100		Medidor de voltaje		

Fuente: Autor

Tabla 8: Codificación de equipos de la unidad 2

CENTRAL HIDROELECTRICA ILLUCHI 1				
UNIDAD	SISTEMA	CODIFICACIÓN	EQUIPO	
U N I D A D 2	SISTEMA DE CONDUCCIÓN	01A2SC-TU200	TURBINA	By Pass
				rodete
				aguja
				deflector
				tobera
				inyector
				Camara de distribucion
				<u>Regulador de velocidad</u>
	SISTEMA DE GENERACIÓN	01A2SG-GE200	GENERADOR	Estator
				Rotor
				Escobillas
				Bobinado
				Acople
				Banda
	SISTEMA DE EXITACIÓN	01A2SE-EX200	EXITATRIZ	Rotor
				Estator
				Anillos Rosantes
				Escobillas
	SISTEMA DE LUBRICACION Y REFRIGERACION	01A1SL-MO200 01A1SL-BO200 01A1SL-BA200 01A1SL-FH200 01A1SR-SE200 01A2SL-CG200 01A2SL-CE200	LUBRICACIÓN Y REFRIGERACIÓN	<u>Motor</u>
				<u>Bomba de Agua</u>
				Bomba de Aceite
				Filtro Hidraulico
				Serpentin
				Cojinete Guia
				Cojinete de Empuje
	SISTEMA DE CONTROL Y MEDIDAS	01A2SC-RM200 01A2SC-RA200 01A2SC-RP200 01A2SC-RS200 01A2SM-MC200 01A2SM-ME200 01A2SM-MP200 01A2MV-MV200	TABLERO DE CONTROL	Rele de minima tension 27
				Rele de maxima tension 59
				Rele de potencia 32
Rele de sobrecorriente 51				
Medidor de corriente				
Mediddor de excitatriz				
Medidor de factor de potencia				
Medidor de voltaje				

Fuente: Autor

Tabla 9: Codificación de equipos de la unidad 3

CENTRAL HIDROELECTRICA ILLUCHI 1			
UNIDAD	SISTEMA	CODIFICIÓN	EQUIPO
U N I D A D 3	SISTEMA CONDUCCIÓN	01A2SC-TU300	TURBINA
			By Pass
			Rodete
			Aguja
			Deflector
			Tobera
			Inyector
			Camara de Distribución
	Regulador de velocidad		
	SISTEMA DE GENERACIÓN	01A2SG-GE300	GENERADOR
			Estator
			Rotor
			Anillos rosantes
			Escobillas
			Acople
	SISTEMA DE EXITACIÓN	01A2SE-EX300	EXCITATRIZ
			Rotor
			Estator
			Anillos Rosantes
			Escobillas
	SISTEMA DE LUBRICACION Y REFRIGERACION	01A1SL-MO300 01A1SL-BO300 01A1SL-BA300 01A1SL-FH300 01A1SR-SE300 01A2SL-CG300 01A2SL-CE300	SISTEMA DE LUBRICACION Y REFRIGERACION
			Motor
			Bomba de agua
			Bomba de aceite
			Filtro hidraulico
			Serpentin
			Cojinete Guia
	Cojinete Empuje		
SISTEMA DE CONTROL Y MEDIDAD	01A2SC-RM300 01A2SC-RA300 01A2SC-RP300 01A2SC-RS300 01A2SM-MC300 01A2SM-ME300 01A2SM-MP300 01A2MV-MV300	SISTEMA DE CONTROL Y MEDIDAD	
		Rele de minima tension 27	
		Rele de maxima tension 59	
		Rele de potencia 32	
		Rele de sobrecorriente 51	
		medidor de corriente	
		mediddor de excitatriz	
		medidor de factor de potencia	
medidor de voltaje			

Fuente: Autor

Tabla 10: Codificación de los equipos de la unidad 4

CENTRAL HIDROELECTRICA ILLUCHI 1			
UNIDAD	SISTEMA	CODIFICACIÓN	EQUIPO
U N I D A D 4	SISTEMA DE CONDUCCIÓN	01A2SC-TU400	TURBINA
			By Pass
			Rodete
			Aguja
			Deflector
			Tobera
			Inyector
			Camara de Distribucion
	Regulador de velocidad		
	SISTEMA DE GENERACIÓN	01A2SG-GE400	GENERADOR
			Estator
			Rotor
			Anillos rosantes
			Escobillas
			Acople
	SISTEMA DE EXITACIÓN	01A2SE-EX400	EXCITATRIZ
			Rotor
			Estator
			Anillos Rosantes
	SISTEMA DE LUBRICACION Y REFRIGERACION	01A1SL-MO400 01A1SL-BO400 01A1SL-BA400 01A1SL-FH400 01A1SR-SE400 01A2SL-CG400 01A2SL-CE400	SISTEMA DE LUBRICACION Y REFRIGERACION
			Motor
			Bomba de agua
			Bomba de aceite
			Filtro hidraulico
			Serpentin
			Cojinete Guía
			Cojinete Empuje
	SISTEMA DE CONTROL Y MEDIDAD	01A2SC-RM400 01A2SC-RA400 01A2SC-RP400 01A2SC-RS400 01A2SM-MC400 01A2SM-ME400 01A2SM-MP400 01A2MV-MV400	SISTEMA DE CONTROL Y MEDIDAD
Rele de minima tension 27			
Rele de maxima tension 59			
Rele de potencia 32			
Rele de sobrecorriente 51			
medidor de corriente			
mediddor de excitatriz			
medidor de factor de potencia			
medidor de voltaje			

Fuente: Autor

5.4 Historial de fallos de las unidades

Los fallos más frecuentes en la planta son por ruptura de bandas, por falta de lubricación en cojinetes y fugas en tuberías del sistema de refrigeración y lubricación, estos fallos se han dado en el periodo de un año de Abril del 2017 - Abril del 2018.

Tabla 11: Historial de fallos de las unidades de generación de la Central Iluchi I

FALLAS CENTRAL HIDROELECTRICA ILLUCHI I											
FECHA	UNIDAD SIN PRODUCIR				HORAS SIN GENERAR				CAUSA POR LA QUE DEJA DE GENERAR	HORA DE SALIDA DE LA UNIDAD	HORA DE INGRESO DE LA UNIDAD
	U1	U2	U3	U4	U1	U2	U3	U4			
5 DE ABRIL DEL 2017		X				7H			Calentamiento de cojinetes en el U2	09H00 AM	16H00PM
9 DE ABRIL DEL 2017				X				4H	Ruptura de banda del U4	08H00AM	12H00PM
11 DE ABRIL DEL 2017	X	X	X		3H	3H	3H		No trabaja la Bomba de Enfriamiento de cojinetes	13H00PM	16H00PM
22 DE ABRIL DEL 2017	X				17H30				Falta de aceite lubricante en los cojinetes U1	11H30AM	17H00PM
15 DE MAYO DEL 2017			X					9H	Ruptura de banda del U3	06H00AM	15H00PM
16 DE MAYO DEL 2017				X				6H	Ruptura de banda de la U4	09H00 AM	15H00PM
14 DE MAYO DEL 2017				X				9H	Deja de funcionar la bomba de la U4	05H00AM	14H00PM
19 DE MAYO DEL 2017				X				6H	Arreglo de banda U4	07H00AM	13H00PM
12 DE JUNIO DEL 2017			X					2H	Fricción en los carbones U3	09H00PM	11H00PM
22 DE JUNIO DEL 2017		X				11H			Fuga de aceite por la tubería de conducción de enfriamiento de cojinetes U2	10H00AM	21H00PM
10 DE JULIO DEL 2017			X					8H	Ruptura de Banda U3	04H00AM	12H00PM
20 DE JULIO DEL 2017				X				4H	Arreglo de banda U4	07H00AM	11H00PM
1 DE AGOSTO DEL 2017	X				14H				Ruptura de banda U1	10H30PM	12H30PM
9 DE SEPTIEMBRE DEL 2017				X				16H	Ruptura de banda U4	08H00PM	12H00PM
21 DE OCTUBRE DEL 2017	X							9H	Falta de aceite lubricante en los cojinetes de la U1	08H00AM	17H00PM
30 DE OCTUBRE DEL 2017				X				9H	Ruptura de banda U4	04H00AM	13H00PM
10 DE NOVIEMBRE DEL 2017	X				2H				Fricción en los carbones U1	13H00PM	15H00PM
25 DE NOVIEMBRE DEL 2017			X					9H	Ruptura de banda de la U4	09H00AM	18H00PM
7 DE DICIEMBRE DEL 2017		X				3H			Fricción en los carbones U2	08H00AM	11H00AM
13 DE ENERO DEL 2018		X				1H			Fricción en los carbones U2	11H00AM	00H30AM
24 DE ENERO DEL 2018		X				2H			Fricción en los carbones	11H00AM	13H00PM
28 DE ENERO DEL 2018		X				13H			Fricción de los carbones	03H00AM	16H00PM
10 DE FEBRERO DEL 2018			X					10H	Falta de aceite lubricante en los cojinetes de la U3	06H00AM	16H00PM
25 DE FEBRERO DEL 2018			X					2H	Se activa el relé de sobrevoltaje	00H00AM	02H00AM
12 DE FEBRERO DEL 2018			X					7H	Fuga de aceite por la tubería de conducción de enfriamiento de cojinetes U3	10H00AM	17H00PM
13 DE FEBRERO DEL 2018		X	X	X		2H	2H	2H	Se activa el relé de mínima tensión	11H45 PM	01H45AM
26 DE MARZO DEL 2018	X				6H				Fuga de aceite por la tubería de conducción de enfriamiento U1	13H00PM	19H00PM
12 DE ABRIL DEL 2018	X				4H				Falta de aceite en los cojinetes	14H00PM	18H00PM
28 de ABRIL DEL 2018		X				3H			Se activa relé de potencia	10H00AM	13H00PM
					46.30H	45H	52H	65H			

Fuente: ELEPCO S.A.

5.5 Criticidad de Equipos

A continuación, se detalla los equipos más susceptibles a daños, como se muestra en la tabla 12, 13,14 y 15.

Tabla 12: Criticidad de equipos de la unidad 1

CENTRAL HIDROELECTRICA ILLUCHI 1															
UNIDAD	SISTEMA	CODIFICACIÓN	EQUIPO	FRECUENCIA DE FALLAS	TIEMPO PROMEDIO PARA REPARACIÓN	IMPACTO OPERACIONAL	FLEXIBILIDAD	COSTO DE MANTENIMIENTO	IMPACTO SATISFACCIÓN DEL CLIENTE	IMPACTO AMBIENTAL	CONSECUENCIA TOTAL	CRITICIDAD TOTAL	DETRMINACIÓN		
U N I D A D 1	SISTEMA DE CONDUCCIÓN	01A2SC-TU100	TURBINA	By Pass	2	1	2	1	1	1	5	10	NC		
				rodete	1	2	2	2	1	2	1	10	20	NC	
				aguja	2	2	2	2	1	2	1	10	10	NC	
				deflector	1	2	2	2	2	1	2	1	10	10	NC
				tobera	1	2	2	2	1	2	1	10	10	NC	
				inyector	1	2	2	2	1	2	1	10	10	NC	
				Camara de distribución	1	2	2	2	1	2	1	10	10	NC	
	Regulador de velocidad	1	4	4	3	2	2	1	21	21	NC				
	SISTEMA DE GENERACIÓN	01A2SG-GE100	GENERADOR	Estator	1	3	3	3	2	2	2	18	18	NC	
				Rotor	1	3	3	3	2	2	2	18	18	NC	
				Escobillas	1	1	1	2	1	2	2	8	8	NC	
				Bobinado	1	1	1	1	1	2	2	7	7	NC	
				Acople	3	1	1	1	1	2	2	7	21	NC	
				Banda	3	5	5	3	2	2	1	25	75	C	
	SISTEMA DE EXITACIÓN	01A2SE-EX100	EXITATRIZ	Rotor	1	3	3	3	2	2	2	18	18	NC	
				Estator	1	1	1	2	1	2	2	8	8	NC	
				Anillos Rosantes	1	1	1	1	1	2	2	7	7	NC	
				Escobillas	1	1	1	2	1	2	2	8	8	NC	
	Colector	1	1	1	3	1	2	1	8	8	NC				
	SISTEMA DE LUBRICACION Y REFRIGERACION	01A1SL-MO100	LUBRICACIÓN Y REFRIGERACIÓN	Motor	1	1	1	3	1	2	1	8	8	NC	
		01A1SL-BO100		Bomba de Agua	1	1	1	3	1	2	2	9	9	NC	
		01A1SL-BA100		Bomba de Aceite	1	1	1	1	1	2	2	7	7	NC	
		01A1SL-FH100		Filtro Hidráulico	1	1	1	1	1	2	2	7	7	NC	
		01A1SR-SE100		Serpentín	1	1	1	1	1	2	2	7	7	NC	
		01A2SL-CG100		Cojinete Guín	2	2	2	3	2	2	1	13	26	MC	
		01A2SL-CE100		Cojinete de Empuje	1	1	1	3	1	2	2	9	9	NC	
	SISTEMA DE CONTROL Y MEDIDAS	01A2SC-RM100	TABLERO DE CONTROL	Relé de mínima tensión 27	1	1	1	3	1	2	2	9	9	NC	
		01A2SC-RA100		Relé de máxima tensión 59	1	1	1	3	1	2	2	9	9	NC	
		01A2SC-RP100		Relé de potencia 32	1	1	1	3	1	2	2	9	9	NC	
		01A2SC-RS100		Relé de sobrecorriente 51	2	1	1	3	1	2	2	9	18	NC	
01A2SM-MC100		Medidor de corriente		1	1	1	3	1	2	2	9	9	NC		
01A2SM-ME100		Medidor de excitatriz		1	1	1	3	1	2	2	9	9	NC		
01A2SM-MP100		Medidor de factor de potencia		2	1	1	3	1	2	2	9	18	NC		
01A2MV-MV100		Medidor de voltaje		1	1	1	3	1	2	2	9	9	NC		

Fuente: Autor

Tabla 13: Criticidad de equipos de la unidad 2

CENTRAL HIDROELECTRICA ILLUCHI 1														
UNIDAD	SISTEMA	CODIFICACIÓN	EQUIPO	FRECUENCIA DE FALLAS	TIEMPO PROMEDIO PARA REPARACIÓN	IMPACTO OPERACIONAL	FLEXIBILIDAD	COSTO DE MANTENIMIENTO	IMPACTO SATISFACCIÓN DEL CLIENTE	IMPACTO AMBIENTAL	CONSECUENCIA TOTAL	CRITICIDAD TOTAL	DETERMINACIÓN	
U N I D A D 2	SISTEMA DE CONDUCCIÓN	01A2SC-TU200	TURBINA	By Pass	3	1	1	2	1	1	5	15	MC	
				rodete	1	2	2	2	1	2	1	10	10	NC
				aguja	1	2	2	2	1	2	1	10	10	NC
				deflector	2	2	2	2	1	2	1	10	20	NC
				tobera	1	2	2	2	1	2		10	10	NC
				inyector	1	2	2	2	1	2	1	10	10	NC
				Camara de distribución	2	2	2	2	1	2	1	10	20	NC
	Regulador de velocidad	1	4	4	3	2	2	1	21	21	NC			
	SISTEMA DE GENERACIÓN	01A2SG-GE200	GENERADOR	Estator	1	3	3	3	2	2	2	18	18	NC
				Rotor	1	3	3	3	2	2	2	18	18	NC
				Escobillas	2	1	1	2	1	2	2	8	16	NC
				Bobinado	2	1	2	1	1	2	2	7	14	NC
				Acople	3	1	1	1	1	2	2	7	21	MC
	SISTEMA DE EXITACIÓN	01A2SE-EX200	EXITATRIZ	Banda	3	5	5	3	2	2	1	25	75	C
				Rotor	1	3	3	3	2	2	2	18	18	NC
				Estator	1	1	1	2	1	2	2	8	8	NC
				Anillos Rosantes	1	1	1	1	1	2	2	7	7	NC
				Escobillas	1	1	1	2	1	2	2	8	8	NC
	SISTEMA DE LUBRICACION Y REFRIGERACION	01A1SL-MO200 01A1SL-BO200 01A1SL-BA200 01A1SL-FH200 01A1SR-SE200 01A2SL-CG200 01A2SL-CE200	LUBRICACIÓN Y REFRIGERACIÓN	Colector	1	1	1	3	1	2	1	8	8	NC
				Motor	1	1	1	3	1	2	1	8	8	NC
				Bomba de Agua	1	1	1	3	1	2	2	9	9	NC
				Bomba de Aceite	1	1	1	1	1	2	2	7	7	NC
				Filtro Hidraulico	1	1	1	1	1	2	2	7	7	NC
				Serpentín	1	1	1	1	1	2	2	7	7	NC
				Cojinete Guía	2	2	2	3	2	1	13	26	NC	
	SISTEMA DE CONTROL Y MEDIDAS	01A2SL-CE200 01A2SC-RM200 01A2SC-RA200 01A2SC-RP200 01A2SC-RS200 01A2SM-MC200 01A2SM-ME200 01A2SM-MP200 01A2MV-MV200	TABLERO DE CONTROL	Cojinete de Empuje	1	1	1	3	1	2	2	9	9	NC
				Rele de mínima tensión 27	1	1	1	3	1	2	2	9	9	NC
				Rele de máxima tensión 59	2	1	1	3	1	2	2	9	18	NC
Rele de potencia 32				1	1	1	3	1	2	2	9	9	NC	
Rele de sobrecorriente 51				2	1	1	3	1	2	2	9	18	NC	
Medidor de corriente				1	1	1	3	1	2	2	9	9	NC	
Medidor de excitatriz				1	1	1	3	1	2	2	9	9	NC	
Medidor de factor de potencia				2	1	1	3	1	2	2	9	18	NC	
Medidor de voltaje	1	1	1	3	1	2	2	9	9	NC				

Fuente: Autor

Tabla 14: Criticidad de equipos de la unidad 3

CENTRAL HIDROELECTRICA ILLUCHI 1														
UNIDAD	SISTEMA	CODIFICIÓN	EQUIPO	FRECUENCIA DE FALLAS	TIEMPO PROMEDIO PARA REPARACIÓN	IMPACTO OPERACIONAL	FLEXIBILIDAD	COSTO DE MANTENIMIENTO	IMPACTO SATISFACCIÓN DEL CLIENTE	IMPACTO AMBIENTAL	CONSECUENCIA TOTAL	CRITICIDAD TOTAL	DETERMINACIÓN	
U N I D A D 3	SISTEMA CONDUCCIÓN	01A2SC-TU300	TURBINA	By Pass	1	1	1	2	1	1	1	6	6	NC
				Rodete	1	2	2	2	1	2	1	10	10	NC
				Aguja	1	2	2	2	1	2	1	10	10	NC
				Deflector	1	2	2	2	1	2	1	10	10	NC
				Tobera	1	2	2	2	1	2	1	10	10	NC
				inyector	2	2	2	2	1	2	1	10	20	MC
				Camara de Distribución	1	2	2	2	1	2	1	10	10	NC
	Regulador de velocidad	1	4	3	3	2	2	1	18	18	NC			
	SISTEMA DE GENERACIÓN	01A2SG-GE300	GENERADOR	Estator	1	3	2	3	2	2	2	15	15	NC
				Rotor	1	3	2	3	2	2	2	15	15	NC
				Anillos rosantes	1	1	1	2	1	2	2	8	8	NC
				Escobillas	1	1	1	1	1	2	2	7	7	NC
				Acople	1	1	1	1	1	2	1	6	6	NC
				Bandas	3	1	5	1	1	2	2	25	75	C
	SISTEMA DE EXITACIÓN	01A2SE-EX300	EXCITATRIZ	Rotor	1	3	3	3	2	2	2	18	18	NC
				Estator	1	3	3	3	2	2	2	18	18	NC
				Anillos Rosantes	1	1	1	2	1	2	2	8	8	NC
				Escobillas	1	1	1	1	1	2	2	7	7	NC
	SISTEMA DE LUBRICACION Y REFRIGERACION	01A2SL-MO300 01A2SL-BO300 01A2SL-BA300 01A2SL-FH300 01A2SL-CG300 01A2SL-CE300	SISTEMA DE LUBRICACION Y REFRIGERACION	Colector	1	1	1	2	1	2	2	8	8	NC
				Motor	1	1	1	3	1	2	1	8	8	NC
				Bomba de agua	1	1	1	3	1	2	1	8	8	NC
				Bomba de aceite	1	1	1	3	1	2	2	9	9	NC
				Filtro hidraulico	1	1	1	1	1	2	2	7	7	NC
				Serpentin	1	1	1	1	1	2	2	7	7	NC
				Cojinete Guía	2	2	2	3	2	1	13	26	MC	
				Cojinete Empuje	2	2	2	3	2	1	13	26	MC	
	SISTEMA DE CONTROL Y MEDIDAD	01A2SC-RM300 01A2SC-RA300 01A2SC-RP300 01A2SC-RS300 01A2SM-MC300 01A2SM-ME300 01A2SM-MP300 01A2MV-MV300	SISTEMA DE CONTROL Y MEDIDAD	Relé de mínima tensión 27	3	1	1	3	1	2	2	9	27	MC
				Relé de máxima tensión 59	1	1	1	3	1	2	2	9	9	NC
				Relé de potencia 32	2	1	1	3	1	2	2	9	18	NC
				Relé de sobrecorriente 51	3	1	1	3	1	2	2	9	27	MC
medidor de corriente				1	1	1	3	1	2	2	9	9	NC	
medidor de excitatriz				2	1	1	3	1	2	2	9	18	NC	
medidor de factor de potencia				1	1	1	3	1	2	2	9	9	NC	
medidor de voltaje				1	1	1	3	1	2	2	9	9	NC	

Fuente: Autor

Tabla 15: Criticidad de equipos de la unidad 4

CENTRAL HIDROELECTRICA ILLUCHI 1														
UNIDAD	SISTEMA	CODIFICACIÓN	EQUIPO	FRECUENCIA DE FALLAS	TIEMPO PROMEDIO PARA REPARACIÓN	IMPACTO OPERACIONAL	FLEXIBILIDAD	COSTO DE MANTENIMIENTO	IMPACTO SATISFACCIÓN DEL CLIENTE	IMPACTO AMBIENTAL	CONSECUENCIA TOTAL	CRITICIDAD TOTAL	DETERMINACIÓN	
U N I D A D 4	SISTEMA DE CONDUCCIÓN	01A2SC-TU400	By Pass	1	1	1	2	1	1	1	6	6	NC	
			Rodete	1	2	2	2	1	2	1	10	10	NC	
			Aguja	1	2	3	2	1	12	1	12	12	NC	
			Deflector	1	2	2	2	1	10	2	1	10	10	NC
			Tobera	1	2	2	2	1	10	2	1	10	10	NC
			Injector	2	2	2	2	1	10	2	1	10	20	NC
			Camara de Distribución	1	2	2	2	1	10	2	1	10	10	NC
			Regulador de velocidad	1	4	2	3	2	15	2	1	15	15	NC
	SISTEMA DE GENERACIÓN	01A2SG-GE400	Estator	1	3	2	3	2	2	2	2	15	15	NC
			Rotor	1	3	2	3	2	15	2	2	15	15	NC
			Anillos rosantes	1	1	2	2	1	10	2	2	10	10	NC
			Escobillas	1	1	1	1	1	7	2	2	7	7	NC
			Acople	1	1	1	1	1	6	2	1	6	6	NC
			Bandas	3	1	5	1	1	7	2	2	7	75	C
	SISTEMA DE EXITACIÓN	01A2SE-EX400	Rotor	1	3	2	3	2	2	2	2	15	15	MC
			Estator	1	3	2	3	2	15	2	2	15	15	NC
			Anillos Rosantes	1	1	1	2	1	8	2	2	8	8	NC
			Escobillas	1	1	2	1	1	7	2	2	7	7	NC
			Colector	1	1	1	2	1	8	2	2	8	8	NC
	SISTEMA DE LUBRICACION Y REFRIGERACION	01A1SL-MO400	Motor	1	1	1	3	1	2	2	1	8	8	NC
		01A1SL-BO400	Bomba de agua	1	1	1	3	1	2	2	1	8	8	NC
		01A1SL-BA400	Bomba de aceite	2	1	1	3	1	2	2	2	9	18	NC
		01A1SL-FH400	Filtro hidráulico	2	1	1	1	1	2	2	2	7	14	NC
		01A1SR-SE400	Serpentín	1	1	1	1	1	2	2	2	7	14	NC
		01A2SL-CG400	Cojinete Guía	2	2	2	3	2	2	2	1	13	26	MC
		01A2SL-CE400	Cojinete Empuje	2	2	2	3	2	2	2	1	13	26	MC
		01A2SC-RM400	Relé de mínima tensión 27	3	1	1	3	1	2	2	2	9	27	MC
	SISTEMA DE CONTROL Y MEDIDAD	01A2SC-RA400	Relé de máxima tensión 59	1	1	1	3	1	2	2	2	9	9	NC
		01A2SC-RP400	Relé de potencia 32	2	1	1	3	1	2	2	2	9	18	NC
		01A2SC-RS400	Relé de sobrecorriente 51	2	1	1	3	1	2	2	2	9	18	NC
		01A2SM-MC400	medidor de corriente	3	1	1	3	1	2	2	2	9	27	MC
		01A2SM-ME400	medidor de excitatriz	1	1	2	3	1	2	2	2	9	18	NC
01A2SM-MP400		medidor de factor de potencia	1	1	1	3	1	2	2	2	9	9	NC	
01A2MV-MV400		medidor de voltaje	2	1	2	3	1	2	2	2	9	18	NC	

Fuente: Autor

5.6 Fichas Técnicas

Las fichas técnicas aportaron con información sobre las características de operación y funcionamiento de los equipos, como se muestra en la tabla 16.

Tabla 16: Ficha técnica de la turbina y el generador de la unidad 1

FICHA TÉCNICA	
CARACTERÍSTICAS TURBINA U1	
Marca	Bell
Tipo	Pelton
Procedencia	Suiza
Año de fabricación	1950
N° de fabricación	1833
Salto	290m
Velocidad de embalamiento	2200 R.p.m
Velocidad de embalamiento	2200 R.p.m

FICHA TÉCNICA	
CARACTERÍSTICAS GENERADOR U1	
Marca	Brown Boveri
Serie:	B 56112
Tipo:	WAS 46d
Fases:	3 ~
Potencia:	872 KVA
RPM:	1200/2200
Frecuencia	60 Hz
Voltaje:	2400 V
Corriente:	210 A
Factor de potencia:	0,8
Exitación	
Voltaje:	35 V
Corriente:	235A
Cos θ :	0,8

Fuente: Autor

(Ver Anexo, Tablas: XIX, XX, XXI, XXII, XXIII, XXIV)

5.7 Orden de Trabajo

Permitió autorizar la intervención de un equipo que necesita mantenimiento, facilitando las herramientas y repuestos que se utiliza en la intervención del mismo, también alerta al operador de la planta que el equipo se encuentra en reparación y erradicando la posibilidad que otro operador ponga en funcionamiento el equipo por desconocimiento que el mismo está fuera de servicio por mantenimiento, como se muestra en la tabla 17.

Tabla 17: Orden de trabajo del Generador para la verificación de la libertad de desplazamiento de las escobillas

CENTRAL HIDROELECTRICA ILLUCHI I									
ORDEN DE TRABAJO									
FECHA	S/E	EQUIPO	Generador		CODIGO	01A2SG-GE100	# ORDEN	S/E	
TIPO DE TRABAJO	ELECTRICO		MECANICO	X	ACTIVIDAD PROGRAMADA	SI	X	NO	
TIPO DE MANTENIMIENTO		CORRECTIVO			PREVENTIVO	X	PREDICTIVO		
TIEMPO		INICIO	S/E			S/E	DURACION		
DESCRIPCION DE LA ACTIVIDAD									
Verificación de la libertad de desplazamiento de las escobillas									
EQUIPO DE PROTECCION PERSONAL REQUERIDA									
GUANTES	X	GUANTES ELECTRICOS			PROTECCION PARA QUIMICOS				
PROTECCION AUDITIVA	X	BOTAS DIELECTRICAS		X	ARNES Y LINEAS DE VIDA				
GAFAS		CASCO		X	PROTECCION RESPIRATORIA				
HERRAMIENTAS REQUERIDAS		UTILIZADAS			REPUESTOS		UTILIZADOS		
Calibrador pie de rey					Escobillas				
Brochas									
Compresor de aire									
Juego de llaves									
OTROS									
OBSERVACIONES									
AUTORIZADO POR					RECIBIDO POR				

Fuente: Autor

(Ver Anexo: XXV, XXVI, XXVII, XXVIII, XXIX)

5.8 Cálculo horas de disponibilidad y disponibilidad de las unidades de generación

Horas de disponibilidad y disponibilidad de la unidad 1

$$HDU1 = (365 * 24) - (46.30 + 450)$$

$$HDU1 = (8760) - (496.30)$$

$$HDU1 = 8263,7H$$

$$DU1 = \frac{8263.7 + 450 - 150}{8263.7 + 46.30 + 450}$$

$$DU1 = 0.975\% = 97.5\%$$

Horas de disponibilidad y disponibilidad de la unidad 2

$$HDU2 = (365 * 24) - (45 + 440)$$

$$HDU = (8760) - (485)$$

$$HDU = 8275H$$

$$DU2 = \frac{8275 + 440 - 170}{8275 + 45 + 440}$$

$$DU2 = \frac{8545}{8760}$$

$$DU2 = 0.975\% = 97.5\%$$

Horas de disponibilidad y disponibilidad de la unidad 3

$$HDU3 = (365 * 24) - (52 + 480)$$

$$HDU3 = (8760) - (532)$$

$$HDU3 = 8228H$$

$$CDU3 = \frac{8228 + 480 - 0}{8228 + 52 + 480}$$

$$CDU3 = \frac{8708}{8760}$$

$$CDU3 = 0.994\% = 99.4$$

Horas de disponibilidad y disponibilidad de la unidad 4

$$HDU\ 4 = (365 * 24) - (65 + 510)$$

$$HDU = (8760) - (575)$$

$$HDU = 8185H$$

$$CDU\ 4 = \frac{8185 + 510 - 200}{8185 + 65 + 510}$$

$$CDU\ 4 = \frac{8495}{8760}$$

$$CDU\ 4 = 0.969\% = 96.6$$

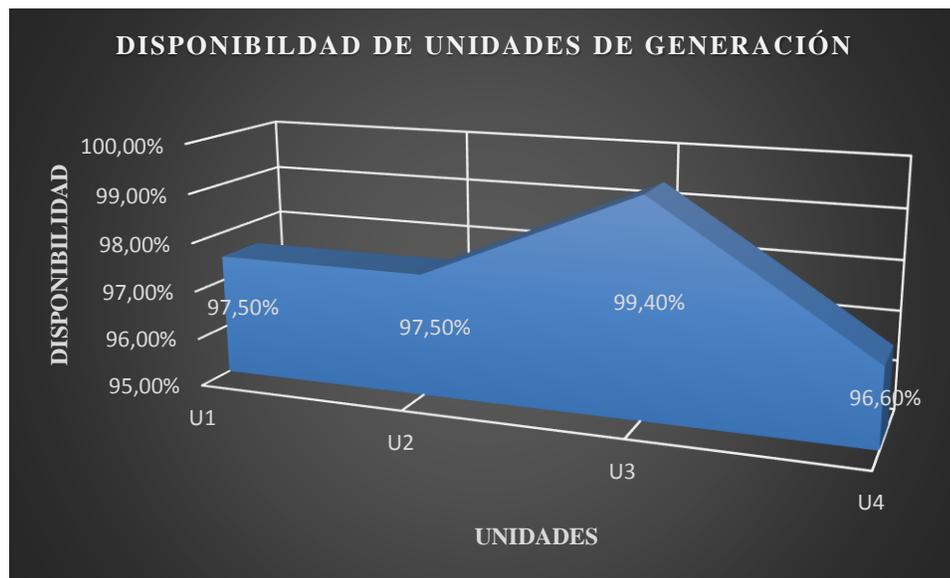


Figura 5: Disponibilidad de unidades de generación

Fuente: Autor

Se puede observar que las unidades de generación de ELEPCO S.A. tienen una disponibilidad mayor al 95% con estos datos se demuestra que las unidades están cumpliendo los parámetros de operación que determina el ARCONEL el mismo que dispone que las unidades deben trabajar por encima de un 90%.

5.9 Cálculo de fiabilidad de las unidades de generación

Fiabilidad de la U1

$$CFU1 = \frac{8263.7 + 450 - 150 * 100}{8263.7 + 46.30 + 450}$$

$$CFU1 = \frac{8563}{8760}$$

$$CFU1 = 0.975\% = 97.5.$$

Fiabilidad de la U2

$$CFU2 = \frac{8275 + 440 - 170 * 100}{8275 + 45 + 440}$$

$$CFU2 = \frac{8545}{8760}$$

$$CFU2 = 0.975\% = 97.5\%$$

Fiabilidad de la U3

$$CFU3 = \frac{8228 + 480 - 0 * 100}{8228 + 52 + 480}$$

$$CFU3 = \frac{8708}{8760}$$

$$CFU3 = 0.994\% = 99.4$$

Fiabilidad de la U4

$$CFU4 = \frac{8185 + 510 - 200 * 100}{8185 + 65 + 510}$$

$$CFU4 = \frac{8495}{8760}$$

$$CFU4 = 0.969\% = 96.6$$

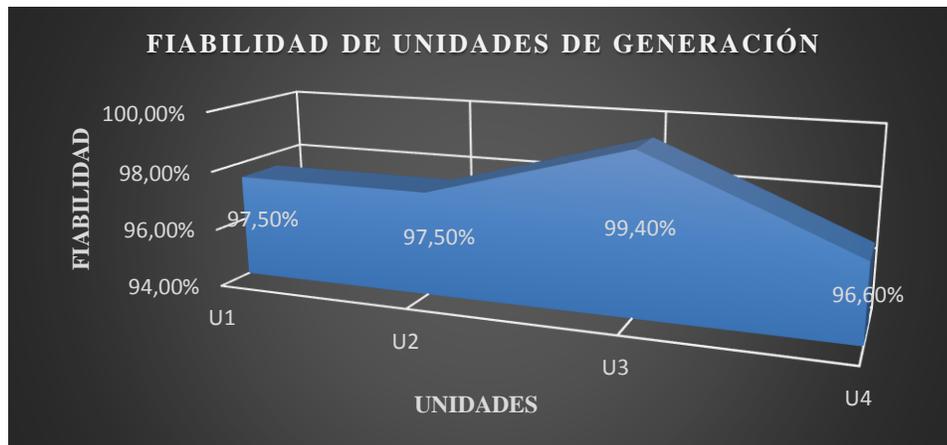


Figura 5.1: Fiabilidad
Fuente: Autor

Se puede observar que los valores de fiabilidad de las unidades de generación de ELEPCO S.A. son los mismos de disponibilidad esto se debe a que las dos tienen relación.

5.10 Planos eléctricos y mecánicos

Los planos que se realizó para la central están diseñados para cada uno de los sistemas que se identificó logrando así ubicar los equipos dentro y fuera de la casa de máquinas con mayor facilidad y rapidez.

(Ver Anexo: XXX, XXXI, XXXII, XXXIII, XXXIV, XXXV, XXVI, XXXXVII)

5.11 Diseño del plan de mantenimiento

El proyecto tiene la función de controlar en tiempo real cuando una unidad de generación requiera que se realice mantenimiento preventivo de acuerdo a una lista de acciones que están estructuradas para ser ejecutadas en frecuencia de horas de trabajo, a través del programa Microsoft Excel.

Para lograr que se cumpla esta función se diseñó la siguiente estructura en Microsoft Excel.

- ✓ Una Pantalla principal que sirvió como una hoja de trabajo, donde se ingresó las unidades de generación, sistemas, mantenimientos a realizar, herramientas y repuestos requeridas para el mantenimiento.

- ✓ Se tiene una pantalla para ingresar, el tiempo de trabajó de cada unidad por día ya que las mimas por diversas causas no operan las 24 horas, estas se guardarán en una matriz y se contabilizarán las horas de trabajo.
- ✓ En esta matriz se almacenarán las horas, cuando se cumpla un cierto rango de horas trabajadas estas permitan la activación de las siguientes alertas:
 - Verde: menor o igual a 720 horas de trabajo
 - Amarillo: menor o igual a 360 horas de trabajo
 - Naranja menor o igual a 180 horas de trabajo
 - Rojo menor o igual a 48 horas de trabajo
- ✓ Se tiene un control de cada una de las actividades, el mismo que cambia de color automáticamente al cumplir las horas de trabajo al 100%.
- ✓ Cuando una unidad necesite mantenimiento, se genera la orden de trabajo desde el control para la ejecución del mismo.
- ✓ Cada vez que se genere una orden de trabajo esta se guarda en una matriz, con la fecha el tipo de mantenimiento y la unidad a la cual se realizó mantenimiento.
- ✓ El sistema tendrá estadísticas de cumplimiento, como se muestra en la figura 5.2, 5.3, 5.4, 5.5, 5.6, 5.7, 5.8.

SISTEMA	EQUIPO	DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD	SISTEMA	EQUIPO	HERRAMIENTAS	REPUESTOS
SISTEMA DE CONDUCCIÓN	TURBINA	Inspección de ruidos anormales del rodete	CONDUCCION	TURBINA	Juego de lives mitas, Juego de lives hexagonal, Franch	
SISTEMA DE GENERACIÓN	GENERADOR	Inspección de posibles fisuras de rodete	CONDUCCION	TURBINA	Líquidos penetrantes, Juego de lives exagonales, Franch	Agua, Anillo
SISTEMA DE EXTINCIÓN	EXTINTAZ	Limpieza del rodete	CONDUCCION	TURBINA	Juego de lives mitas, Juego de lives exagonal, Franch, Combo, Juego de desarmadores	
SISTEMA DE REFRIGERACION Y LUBRIFICACION	SISTEMA DE REFRIGERACION Y LUBRIFICACION	Inspección de alabes	CONDUCCION	TURBINA	Juego de lives mitas, Juego de lives hexagonal, Franch, Combo	
TABLERO DE CONTROL Y MEDIDAS	TABLERO DE CONTROL Y MEDIDAS	Revisión estado de aguas	CONDUCCION	TURBINA	Juego de lives mitas, Juego de lives exagonales, Franch, Combo	Empaques, Selos
		Inspección del movimiento axial de la aguja	CONDUCCION	TURBINA	Juego de lives mitas, Juego de lives exagonal, Franch, Combo	
		Cambio de agujas y asientos de los inyectores	CONDUCCION	TURBINA	Juego de lives mitas, Juego de lives hexagonal, Franch, Combo	Inyectar, Agua
		Cambio de acoples del servomotor de inyectores	CONDUCCION	TURBINA	Juego de lives mitas, Juego de lives hexagonal, Franch, Combo, Gasolina, desarmador	Acople, Servomotor, Pernos, Arandelas
		Limpieza de toberas	CONDUCCION	TURBINA	Juego de lives mitas, Juego de lives hexagonales, Franch, Gasolina, Lija, Lima	
		Inspección posibles agrietamiento de la tobera	CONDUCCION	TURBINA	Juego de lives mitas, Juego de lives hexagonales, Franch, Líquidos Penetrantes	
		Inspección del neutro del generador	GENERACION	GENERADOR	Franchos o paños de algodón, Solvente, Juego de lives mitas, Multímetro, Multímetro de media tensión, Piza americana, Megger	
		Inspección de uniones, soldaduras y seguros del generador	GENERACION	GENERADOR	Escoba plástica, Juego de lives mitas, Brochas	Seguros
		Reajuste de los pernos del generador	GENERACION	GENERADOR	Franchos o paños de algodón, Brochas, Compresor de aire, Torquero	Pernos
UNIDADES	SISTEMA	Medición del aislamiento de bobinas	GENERACION	GENERADOR	Franchos o paños de algodón, Solvente, Escoba plástica, Brochas, Compresor de aire, Juego de lives mitas, Multímetro de media tensión	
UNIDAD 1	CONDUCCION	Inspección del aislamiento de los devanados y conexión de los mismos en caso de ser necesario	GENERACION	GENERADOR	Franchos o paños de algodón, Solvente, Escoba plástica, Brochas, Compresor de aire, Juego de lives mitas, Multímetro de media tensión Piza americana	
UNIDAD 2	GENERACION	Verificación de pares de parate de los pernos de unión de datos de presión del humido del estator	GENERACION	GENERADOR	Franchos paños de algodón, Solvente, Escoba plástica, Brochas, Compresor de aire, Juego de lives mitas, Torquero	Pernos
UNIDAD 3	EXTIACION	Medición del aislamiento eléctrico del estator	GENERACION	GENERADOR	Franchos o paños de algodón, Solvente, Escoba plástica, Brochas, Compresor de aire, Juego de lives mitas, Multímetro, Multímetro de media tensión, Piza americana	
UNIDAD 4	REFRIGERACION Y LUBRICACION	Medición del entrelazo	GENERACION	GENERADOR	Franchos o paños de algodón, Solvente, Escoba Plástica, Brochas, Compresor de aire, Juego de lives, Multímetro, Multímetro de media tensión, Piza americana	
	CONTROL Y MEDIDAS	Medición de la caída de tensión en los polos del rotor	GENERACION	GENERADOR	Franchos o paños de algodón, Solvente, Escoba Plástica, Brochas, Compresor de aire, Juego de lives, Multímetro, Multímetro de media tensión, Piza americana	
		Control de alineación del estator	GENERACION	GENERADOR	Franchos o paños de algodón, Solvente, Escoba Plástica, Brochas, Compresor de aire, Juego de lives	
		Control de alineación del rotor y desplazamiento axial	GENERACION	GENERADOR	Franchos o paños de algodón, Solvente, Escoba Plástica, Brochas, Compresor de aire, Juego de lives mitas	
		Cambio de polaridad de anillos rozantes	GENERACION	GENERADOR	Franchos o paños de algodón, Solvente, Compresor de aire, Juego de lives mitas	Carbones
HORAS		Limpieza general del recto y accesos de anillos rozantes	GENERACION	GENERADOR	Franchos o paños de algodón, Solvente, Brochas, Compresor de aire, Juego de lives mitas	
24000	10000	Verificación de la libertad de desplazamiento de las escobillas	GENERACION	GENERADOR	Calibrador pie de rey, Brochas, Compresor de aire, Juego de lives	Escobillas, Anillos
168000	0,29166667	Inspección del estado y funcionamiento de porta escobillas, anillos rozantes	GENERACION	GENERADOR	Multímetro, Multímetro de media tensión, Piza americana, Juego de lives, Calibrador pie de rey	
720000	1,25	Medición del aislamiento eléctrico del rotor y soporte para escobillas	GENERACION	GENERADOR	Juego de lives mitas, Calibrador pie de rey	
2160000	3,75	Medición y registro del tamaño de escobillas	GENERACION	GENERADOR	Juego de desarmadores, Piza, Alcat, Piza, Juego de lives mitas, Juego de lives hexagonal	Terminales
2880000	5	Ajuste de conexiones de terminales	GENERACION	GENERADOR	Juego de lives, Calibrador pie de rey	
4320000	7,5	Limpieza de poleas	GENERACION	GENERADOR	Franchos o paños de algodón, Solvente, Escoba Plástica, Brochas, Compresor de aire, Juego de lives mitas	Poleas
8760000	15,20833333	Inspección de bandas y reajuste	GENERACION	GENERADOR	Franchos o paños de algodón, Solvente, Brochas, Compresor de aire, Juego de lives mitas, Trimmer	
		Cambio de bandas	GENERACION	GENERADOR	Franchos o paños de algodón, Solvente, Brochas, Compresor de aire, Juego de lives mitas, Juego de lives exagonales	Bandas
		Medición del aislamiento eléctrico del estator	EXTIACION	EXTINTAZ	Franchos o paños de algodón, Solvente, Brochas, Compresor de aire, Juego de lives mitas, Multímetro, Multímetro de media tensión, Piza americana	
		Medición del entrelazo	EXTIACION	EXTINTAZ	Franchos o paños de algodón, Solvente, Brochas, Compresor de aire, Juego de lives mitas, Multímetro, Multímetro de media tensión, Piza americana	
		Medición de la caída de tensión en los polos del rotor	EXTIACION	EXTINTAZ	Franchos o paños de algodón, Solvente, Brochas, Compresor de aire, Juego de lives mitas, Multímetro, Multímetro de media tensión, Piza americana	
		Cambio de polaridad de anillos rozantes	EXTIACION	EXTINTAZ	Franchos o paños de algodón, Solvente, Brochas, Compresor de aire, Juego de lives mitas	Anillos, Carbones
		Limpieza general del recto y accesos de anillos rozantes	EXTIACION	EXTINTAZ	Franchos o paños de algodón, Solvente, Brochas, Compresor de aire, Juego de lives mitas	
		Verificación de la libertad de desplazamiento de las escobillas	EXTIACION	EXTINTAZ	Calibrador pie de rey, Brochas, Compresor de aire, Juego de lives	Escobillas
		Inspección del estado y funcionamiento de porta escobillas, anillos rozantes	EXTIACION	EXTINTAZ	Franchos o paños de algodón, Solvente, Brochas, Compresor de aire, Juego de lives mitas	Escobillas, Anillos
		Medición del aislamiento eléctrico del rotor y soporte para escobillas	EXTIACION	EXTINTAZ	Multímetro, Multímetro de media tensión, Piza americana, Juego de lives mitas, Calibrador pie de rey	
		Medición y registro del tamaño de escobillas	EXTIACION	EXTINTAZ	Juego de lives mitas, Calibrador pie de rey	
		Ajuste de conexiones de terminales	EXTIACION	EXTINTAZ	Juego de desarmadores, Piza, Alcat, Piza,	Terminales
TIPO DE MANTENIMIENTO		Limpieza y revisión de las conexiones eléctricas de los sensores de nivel de temperatura de cojinetes	REFRIGERACION Y LUBRICACION	SISTEMA DE REFRIGERACION Y LUBRICACION	Multímetro, Piza Americana	Sensores
PREVENTIVO		Reisar y cambiar el nivel de aceite de cojinetes	REFRIGERACION Y LUBRICACION	SISTEMA DE REFRIGERACION Y LUBRICACION	Juego de lives mitas, Juego de lives hexagonales	Acete
CORRECTIVO		Inspección de fugas de aceite y agua del sistema de lubricación y refrigeración	REFRIGERACION Y LUBRICACION	SISTEMA DE REFRIGERACION Y LUBRICACION	Manguera, Cepillo o escobilla nylon, Juego de lives mitas, Juego de lives hexagonales,	Mangueras, Acete, Abrazaderas de 1 pulgada
PREDICTIVO		Inspección de bomba de aceite	REFRIGERACION Y LUBRICACION	SISTEMA DE REFRIGERACION Y LUBRICACION	Cepillo o escobilla nylon, Juego de lives mitas, Juego de lives hexagonales	Bomba de aceite
		Inspección de motor de bomba	REFRIGERACION Y LUBRICACION	SISTEMA DE REFRIGERACION Y LUBRICACION	Juego de lives mitas, Juego de lives hexagonales	Motor de bomba
		Inspección general de los intercambiadores de calor	REFRIGERACION Y LUBRICACION	SISTEMA DE REFRIGERACION Y LUBRICACION	Manguera, Cepillo o escobilla nylon, Juego de lives mitas, Juego de lives hexagonales	Mangueras, Serpentin
		Verificación de formación de corrosión	REFRIGERACION Y LUBRICACION	SISTEMA DE REFRIGERACION Y LUBRICACION	Juego de desarmadores, Líquidos abrasivos, Juego de lives mitas, Juego de lives hexagonales	
		Empaque de mantenimiento de la compuesta	REFRIGERACION Y LUBRICACION	SISTEMA DE REFRIGERACION Y LUBRICACION	Empaques	Grasa
		Limpieza de la rejilla de toma de agua	REFRIGERACION Y LUBRICACION	SISTEMA DE REFRIGERACION Y LUBRICACION	Juego de lives mitas	Rejilla
		Limpieza de fillos	REFRIGERACION Y LUBRICACION	SISTEMA DE REFRIGERACION Y LUBRICACION	Juego de desarmadores, Juego de lives mitas	Acete, Empaque de fillos
		Cambio de fillos	REFRIGERACION Y LUBRICACION	SISTEMA DE REFRIGERACION Y LUBRICACION	Juego de lives mitas, Juego de desarmadores	Filtros, Empaques
		Control de válvula tipo mariposa	REFRIGERACION Y LUBRICACION	SISTEMA DE REFRIGERACION Y LUBRICACION	Cepillo o escobilla nylon, Juego de lives mitas, Juego de lives hexagonales	Mangueras, Abrazaderas de 1 pulgada, Válvula de pie
		Control de ventid by pass	REFRIGERACION Y LUBRICACION	SISTEMA DE REFRIGERACION Y LUBRICACION	Cepillo o escobilla nylon, Juego de lives mitas, Juego de lives hexagonales	Mangueras, Abrazaderas de 1 pulgada, Válvula de pie
		Inspección y limpieza del medidor de frecuencia	CONTROL Y MEDIDAS	TABLERO DE CONTROL Y MEDIDAS	Multímetro, Voltmetro, Franch	Medidor
		Inspección y limpieza del medidor de voltaje general	CONTROL Y MEDIDAS	TABLERO DE CONTROL Y MEDIDAS	Multímetro, Voltmetro, Franch	Medidor
		Inspección y limpieza del microscopio	CONTROL Y MEDIDAS	TABLERO DE CONTROL Y MEDIDAS	Multímetro, Voltmetro, Franch	Medidor, Rele
		Inspección y limpieza de los luces indicadores y selectores	CONTROL Y MEDIDAS	TABLERO DE CONTROL Y MEDIDAS	Multímetro, Voltmetro, Franch	Luces piloto
		Inspección y limpieza del estado del tacómetro de la turbina	CONTROL Y MEDIDAS	TABLERO DE CONTROL Y MEDIDAS	Multímetro, Voltmetro, Franch	Reles, Medidores
		Inspección y limpieza del relé de sobrevoltaje del generador	CONTROL Y MEDIDAS	TABLERO DE CONTROL Y MEDIDAS	Multímetro, Voltmetro, Franch	Reles, Medidores
		Inspección y limpieza del relé de protección diferencial del generador	CONTROL Y MEDIDAS	TABLERO DE CONTROL Y MEDIDAS	Multímetro, Voltmetro, Franch	Reles, Medidores
		Inspección del transformador de corriente	CONTROL Y MEDIDAS	TABLERO DE CONTROL Y MEDIDAS	Multímetro, Voltmetro, Franch	
		Inspección del transformador de potencia	CONTROL Y MEDIDAS	TABLERO DE CONTROL Y MEDIDAS	Multímetro, Voltmetro, Franch	

Figura 5.2: Hoja principal de trabajo

Fuente : Autor

<u>CENTRAL HIDROELECTRICA ILLUCHI I</u>	
REGISTRO DE ENTRADA DE UNIDADES	
FECHA	1/7/2018
UNIDAD	UNIDAD 3
HORA INICIO	17:00
HORA FIN	0:00
TIEMPO DE TRABAJO	
6:59	

<u>CENTRAL HIDROELECTRICA ILLUCHI I</u>	
REGISTRO DE ENTRADA DE UNIDADES	
FECHA	15/7/2018
UNIDAD	UNIDAD 4
HORA INICIO	7:00
HORA FIN	21:59
TIEMPO DE TRABAJO	
14:59	

Figura 5.3: Registro de trabajo por unidad

Fuente: Autor

FECHA	UNIDAD	DURACION
1/7/2018	UNIDAD 1	11:59
1/7/2018	UNIDAD 2	13:59
1/7/2018	UNIDAD 2	23:59
1/7/2018	UNIDAD 3	16:59
1/7/2018	UNIDAD 4	14:59
15/7/2018	UNIDAD 1	14:59
15/7/2018	UNIDAD 2	14:59
15/7/2018	UNIDAD 3	14:59
15/7/2018	UNIDAD 4	14:59

Figura 5.4: Base de datos de horas de trabajo por unidad

Fuente: Autor

PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA EL LUCHI																												
SISTEMA	EQUIPO	DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD	FRECUENCIA					ÚLTIMO MANTENIMIENTO				PRÓXIMO MANTENIMIENTO																
			24 HORAS	168 HORAS	720 HORAS	2160 HORAS	2880 HORAS	4320 HORAS	5760 HORAS	U1	U2	U3	U4	DÍAS PROCESO	HORAS TIEMPO REAL U1	U1	HORAS RESTANTES	HORAS TIEMPO REAL U2	U2	HORAS RESTANTES	HORAS TIEMPO REAL U3	U3	HORAS RESTANTES	HORAS TIEMPO REAL U4	U4	HORAS RESTANTES		
SISTEMA DE CONDUCCIÓN	TURBINA	Inspección de malos aromas del rodete			X				10/7/2018	10/7/2018	10/7/2018	10/7/2018	720.000	84.000	0.000	636.000	0.000	0.000	720.000	0.000	0.000	84.000	0.000	736.000	0.000	84.000	720.000	
		Inspección de posibles fisuras de rodete					X		28/5/2018	4/6/2018	10/5/2018	12/6/2018	2880.000	84.000	21/9/2018	2796.000	0.000	0.000	3/10/2018	2880.000	0.000	0.000	17/9/2018	2880.000	0.000	0.000	10/10/2018	2880.000
		Limpieza del rodete						X	10/2/2018	10/10/2017	10/5/2018	10/11/2017	8760.000	84.000	6/2/2019	8676.000	0.000	0.000	10/10/2018	8760.000	0.000	0.000	10/10/2018	8760.000	0.000	0.000	10/11/2018	8760.000
		Inspección de alabes					X		28/5/2018	4/6/2018	10/5/2018	12/6/2018	2880.000	84.000	21/9/2018	2796.000	0.000	0.000	3/10/2018	2880.000	0.000	0.000	17/9/2018	2880.000	0.000	0.000	10/10/2018	2880.000
		Revisión estado de aguas						X	17/1/2018	17/2/2018	17/3/2018	17/3/2018	2880.000	84.000	25/10/2018	2796.000	0.000	0.000	29/10/2018	2880.000	0.000	0.000	29/10/2018	2880.000	0.000	0.000	29/10/2018	2880.000
		Inspección del movimiento axial de la arja						X	15/4/2018	1/4/2018	9/4/2018	15/5/2018	4320.000	84.000	8/10/2018	4236.000	0.000	0.000	28/9/2018	4320.000	0.000	0.000	6/10/2018	4320.000	0.000	0.000	11/11/2018	4320.000
		Cambio de agua y ajustes de los injectores						X	10/2/2018	10/10/2017	10/5/2018	10/11/2017	8760.000	84.000	6/2/2019	8676.000	0.000	0.000	10/10/2018	8760.000	0.000	0.000	10/3/2019	8760.000	0.000	0.000	10/11/2018	8760.000
		Cambio de aceites del convertidor de injectores						X	10/2/2018	10/10/2017	10/5/2018	10/11/2017	8760.000	84.000	6/2/2019	8676.000	0.000	0.000	10/10/2018	8760.000	0.000	0.000	10/3/2019	8760.000	0.000	0.000	10/11/2018	8760.000
		Limpieza de tuberías					X		17/3/2018	23/2/2018	17/7/2018	17/12/2018	4320.000	84.000	19/9/2018	4236.000	0.000	0.000	18/9/2018	4320.000	0.000	0.000	13/9/2018	4320.000	0.000	0.000	18/9/2018	4320.000
		Inspección mensual agetamientos de la tubería					X		28/5/2018	4/6/2018	10/5/2018	10/11/2017	8760.000	84.000	21/9/2018	2796.000	0.000	0.000	3/10/2018	2880.000	0.000	0.000	17/9/2018	2880.000	0.000	0.000	10/10/2018	2880.000
		Inspección del estado del generador						X	10/2/2018	10/10/2017	10/5/2018	10/11/2017	8760.000	84.000	6/2/2019	8676.000	0.000	0.000	10/10/2018	8760.000	0.000	0.000	10/3/2019	8760.000	0.000	0.000	10/11/2018	8760.000
		Inspección de tensiones, soldaduras y seguros del generador						X	10/2/2018	10/10/2017	10/5/2018	10/11/2017	8760.000	84.000	6/2/2019	8676.000	0.000	0.000	10/10/2018	8760.000	0.000	0.000	10/3/2019	8760.000	0.000	0.000	10/11/2018	8760.000
		Requisito de las partes del generador						X	10/2/2018	10/10/2017	10/5/2018	10/11/2017	8760.000	84.000	6/2/2019	8676.000	0.000	0.000	10/10/2018	8760.000	0.000	0.000	10/3/2019	8760.000	0.000	0.000	10/11/2018	8760.000
		Medición del aislamiento de bobinas					X		20/3/2018	20/3/2018	20/3/2018	20/3/2018	4320.000	84.000	12/9/2018	4236.000	0.000	0.000	16/9/2018	4320.000	0.000	0.000	16/9/2018	4320.000	0.000	0.000	16/9/2018	4320.000
		Inspección del aislamiento de los devanados y conexión de los mismos en					X		15/2/2018	11/5/2018	1/5/2018	11/5/2018	4320.000	84.000	24/10/2018	4236.000	0.000	0.000	31/11/2018	4320.000	0.000	0.000	28/10/2018	4320.000	0.000	0.000	31/11/2018	4320.000
Verificación de puros de aceite de las partes de unión de diapos de presión					X		15/2/2018	11/5/2018	1/5/2018	11/5/2018	4320.000	84.000	24/10/2018	4236.000	0.000	0.000	31/11/2018	4320.000	0.000	0.000	28/10/2018	4320.000	0.000	0.000	31/11/2018	4320.000		
Medición del aislamiento eléctrico del estator					X		20/3/2018	22/3/2018	20/3/2018	22/3/2018	4320.000	84.000	12/9/2018	4236.000	0.000	0.000	18/9/2018	4320.000	0.000	0.000	16/9/2018	4320.000	0.000	0.000	18/9/2018	4320.000		
Medición del entesismo					X		20/3/2018	22/3/2018	20/3/2018	22/3/2018	4320.000	84.000	12/9/2018	4236.000	0.000	0.000	18/9/2018	4320.000	0.000	0.000	16/9/2018	4320.000	0.000	0.000	18/9/2018	4320.000		
Medición de la caída de tensión en los polos del rotor					X		20/3/2018	22/3/2018	20/3/2018	22/3/2018	4320.000	84.000	12/9/2018	4236.000	0.000	0.000	18/9/2018	4320.000	0.000	0.000	16/9/2018	4320.000	0.000	0.000	18/9/2018	4320.000		
Control de alineación del estator					X		10/2/2018	10/10/2017	10/5/2018	10/11/2017	8760.000	84.000	6/2/2019	8676.000	0.000	0.000	10/10/2018	8760.000	0.000	0.000	10/3/2019	8760.000	0.000	0.000	10/11/2018	8760.000		
Control de alineación del rotor y desplazamiento axial					X		10/2/2018	10/10/2017	10/5/2018	10/11/2017	8760.000	84.000	6/2/2019	8676.000	0.000	0.000	10/10/2018	8760.000	0.000	0.000	10/3/2019	8760.000	0.000	0.000	10/11/2018	8760.000		
Control de polaridad de anillos rozantes					X		10/2/2018	10/10/2017	10/5/2018	10/11/2017	8760.000	84.000	6/2/2019	8676.000	0.000	0.000	10/10/2018	8760.000	0.000	0.000	10/3/2019	8760.000	0.000	0.000	10/11/2018	8760.000		
Limpieza general del reactor y accesorios de anillos rozantes					X		20/3/2018	4/5/2018	14/6/2018	9/5/2017	4320.000	84.000	13/12/2018	4236.000	0.000	0.000	31/10/2018	4320.000	0.000	0.000	11/12/2018	4320.000	0.000	0.000	5/11/2019	4320.000		
Verificación de la librería de desplazamiento de las escobillas					X		20/6/2018	4/5/2018	14/6/2018	9/5/2017	4320.000	84.000	13/12/2018	4236.000	0.000	0.000	31/10/2018	4320.000	0.000	0.000	11/12/2018	4320.000	0.000	0.000	5/11/2019	4320.000		
Inspección del estado y funcionamiento de punta escobillas, análisis rozantes					X		20/6/2018	4/5/2018	14/6/2018	9/5/2017	4320.000	84.000	13/12/2018	4236.000	0.000	0.000	31/10/2018	4320.000	0.000	0.000	11/12/2018	4320.000	0.000	0.000	5/11/2019	4320.000		
Medición del aislamiento eléctrico del rotor y soporte para escobillas					X		20/6/2018	4/5/2018	14/6/2018	9/5/2017	4320.000	84.000	13/12/2018	4236.000	0.000	0.000	31/10/2018	4320.000	0.000	0.000	11/12/2018	4320.000	0.000	0.000	5/11/2019	4320.000		
Medición y registro del tamaño de escobillas					X		20/6/2018	4/5/2018	14/6/2018	9/5/2017	4320.000	84.000	13/12/2018	4236.000	0.000	0.000	31/10/2018	4320.000	0.000	0.000	11/12/2018	4320.000	0.000	0.000	5/11/2019	4320.000		
Ajuste de conexiones de terminales					X		20/6/2018	4/5/2018	14/6/2018	9/5/2017	4320.000	84.000	13/12/2018	4236.000	0.000	0.000	31/10/2018	4320.000	0.000	0.000	11/12/2018	4320.000	0.000	0.000	5/11/2019	4320.000		
Limpieza de polos					X		12/4/2018	12/4/2018	12/4/2018	12/4/2018	4320.000	84.000	5/10/2018	4236.000	0.000	0.000	9/10/2018	4320.000	0.000	0.000	9/10/2018	4320.000	0.000	0.000	9/10/2018	4320.000		
Inspección de bandas y resorte				X			14/7/2018	14/7/2018	14/7/2018	14/7/2018	588.000	84.000	14/7/2018	84.000	0.000	0.000	14/7/2018	168.000	0.000	0.000	21/7/2018	168.000	0.000	0.000	21/7/2018	168.000		
Cambio de bandas				X			14/9/2018	11/7/2018	14/6/2018	14/6/2018	720.000	84.000	14/7/2018	84.000	0.000	0.000	14/7/2018	720.000	0.000	0.000	14/7/2018	720.000	0.000	0.000	14/7/2018	720.000		
Medición del aislamiento eléctrico del estator					X		20/3/2018	22/3/2018	20/3/2018	22/3/2018	4320.000	84.000	12/9/2018	4236.000	0.000	0.000	18/9/2018	4320.000	0.000	0.000	16/9/2018	4320.000	0.000	0.000	18/9/2018	4320.000		
Medición del entesismo					X		20/3/2018	22/3/2018	20/3/2018	22/3/2018	4320.000	84.000	12/9/2018	4236.000	0.000	0.000	18/9/2018	4320.000	0.000	0.000	16/9/2018	4320.000	0.000	0.000	18/9/2018	4320.000		
Medición de la caída de tensión en los polos del rotor					X		20/3/2018	22/3/2018	20/3/2018	22/3/2018	4320.000	84.000	12/9/2018	4236.000	0.000	0.000	18/9/2018	4320.000	0.000	0.000	16/9/2018	4320.000	0.000	0.000	18/9/2018	4320.000		
Control de polaridad de anillos rozantes					X		10/2/2018	10/10/2017	10/5/2018	10/11/2017	8760.000	84.000	6/2/2019	8676.000	0.000	0.000	10/10/2018	8760.000	0.000	0.000	10/3/2019	8760.000	0.000	0.000	10/11/2018	8760.000		
Limpieza general del reactor y accesorios de anillos rozantes					X		20/3/2018	10/10/2017	10/5/2018	10/11/2017	8760.000	84.000	6/2/2019	8676.000	0.000	0.000	10/10/2018	8760.000	0.000	0.000	10/3/2019	8760.000	0.000	0.000	10/11/2018	8760.000		
Verificación de la librería de desplazamiento de las escobillas					X		20/6/2018	4/5/2018	14/6/2018	9/5/2017	4320.000	84.000	13/12/2018	4236.000	0.000	0.000	31/10/2018	4320.000	0.000	0.000	11/12/2018	4320.000	0.000	0.000	5/11/2019	4320.000		
Inspección del estado y funcionamiento de punta escobillas, análisis rozantes					X		20/6/2018	4/5/2018	14/6/2018	9/5/2017	4320.000	84.000	13/12/2018	4236.000	0.000	0.000	31/10/2018	4320.000	0.000	0.000	11/12/2018	4320.000	0.000	0.000	5/11/2019	4320.000		
Medición del aislamiento eléctrico del rotor y soporte para escobillas					X		20/6/2018	4/5/2018	14/6/2018	9/5/2017	4320.000	84.000	13/12/2018	4236.000	0.000	0.000	31/10/2018	4320.000	0.000	0.000	11/12/2018	4320.000	0.000	0.000	5/11/2019	4320.000		
Medición y registro del tamaño de escobillas					X		20/6/2018	4/5/2018	14/6/2018	9/5/2017	4320.000	84.000	13/12/2018	4236.000	0.000	0.000	31/10/2018	4320.000	0.000	0.000	11/12/2018	4320.000	0.000	0.000	5/11/2019	4320.000		
Ajuste de conexiones de terminales																												

CENTRAL HIDROELECTRICA ILLUCHLI												
REGISTRO DE ENTRADA DE UNIDADES												
UNIDADES					HORAS TRABAJADAS							
UNIDAD 4					29:58:00							
SISTEMA	EQUIPO	DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD	FRECUENCIA									
			24 HORAS	168 HORAS	720 HORAS	2160 HORAS	2880 HORAS	4320 HORAS	8760 HORAS			
SISTEMA DE CONDUCCIÓN	TURBINA	Inspección de ruidos anormales del rodete			X							
		Inspección de posibles fisuras de rodete					X					
		Limpieza del rodete								X		
		Inspección de alabes					X					
		Revisión estado de agujas					X					
		Inspección del movimiento axial de la aguja							X			
		Cambio de aguja y asientos de los inyectores								X		
		Cambio de acoples del servomotor de inyectores								X		
		Limpieza de tobera						X				
		Inspeccion posibles agrietamientos de la tobera							X			
SISTEMA DE GENERACIÓN	GENERADOR	Inspección del neutro del generador								X		
		Inspección de uniones, soldaduras y seguros del generador								X		
		Reajuste de los pernos del generador								X		
		Medición del aislamiento de bobinas							X			
		Inspección del aislamiento de los devanados y corrección de los mismos en caso de ser necesario							X			
		Verificación de pares de apriete de los pernos de unión de dados de presión del laminado del estator							X			
		Medición del aislamiento eléctrico del estator							X			
		Medición del entrehierro							X			
		Medición de la caída de tensión en los polos del rotor							X			
		Control de alineación del estator								X		
		Control de alineación del rotor y desplazamiento axial								X		
		Cambio de polaridad de anillos rozantes								X		
		Limpieza general del recinto y accesorios de anillos rozantes								X		
		Verificación de la libertad de desplazamiento de las escobillas								X		
		Inspección del estado y funcionamiento de porta escobillas, anillos rozantes								X		
		Medición del aislamiento eléctrico del rotor y soporte para escobillas								X		
		Medición y registro del tamaño de escobillas								X		
		Ajuste de conexiones de terminales								X		
		Limpieza de poleas								X		
		Inspección de bandas y reajuste			X							
		Cambio de bandas				X						
		SISTEMA DE EXITACIÓN	EXITATRIZ	Medición del aislamiento eléctrico del estator							X	
				Medición del entrehierro							X	
Medición de la caída de tensión en los polos del rotor										X		
Cambio de polaridad de anillos rozantes										X		
Limpieza general del recinto y accesorios de anillos rozantes										X		
Verificación de la libertad de desplazamiento de las escobillas										X		
Inspección del estado y funcionamiento de porta escobillas, anillos rozantes										X		
Medición del aislamiento eléctrico del rotor y soporte para escobillas										X		
Medición y registro del tamaño de escobillas										X		
Ajuste de conexiones de terminales										X		
SISTEMA DE REFRIGERACIÓN Y LUBRICACIÓN	SISTEMA DE REFRIGERACIÓN Y LUBRICACIÓN	Limpieza y revisión de las conexiones eléctricas de los sensores de nivel de temperatura de cojinetes								X		
		Revisar y completar el nivel de aceite de cojinetes	X									
		Inspección de fugas de aceite y agua del sistema de lubricación y refrigeración		X							X	
		Inspección de bomba de aceite									X	
		Inspección de motor de bomba									X	
		Inspección general de los intercambiadores de calor				X						
		verificación de formación de corrosión										
		engrase de rodamiento de la compuerta		X								
		limpieza de la rejilla de toma de agua					X					
		limpieza de filtros				X						
TABLERO DE CONTROL Y MEDIDAS	TABLERO DE CONTROL Y MEDIDAS	cambio de filtros							X			
		control de válvula tipo mariposa		X								
		Control de válvula by pass		X								
		Inspección y limpieza del medidor de frecuencia		X								
		Inspección y limpieza del medidor de voltaje generado		X								
		Inspección y limpieza del sincronoscopio.		X								
		Inspección y limpieza de las luces indicadores y selectores		X								
		Inspección y limpieza del estado del tacómetro de la turbina.		X								
		Inspección y limpieza del réle de sobrevoltaje del generador.		X								
		Inspección y limpieza del réle de protección diferencial del generador		X								
Inspección del transformador de corriente.		X										
Inspección del transformador de potencial.		X										

Figura 5.6: Control de horas cumplidas al 100%

Fuente: Autor

CENTRAL HIDROELECTRICA ILLUCHI I							
ORDEN DE TRABAJO							
FECHA	2/8/2018	EQUIPO	TURBINA	CODIGO	01A2SG-GE100	# ORDEN	1
TIPO DE TRABAJO	MECÁNICO			ACTIVIDAD PROGRAMADA			SI
TIPO DE MANTENIMIENTO		PREDICTIVO		SISTEMA	CONDUCCION		
TIEMPO	INICIO	8:30	FIN	23:00	DURACION	14:30	
UNIDAD		UNIDAD 2					
DESCRIPCION DE LA ACTIVIDAD							
Revisión estado de agujas							
EQUIPO DE PROTECCION PERSONAL REQUERIDA							
GUANTES	X	GUANTES ELECTRICOS		PROTECCION PARA QUIMICOS			
PROTECCION AUDIT	X	BOTAS DIELECTRICAS	X	ARNES Y LINEAS DE VIDA			
GAFAS		CASCO	X	PROTECCION RESPIRATORIA			
HERRAMIENTAS							
Juego de llaves mixtas, Juego de llavex exagonales,Franela, Combo							
REPUESTOS							
Empaques, Sellos							
OTROS							
OBSERVACIONES							
AUTORIZADO POR				RECIBIDO POR			

Figura 5.7: Orden de trabajo

Fuente: Auto

FECHA	UNIDAD	SISTEMA	EQUIPO	CODIGO	N ORDEN	TIPO DE TRABAJO	TIPO DE MANTENIMIENTO	DESCRIPCION 1	DURACION
19/7/2018	UNIDAD 2	CONTROL_Y	TABLERO DE	01A2SG-GE1	NO1	MECÁNICO	PREDICTIVO	Inspección de fugas de aceite y agua del sistema	14:30
19/7/2018	UNIDAD 2	CONTROL_Y	TABLERO DE	01A2SG-GE1	NO2	ELCTRICO	PREDICTIVO	Inspección de fugas de aceite y agua del sistema	14:30
19/7/2018	UNIDAD 2	CONTROL_Y	TABLERO DE	01A2SG-GE1	NO3	MECÁNICO	PREDICTIVO	Inspección de fugas de aceite y agua del sistema	14:30
19/7/2018	UNIDAD 2	CONTROL_Y	TABLERO DE	01A2SG-GE1		1 MECÁNICO	PREDICTIVO	Inspección de fugas de aceite y agua del sistema	14:30
19/7/2018	UNIDAD 2	CONTROL_Y	TABLERO DE	01A2SG-GE1		1 MECÁNICO	PREDICTIVO	Inspección de fugas de aceite y agua del sistema	14:30
19/7/2018	UNIDAD 2	CONTROL_Y	TABLERO DE	01A2SG-GE1		1 MECÁNICO	PREDICTIVO	Inspección de fugas de aceite y agua del sistema	14:30
1/8/2018	UNIDAD 2	EXITACION	EXITATRIZ	01A2SG-GE1		1 MECÁNICO	PREDICTIVO	Medición del aislamiento eléctrico del estator	14:30
1/8/2018	UNIDAD 2	EXITACION	EXITATRIZ	01A2SG-GE1		1 MECÁNICO	PREDICTIVO	Medición del aislamiento eléctrico del estator	14:30
1/8/2018	UNIDAD 2	CONDUCCIO	TURBINA	01A2SG-GE1		1 MECÁNICO	PREDICTIVO	Limpieza del rodete	14:30

Figura 5.8: Base de órdenes de trabajo generadas

Fuente: Autor

6 PRESUPUESTO Y ANÁLISIS DE IMPACTOS

6.1 Presupuesto

PRESUPUESTO							
GASTOS DIRECTOS	Valor Unitario	Cantidad	Valor Total	GASTOS INDIRECTOS	Valor Unitario	Cantidad	Valor Total
Transporte	10	20	\$200,00	Material Bibliografico	4	10	\$40,00
Accesorio Externa	50	5	\$250,00	Impresión de planos	2	8	\$16,00
Herramientas de medición	30	1	\$30,00	Alimentación	3	15	\$45,00
Materiales de oficina	100	1	\$100,00	Imprevistos	100	1	\$100,00
TOTAL			\$580,00	TOTAL			\$201,00

CÁLCULO DE GASTOS	
DESCRIPCION	VALOR TOTAL
COSTOS DIRECTOS	\$580,00
COSTOS INDIRECTOS	\$201,00
TOTAL	\$781,00

6.2 Análisis de Impactos

Impacto ambiental teniendo emisiones de gases contaminantes a la atmosfera, contaminación acústica y un desequilibrio del suelo, también tiene una alteración en el ecosistema (flora y fauna), ya que se necesita talar árboles existentes en el lugar para la construcción de obra civil y casa de máquinas causando que diversas especies de animales que habitan en el lugar migren e incluso causando la muerte a algunas , nuestra central es multiuso ya que el agua que se utiliza para generar en la Central Illuchi I es utilizada para la generación de la Central Illuchi II y posteriormente es utilizada como agua de regadío para los cultivos existentes alrededor del perímetro.

7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones

- ✓ Se elaboró planos eléctricos y mecánicos para identificar a que sistema pertenece cada uno de los equipos de la central, su función dentro de la planta y cómo interactúan entre sí para realizar la transformación de energía hidráulica a energía eléctrica.
- ✓ Se identificó los daños que se presentan con mayor frecuencia en las unidades, que son por ruptura de bandas seguido de daño en los cojinetes debido a un bajo nivel de aceite y fugas de aceite por fisuras o rupturas de cañerías.
- ✓ El plan de mantenimiento fue elaborado en un programa computacional, en este programa se creó una base de datos donde se registra las horas de trabajo diarias de cada unidad, estas horas se van sumando automáticamente y almacenando, las mismas que activaran las alertas, se tiene un control el cual se activa cuando se cumple las horas de trabajo al 100% y del control podemos ejecutar las ordenes de trabajo.

7.2 Recomendaciones

- ✓ Tener en la central un tensiómetro para medir la tensión de las bandas de las unidades de generación ya que son las más críticas dentro de la central causando paradas no programadas.

- ✓ Implementar bitácora para llevar un registro de las actividades que se realizan dentro de la central, los fallos que se producen en la misma y como se actuó frente a estos fallos.

- ✓ Mantener actualizadas las instrucciones de trabajo de las unidades generadoras ya que es una herramienta muy importante a la hora de gestionar el mantenimiento.

- ✓ Evaluar la funcionalidad del plan de mantenimiento después de un año.

REFERENCIAS

- [1] A. d. R. y. C. Electricidad, «Resolución 043/16 ARCONEL,» Quito, 2016.
- [2] E. E. P. C. S.A, «PLAN ESTRATÉGICO INSTITUCIONAL ELEPCO S.A,» Latacunga, 2015.
- [3] L. Morrow, "Manual de Mantenimiento Industrial", Tomo I. Decimocuarta Edición., Mexico: CECSA, 1986.
- [4] C. Pérez, «Gestión y Control de Mantenimiento Industrial,» de *Seminario INCOLDA - EAFIT*, Medellín, julio 1987.
- [5] S. Garrido, Manual Práctico de Ingeniería de Mantenimiento, España: Renovatec, 2012.
- [6] A. Arata, Ingeniería y gestión de la confiabilidad operacional en plantas industriales, Chile: RIL, 2009.
- [7] R. Heber, Mantenimiento Industrial: Organización, Control y Gestión, Argentina : WR, 2016.
- [8] E. Newbrough, "Administración del Mantenimiento Industrial", México: Editorial Diana, S.A., 1981.
- [9] S. Garrido, Mantenimiento correctivo en centrales de ciclo combinado, Madrid: Díaz de Santos, 2012.
- [10] H. M. O. V. Rafael David Ángel Gasca, «Diseño de un plan de mantenimiento preventivo para la empresa agroangel,» Universidad tecnológica de Periera facultad de Ingeniería Mecánica, Colombia., 2012.
- [11] C. Pérez, «Gestión del Mantenimiento Preventivo para Centrales Eléctricas,» *Revista Europea de Dirección y Economía de la Empresa*, vol. Vol. 17, nº No. 2, p. 1, 2008.
- [12] F. Merrit, Manual de Ingeniero Civil, México: McGraw-Hill., 1994.
- [13] F. Santos, Energías renovables para el desarrollo, Madrid, España: Graficas Rogar, 2007.
- [14] R. Ortiz, "Pequeñas Centrales Hidroeléctricas", Colombia: Ediciones de la U., 2011.
- [15] J. Hernández, Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas, Madrid: MAR-CAR S.A., 1976.
- [16] P. C. J. Alvarez, «Diseño, simulación y construcción de un prototipo comercial de pico hidrocentral eléctrica accionada con una turbina pelton para el área de energía de las industrias y los recursos naturales no renovables de la Universidad de Loja,» Loja, 2012.
- [17] M. Viejo, Energías eléctricas y renovables Turbinas y Plantas Generadoras, Mexico:

LIMUSA, S.A., 2012.

- [18] F. Gonzáles, Teoría y práctica del mantenimiento industrial avanzado, España: Fundación Confemetal, 2005.
- [19] J. Sifonte, «PBMTECH,» 2 mayo 2018. [En línea]. Available: <http://www.pdmtechusa.com/criterios-evaluacion-rcm/>. [Último acceso: 11 julio 2018].
- [20] W. Llamba, «Elaboración del plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad de la Central Hidraulica Illuchi 2,» ESPE, Latacunga, 2014.
- [21] F. Gonzáles, Contratación avanzada del mantenimiento, Madrid- España: Diaz de Santos S.A., 2009.
- [22] A. Céspedes, Principios de administración de mantenimiento, Costa Rica: Universidad Estatal a Distancia , 1981.
- [23] A. Creus, Fiabilidad y seguridad en los procesos industriales, España: MARCOMBO S.A, 2005.
- [24] C. Parra, Ingeniería de mantenimiento y fiabilidad aplicada en la gestión de activos, España: INGEMAN, Julio 2015.
- [25] CONELEC, «Calidad del transporte de potencia del servicio de conexión con el SNI,» de *Regulación No. conelec - 002/06*, Ecuador, 2006.
- [26] D. Ponce, «Gestión de mantenimiento para centrales hidroeléctricas : el caso de la central hidroeléctrica Minas-San Francisco de CELEC EP-Unidad de Negocio Enerjubones,» Universidad del Azuay, Cuenca, 2016.
- [27] I. M. O. G. Palencia, Gestión Moderna del Mantenimiento Industrial, Bogotá, Colombia, abril de 2012: ediciones de la U, 2012.
- [28] S. Garrido, Manual práctico para la implementación de sistemas de gestión avanzados de mantenimiento industrial, España - Madrid: Diaz de Santos S.A, 2003.

ANEXOS

Anexo I: Hoja de trabajo de información R.C.M del Sistema de enfriamiento

CENTRAL HIDROELÉCTRICA ILLUCHI I			
HOJA DE TRABAJO DE INFORMACIÓN R.C.M	Elemento: GENERADOR		
	Componente: SISTEMA DE ENFRIAMIENTO		
FUNCIÓN	FALLO DE FUNCIÓN	MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA
1. Enfriar el aceite de los cojinetes	1A1.No enfría el aceite de los cojinetes	1A1.Intercambiador de calor (serpentin) obstruido	La temperatura del cojinete se incrementa, no existe circulación suficiente del liquido refrigerante. Tiempo de limpieza del intercambiador de calor 1 día aproximadamente
		1A2.Tuberias de ingreso del líquido refrigerante al intercambiador de calor (serpentin) obstruido	La acumulación de sedimento en el sistema de refrigeración puede obstruir el ingreso del liquido refrigerante al intercambiador de calor, lo que provoca que no hay suficiente circulación del fluido, ocasionando que se eleve la temperatura de los cojinetes. Tiempo de reemplazo de tuberias 4 días aproximadamente
2. Mantener una temperatura adecuada de funcionamiento del generador y del líquido refrigerante de entre 50 °C y 75 °C	1B1. Alta temperatura de refrigerante, las escamas pueden ocasionar fallas en el sistema de enfriamiento	1B1.Por el circuito de refrigeración se tiene escasas de circulación del mismo, también puede originarse por mangueras deterioradas o dobladas.	Elevación de temperatura esto provocará calor excesivo en los cojinetes causando disminución de propiedades del lubricante. Tiempo de reparación 1 hora aproximadamente se requiere repuesto en bodega
		1B2. Transferencia de calor insuficiente, debido a formación de escamas en el circuito de refrigeración.	Alta temperatura de refrigerante, las escamas pueden ocasionar fallas en el sistema de enfriamiento es necesario aislar el refrigerante de los componentes que requieren ser enfriados. La transferencia de calor puede causar que se pandeen los cojinetes Tiempo de reparación 8 días, aproximadamente se requiere repuesto en bodega.
3. Bombear el líquido refrigerante por los enfriadores de aceite y el intercambiador de calor.	2A1. Incapaz de bombear el líquido refrigerante	2A1. Impulsor de la bomba de agua suelto o dañado.	Poca circulación de refrigerante por cojinetes lo cual esto provocará un sobrecalentamiento del mismo por causa de impulsor flojo o deteriorado. Tiempo de reparación 1 día aproximadamente
		2A2.Bomba de agua no se pone en marcha	Elevación brusca de temperatura en los cojinetes provocando calentamiento en los mismos
		2A3. Cavitación debido a la presencia de aire en el interior del sistema.	La cavitación es ocasionada por burbujas de aire que colapsan en el interior de las paredes del impulsor. Estas burbujas de aire explotan repetidamente en contra del costado del impulsor y puede ocasionar erosión de la misma. Tiempo de reparación 1 día aproximadamente
	2B1. No mantiene un bombeo de líquido refrigerante adecuado lo cual está por debajo de 20 l/seg.	2B1. Impulsor de la bomba de agua desgatado	Elevación de la temperatura del refrigerante la cual inducirá calor en los cojinetes causando pérdida de propiedades en el lubricante Tiempo de reparación 1 día aproximadamente

Fuente: ELEPCO S.A.

Anexo II: Hoja de trabajo de decisión R.C.M del Sistema de enfriamiento

CENTRAL HIDROELÉCTRICA ILLUCHI I															
HOJA DE TRABAJO DE DECISIÓN R.C.M							Elemento :GENERADOR								
							Componente: SISTEMA DE ENFRIAMIENTO								
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Tarea "a falta de "			Tarea Propuesta	Frecuencia inicial	A realizar por
							S1	S2	S3						
F	FF	MF	H	S	E	O	O1	O2	O3	H4	H5	S4			
1	A	1	S	N	N	S	N	S					Tarea a condición termografía, medición de corriente en las bobinas	Mensual	Ingeniero Mecanico
1	A	2	N	N	N	S	N	S					Tarea buscar el fallo actuar el dispositivo de sobrevelocidad mecánica de forma manual	Anual	Ingeniero Electrico
1	B	1	S	N	N	S	S						Tarea revisar el nivel del refrigerante,inspección de mangueras, remplazar magueras deterioradas	Diario	Operador
1	B	2	S	N	N	S	S						Tarea Limpiar el sistema con un sistema de limpiador de refrigerante para remover los depósitos de escamas	Anual	Técnico
2	A	1	S	N	N	S	N	N	N				Ningun mantenimiento Programado	Anual	Técnico
2	A	2	S	N	N	S	S						Tarea revisar temperatura de cojinetes verificar si la bomba esta trabajando	Diario	Operador
2	A	3	S	N	N	S	N	N	S				Drenar el sistema de enfriamiento y mantener limpio	Anual	Técnico
2	B	1	S	N	N	S	N	N	N				Ningun mantenimiento Programado		

Fuente: ELEPCO S.A.

Anexo III: Hoja de trabajo de información R.C.M del rodete

CENTRAL HIDROELÉCTRICA ILLUCHI I			
HOJA DE TRABAJO DE INFORMACIÓN R.C.M	Elemento: TURBINA		
	Componente: RODETE		
FUNCIÓN	FALLO DE FUNCIÓN	MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA
1. Transformar la energía hidráulica del agua en energía mecánica de rotación del eje del generador a una velocidad nominal de 900 rpm.	1A1. El rotor no alcanza la velocidad nominal	1A1. Rotura de álabes	Elevada vibración en los cojinetes, afecta a los demás componentes de la turbina como: inyectores, deflectores, cañerías de aceite, al existir la última mencionada existe una mezcla del agua turbina con aceite, hay que parar la unidad de emergencia su reparación es de 30 días aproximadamente, se requiere repuestos en bodega
	1A2. No gira el rotor	1A2. Falta de aceite en los patines de empuje	Iniciamos el proceso de arranque de la unidad obtenemos la señal que el rotor se levantó pero, el rotor no gira, se revisa la apertura del inyector y se verifica que este tenga la apertura correcta, no continúa la secuencia de arranque y cierra la válvula principal, se revisa el sistema de levantamiento, ya que no distribuye una presión de aceite hacia los patines. hay que realizar una inspección que dura 48 horas aproximadamente

Fuente: ELEPCO S.A.

Anexo IV: Hoja de trabajo de decisión R.C.M del rodete

CENTRAL HIDROELÉCTRICA ILLUCHI I															
HOJA DE TRABAJO DE DECISIÓN R.C.M							Elemento :TURBINA								
							Componente:RODETE								
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Acción "a falta de "			Tarea Propuesta	Frecuencia inicial	A realizar por
							S1	S2	S3						
F	FF	MF	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4			
1	A	1	S	N	S		S						Inspección del perfil hidráulico y análisis no destructivos con tintes penetrantes de álabes	Anual	Auxiliar de ingeniería
1	B	1	S	N	N	S	S						Verificar el valor de levantamiento del rotor	Verificar las horas de funcionamiento	Auxiliar de ingeniería

Fuente: ELEPCO S.A.

Anexo V: Hoja de trabajo de información R.C.M de deflectores

CENTRAL HIDROELÉCTRICA ILLUCHI I			
HOJA DE TRABAJO DE INFORMACIÓN R.C.M	Elemento: TURBINA		
	Componente: DEFLECTORES		
FUNCIÓN	FALLO DE FUNCIÓN	MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA
1. Tener la capacidad de desviar el chorro de agua del inyector	1A1. Incapaz de desviar el chorro de agua del inyector	1A1. Vástago del servomotor bloqueado	No actúa el servomotor del deflector, el mismo que se encuentra en una sola posición, hay que parar la unidad para realizar su inspección. Tiempo de reparación 8 horas aproximadamente se requiere repuesto en bodega
		1A2. Desgaste excesivo del deflector	Al existir un desgaste excesivo en la superficie que desvía el chorro, una cantidad de agua choca directamente con el rodete, provocando ruido en la turbina, es necesario parar la unidad para realizar una inspección de los deflectores
		1A3. Fugas de aceite por las cañerías de ingreso al servomotor	El servomotor no actúa por pérdida de presión de aceite en las cañerías, existe contaminación por mezcla entre el agua turbinada y aceite. Tiempo de reparación 7 horas aproximadamente. Se requiere repuesto en bodega

Fuente: ELEPCO S.A

Anexo VI: Hoja de trabajo de decisión R.C.M de deflectores

CENTRAL HIDROELÉCTRICA ILLUCHI I															
HOJA DE TRABAJO DE DECISIÓN R.C.M							Elemento :TURBINA								
							Componente: DEFLECTORES								
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Acción "a falta de "			Tarea Propuesta	Frecuencia inicial	A realizar por
							S1	S2	S3						
F	FF	MF	H	S	E	O	O1	O2	O3						
							N1	N2	N3	H4	H5	S4			
1	A	1	S	N	N		S						Inspección visual del funcionamiento de los deflectores	Anual	Auxiliar de ingeniería
1	A	2	S	N	S	S	S						Inspeccion visual de apriete de acoples y estado de las cañerías	Anual	Auxiliar de ingeniería
1	A	3	S	N	N	S	N	S					Recondicionamiento del deflector	Bianual	Auxiliar de ingeniería

Fuente: ELEPCO S.A.

Anexo VII: Hoja de trabajo de información R.C.M del inyector

CENTRAL HIDROELÉCTRICA ILLUCHI I			
HOJA DE TRABAJO DE INFORMACIÓN R.C.M	Elemento: TURBINA		
	Componente: INYECTOR		
FUNCIÓN	FALLO DE FUNCIÓN	MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA
1. Regular la cantidad de agua sobre el rodete y direccionar el chorro	1A1. No regula la cantidad de agua	1A1. Eje del inyector roto	Al arrancar la unidad la apertura de los inyectores se lo realiza a un 20 % para romper la inercia del rotor, al incrementar la apertura de los inyectores estos permiten el paso de mayor cuadal pero no aumenta las revoluciones del rotor. Se para la unidad. Se realiza inspección del inyector y cambio del eje. Tiempo de reparación 48 horas aproximadamente
		1A2. Desgaste irregular de la aguja no direcciona el chorro	Ruido en el recinto de la turbina, incrementa los parámetros de vibración en los cojinetes. Se para la unidad se revisa las agujas de los inyectores. Tiempo de reparación 110 horas aproximadamente.
		1A3. Pérdida de presión del grupo oleohidráulico	La válvula principal se cierra y es necesario parar la unidad se puede tener mezcla del aceite con el agua turbina.Tiempo de reparación aproximadamente dos días.
2. Ser capaz de interrumpir el paso de agua en la etapa de reposo de la unidad de generación	2A1. No interrumpe el paso del agua	2A1. Desgaste de la aguja y asiento	Se produce ruido en el recinto de la turbina, existe pérdida de agua por la aguja del inyector. Tiempo de reparación 120 horas aproximadamente

Fuente: ELEPCO S.A.

Anexo VIII: Hoja de trabajo de decisión R.C.M del inyector

CENTRAL HIDROELÉCTRICA ILLUCHI I															
HOJA DE TRABAJO DE DECISIÓN R.C.M							Elemento :TURBINA								
							Componente: INYECTOR								
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Acción "a falta de "			Tarea Propuesta	Frecuencia inicial	A realizar por
							S1	S2	S3						
F	FF	MF	H	S	E	O	O1	O2	O3	H4	H5	S4			
1	A	1	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento preventivo reemplazo del eje cuando falla	Sin frecuencia	Auxiliar de ingeniería
1	A	2	S	N	N	S	S						Ningún mantenimiento preventivo		
1	A	3	S	N	N	S	S						Inspección visual de los componentes de la unidad oleohidráulica	En cada turno	Operador
2	A	1	S	N	N	S	N	N	S				Reemplazo de agujas y asientos	Bianual	Auxiliar de ingeniería y personal de mantenimiento de la CHI

Fuente: ELEPCO S.A.

Anexo IX: Hoja de trabajo de información R.C.M del cojinete

CENTRAL HIDROELÉCTRICA ILLUCHI I			
HOJA DE TRABAJO DE INFORMACIÓN R.C.M	Elemento: SISTEMA DE LUBRICACIÓN		
	Componente: COJINETE		
FUNCIÓN	FALLO DE FUNCIÓN	MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA
1. Contener el aceite de lubricación	1A1. No contiene el aceite	1A1. Fuga de aceite por empaques	Bajo nivel de aceite, parada de emergencia de la unidad, el aceite contamina el agua turbinada. Tiempo de reparación 5 horas aproximadamente.
2. Absorber los esfuerzos radiales del rotor	2A1. Incapaz de absorber los esfuerzos radiales del rotor	2A1. Pernos del acople del cojinete flojos	Incremento de vibración temperatura del cojinete, puede existir desprendimiento del material del cojinete. Tiempo de reparación 8 horas aproximadamente.

Fuente: ELEPCO S.A.

Anexo X: Hoja de trabajo de decisión R.C.M del cojinete

CENTRAL HIDROELECTRICA ILLUCHI I															
HOJA DE TRABAJO DE DECISIÓN R.C.M							Elemento :TURBINA								
							Componente: COJINETE								
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Acción "a falta de "			Tarea Propuesta	Frecuencia inicial	A realizar por
							S1	S2	S3						
F	FF	MF	H	S	E	O	O1	O2	O3	H4	H5	S4			
1	A	1	S	N	N	S	S						Revisión del torque de los pernos de acoplamiento del cojinete	12000 horas de trabajo	Auxiliar de ingeniería
2	A	1	S	N	S		N	N	S				Sustitución ciclica, remplazo de empaques	40000 horas de trabajo	Auxiliar de ingeniería

Fuente: ELEPCO S.A.

Anexo XI: Hoja de trabajo de información R.C.M del sistema de lubricación

CENTRAL HIDROELÉCTRICA ILLUCHI I			
HOJA DE TRABAJO DE INFORMACION R.C.M	Elemento: GENERADOR		
	Componente: SISTEMA DE LUBRICACIÓN		
FUNCIÓN	FALLO DE FUNCIÓN	MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA
1. Lubricar las partes móviles del generador creando una película de aceite para evitar el contacto directo entre las piezas y así evitar el desgaste entre las mismas	A. Reducción de la presión del lubricante	IA1. Aceite diluido	El aceite sin viscosidad adecuada no tiene las mismas propiedades que el aceite normal por lo que no circula por el generador con la presión correcta, no crea una película de aceite entre las piezas móviles produciendo rozamiento y desgaste de las mismas. Tiempo de reparación 2 horas aproximadamente
		IA2. Pérdida de la eficiencia del sistema de refrigeración, con el calentamiento excesivo del aceite	El calentamiento del aceite hace que pierda sus propiedades por lo que no circula por el generador con la presión correcta produciendo rozamiento y desgaste de las piezas del generador. Tiempo de reparación 2 horas aproximadamente
		IA3. Desgaste crítico de los cojinetes lubricados a presión	El desgaste de los cojinetes hace que el aceite que circula por ellos no salga con la presión necesaria al generador produciendo rozamiento y desgaste de las piezas del generador. Tiempo de reparación 30 días aproximadamente, se requiere repuesto en bodega
		IA4. Filtro de aceite con obstrucciones que no ha sido reemplazado oportunamente	Un filtro de aceite obstruido por impurezas no permite la circulación del aceite causando que no suministre a las partes móviles del generador con la presión adecuada, lo cual produce rozamiento y desgaste en las piezas del generador. Tiempo de reparación 2 horas, aproximadamente se requiere repuesto en bodega
		IA5. Bomba dañada o muy desgastada	Una bomba de aceite en malas condiciones no suministra el aceite a los cojinetes con la presión adecuada, lo cual produce que se eleve la temperatura en los cojinetes también la existencia de rozamiento y desgaste en las piezas del generador, Tiempo aproximado de reparación 1 día , se requiere repuesto en bodega
		IA6. Falta de lubricante	Si faltase aceite lubricante, éste no circula por el generador con la presión necesaria lo cual produce rozamiento y desgaste en las piezas del generador Tiempo de reparación 3 horas aproximadamente , se requiere repuesto em bodega
	B. Consumo anormal de lubricante	IB1. Fugas externas por desgaste, fisura o rotura de tuberías, codos o cañerías por las cuales circula el aceite lubricante	Las fugas ocasionan un consumo de lubricante mayor del habitual. Si no se solucionan pueden causar problemas graves por falta de aceite lubricante en el generador Tiempo de reparación 12 horas aproximadamente. Se requiere repuesto en bodega
		IB2. Fugas internas del sistema de lubricación por empaques en mal estado	Las fugas a través de sellos provocan consumo de lubricante mayor del habitual reduciendo la potencia, se tiene bajo rendimiento en las partes móviles del generador. Si no se solucionan pueden causar problemas graves por falta de lubricante en el generador produciendo sobrecalentamiento en el mismo. Tiempo de reparación 1 día, aproximadamente se requiere repuesto en bodega

Fuente: ELEPCO S.A.

Anexo XII: Hoja de trabajo de decisión R.C.M del sistema de lubricación

CENTRAL HIDROELECTRICA ILLUCHI I																
HOJA DE TRABAJO DE DECISIÓN R.C.M							Elemento: GENERADOR									
							Componente: SISTEMA DE LUBRICACIÓN									
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Tarea "a falta de "				Tarea Propuesta	Frecuencia inicial	A realizar por
							S1	S2	S3							
							O1	O2	O3							
F	FF	MF	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4				
1	A	1	S	N	N	S	N	S					Revisar el sistema de refrigeración y aceite lubricante	Anual	Auxilira de ingeniería	
1	A	2	S	N	N	S	N	S					Comprobación del nivel de aceite	Diario	Operador	
1	A	3	S	N	N	S	N	S					Revisión del sistema de lubricación	Anual	Auxilira de ingeniería	
1	A	4	S	N	N	S	N	S					Limpia el filtro de aceite	Anual	Auxilira de ingeniería	
1	A	5	S	N	N	S	N	S					Revisar del sistema de lubricación	Anual	Auxilira de ingeniería	
1	A	6	S	N	N	S	N	S					Comprobación del nivel de aceite y la presión	Diario	Auxilira de ingeniería	
1	B	1	S	N	N	S	N	S					Comprobación del nivel de aceite	Diario	Operador	
1	B	2	S	N	N	S	N	S					Revisión del sistema de lubricación	Anual	Auxilira de ingeniería	

Fuente: ELEPCO S.A.

Anexo XIII: Hoja de trabajo de información R.C.M de escobillas y bandas

CENTRAL HIDROELÉCTRICA ILLUCHI I			
HOJA DE TRABAJO DE INFORMACIÓN R.C.M	Elemento : GENERADOR		
	Componente: ESCOBILLAS Y BANDAS		
FUNCIÓN	FALLO DE FUNCIÓN	MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA
1.Se encarga de dar conectar las partes fijas con las partes móviles del generador	1A1. No existe corriente de excitación para inyectar al generador	1A1.Presión de las escobillas muy débil	Disminuye el desgaste de la escobilla por frotamiento pero, ocasiona un desgaste eléctrico por la presencia del chiporoteo
		1A2. Existencia de polvo	Ocasiona desgaste en las ranuras del colector y las escobillas se desgastan con mayor rapidez, tiempo de reparación 2 horas aproximadamente se requiere repuesto en bodega
		1A3. Mala alineación de escobillas , colector deformados	Daño a las escobillas y daño en el portaescobillas tiempo de reparación 2 días aproximadamente se requiere repuesto en bodega
2.Transmitir movimiento desde el rotor de la turbina hacia el eje del generador	1B1. Ruptura de bandas	1B1. Falta de tensión en bandas	Las bandas patinan tienen desgaste excesivo de su cubierta, recalentamiento en bandas y posteriormente ruptura, Tiempo de reparación 3 horas aproximadamente. Se requiere repuesto en bodega
		1B2. Poleas desalineadas	Las bandas se encuentran ejerciendo tensión en sentido vertical como en sentido horizontal causando mayor desgaste de la misma. Y causando su ruptura antes de cumplir con su tiempo de vida útil. Tiempo de reacción 3 horas aproximadamente se requiere repuesto en bodega

Fuente: ELEPCO S.A.

Anexo IV: Hoja de trabajo de decisión R.C.M de escobillas y bandas

CENTRAL HIDROELECTRICA ILLUCHI I																
HOJA DE TRABAJO DE DECISIÓN R.C.M							Elemento: GENERADOR									
							Componente: ESCOBILLAS Y BANDAS									
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Tarea "a falta de "				Tarea Propuesta	Frecuencia inicial	A realizar por
							S1	S2	S3							
							O1	O2	O3							
F	FF	MF	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4				
1	A	1	S	S	N	S	N						Comprobación de la presión de las escobillas	diario	Auxiliar de Ingeniería	
1	A	2	S	N	S	S	N						Limpieza	Diario	Operador	
1	A	3	N	N	S	N	N						Comprobación de la alineación de escobillas	Trimestral	Auxiliar de ingeniería	
1	B	1	S	S	S	N	N						Inspección de la tensión de bandas	Trimestral	Auxiliar de ingeniería	
1	B	2	N	N	N	S	N						Comprobación alineación de poleas	Anual	Auxiliar de ingeniería	

Fuente: ELEPCO S.A.

Anexo XV: Hoja de trabajo de información R.C.M del estator

CENTRAL HIDROELECTRICA ILLUCHI I			
HOJA DE TRABAJO DE INFORMACIÓN R.C.M	Elemento: GENERADOR		
	Componente: ESTATOR		
FUNCIÓN	FALLO DE FUNCIÓN	MODO DE FALLA	EFEECTO DE FALLA
<p>1. Convertir la energía electromagnética inducida por el rotor en energía eléctrica trifásica con un voltaje en sus terminales entre 2.4 KV , a una frecuencia de 60 Hz, un rango de temperatura de bobinado entre 27 °C y 100 °C, factor de potencia 0,8</p>	<p>1A1. No convierte energía electromagnética en energía eléctrica trifásica.</p>	<p>1A1 Estator a tierra por falla en aislamiento de bobinas</p>	<p>El generador sale de servicio por actuación del rele 64 falla el estator a tierra, tiempo de parada aproximadamente 28 días, tiempo de rehabilitación del equipo aproximadamente 23 días</p>
		<p>1A2. El Estator en cortocircuito por falla en soporte de la barra</p>	<p>Tiempo de parada 4 días , tiempo de reparación 3 días , Requiere soportes de barra nuevos en bodega</p>
		<p>1A3. Estator a tierra o en cortocircuito por daño en el enchapado por golpe con elementos constitutivos (cubiertas, deflectores, tornillo) sueltos desde el interior del estator</p>	<p>Si la afectación es superficial se repara en el sitio. Si la afectación es profunda se requerirá chapas nuevas, si fuera una falla grande puede provocar una limitación en la producción de reactivos del generador después de la reparación se requerirá personas capacitadas Tiempo fuera de servicio aproximadamente 3 meses. Tiempo de reparación 2,5 meses aproximadamente.</p>
		<p>1A4. Estator a tierra por falla en aislamiento en capa semiconductor por envejecimiento.</p>	<p>Por el envejecimiento, la capa semiconductor va perdiendo sus propiedades quedando la bobina expuesta a descargas parciales deteriorando su aislamiento con posibles fallas a tierra falla tipo 1A1.</p>
		<p>1A5. Estator a tierra por humedad</p>	<p>El generador cuando esta en tiempos muertos, (se encuentre detenido o apagado), el aislamiento recoge humedad que afecta al equipo en funcionamiento ocasionado una falla tipo 1A1.</p>
		<p>1A6. Estator a tierra por entrada de aceite</p>	<p>Falla en el sellado de vapores de aceite del generador permite entrada de aceite hacia el interior que con el tiempo ocasiona el acumulamiento del carbón polvo que degrada el aislamiento hasta provocar una falla tipo 1A1</p>
		<p>1A7. Estator a tierra por falla en resistencias de puesta a tierra</p>	<p>Por suciedad o deterioro en los puntos de contacto puede variar el valor de la resistencia desencadenando una señal falsa con sus respectivas consecuencias falla tipo 1A1 , Tiempo de reparación 8 horas</p>

Fuente: ELEPCO S.A.

Anexo XVI: Hoja de trabajo de decisión R.C.M del estator

CENTRAL HIDROELECTRICA ILLUCHI I																
HOJA DE TRABAJO DE DECISIÓN R.C.M							Elemento: GENERADOR									
							Componente: ESTATOR									
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Tarea "a falta de "				Tarea Propuesta	Frecuencia inicial	A realizar por
							S1	S2	S3							
F	FF	MF	H	S	E	O	O1	O2	O3	H4	H5	S4				
N1	N2	N3														
1	A	1	S	N	N	S	N		S				Realizar las verificaciones del estado del aislamiento de las bobinas mediante las pruebas de resistencia de aislamiento, índice de polarización, prueba de escalón e inspección visual. Cuando esté el rotor retirado realizar prueba de alta tensión DC. Debe realizarse un análisis de estadístico.	20 Años	Ingeniero	
1	A	2	S	N	N	S	N	S					Verificar estado de soportes y en caso de necesidad sustituir.	Anual	Técnico	
1	A	3	S	N	N	S	N	S					Verificar ajuste de tornillos mediante martilleo en su cabeza. En caso de presentar un sonido no sólido aflojar, ajustar el tornillo y aflojar nuevamente y ajustar finalmente	Anual	Mecánico	
1	A	4	S	N	N	S	S						Efectuar pruebas de medida de resistencia óhmica de la capa semiconductora en cada bobina	Anual	Técnico	
1	A	5	N				N	S					Cuando la unidad se encuentre detenida verificar que el valor de la temperatura del aire frio no se encuentre por debajo de 30 °C , realizar pruebas de termografía	Anual	Operador	
1	A	6	S	N	N	S	S						Inspeccionar filtros de cojinetes	Semestral	Operador	
1	A	7	S	N	N	S	S						Revisar el sistema de puesta a tierraRevisar el sistema de puesta a tierra	Anual	Ingeniero	

Fuente: ELEPCO S.A.

Anexo XVII: Hoja de trabajo de información R.C.M del estator

CENTRAL HIDROELECTRICA ILLUCHI I			
HOJA DE TRABAJO DE INFORMACIÓN R.C.M	Elemento: GENERADOR		
	Componente: ESTATOR		
FUNCIÓN	FALLO DE FUNCIÓN	MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA
<p>1. Convertir la energía electromagnética inducida por el rotor en energía eléctrica trifásica con un voltaje en sus terminales entre 2.4 KV , a una frecuencia de 60 Hz, un rango de temperatura de bobinado entre 27 °C y 100 °C, factor de potencia 0,8</p>	<p>1A1. No convierte energía electromagnética en energía eléctrica trifásica</p>	<p>1A8. No hay voltaje en las barras por falla en sistema de excitación</p>	<p>Se acciona el relé 27 de mínima tensión , al fallar el sistema de excitación no existe campo magnético para inducir tensión en el estator. Se requiere revisar el panel del sistema de excitación para verificar la falla y dependiendo de la misma se puede tener una indisponibilidad y pérdida de producción.</p>
		<p>1A9. Estator a tierra por falla en seccionador puesta a tierra</p>	<p>Cuando el seccionador se aterriza a tierra provoca una falla que es detectada por el relé de protección de estator a tierra. La secuencia de protecciones es similar a la falla tipo 1A1, tiempo de reparación aproximadamente 2 días</p>
		<p>1A10. Estator a tierra o en cortocircuito por herramienta u objeto dejado olvidado después de un mantenimiento</p>	<p>Falla tipo 1A1</p>
		<p>1A11. Estator a tierra por señal de protección falsa por falla del relé</p>	<p>Falla tipo 1A1. Se realizará una inspección y pruebas del generador para determinar que no existe falla. Se procede a realizar pruebas de protecciones y verificar su funcionamiento. Es posible que se deba reemplazar uno o mas elementos de protección, Se requiere contar con respuesto en bodega. tiempo de reparación 8 horas aproximadamente.</p>
		<p>1A12. No hay voltaje por falla en el sistema de auxiliares de corriente continua</p>	<p>No hay tensión inicial para iniciar el proceso de excitación (revisar Amperímetro de excitación equipo, al no existir campo magnético para inducir tensión en el estator. Se requiere hacer revisión del sistema de corriente continua, dependiendo de la falla se tiene indisponibilidad y pérdida de generación de 1 y 8 horas aproximadamente.</p>
		<p>1A13. No hay voltaje por falla en la entrega de potencia al sistema</p>	<p>Durante la consignación del equipo se omiten pasos del protocolo causando demoras en la puesta en servicio del generador y pérdidas de generación de 2 aproximadamente horas, Tiempo de reparación 2 horas aproximadamente</p>
		<p>1A14. Falla por mal mantenimiento o mala operación</p>	<p>Procedimientos de mantenimiento y operación inadecuados por el personal de mantenimiento y operación de la planta</p>

Fuente: ELEPCO S.A.

Anexo XVIII: Hoja de trabajo de decisión R.C.M del estator

CENTRAL HIDROELECTRICA ILLUCHI I															
HOJA DE TRABAJO DE DECISIÓN R.C.M							Elemento: GENERADOR								
							Componente: ESTATOR								
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Tarea "a falta de "			Tarea Propuesta	Frecuencia inicial	A realizar por
							S1	S2	S3						
F	FF	MF	H	S	E	O	O1	O2	O3	H4	H5	S4			
1	A	8							S				Revisar y analizar el sistema de excitación.	Anual	Ingeniero
1	A	9											Revisar sistema puesta a tierra.	Anual	Técnico
1	A	10	S	N	N	S	S						Revisar el sistema de puesta a tierra	Anual	Mecánico
1	A	11	S	N	S	S							Debe rediseñarse el sistema de protocolo de entrega del equipo para operación con la implementación de una lista de chequeo de entrada y salida de herramienta al	10 Meses	Técnico
1	A	12	N				N	S					Realizar pruebas al equipo de protección y comprobar su funcionamiento existe la potencial opción de sustituir uno o	Despues de cada mantenimiento	Operador
1	A	13	S	N	N	S	S						Revisar y analizar el sistema de excitación.	Anual	Técnico
1	A	14	S	N	N	S	N	S					Revisar procedimientos de entrega de equipos, capacitar y evaluar el personal de operación y mantenimiento.	Anual	Técnico

Fuente: ELEPCO S.A.

Anexo – XIX: Fichas técnicas de las turbinas de las unidades de generación

FICHA TÉCNICA	
CARACTERÍSTICAS TURBINA U1	
Marca	Bell
Tipo	Pelton
Procedencia	Suiza
Año de fabricación	1950
N° de fabricación	1833
Salto	290m
Velocidad de embalamiento	2200 R.p.m
Velocidad de embalamiento	2200 R.p.m

FICHA TECNICA	
CARACTERÍSTICAS TURBINA U2	
Marca	Bell
Tipo	Pelton
Procedencia	Suiza
Año de fabricación	1950
N° de fabricación	1833
Salto	290m
Velocidad de embalamiento	2200 R.p.m
Velocidad de embalamiento	2200 R.p.m

FICHA TÉCNICA	
CARACTERÍSTICAS DE LA TURBINA U3	
Marca	Bell
Tipo	Pelton
Procedencia	Suiza
Año de fabricación	1954
N° de fabricación	1888
Salto	290m
Velocidad de embalsamiento	900 rpm
Velocidad de embalamiento	1620rpm

FICHA TÉCNICA	
CARACTERÍSTICAS DE LA TURBINA U4	
Marca	Bell
Tipo	Pelton
Año de fabricación	1954
N° de fabricación	1888
Salto	290m
Consumo de agua	600 L/ seg
Velocidad de embalsamiento	900 rpm
Velocidad de embalamiento	1620rpm

Fuente: Autor

Anexo XX: Fichas técnicas de los generadores de las unidades de generación

FICHA TÉCNICA	
CARACTERÍSTICAS GENERADOR U1	
Marca	Brown Boveri
Serie:	B 56112
Tipo:	WAS 46d
Fases:	3 ~
Potencia:	872 KVA
RPM:	1200/2200
Frecuencia	60 Hz
Voltaje:	2400 V
Corriente:	210 A
Factor de potencia:	0,8
Exitación	
Voltaje:	35 V
Corriente:	235A
Cosθ:	0,8

FICHA TECNICA	
CARACTERÍSTICAS GENERADOR U2	
Marca	Brown Boveri
Serie:	B 56112
Tipo:	WAS 46d
Fases:	3 ~
Potencia:	872 KVA
RPM:	1200/2200
Frecuencia	60 Hz
Voltaje:	2400 V
Corriente:	210 A
Factor de potencia:	0,8
Exitación	
Voltaje:	35 V
Corriente:	235A
Cosθ:	0,8

FICHA TÉCNICA	
CARACTERÍSTICAS DEL GENERADOR U3	
Marca	Brown Boveri
Serie:	B 60661
Tipo:	WA 58f
Fases:	3
Potencia:	1750 KVA
RPM:	900/1620
Frecuencia	60 Hz
Voltaje:	2400 V
Corriente:	420 A
Factor de potencia:	0,8
Exitación:	
Voltaje:	58 V
Corriente:	224 A

FICHA TÉCNICA	
CARACTERÍSTICAS DEL GENERADOR U4	
Marca	Brown Boveri
Serie:	B 60661
Tipo:	WA 58f
Fases:	3
Potencia:	1750 KVA
RPM:	900/1620
Frecuencia	60 Hz
Voltaje:	2400 V
Corriente:	420 A
Factor de potencia:	0,8
Exitación:	
Voltaje:	58 V
Corriente:	224 A

Fuente: Autor

Anexo XXI: Fichas técnicas de la excitatriz de las unidades de generación

FICHA TÉCNICA	
CARACTERISTICAS EXCITATRIZ U1	
Marca	Brown Boveri
Serie:	A 750147
Tipo:	gf 125a
Voltaje:	45 V
Corriente:	205 A
Potencia:	9.2 KW
RPM:	1200/2200
Sentido de giro:	Antihorario

FICHA TÉCNICA	
CARACTERISTICAS EXCITATRIZ U2	
Marca	Brown Boveri
Serie:	A 750147
Tipo:	gf 124a
Voltaje:	45 V
Corriente:	205 A
Potencia:	9.2 KW
RPM:	1200/2200
Sentido de giro:	Antihorario

FICHA TÉCNICA	
CARACTERISTICAS DE LA EXCITATRIZ U3	
Marca	Brown Boveri
Serie:	A 050005
Tipo:	gf 134
Voltaje:	60 V
Corriente:	264 A
Potencia:	15.8 KW
RPM:	900/1620
Sentido de giro:	Antihorario

FICHA TÉCNICA	
CARACTERISTICAS DE LA EXCITATRIZ U4	
Marca	Brown Boveri
Serie:	A 050005
Tipo:	gf 135
Voltaje:	60 V
Corriente:	264 A
Potencia:	15.8 KW
RPM:	900/1620
Sentido de giro:	Antihorario

Fuente: Autor

Anexo XXII: Fichas técnicas de reguladores de velocidad de las unidades de generación

FICHA TÉCNICA	
CARACTERISTICAS REGULADOR DE VELOCIDAD U1	
Marca	Brown Boveri
Procedencia	Suiza
Serie	896
Capacidad	1000 Kg/m
Course	120 mm
Ferment	1 Sec

FICHA TÉCNICA	
CARACTERISTICAS REGULADOR DE VELOCIDAD U2	
Marca	Brown Boveri
Procedencia	Suiza
Serie	897
Capacidad	1000 Kg/m
Course	120 mm
Ferment	1 Sec

FICHA TÉCNICA	
CARACTERISTICAS DEL REGULADOR DE VELOCIDAD U3	
Marca	Brown Boveri
Procedencia	Suiza
Serie	977
Schl	1' sek
Reg. Arb.	225 mkg
pumpe	1000 Tp Min
Hub	140 mm
Pendel	1000 T.p. Min

FICHA TÉCNICA	
CARACTERISTICAS DEL REGULADOR DE VELOCIDAD U4	
Marca	Valor
Procedencia	Suiza
Serie	978
Schl	1' sek
Reg. Arb.	225 mkg
pumpe	1000 Tp Min
Hub	140 mm
Pendel	1000 T.p. Min

Fuente: Autor

Anexo XXIII: Fichas técnicas del motor de las unidades de generación

FICHA TÉCNICA	
CARACTERISTICAS MOTOR U1	
Marca	SIEMENS
Fases	3~
Potencia	1.0 HP
Voltaje	220 YY/440Y.V
Frecuencia	60Hz
Factor de potencia	0.87
Rpm	1600

FICHA TÉCNICA	
CARACTERISTICAS MOTOR U2	
Marca	SIEMENS
Fases	3~
Potencia	1.0 HP
Voltaje	220 YY/440Y.V
Frecuencia	60Hz
Factor de potencia	0.87
Rpm	1600

FICHA TÉCNICA	
CARACTERISTICAS MOTOR U3	
Marca	SIEMENS
Fases	3~
Potencia	1.0 HP
Voltaje	220 YY/440Y.V
Frecuencia	60Hz
Factor de potencia	0.87
Rpm	1600

FICHA TÉCNICA	
CARACTERISTICAS MOTOR U4	
Marca	SIEMENS
Fases	3~
Potencia	1.0 HP
Voltaje	220 YY/440Y.V
Frecuencia	60Hz
Factor de potencia	0.87
Rpm	1600

Fuente: Autor

Anexo XXIV: Fichas técnicas de bombas de agua de las unidades de generación

FICHA TÉCNICA	
CARACTERISTICAS DE BOMBA DE AGUA U1	
Marca	Paolo
Fases	1~
Hp	0.50
Voltaje	115/230 v
Frecuencia	60 Hz
voltaje linea	250v

FICHA TÉCNICA	
CARACTERISTICAS DE BOMBA DE AGUA U2	
Marca	Paolo
Fases	1~
Hp	0.50
Voltaje	115/230 v
Frecuencia	60 Hz
voltaje linea	250v

FICHA TÉCNICA	
CARACTERISTICAS DE BOMBA DE AGUA U3	
Marca	Paolo
Fases	1~
Hp	0.50
Voltaje	115/230 v
Frecuencia	60 Hz
voltaje linea	250v

FICHA TÉCNICA	
CARACTERISTICAS DE BOMBA DE AGUA U4	
Marca	Paolo
Fases	1~
Hp	0.50
Voltaje	115/230 v
Frecuencia	60 Hz
voltaje linea	250v

Fuente: Autor

Anexo XXV: Orden de trabajo del generador para medir de la caída de tensión en los polos del rotor

CENTRAL HIDROELECTRICA ILLUCHI I									
ORDEN DE TRABAJO									
FECHA	S/E	EQUIPO	Generador		CODIGO	01A2SG-GE100	# ORDEN	S/E	
TIPO DE TRABAJO	ELECTRICO		MECANICO	X	ACTIVIDAD PROGRAMADA	SI	X	NO	
TIPO DE MANTENIMIENTO		CORRECTIVO			PREVENTIVO	X	PREDICTIVO		
TIEMPO		INICIO	S/E			S/E	DURACION		
DESCRIPCION DE LA ACTIVIDAD									
Medición de la caída de tensión en los polos del rotor									
EQUIPO DE PROTECCION PERSONAL REQUERIDA									
GUANTES	X	GUANTES ELECTRICOS			PROTECCION PARA QUIMICOS				
PROTECCION AUDITIVA	X	BOTAS DIELECTRICAS		X	ARNES Y LINEAS DE VIDA				
GAFAS		CASCO		X	PROTECCION RESPIRATORIA				
HERRAMIENTAS REQUERIDAS		UTILIZADAS			REPUESTOS		UTILIZADOS		
Franelas o paños de algodón									
Solvente (agua, alcohol)									
Escoba Plástica									
Brochas									
Compresor de aire									
Juego de llaves									
Multimetro									
Multimetro de media tension									
Pinza amperimetrica									
OTROS									
OBSERVACIONES									
AUTORIZADO POR					RECIBIDO POR				

Fuente: Autor

Anexo XXVI: Orden de trabajo de la turbina para una inspección de posibles agrietamientos de la tobera

CENTRAL HIDROELECTRICA ILLUCHI I									
ORDEN DE TRABAJO									
FECHA	S/E	EQUIPO	Turbina		CODIGO	A1A2SC-TU100		# ORDEN	S/E
TIPO DE TRABAJO	ELECTRICO		MECANICO	X	ACTIVIDAD PROGRAMADA	SI	X	NO	
TIPO DE MANTENIMIENTO	CORRECTIVO				PREVENTIVO	X	PREDICTIVO		
TIEMPO	INICIO		S/E		FINALIZÓ	S/E		DURACION	
DESCRIPCION DE LA ACTIVIDAD									
Inspección posibles agrietamientos de la tobera									
EQUIPO DE PROTECCION PERSONAL REQUERIDA									
GUANTES		GUANTES ELECTRICOS			PROTECCION PARA QUIMICOS				
PROTECCION AUDITIVA	X	BOTAS DIELECTRICAS	X		ARNES Y LINEAS DE VIDA				
GAFAS		CASCO	X		PROTECCION RESPIRATORIA				
HERRAMIENTAS REQUERIDAS		UTILIZADAS			REPUESTOS		UTILIZADOS		
Juego de llaves mixtas									
Juego de llaves hexagonal									
Franela									
Liquidos penetrantes									
OTROS									
OBSERVACIONES									
AUTORIZADO POR					RECIBIDO POR				

Fuente: Autor

Anexo XXVII: Orden de trabajo para la turbina

CENTRAL HIDROELECTRICA ILLUCHI I							
ORDEN DE TRABAJO							
FECHA	S/E	EQUIPO	Exitatriz	CODIGO	01A2SG-GE100	# ORDEN	S/E
TIPO DE TRABAJO	ELECTRICO	X	MECANICO	ACTIVIDAD PROGRA	SI	X	NO
TIPO DE MANTENIMIENTO	CORRECTIVO			PREVENTIVO	X	PREDICTIVO	
TIEMPO	INICIO		S/E		S/E	DURACION	
DESCRIPCION DE LA ACTIVIDAD							
Medición del entrehierro							
EQUIPO DE PROTECCION PERSONAL REQUERIDA							
GUANTES	X	GUANTES ELECTRICOS	X	PROTECCION PARA QUIMICOS			
PROTECCION AUDITIVA	X	BOTAS DIELÉCTRICAS	X	ARNES Y LINEAS DE VIDA			
GAFAS		CASCO	X	PROTECCION RESPIRATORIA			
HERRAMIENTAS REQUERIDAS	UTILIZADAS			REPUESTOS		UTILIZADOS	
Franelas o paños de algodón							
Solvente (agua, alcohol)							
Escoba Plástica							
Brochas							
Compresor de aire							
Juego de llaves							
Multímetro							
Multímetro de media tension							
Pinza amperimétrica							
OTROS							
OBSERVACIONES							
AUTORIZADO POR				RECIBIDO POR			

Fuente: Autor

Anexo XXVIII: Orden de trabajo para el sistema de lubricación y refrigeración para la válvula by - pass

CENTRAL HIDROELECTRICA ILLUCHI I									
ORDEN DE TRABAJO									
FECHA	S/E	EQUIPO	Sistema de lubricación y refrigeración		CODIGO	01A2SL-SE100	# ORDEN	S/E	
TIPO DE TRABAJO	ELECTRICO	X	MECANICO	X	ACTIVIDAD PROGRAMADA	SI	X	NO	
TIPO DE MANTENIMIENTO	CORRECTIVO				PREVENTIVO	X	PREDICTIVO		
TIEMPO	INICIO		S/E		FINALIZÓ	S/E	DURACION		
DESCRIPCION DE LA ACTIVIDAD									
Control de vavula by pass									
EQUIPO DE PROTECCION PERSONAL REQUERIDA									
GUANTES	X	GUANTES ELECTRICOS				PROTECCION PARA QUIMICOS			
PROTECCION AUDITIVA	X	BOTAS DIELECTRICAS	X			ARNES Y LINEAS DE VIDA			
GAFAS		CASCO	X			PROTECCION RESPIRATORIA			
HERRAMIENTAS REQUERIDAS		UTILIZADAS			REPUESTOS		UTILIZADOS		
cepillo o escobilla nylon					Mangueras				
Juego de llaves mixtas					Aceite				
Juego de llaves exagonales					Valvula de pie				
OTROS									
OBSERVACIONES									
AUTORIZADO POR					RECIBIDO POR				

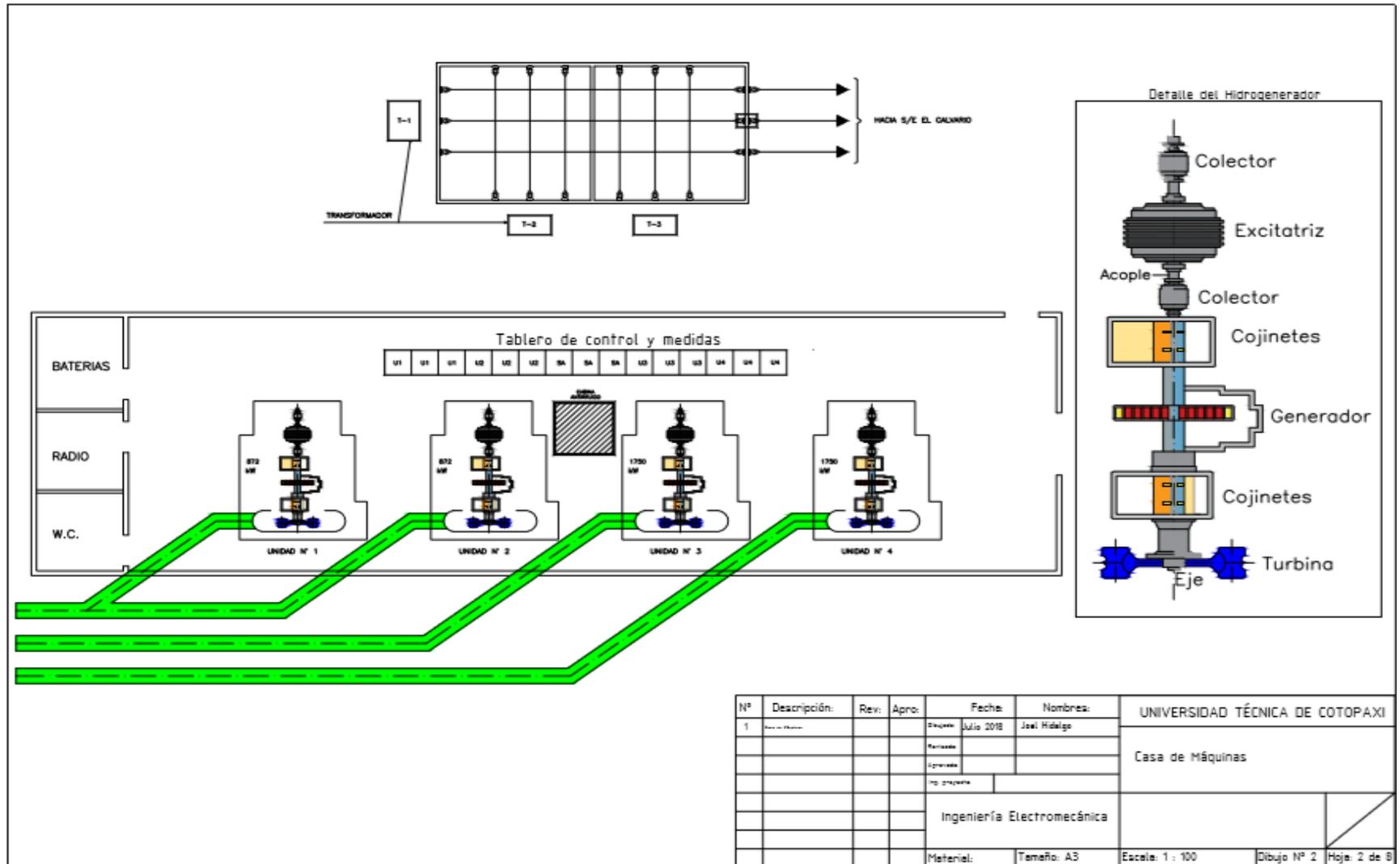
Fuente: Autor

Anexo XXIX: Orden de trabajo del sistema de control y medida para inspección y limpieza del relé de sobre voltaje del generador

CENTRAL HIDROELECTRICA ILLUCHI I									
ORDEN DE TRABAJO									
FECHA	S/E	EQUIPO	Sistema de control y medida	CODIGO	01A2SC-RM100	# ORDEN	S/E		
TIPO DE TRABAJO	ELECTRICO	X	MECANICO	ACTIVIDAD PROGRAMADA	SI	X	NO		
TIPO DE MANTENIMIENTO	CORRECT			PREVENT	X	PREDICTIVO			
TIEMPO	INICIO			FINALIZÓ		DURACION			
DESCRIPCION DE LA ACTIVIDAD									
Inspección y limpieza del relé de sobre voltaje del generador									
EQUIPO DE PROTECCION PERSONAL REQUERIDA									
GUANTES		GUANTES ELECTRIC	X	PROTECCION PARA QUIMICOS					
PROTECCION AUDIT	X	BOTAS ELECTRICAS	X	ARNES Y LINEAS DE VIDA					
GAFAS	X	CASCO	X	PROTECCION RESPIRATORIA					
HERRAMIENTAS REQUERIDAS	UTILIZADAS			REPUESTOS			UTILIZADOS		
Multimetro				Reles					
Volmetro				Medidores					
Franela									
OTROS									
OBSERVACIONES									
AUTORIZADO POR					RECIBIDO POR				

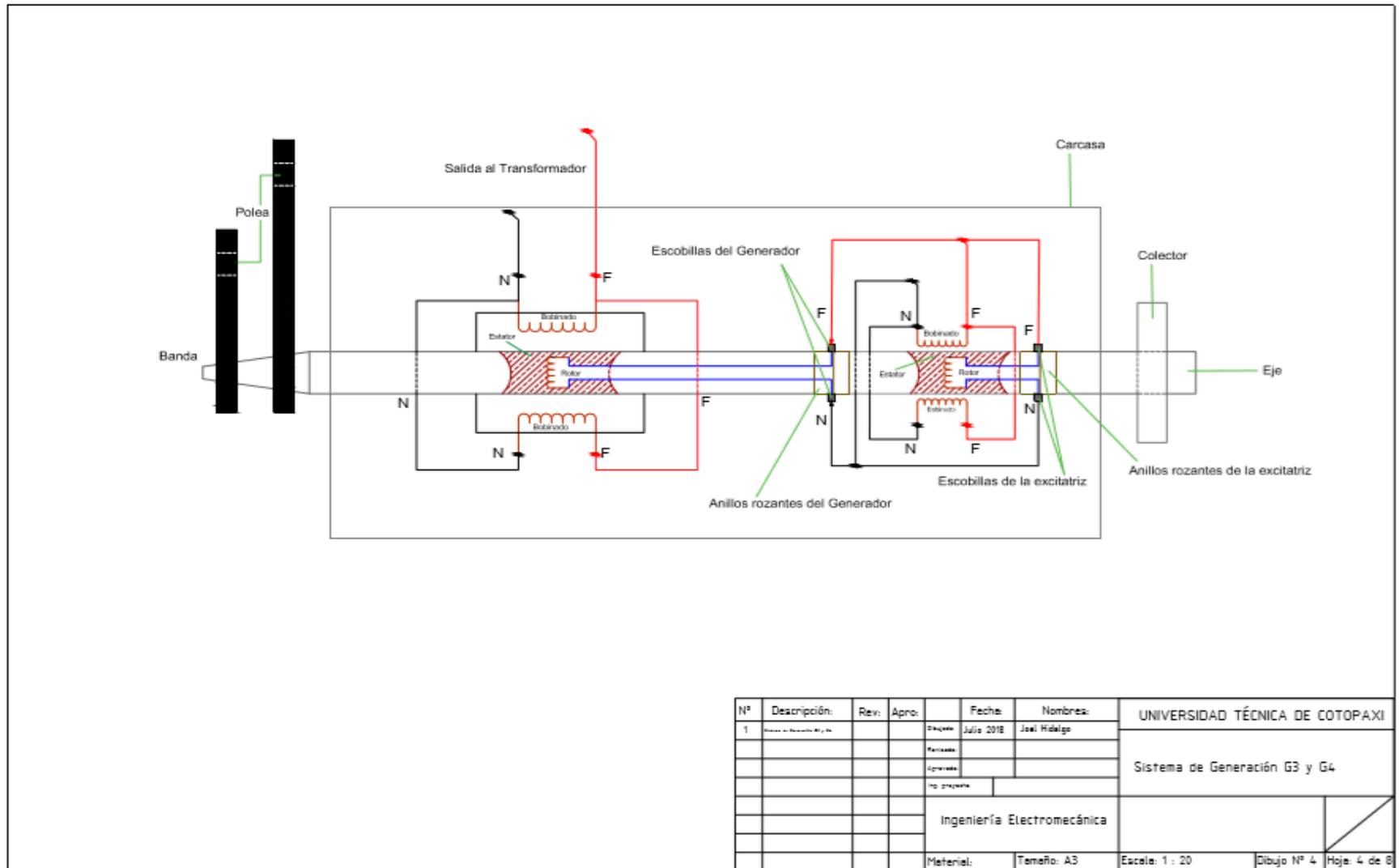
Fuente: Autor

Anexo XXXI: Casa de máquinas



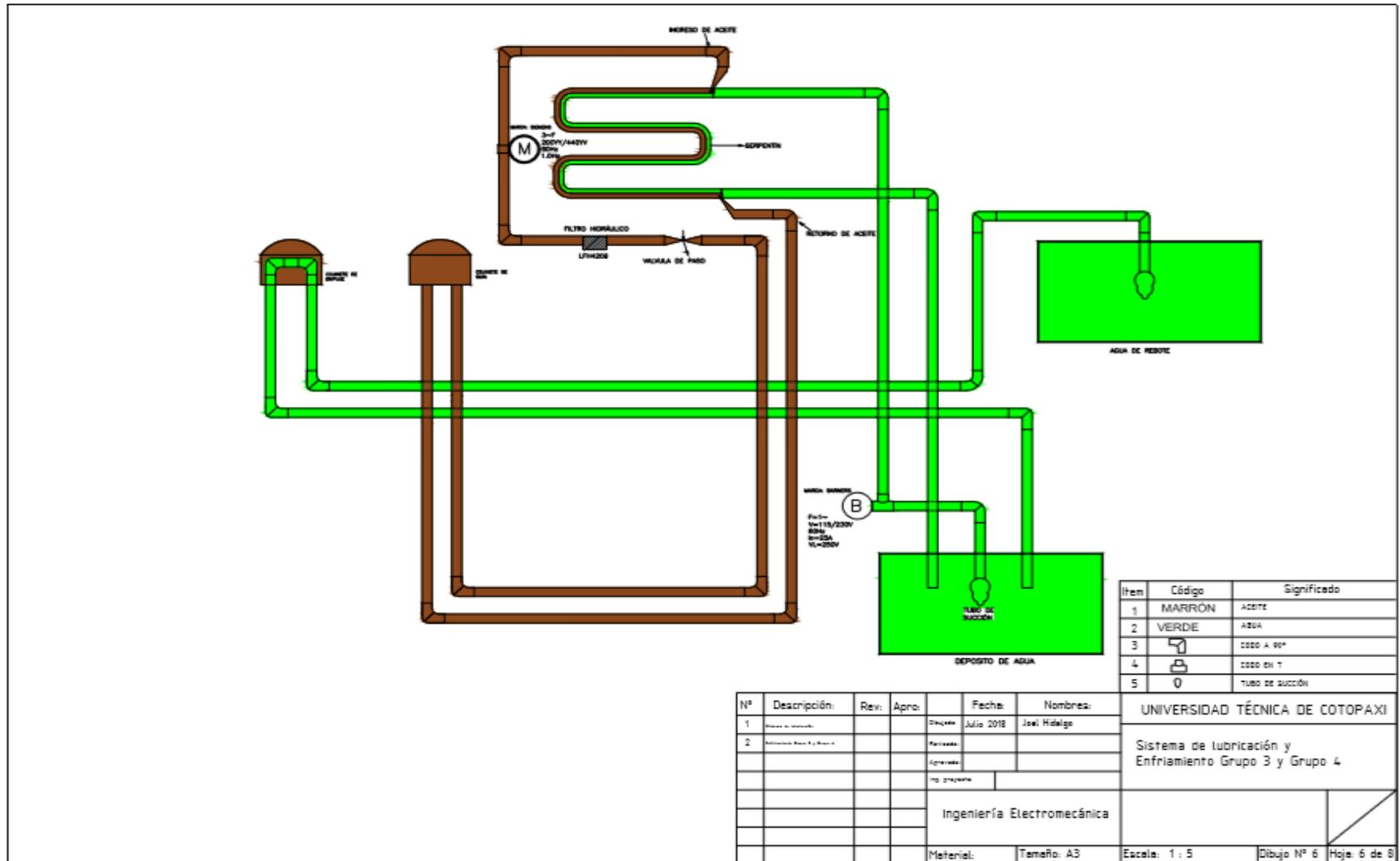
Fuente: Autor

Anexo XXXIII: Sistema de generación G3 y G4



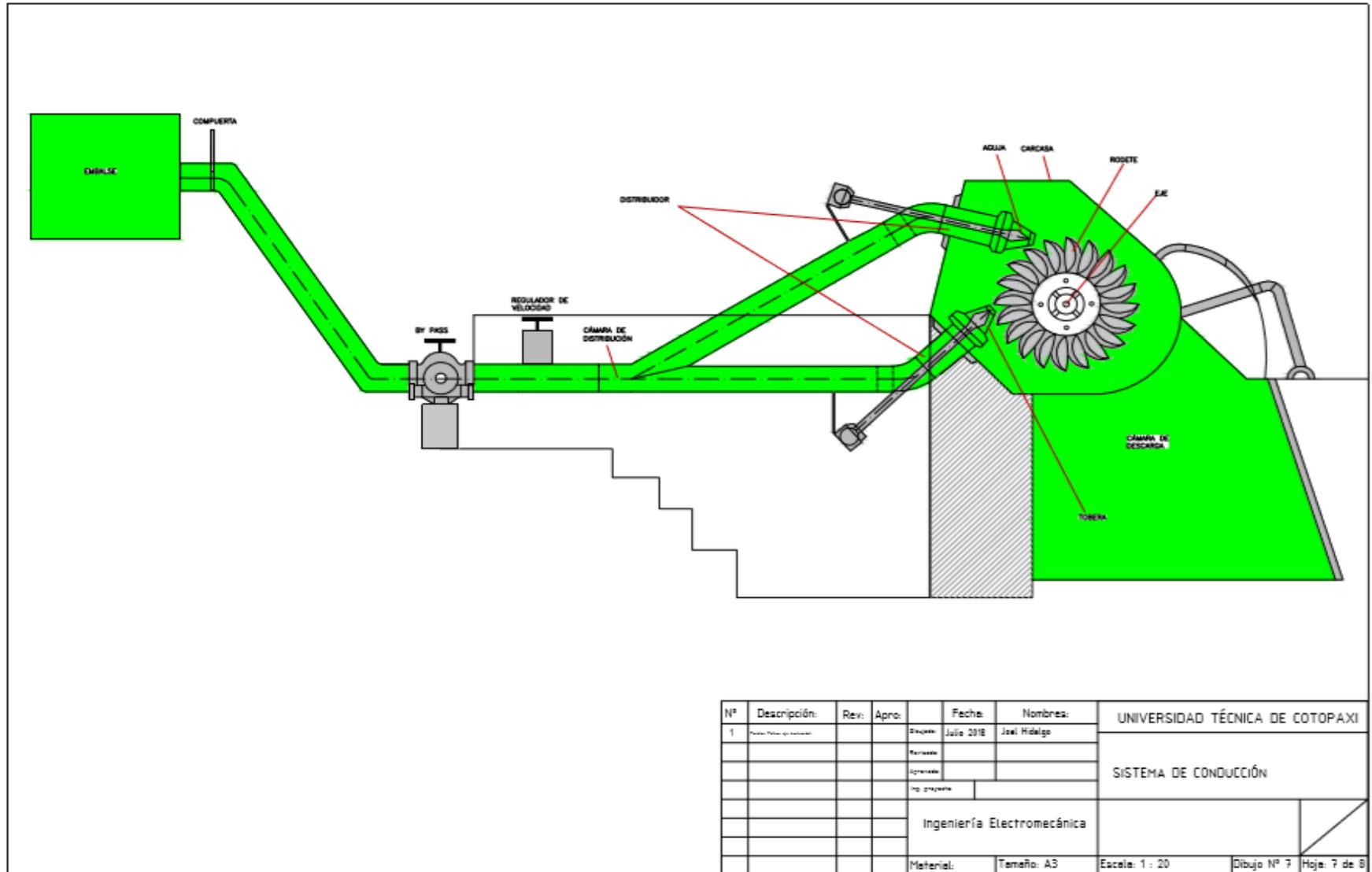
Fuente: Autor

Anexo XXXV: Sistema de lubricación y refrigeración del G3 y G4



Fuente: Autor

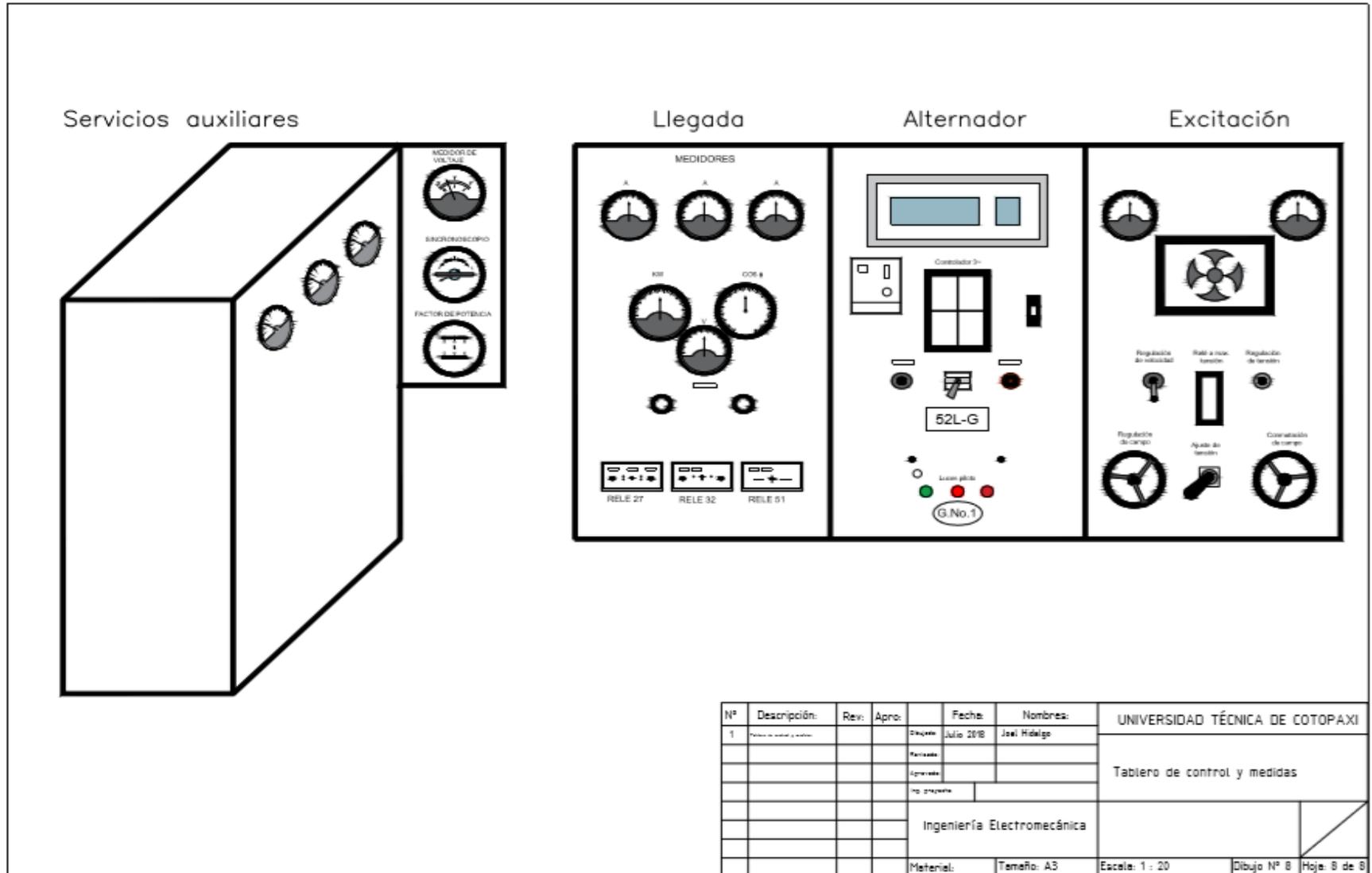
Anexo XXXVI: Sistema de conducción



Nº	Descripción:	Rev:	Apro:	Fecha:	Nombre:	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
1	Proyecto de conducción			Diseño: Julio 2018	Joel Hidalgo	SISTEMA DE CONDUCCIÓN
				Revisado:		
				Aprobado:		
				Ing. responsable:		
				Ingeniería Electromecánica		
				Material:	Tamaño: A3	Escala: 1 : 20
						Dibujo Nº 7 Hoja 7 de 8

Fuente: Autor

Anexo XVII: Tablero de control y medidas



Nº	Descripción:	Rev.	Apro:	Fecha:	Nombre:	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
1	Revisión de diseño y edición			Diseño: Julio 2018	Joel Hidalgo	
				Revisado:		Tablero de control y medidas
				Aprobado:		
				Imp. proyecto:		
					Ingeniería Electromecánica	
				Materia:	Tamaño: A3	Escala: 1 : 20
						Dibujo Nº 8
						Hoja: 8 de 8

Fuente: Autor