



DEPARTAMENTO DE POSTGRADOS

TEMA:

“Gestión de riesgos en mantenimiento mecánico de centrales hidroeléctricas tipo pelton, basado en los requerimientos de la PAS 55”

**Tesis previa a la obtención del Título de Magister en
Gestión de Mantenimiento**

AUTOR:

JOHNNY IVAN CAJILIMA PORTILLA

DIRECTOR:

ING. JAIME MAURICIO VALLADAREZ TOLA

Cuenca – Ecuador

2015

DEDICATORIA

La presente tesis va dedicado a mi Dios por darme la sabiduría e inteligencia que está plasmado en el presente trabajo, al mismo tiempo dedico a mis hijos Emilio, Elias y a mi esposa Irma, ya que son mi constante inspiración para seguir adelante, ya que me han dado todo el apoyo para concluir con éxito el trabajo de tesis.

Johnny

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios, a mi Esposa e Hijos por darme la oportunidad de lograr un objetivo más en mi vida profesional, para el bien de todos nosotros y así seguirles brindando mi apoyo a que se superen día a día.

Agradezco al Ing. Mauricio Valladarez, el cual ha tenido un acertado apoyo hacia mi persona en todas las dificultades que se ha tenido en el presente trabajo de tesis.

Johnny

RESUMEN

En el presente trabajo se desarrolló una metodología, la cual se basó en su mayoría con la referencia que es la PAS 55-1-2008 Gestión de Activos (Publicly Available Specification; Especificaciones disponibles al Público), y con la ayuda del proceso de la norma ISO 31000 para la apreciación de los riesgos, se trabajó en los distintos requerimientos que se toma como referencia para la gestión de riesgos en los activos físicos, en la empresa generadora de energía eléctrica la cual se considera en la actualidad la más grande del país. Esta central Hidroeléctrica tiene la turbina tipo pelton la que aprovecha el salto de agua (energía potencial) para producir energía eléctrica mediante un generador tipo síncrono, para lo cual existen sistemas que son indispensables para el buen funcionamiento y esto es traducido en mantener o mejorar disponibilidad y confiabilidad.

Para esto se desarrolló una referencia del manejo del riesgo en este tipo de centrales hidroeléctricas, el cual se aborda en el contexto, la identificación, análisis, evaluación y tratamiento o control del riesgo en los activos de los sistemas de la unidad de generación pertenecientes al área de mantenimiento mecánico; los procesos de manejo, seguimiento y control de la información, es para que el área de mantenimiento mecánico tenga su metodología para Gestionar los Activos que tienen a su cargo. Todo este trabajo puede ser una base o referencia para las centrales hidroeléctricas con turbina tipo pelton.

PALABRAS CLAVE

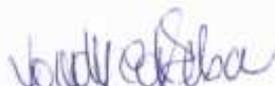
Gestión, Activos, Riesgos, Registro, Manejo, Identificación, Análisis, Evaluación, Tratamiento, Control, Central Hidroeléctrica, Turbina, Pelton, Mantenimiento Mecánico.

ABSTRACT

This paper deals with the development of a methodology, which was mostly based on PAS 55-1-2008 reference Asset Management (Publicly Available Specification) with the help of the ISO 31000 standard for risk assessment. We worked on the different requirements taken as reference for risk management on the physical assets in a power generation company, which is now considered the largest in the country. This hydroelectric plant has a Pelton-type turbine that uses the flow of a waterfall (potential energy) to produce electricity via a synchronous-type generator; for which there are essential systems for proper functioning in maintaining or improving availability and reliability. Therefore, a reference risk management for this type of hydro- electric power plant was developed; which is generated considering context, identification, analysis, evaluation and treatment or risk control in the assets of the generation unit systems belonging to the mechanical maintenance area, as well as management processes, monitoring and control of information. This is carried out so that the mechanical maintenance area has its methodology to manage the assets under its responsibility. All this work represents a basis or reference for hydroelectric power plants that use Pelton-type turbines.

KEYWORDS: Management, Assets, Risks, Record, Handling, Identification, Analysis, Assessment, Treatment, Control, Hydroelectric Plant, Pelton Turbine, Maintenance, Mechanic.




Translated by,
Lic. Lourdes Crespo

INDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
RESUMEN.....	iv
PALABRAS CLAVE.....	iv
ABSTRACT.....	v
KEYWORDS.....	v
INTRODUCCION.....	1
CAPITULO 1.....	2
1 PROCESO DEL MANEJO DE RIESGOS.....	2
1.1 Marco teórico PAS 55.....	2
1.2 Diagrama de Proceso de Riesgo.....	6
1.3 Metodología para el manejo del riesgo. (Pasos del Proceso).....	8
CAPITULO 2.....	10
2 IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA.....	10
2.1 Contexto operacional.....	10
2.2 Clasificación de los activos.....	11
2.2.1 Válvula esférica.....	13
2.2.2 Turbina tipo Pelton.....	14
2.2.3 Sistema de acumulación bombeo y regulación.....	15
2.2.4 Generador principal.....	17
2.2.5 Transformador principal.....	18
2.2.6 Sistema de agua de enfriamiento de la unidad.....	20
2.2.7 Sistema de ventilación de la Unidad (B y C).....	21
2.2.8 Sistema de ventilación de la Excitación.....	21
2.3 Registros de Riesgos de los activos.....	22
2.4 Manejar los riesgos relacionados al activo.....	24
2.4.1 Responsabilidades y Políticas.....	24
2.5 Análisis de la Criticidad del activo.....	26
3 EVALUAR E IDENTIFICAR LOS RIESGOS.....	28
3.1 Identificación de riesgos.....	33
3.2 Análisis de Riesgo de las Unidades de Generación Fase AB y C.....	38

3.3	Evaluación del Riesgo.....	44
3.4	Tratamiento o control del Riesgo.	45
3.5	Proceso para el uso y mantenimiento de la información.	47
3.5.1	Procedimiento para documentar los riesgos mecánicos.	48
	CONCLUSIONES	50
	RECOMENDACIONES	50
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51
	ANEXOS.....	53
	ANEXO 1 RESUMEN DE FALLAS MECÁNICAS, ESTIMACIÓN DE PROBABILIDADES Y CONSECUENCIAS U01	53
	ANEXO 2 RESUMEN DE FALLAS MECÁNICAS, ESTIMACIÓN DE PROBABILIDADES Y CONSECUENCIAS U02	55
	ANEXO 3 RESUMEN DE FALLAS MECÁNICAS, ESTIMACIÓN DE PROBABILIDADES Y CONSECUENCIAS U03	58
	ANEXO 4 RESUMEN DE FALLAS MECÁNICAS, ESTIMACIÓN DE PROBABILIDADES Y CONSECUENCIAS U04	61
	ANEXO 5 RESUMEN DE FALLAS MECÁNICAS, ESTIMACIÓN DE PROBABILIDADES Y CONSECUENCIAS U05	63
	ANEXO 6 RESUMEN DE FALLAS MECÁNICAS, ESTIMACIÓN DE PROBABILIDADES Y CONSECUENCIAS U06	65
	ANEXO 7 RESUMEN DE FALLAS MECÁNICAS, ESTIMACIÓN DE PROBABILIDADES Y CONSECUENCIAS U07	67
	ANEXO 8 RESUMEN DE FALLAS MECÁNICAS, ESTIMACIÓN DE PROBABILIDADES Y CONSECUENCIAS U08	69
	ANEXO 9 RESUMEN DE FALLAS MECÁNICAS, ESTIMACIÓN DE PROBABILIDADES Y CONSECUENCIAS U09	72
	ANEXO 10 RESUMEN DE FALLAS MECÁNICAS, ESTIMACIÓN DE PROBABILIDADES Y CONSECUENCIAS U10	74
	ANEXO 11 DATOS Y PROMEDIOS DE HORAS DE OPERACIÓN DE LAS UNIDADES DE GENERACION	76

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Principios y atributos Claves	5
Figura 1.2 Estructura PAS 55.....	5
Figura 1.3 Proceso de Gestión de Riesgo.	7
Figura 1.4 Matriz de decisión del riesgo.....	8
Figura 2.1 Esquema de Unidad de Generación	10
Figura 2.2 Esquema ISE	12
Figura 2.3 Formato de registro de riesgos de activos	23
Figura 2.4 Ejm. Formato lleno de registro de riesgos de activos	23
Figura 2.5 Proceso de manejo de riesgo de los activos mecánicos	25
Figura 3.7 Costos fijos Hidropaute	29
Figura 3.2 Curva de la Bañera	30
Figura 3.2 Máximo, Mínimo, Promedio de Probabilidad de falla.....	31
Figura 3.3 Máximo, Mínimo, Promedio de costo de indisponibilidad	32
Figura 3.4 Categoría de probabilidades de ocurrencia.	32
Figura 3.5 Categoría de consecuencias.....	33
Figura 3.6 Matriz de Riesgo Mto. Mecánico.....	33
Figura 3.7 Proceso documental Mto. Mecanico	48

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Componentes Válvula Esférica.	14
Tabla 2.2 Características de la Turbina.....	14
Tabla 2.3 Componentes de la turbina	15

Tabla 2.4 Componentes del Regulador hidráulico mecánico.....	17
Tabla 2.5 Características Generador	17
Tabla 2.6 Componentes del Generador	18
Tabla 2.7 Características Generador.....	19
Tabla 2.8 Componentes del Transformador.....	20
Tabla 2.9 Características del SAE	21
Tabla 2.10 Componentes del SAE	21
Tabla 2.11 Componentes de Ventilacion By C.....	21
Tabla 2.12 Componentes de Ventilacion Excitacion	22
Tabla 3.1 Identificación de Riesgos Unidad de generación Fase AB	35
Tabla 3.2 Identificacion de Riesgos Unidad de generacion Fase C	37
Tabla 3.3 Unidades con tasa de fallo mayor	38
Tabla 3.4 Datos de referencia Probabilidad Falla	39
Tabla 3.5 Análisis de riesgos U03	41
Tabla 3.6 Analisis de riesgos U07	43
Tabla 3.7 Evaluacion de riesgos U03.....	44
Tabla 3.8 Evaluacion de riesgos U07	45
Tabla 3.9 Tipos de controles o tramientos del Nivel de Riesgo	46
Tabla 3.10 Tipos de control y nivel de riesgo.....	47

Autor: Johnny Iván Cajilima Portilla

Trabajo de Graduación

Director: Ing. Jaime Mauricio Valladarez Tola Msc.

“Gestionar los riesgos en Mantenimiento Mecánico de la Central Paute Molino, de acuerdo a la PAS 55”

INTRODUCCIÓN.

El análisis del riesgo ha sido utilizado de manera informal (no técnica) a lo largo de la historia de la humanidad, asociado a la toma de decisiones (Medina, ISO 55000, ISO 31000 y API RP 581 Aliados Fundamentales para la generación de valor en la Gestión de Riesgo de los Activos Físicos, 2015). Existen múltiples posibilidades unas mejores que otras, cuya elección supone valorar y aceptar el riesgo asociado con la incertidumbre del resultado que sea al futuro (Medina, Gestión de Riesgos Asociados a Mantenimiento, 2014).

El riesgo es un concepto complejo que tiene que ver con la posibilidad de ocurrencia de sucesos en el futuro. En cierto sentido, el riesgo se considera algo irreal, producto de la mente que está ligado a la percepción individual o colectiva, sin embargo con las nuevas herramientas que se presentan ahora en la actualidad es de tratar de hacer objetivamente su valoración. Para lo cual existe el modelo matemático que el riesgo es la probabilidad por las consecuencia (Medina, Gestión de Riesgos Asociados a Mantenimiento, 2014).

$$R(t) = Pf(t) * C(t)$$

Donde **R(t)**; Probabilidad de falla puede ser estimada por evaluaciones cualitativas, de la información, de experiencias por cálculos cuantitativos usando modelos físicos/probabilísticas o menos refinados.

Donde **C(t)**: Consecuencia de falla es una parte vital en los procesos de priorización para el análisis.

Las recomendaciones del BSI (British Standard Institute) PAS 55:2008, definen los requerimientos que se podría cumplir en un Sistema de Gestión de Activos Físicos, el cual es una referencia para las empresas que pretenden comenzar un sistema de Gestión de riesgos en sus plantas hidroeléctricas con turbina tipo pelton. El presente trabajo se realiza, para determinar los riesgos que existen en los activos de las Centrales Hidroeléctricas con tipo de turbina pelton en el área de mantenimiento mecánico.

Esta gestión de riesgos también está soportada una gestión de integridad alineada a los objetivos que de toda central hidroeléctrica el de mantener y mejorar la disponibilidad y

confiabilidad o mejorar estos índices, para lo cual también se referencia con el proceso de la apreciación del riesgo de la norma ISO 31000.

La Central Hidroeléctrica Paute Molino, a la cual se toma como base para la presente tesis es la más grande del país (Hidropaute, 2013) y en vista de que la mayoría de centrales hidroeléctricas con turbina tipo Pelton están conformadas por los mismos principios de funcionamiento así como los mismos sistemas pero con los componentes o elementos de acuerdo a su grado de tecnología.

Los riesgos que se pretende realizar es a los sistemas con sus equipos principales de las unidades, estos sistemas están susceptibles a varios riesgos que durante el historial de estos equipos se han venido suscitando, por lo que se realizó una recolección de todos este historial de los distintos elementos.

Lo más importante para el manejo de los riesgos, es el conocimiento de parte del personal técnico ya que de ellos nace los posibles riesgos que tiene cualquier activo del área de mantenimiento, así como el histórico de los equipos o sistemas por fallas ya ocurridas

CAPITULO 1

1 PROCESO DEL MANEJO DE RIESGOS.

1.1 Marco teórico PAS 55.

En el siguiente apartado se pueden definir algunos Términos y definiciones que son útiles para el entendimiento del presente trabajo de tesis, en vista de que se basa en los requerimientos de la PAS 55-1-2008 Gestión de Activos, se toma en el texto las siguientes definiciones:

- **PAS:** Publicly Available Specification (Especificaciones disponibles al Público (BSI, 2008).
- **Activo(s):** Plantas, maquinarias, propiedades, edificios, vehículos y otros elementos que tengan un valor específico para la organización (BSI, 2008).
- **Sistema de información para la gestión de activos:** Sistema para el almacenamiento, procesamiento y transmisión de la información sobre la gestión de activos (BSI, 2008).
- **Plan de gestión de activos:** Un documento que especifica las actividades y recursos, las responsabilidades y escalas de tiempo para implementar la estrategia

de gestión de activos y la entrega de los objetivos de la gestión de activos (BSI, 2008).

- **Sistema de gestión de activos:** Son la política de gestión de activos, la estrategia de gestión de activos, los objetivos de la gestión de activos y el plan o planes de la gestión de activos y las actividades, procesos y estructuras organizacionales necesarias para su desarrollo e implementación continua (BSI, 2008).
- **Acción Correctiva:** Es una acción para eliminar la causa de una no conformidad u otra situación no deseable (British Standards Institute BSI, 2008).
- **Activos o sistemas de activos críticos:** Son activos y/o sistemas de activos que están identificados por tener el mayor potencial para impactar en el logro del plan estratégico organizacional (BSI, 2008).
- **Ciclo de Vida:** Es el intervalo de tiempo que comienza con la identificación de la necesidad de un activo y termina con la puesta fuera de servicio del activo o de cualquier responsabilidad asociada (BSI, 2008).
- **Acción preventiva:** Es cualquier acción para eliminar la causa de una no conformidad potencial u otra situación potencial no deseada. (BS EN ISO 9000:2005, 3.6.4)
- **No conformidad:** Incumplimiento de un requerimiento (BS EN ISO 9000:2005, 3.6.4; BS OHSAS 18001: 2007, 3.11).
- **Proceso:** Conjunto de actividades interrelacionadas o que interactúan entre si transformando los insumos en resultados (BSI, 2008).
- **Gestión de riesgos:** Son las actividades coordinadas que dirigen y controlan una organización en lo relativo al riesgo. (PD ISO/IEC Guía 73:2002, 3.1.7).
- **Peligro:** Condición física o química que puede causar daños a las personas, al medio ambiente y/o a la propiedad (Medina, Gestión de Riesgos Asociados a Mantenimiento, 2014).
- **Riesgo:** La posibilidad de causar pérdidas o daños a las personas, al medio ambiente y/o a la propiedad como consecuencia de la ocurrencia de sucesos no deseados. (Medina, Gestión de Riesgos Asociados a Mantenimiento, 2014)

Comprender lo que es PAS 55 nos da una visión para poder aplicar, por lo que se realiza un resumen; estas PAS 55 son especificaciones (requerimientos) que están disponibles al público para Gestionar los Activos de las empresas.

Que es un sistema de Gestión de Activos.- Son Actividades coordinadas, sistemáticas y prácticas a través de las cuales una organización gestiona óptima y sosteniblemente sus activos y sistemas de activos, el desempeño asociado, riesgos y gastos durante su ciclo de vida con el propósito de lograr un plan estratégico organizacional (BSI, 2008). La Gestión de Activos es para la toma de decisiones correctas y oportunas durante la adquisición, operación mantenimiento y disposición final de los activos que involucra la optimización de dichos procesos.

Su objetivo es disminuir al mínimo el costo del ciclo de vida de los activos, considerando otros factores críticos tales como el riesgo o la continuidad del negocio. Todo este proceso exige la colaboración interdisciplinaria para conseguir la mejor relación sostenibilidad de calidad – precio en la selección, diseño, adquisición, operaciones, mantenimiento, renovación, descarte o eliminación de la infraestructura física que incluye los equipos de una empresa.

Objetivos de gestión de activos (BSI PAS 55:2008):

- a) Resultados o logros específicos y medibles requeridos del sistema(s) de activos para implementar la política de gestión de activos y la estrategia de gestión de activos.
- b) Nivel detallado y medible del desempeño o condición requerida de los activos; y/o
- c) Resultado o logro específico y medible del sistema de gestión de activos.

El mantenimiento eficiente es un componente básico en la aplicación efectiva de la Gestión de Activos cuando se utilizan en forma óptima los recursos físicos como el Talento Humano. Este mantenimiento es la parte esencial que soporta la gestión integral y confiable de los activos físicos de la empresa a lo largo de su ciclo de vida.

El desarrollo de esta especificación PAS 55 ha sido dirigido por el IAM (Instituto de Gestión de Activos) en colaboración con el British Stándar Institute y otras organizaciones. Esta PAS 55 no debe ser considerada una Norma Británica, ya que como se dijo anteriormente es una Especificación de Disponibilidad al Público.

Esta PAS 55, consta de dos Partes Publicadas:

- Parte 1: Requirements Specification.
- Parte 2: Implementation Guide.
- Última edición: Noviembre del 2008.

Los elementos fundamentales en que se basa la PAS 55 para la Gestión de Activos (BSI, 2008), se explica en el siguiente Figura 1.1

- Holístico: El sistema debe ser multi-disciplinario y ver todos los puntos de vista.
- Sistemático: Se debe aplicar de manera rigurosa.
- Sistémico: Los activos se deben cuidar desde un punto global.

- Basado en riesgo: La evaluación de riesgo debe estar presente en todas las decisiones y planes.
- Optimo: Métodos claros.
- Sustentable: Debe cubrir el ciclo de vida considerando desde el diseño hasta el retiro u opciones de renovación.
- Integrado: Todo el personal involucrado de la empresa.



Figura 1.1 Principios y atributos Claves
Fuente: BSI PAS 55:2008.

La estructura que mantiene la PAS 55 y es aplicable al mantenimiento, se puede ver en el siguiente figura 2. En la que se observa el ciclo de Planear-Ejecutar-Verificar-Actuar que es la mejora continua.

El sistema de gestión para mantenimiento, se refiere a la manera que se especifican, controlan las actividades para cumplir con los objetivos o planes de las empresas, normalmente se basa en el círculo PHVA (Planificar, Hacer, Verificar y Actuar), para este círculo PAS 55 nos ayuda con un mecanismo valioso para asegurar los principios de la planificación total del ciclo de vida, gestión de riesgo, costo/beneficio, enfoque al cliente, etc. La idea es que sea implementado dentro del trabajo diario del mantenimiento, operaciones y proyectos de las empresas.



Figura 1.2 Estructura PAS 55
Fuente: BSI PAS 55:2008

PAS 55 tiene algunas características para el mantenimiento dentro de sus 28 requerimientos como son:

- Es aplicable a todo sector industrial.
- Gestión de Activos no recomienda ninguna practica ni tecnología particular
- Trata como integro los tres pilares (Mantenimiento, Operación e Ingeniería) bajo una misma visión.
- No trata de minimizar costos o riesgos o maximizar el desempeño, se debe considerar de manera óptima el costo, riesgo y desempeño.
- Se debe considerar el ciclo de vida total desde la concepción de los activos hasta su desincorporación/renovación.

La ISO 31000 es una normativa de gestión del Riesgo, la cual se integración de la cultura y a las prácticas del quehacer diario y adaptarse a los procesos, que en este caso es al área de mantenimiento mecánico. Se han tomado algunos requerimientos de esta normativa para realizar la gestión de riesgos en los activos del mantenimiento mecánico.

1.2 Diagrama de Proceso de Riesgo.

De los 28 requisitos que presenta la PAS 55:2008 para la Gestión de Activos; la presente Tesis nos concentraremos en uno de los principios clave de la PAS 55 que es el “Basado en el Riesgo” y especialmente el numeral **4.4.7 Gestión de Riesgo**, el cual va ser aplicado a los activos de Mantenimiento Mecánico de las Unidades de Generación de la Central Paute Molino.

Podemos ver el primer requerimiento del **Manejo del Riesgo** en los activos, el cual se encuentra numerado como 4.4.7 Gestión de riesgo y en su apartado 4.4.7.1 Procesos de manejo de riesgos. Nos indica que *“La organización deberá establecer, implementar y mantener procesos y/o procedimientos documentados para la identificación y la evaluación continua de riesgos relacionados a los activos y a la gestión de activos, y la identificación e implementación de las medidas de control necesarias a través de los ciclos de vida de los activos”*. (BSI, 2008)

Para entender mejor lo que es el manejo del riesgo, nos referimos a lo que nos presenta la Norma ISO 31000, acerca de la apreciación de los riesgos (Identificación, Análisis y Evaluación de los riesgos), que se simplifica en el siguiente diagrama (Figura 1.3).

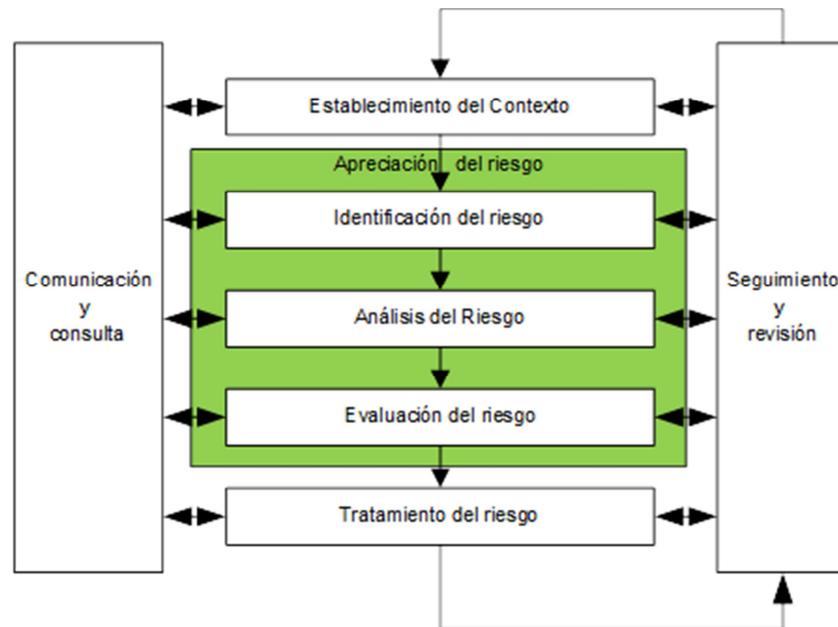


Figura 1.3 Proceso de Gestión de Riesgo.
Fuente: Norma ISO 31000 (ISO 31000, 2010)
Elaborado por: Autor

Una pequeña explicación se presenta de cada uno de los componentes del proceso de manejo de los riesgos.

- **Comunicación del Riesgo.** Las comunicaciones ya las consultas con las partes interesadas externas e internas se deberían realizar en todas las etapas del proceso de gestión del riesgo
- **Apreciación del Riesgo.** La apreciación del riesgo es el proceso global de identificación de análisis y de evaluación del riesgo.
- **Identificación del Riesgo:** Proceso para localizar, listar y caracterizar los elementos del riesgo.
- **Estimación/Análisis del riesgo.** Proceso usado para asignar valores de probabilidad y consecuencias de un riesgo,
- **Evaluación del Riesgo.** Proceso usado para comparar el riesgo estimado contra un criterio de riesgo para determinar la importancia del nivel de riesgo.
- **Tratamiento o Gerencia del Riesgo.** Actividades coordinadas y dirigidas al control y organización con respecto al riesgo.
- **Seguimiento del Riesgo.** El seguimiento y la revisión debería planificarse en el proceso de tratamiento del riesgo y someterse a una verificación o vigilancia regular. Esta verificación o vigilancia puede ser periódica o eventual.

Las responsabilidades del seguimiento y de la revisión deberían estar claramente definidas.

1.3 Metodología para el manejo del riesgo. (Pasos del Proceso).

Como se observa en el Figura 1.3, existe un intercambio de información entre las distintas etapas de la gestión de riesgo por lo que es una integrante del sistema de a gestión, se integra a las prácticas diarias, y la PAS 55:2008 da lineamientos para poder desarrollar la metodología más adecuada con respecto a los riesgos en las centrales hidráulicas que tienen turbinas tipo pelton.

Para determinar mejor la mejor metodología para análisis del riesgo de un activo de una central hidroeléctrica, la PAS 55 nos da pautas como:

- Ser proporcional al nivel del riesgo que se esté considerando;
- Definirse con relación a su alcance, para asegurar que sea proactiva.
- Aportar formas para clasificación de riesgos:
- Ser consistente con la experiencia operacional;
- Aportar para el monitoreo de las acciones requeridas.

El presente trabajo, se va ir desarrollando de acuerdo a lo que sea necesario (formatos, procedimientos, etc.), esto para cumplir con las recomendaciones de la metodología de la PAS 55, que se pretende implementar en el área de mantenimiento mecánico, lo cual como se indicó anteriormente puede ser la base para las áreas de mantenimiento mecánico de las centrales hidroeléctricas con turbina tipo pelton.

En un inició como ejemplo se enfoca en la Figura 1.4 una matriz de decisión del riesgo, en la cual se evalúa el riesgo de la falla, que calculado como el producto de la probabilidad de la falla por la consecuencia de la falla.

MATRIZ DE DECISIÓN DEL RIESGO

PROBABILIDAD	<i>Muy probable</i>	5	5	10	15	20	25
	<i>Probable</i>	4	4	8	12	16	20
	<i>Ocasional</i>	3	3	6	9	12	15
	<i>Remoto</i>	2	2	4	6	8	10
	<i>Improbable</i>	1	1	2	3	4	5
				1	2	3	4
			<i>Leve</i>	<i>Menor</i>	<i>Moderada</i>	<i>Mayor</i>	<i>Severa</i>
CONSECUENCIAS							

	<i>Riesgo Muy Grave</i>
	<i>Riesgo Grave</i>
	<i>Riesgo leve</i>

Figura 1.4 Matriz de decisión del riesgo
Fuente: Modulo de implementacion de gestion activos (UDA)
Elaborado por: Autor

Para llegar a esta tabla o matriz de decisión del riesgo se debe cumplir un enfoque sistemático de paso a paso en el manejo del riesgo en los activos del mantenimiento

mecánico de la central hidroeléctrica. Tal como nos indica el numeral **4.4.7.3** Pasos del proceso de la PAS 55:2008 esto es:

- **Clasificar activos y definir su alcance:** Preparar una lista de sistemas de activos y sus componentes.
- **Identificar riesgos creíbles:** crear una tabla de eventos potenciales y sus causas.
- **Identificar los controles de riesgo:** que existan (o que estén propuestos para los activos y las actividades planificadas).
Se debe tomar en cuenta para el control de riesgos de acuerdo a la siguiente jerarquización:
 - Eliminación;
 - Sustitución;
 - Controles físicos
 - Señales/advertencias y/o controles administrativos de procedimientos.
- **Determinar el nivel de riesgo:** estimar la probabilidad y las consecuencias para cada evento potencial de la falla.
- **Determinar la tolerabilidad de los riesgos:** decidir si los controles existentes son suficientes para mantener los riesgos bajo control.

Es importante aclarar que para cada industria, proceso o sistema particular que se estudie, debe establecer claramente lo que se considera riesgo intolerable y riesgo tolerable, donde se podrá realizar una matriz del riesgo de acuerdo al proceso.

Podemos decir que la norma ISO 31000 es un buen referente, para realizar la apreciación del riesgo, según el proceso de gestión propuesto (Figura 1.3).

CAPITULO 2

2 IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA.

2.1 Contexto operacional

La Central Hidroeléctrica Paute Molino a la cual se toma como referente o base para la presente tesis; está ubicada en el límite de las provincias de Cañar, Azuay y Morona Santiago, a 140 Km. de Cuenca, capital de la provincia del Azuay. El proyecto aprovecha el caudal del río Paute, cuyas aguas se precipitan en el sector denominado Cola de San Pablo en un recorrido de 13 Km., produciendo un desnivel de 657 m.

En la actualidad aporta en un promedio del 37% de energía eléctrica al país, esta central fue construida en varias etapas la primera denominada **Fase AB** en la cual se realizó toda la presa Amaluza así como casa de máquinas que consta de 5 Unidades de Generación con turbina tipo Pelton, la segunda etapa consta de la **Fase C** 5 Unidades de Generación con turbina tipo Pelton, Por lo cual tiene una potencia instalada en la actualidad de 1100Mw.

Las 10 Unidades de Generación eléctrica con sus transformadores están construidas bajo una montaña en una caverna subterránea de 184 metros de longitud, 23.4 metros de ancho y 42.5 metros de altura (Hidropaute, 2013)

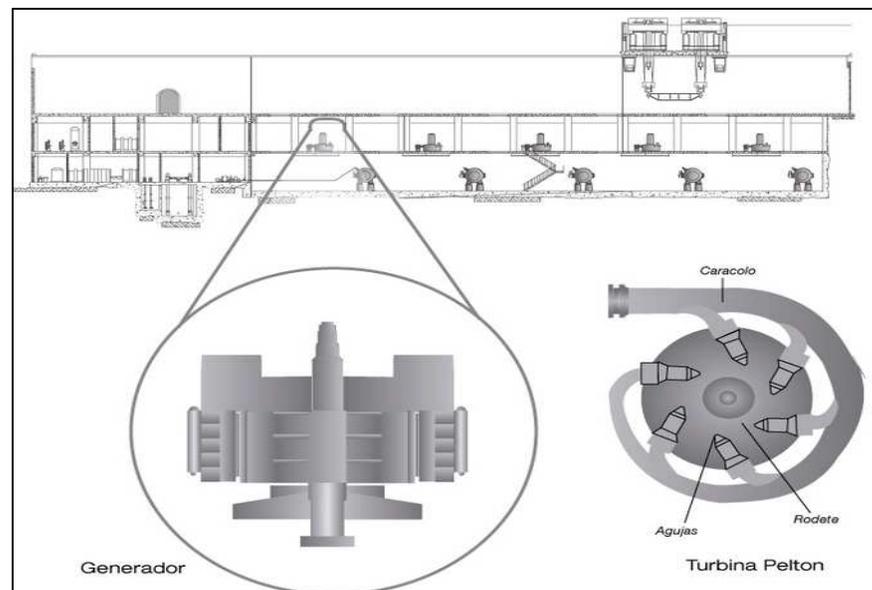


Figura 2.1 Esquema de Unidad de Generación

Fuente: Web:Celec/Hidropaute

Cada unidad de generación consta principalmente de un generador principal, de una turbina tipo pelton, transformador principal y de sistemas auxiliares.

2.2 Clasificación de los activos.

Con la base de cómo se considera los distintos sistemas de las unidades de generación de la Central Molino; adelante se muestra como están divididos. Los sistemas de la unidad de generación nos ayuda en el correcto funcionamiento de esta, los sistemas más importantes son:

- 1 Válvula Esférica.
- 2 Turbina Hidráulica (Pelton)
- 3 Acumulación y bombeo
- 4 Generador
 - Cojinete Combinado
 - Inyección de alta presión
- 5 Transformador principal
- 6 Sistema de agua de enfriamiento
- 7 Ventilación de la Unidad (B y C)
- 8 Ventilación de la excitación.
- 9 Frenos y gatos.

En la figura 2.2 se puede ver la representación esquemática de como está establecido el esquema de las ISE (Instalaciones, Sistemas y Equipos), lo que permite una clara identificación de cada uno de los componentes que conforma una unidad de generación hidroeléctrica. Todo este sistema se maneja en un software de mantenimiento donde se encuentra detallado las actividades del mantenimiento que se realiza cada cierto tiempo de acuerdo al cronograma general de planificación de los mantenimientos preventivos.

La mayoría de actividades que se realizan en los sistemas son limpiezas de filtros, revisiones generales, pruebas de funcionamiento así como pruebas no destructivas (Tintas penetrantes) y de vibraciones en los equipos rotativos.

En la figura 2.2 que se muestra, tiene el afán de dimensionar el trabajo, en el cual se va a desarrollar la apreciación de los riesgos según los estándares de PAS 55, en la cual muestra una guía que nos ayuda para valorar el riesgo.

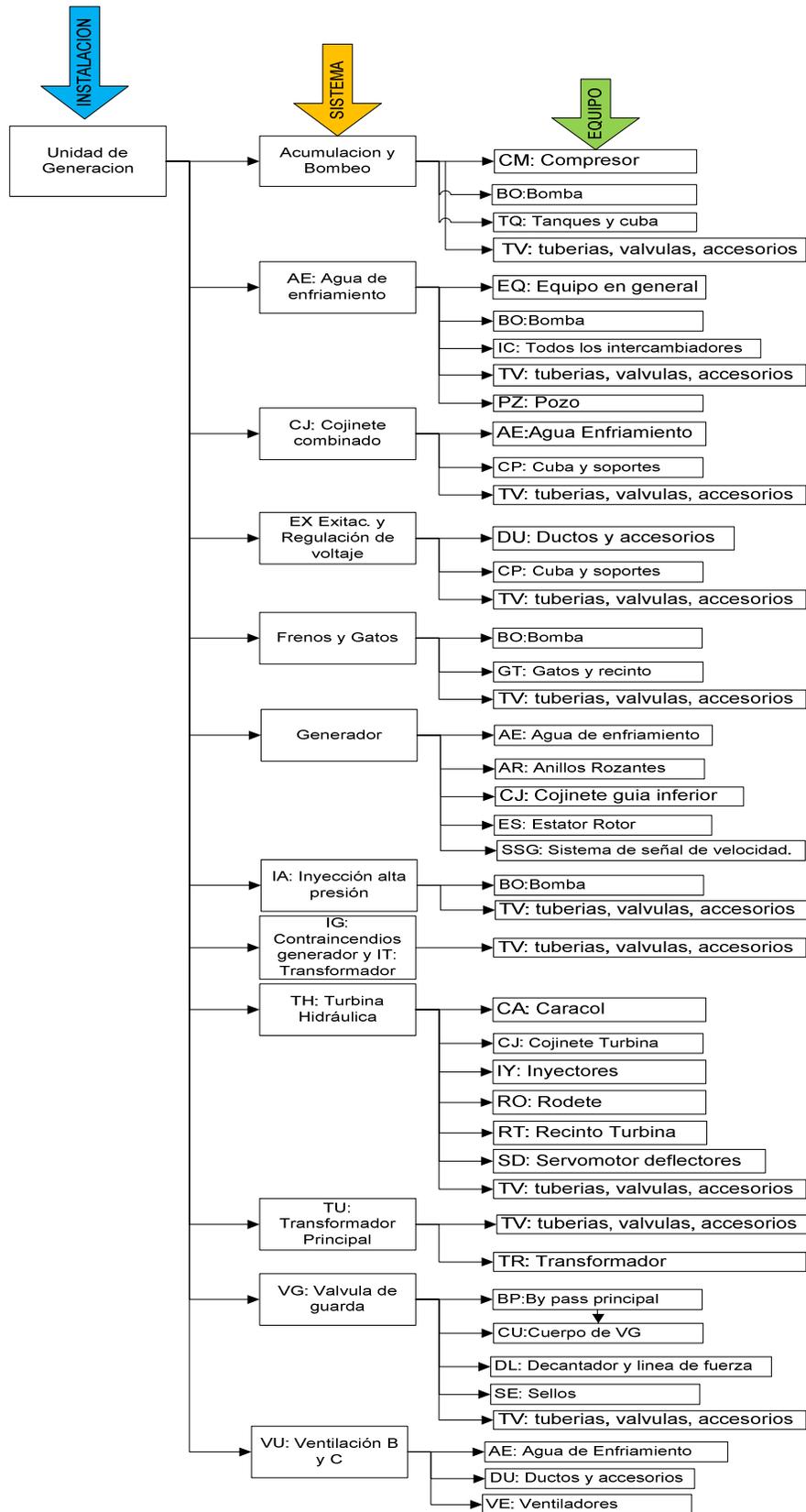


Figura 2.2 Esquema ISE

Fuente: Manual de la Central Hidroeléctrica Paute

Elaborado: Autor

2.2.1 Válvula esférica.

La válvula esférica es el elemento de protección e interconexión entre la tubería de presión o conducto forzado y el caracol, el cual se conecta con la turbina tipo Pelton, la turbina está diseñada para trabajar con agua a presión (nominal) de 66kg/cm² (Inecel, 1990).

La válvula esférica trabaja en posición abierta o cerrada, asegurando en el primer caso un flujo continuo con el mínimo de pérdida y en el segundo caso una estanqueidad total hacia el lado de la turbina. La válvula es de tipo rotativo, accionada por un servomotor hidráulico que le da un giro de 90°. Está dotada de dos sellos móviles aguas arriba y aguas abajo, que garantizan la estanqueidad de la válvula.

El control de apertura y cierre de la válvula se lo realiza a través de un circuito de aceite a presión, proveniente del sistema de acumulación y bombeo (28Kg/cm²) y el comando de apertura y cierre a través de un circuito de agua a presión (66Kg/cm²) que proviene de una derivación de la tubería de presión antes de la válvula esférica.

COMPONENTES	DESCRIPCIÓN (Funcionalidad)
Cuerpo Externo	Es de acero fundido, dividido en dos unidades, con pies de apoyo fijado en una base de hormigón armado por medio de pernos y planchas de anclaje. El acople con la tubería del distribuidor es por medio de una brida fija y con el caracol, es a través de una brida deslizable.
Bridas de Acople	El acople con la tubería del distribuidor es por medio de una brida fija y con el caracol, es a través de una brida deslizable.
Purga de cuerpos	Una válvula de aireación de ½", en la parte superior y de dos válvulas de purga de sedimentos en la parte inferior (compuerta y aguja).
Sellos aguas arriba y abajo	Son los elementos que garantizan la estanqueidad de la válvula, de tipo corredizo. Están accionados por agua a presión. Material acero inoxidable. En cambio el sello de aguas arriba es de operación manual a través de la válvula de paso; además este sello es de tipo auto clave.
Rotor (Casco)	Es una esfera de acero fundido, con dos puntos de apoyo y una perforación media de diámetro 1.4m, que se acopla al diámetro de la tubería. En el rotor se encuentran los asientos fijos de acero inoxidable, que son dos anillos de sellado.
Servomotor	Es un pistón de doble efecto y de tipo diferencial operado con agua a alta presión; Su carrera produce un giro de 90° en el rotor de la válvula esférica. La apertura es por diferencia de fuerzas en las cámaras, ya que las presiones son iguales. El cierre es por diferencia de presión, ya que la cámara posterior se pone a la descarga.
By – Pass (Válvula de Compuerta V4 y V4'prima)	Es una tubería con dos válvulas (V4 y V4') que conecta el conducto forzado con el caracol a través de una válvula de accionamiento hidráulico llamada válvula hongo o de paso. El by pass es utilizado para igualar presiones después de la válvula esférica.
Válvula de Aireación	Cuando se produce el llenado del caracol, es necesario desalojar el aire allí existente, esto se hace a través de ésta válvula que trabaja por diferencia de presiones y además dispone de un sistema de control de cierre hidráulica para evitar operaciones bruscas.

Válvulas auxiliares y de control	Son las encargadas de las precondiciones y condiciones para la apertura y cierre de la válvula esférica
----------------------------------	---

Tabla 2.1 Componentes Válvula Esférica.**Fuente:** Manual de la Central Paute**Elaborado:** Autor

2.2.2 Turbina tipo Pelton.

En las Centrales Hidroeléctricas el elemento mecánico imprescindible para la transformación de energía mecánica a energía eléctrica es la turbina; estas son máquinas que transforman en rotación la energía cinética de traslación que reciben desde la toma de agua del embalse. Existen tres tipos de turbinas: de impulsión (acción) o Pelton, de reacción o Francis y de propulsión o Kaplan.

Dentro de las turbinas tipo Pelton se tiene con eje vertical y horizontal. Su uso depende de las condiciones en las que se va a trabajar, para sitios en que el agua no es pura, es recomendable turbinas con eje vertical. En turbinas Pelton con eje horizontal la eficiencia es de alrededor del 90%, mientras que en las de eje vertical es de aproximadamente 91.5% (Inecel, 1990). El uso de inyectores múltiples en las unidades verticales reducen las pérdidas debido al juego (tolerancia) del rodete.

La turbina pelton consta esencialmente de una rueda provista de álabes que tienen la forma de doble cuchara, sobre las cuales, con la ayuda de los inyectores se lanza un chorro de agua a alta velocidad el cual comunica un par mecánico que es aprovechado por el eje del rodete.

En la Central Paute Molino se tiene la turbina, tipo Pelton de eje vertical, con rodete alimentado por 6 inyectores, fue proyectada para aprovechar el gran salto de altura (presión) y construida para satisfacer las siguientes características de operación.

Denominación	Dato técnico			
	Pelton Eje Vertical			
Tipo				
Salto neto (m)	667	657	649	595
Caudal (m ³ /s)	20,79	20,62	20,49	19,62
Potencia (MW)	125,079	122	119.78	104.803
Velocidad nominal (RPM)	360			
Velocidad de embalamiento (RPM)	655			
Sentido de rotación	Horario para un observador que mire desde lo alto.			
Cota media de rodete:	1323,00 msnm			
Rendimiento	91.83%			
Material de rodete	Acero Inoxidable 13%Cr4%Ni			
Numero de inyectores	6 por cada rodete.			
Numero De Turbinas en la Central:	10c/u ----Fabricantes: Riva, Tosi, Ansaldo.			

Tabla 2.2 Características de la Turbina**Fuente:** Manual de la Central Hidroeléctrica Paute**Elaborado:** Autor

COMPONENTES	DESCRIPCIÓN (Funcionalidad)
Rodete	El rodete es el elemento que al girar por la acción de un chorro de agua a alta velocidad genera potencia al eje. El principio de funcionamiento del rodete está basado en que el inyector orienta el chorro de agua a alta velocidad, el cual toma contacto con los álabes, los cuales divide el chorro de agua por su forma de doble cuchara para impulsar al rodete y este gire. Luego de realizar el trabajo el agua sale y fluye por la descarga de la turbina. Material: Acero inoxidable 13%Cr4%Ni , Diámetro exterior: 3630 mm Diámetro del chorro: 200 mm Diámetro de incidencia del chorro: 2950 mm Número de álabes: 22 cucharas fundidas íntegramente en el disco central. Acoplada a la brida terminal del eje de la turbina por medio de 16 pernos.
Inyectores (6)	El inyector es el elemento encargado de formar el chorro que regula el caudal al variar la carrera de la aguja que impactará sobre las cucharas del rodete, presenta un perfil hidrodinámico, tal que el chorro a su salida debe ser lo más estable y perfecto posible ya que cualquier deformación que este incidirá notablemente en el desgaste de las cucharas por efecto de la cavitación. Diámetro tubo del inyector: 750 mm Carrera nominal máxima de la aguja: 130 mm
Válvula reguladora DCSP	La apertura de la aguja es comandada por aceite a presión a través de la DCSP (una para caja inyector ubicada en el recinto acople turbina-generador) y el cierre es en base a la fuerza ejercida por un par de resorte (ubicado en el interior del inyector) que actúan cuanto la presión es 0(cero) en el lado de apertura. Rango de regulación es entre 0 y 28 Kg/cm ² .
Cojinete guía turbina.	El cojinete de tipo auto lubricado en baño de aceite, con 8 patines autororientables, está montado en la parte superior de la carcasa Pelton y sirve de guía en la rotación de la turbina. Para mantener la temperatura tanto del aceite como de los segmentos en valores normales en el interior de la cuba se ha montado un serpentín de cobre por el que circula agua proveniente del sistema de enfriamiento. Volumen aceite en cuba: 2450 lt. Tipo de aceite: Aceite hidráulico Caudal de agua de refrigeración: 150 l/min Material: Segmentos: Acero con recubrimiento antifricción MB 85 (Babbitt)
Eje	El Eje es el elemento que transmite al generador la potencia producida por la turbina, el eje está hecho en una sola pieza tiene un agujero de 150 mm Diámetro nominal: 780 mm Diámetro de las bridas de acoplamiento: 1370 mm Largo total: 3890 mm Material: Acero forjado Fe 510 UNI 7746
Tubería en espiral o caracol:	El Caracol transforma la energía de Presión que tiene el agua antes de llegar al caracol en energía cinética la velocidad va aumentando mientras va variando la sección de la tubería, El Caracol constituye la tubería de conexión entre la Válvula Esférica y los seis inyectores, pero sumergida en el mismo hormigón. Presión máxima de trabajo :66 Kg/cm ² Material de las virolas: Acero al carbono
Carcasa y ductos de ventilación.	La carcasa consiste en una estructura metálica de chapa de acero de forma cilíndrica que cubre todo el recinto, evitando así la dispersión del agua al salir del rodete, protegiéndose de esta manera todo el recinto de la turbina. Diámetro interno de la caja: 7500 mm Material de la chapa: Acero al carbono
Rejillas quiebrachorro	Existe la rejilla que permite partir el chorro de agua que sale del rodete, constituido por seis sectores sostenidos externamente por medio de soportes soldados al revestimiento metálico e internamente por medio de un soporte anular empotrado en el pilar central.

Tabla 2.3 Componentes de la turbina

Fuente: Manual de la Central Hidroeléctrica Paute

Elaborado: Autor

2.2.3 Sistema de acumulación bombeo y regulación

La regulación de la velocidad del rotor se lo hace controlando el giro del rodete a 360 RPM por el posicionamiento de los inyectores. Por tanto cada unidad tiene un sistema de

regulación independiente que a más de controlar la posición de las agujas está dotado de varias protecciones que garanticen la operación normal de la unidad y el control en caso de falla.

La generación de presión necesaria para actuar las agujas, deflectores y válvula esférica se encuentra en el sistema de acumulación y bombeo lo cual incluye los elementos constitutivos del sistema de regulación mecánica. Este sistema es una combinación de transmisiones hidráulicas y mecánicas que en conjunto cumplen con el trabajo de regulación.

COMPONENTES	DESCRIPCIÓN (Funcionalidad)
Dos grupos motor bomba	Pueden trabajar individualmente o en conjunto, dependiendo de la demanda de caudal y/o presión.
Válvula de arranque	Permite la entrada de la bomba sin carga llamada válvula de arranque.
Válvula de seguridad	Válvula de seguridad para cada bomba calibradora a 31 Kg/cm, esto para prevenir una sobrepresión en caso de cierre de la válvula VQPR 1/2.
Presóstatos	Dan la señal de bombeo en operación normal. Calibración cierre contacto 14 Kg/cm ² abre contacto 10 Kg/cm ² .
válvulas de retención	Tres válvulas anti retorno una para cada bomba y otra para la entrada del tanque de acumulación, con la finalidad de independizar el circuito de cada bomba y con fines de mantenimiento.
Válvula reguladora de presión	Válvula limitadora de presión común para los dos circuitos y que permite mantener la presión en 28 Kg/cm ² en el tanque acumulador.
Tanques de presión	Contiene solamente aire comprimido (FASE AB) y que sirve de compensación para el segundo que contiene aire aceite (FASE AB Y C) y desde el cual se alimenta aceite a presión a todo el circuito de regulación.
Válvula de seguridad de tanque.	Cada tanque tiene una válvula de seguridad por sobrepresión calibrada a una presión superior de la nominal.
Compresor de aire.	Funciona dependiendo de la presión y/o caudal del sistema; cada unidad tiene un compresor pero existe la alternativa de utilizar el compresor de otra unidad en caso de falla del propio (FASE AB).
Válvulas de control corte.	La salida de aceite del tanque de presión para el circuito, está controlado por válvula de corte comandada por una válvula solenoide.
Tanque acumulador	Todo el aceite de drenaje de las diferentes válvulas, retorna a un tanque sin presión, el mismo que tiene un serpentín de enfriamiento y filtros antes de la toma de las bombas. El cual dispone de filtros de aire e indicadores de nivel de aceite.
Intercambiador de calor	Este sirve para mantener la temperatura del aceite en el tanque acumulador alrededor de 45 a 48°C.
Unidad transductor	Este es el dispositivo que transforma la señal eléctrica de salida del gobernador en un desplazamiento proporcional. Está localizado en el tanque de la unidad de bombeo y opera directamente en la válvula principal de distribución de presión DC
Relé Hidráulico	Amplificador de fuerza, la presión viene a través de la válvula reguladora (10Bar).
Válvula de distribución principal (Dc)	Regula la presión entre 0 y 28Kg/cm ² y comanda directamente la posición del servomotor de los deflectores.
Válvula de paro de emergencia (iQc1):	Controla el paro de aceite al servomotor desde la válvula distribuidora.
Válvula de sobre velocidad 12i	Opera cuando existe una sobre velocidad mayor a 125%
Servomotor de deflectores	Es un pistón de doble acción, cuya posición depende de la presión variable que viene de la válvula DC(0 a 28 Kg/cm ²) su carrera máxima es de 230 mm, y está conectado a través de varillaje con los seis deflectores de los inyectores. Además comanda la leva del control de posición agujas.
Controles de	Existen controles para verificar la operación normal de los distintos niveles de

presión y nivel	aceite así como presión tanto en operación o parada la unidad de generación.
-----------------	--

Tabla 2.4 Componentes del Regulador hidráulico mecánico

Fuente: Manual de la Central Hidroeléctrica Paute

Elaborado: Autor

2.2.4 Generador principal.

Generador Sincrónico trifásico, de eje vertical proyectado para funcionamiento continuo. Los generadores Fase "AB" son de fabricación Alemana "SIEMENS". Los generadores Fase "C" son de fabricación Italiana "ANSALDO- MARELLI". Se encuentran ubicados en el nivel 1329msnm de Casa de Máquinas denominado Piso de Generadores o Barril Generador.

Proyectado con cojinete empuje y guía superior colocados por encima del rotor y cojinete guía inferior, por debajo del rotor. El generador se acopla directamente a la turbina que está debajo del mismo y dotada de su respectivo eje de acoplamiento.

Característica	FASE AB	FASE C
Potencia:	111 MVA	127.7 MVA
Tensión Nominal:	13.8 KV	13.8 KV
Corriente Nominal	5160 A	5342.6 A
Factor de potencia (cos phi)	0.9	
Frecuencia:	60Hz	
Número de fases	3	
Velocidad de rotación	360RPM	
Sobre velocidad máxima	655 RPM	
Conexión estator:	Estrella	
Clase de aislamiento	B	F
Temperatura de Funcionamiento	60 °C	
Número de polos (rotor)	20	

Tabla 2.5 Características Generador

Fuente: web celec/hidropaute

Elaborado: Autor

COMPONENTES	DESCRIPCIÓN (Funcionalidad)
Estator	Conexión bobinado: estrella (6 terminales). Tipo de bobinado: escamado Clase de aislamiento: F bobinado Temperatura máxima: 132 °C bobinado
Carcasa	La carcasa del generador construida con láminas de acero de gran resistencia, ha sido soldada eléctricamente con procedimientos habituales y ha sido proyectada para cumplir las siguientes funciones: Sostener el paquete magnético y los bobinados alojados en el mismo. Sostener la viga de empuje superior con el cojinete de empuje y guía. Sostener los seis radiadores de refrigeración de aire del sistema de ventilación. Transmitir a las cimentaciones las cargas estáticas
Paquete Magnético	Cada uno de los paquetes está compuesto por laminillas magnéticas en forma de segmentos semicirculares con los perfiles exterior e interior moldeados, esto permite, una vez empaquetados los segmentos, obtener sobre la superficie exterior del paquete la 48 ranuras necesarias para alojarlos tirantes de prensado y sobre la superficie interior que contiene el bobinado del inducido (bobinado estatorico).
Bobinado Estator	El bobinado estator es de tipo escamado (imbricado) a doble estrato y paso

	corto. La conexión de las fases es en estrella (Y) y la bobina está formada por dos semi-bobinas cuyos extremos esta acoplados y soldados después del montaje del bobinado.
Sistema de refrigeración aire – agua (Radiadores):	El sistema de refrigeración aire - agua a pesar de su simplicidad constructiva, cumple en el contexto del buen funcionamiento del generador un papel importante, en efecto tiene la función de disipar una parte del calor producido por el equipo enfriando el aire del interior del generador por convección. Consta de 6 radiadores alrededor del estator
Aspas del Rotor	El aire es movido por unas aspas orientables adecuadamente que poseen los ventiladores superior e inferior que van adosados el rotor. El principio se basa en enfriar el aire caliente que sale de la máquina. El calor del aire se transmite al agua de refrigeración, la cual es evacuada manteniendo una circulación constante.
Sistema de frenado y levantamiento	Sirve para frenar el generador cuando se produce una parada programada. Consta de 6 pistones neumáticos para el frenado y cuando se requiera levantar el rotor es inyectado aceite por una válvula de 3 vías.
ROTOR	
Eje o Árbol	El cuerpo central del rotor está constituido por el eje en acero forjado, tiene en el extremo inferior una brida para el acoplamiento al eje de la turbina. En el extremo superior del eje, se ha instalado. El manguito para el cojinete de guía superior y los anillos rozantes.
Polos	Los polos están constituidos por laminillas de acero con elevadas características mecánicas y magnéticas.
Bobinas de los polos	Están conectadas en serie entre ellas con conexiones constituidas por placas de cobre unidas mediante tornillos.
Anillos rozantes o colectores	La corriente de excitación se lleva al bobinado inductor (rotor) por medio de los anillos colectores. El sistema está compuesto de 32 porta escobillas y su respectiva escobilla
Viga Superior	La viga superior es la estructura que, gracias al cojinete combinado superior, sostiene y guía el grupo rotor durante su rotación. Está constituida por una parte central, que actúa como depósito del aceite (cuba) de lubricación del cojinete combinado, y por seis brazos radiales que se apoyan en la parte superior de la carcasa. La parte central de la viga, que es la sede de las partes activas del cojinete combinado y sirve también como depósito del aceite.
Viga o cruceta inferior	La cruceta inferior es la estructura que contiene el cojinete de guía inferior de generador y sostiene los gatos del sistema de frenado y levantamiento. La cruceta está constituida por una parte central, que actúa como depósito del aceite de lubricación del cojinete guía inferior y por seis brazos incorporados a la misma, que se extienden radialmente apoyarse con el piso 1327.7 en las cimentaciones donde han sido colocadas.
Cojinete Guía Inferior	El cojinete guía inferior, está situado en el interior de la parte central de la cruceta inferior. Cojinete posee 12 segmentos ajustables con funcionamiento de tipo hidrodinámico en baño de aceite, estos segmentos están situados radialmente. Para el enfriamiento del cojinete este tiene un enfriador (radiador)
Cojinete Combinado	Consta de patines de soporte guía y empuje combinado, en baño de aceite, se halla montado en la parte interna de la viga superior del generador. El soporte guía es del tipo de patines auto orientables con soporte esférico. El soporte de empuje es del tipo de patines orientables con cámaras hidráulicas para el equilibrio de la carga. El aceite está enfriado por el agua que circula en un cuerpo refrigerante (serpentín).
Equipo de inyección de aceite	Está equipado con equipos para la inyección de aceite en presión entre patines y la cara de rodadura móvil. Con una presión de 120 bar película de aceite de 0.002 a 0.005mm.

Tabla 2.6 Componentes del Generador

Fuente: Manual de la Central Hidroeléctrica Paute

Elaborado: Autor

2.2.5 Transformador principal.

El transformador se encarga de transferir la energía eléctrica de un circuito a otro, sin variar la frecuencia, siendo el enlace común entre ambos circuitos un flujo magnético.

Esta transferencia va acompañada naturalmente de un cambio de tensión, un transformador puede recibir energía y devolver a una tensión más elevada, en cuyo caso se llama transformador elevador, o puede devolver a una tensión más baja, en este caso el transformador es reductor.

El transformador consta principalmente por el núcleo y sus bobinas, las cuales se encuentran al interior de la cuba o tanque del transformador y sumergidas en aceite que sirve de aislante y refrigerante. El aceite es aislante (dieléctrico) porque esta entre las bobinas de distintas fases y refrigerante porque esta en contacto con las mismas.

Al estar en funcionamiento el transformador, circula corriente por sus bobinas las mismas que se calientan, pero al estar en contacto con el aceite, este se calienta por conducción calorífica. Por lo tanto para enfriar al transformador en general, enfriaremos el aceite. La forma de enfriar el aceite es generalmente haciendo circular el aceite por medio de bombas por unos intercambiadores (serpentines) de calor que están en contacto con agua fría que también esta circulando; de esta forma se trasmite el calor del aceite al agua, actuando como refrigerante del aceite. A parte de los intercambiadores de calor también existe el enfriamiento por ventilación forzada (Ventiladores).

En términos generales la función del transformador principal tanto en la fase AB como en la Fase C, es el de elevar el voltaje de 13800 V que es el voltaje de generación a 138.000 V. en la Fase AB, y a 230.000 V en la Fase C, para de esta manera mediante la utilización de cables especiales, transmitir la energía hasta el Patio de Maniobras con menos pérdidas de potencia.

Característica	FASE AB	FASE C
Potencia Nominal	114 MVA	127.7 MVA
Relación de Transformación	13.8KV/138KV +3x2.5%	13.8 Kv
Frecuencia	60 Hz	
Fases	3	
Grupo de Conexiones	Yn d 11	
Tipo de enfriamiento	OFWF	
Potencia	134 MVA	

Tabla 2.7 Características Generador
Fuente: Manual de la Central Hidroeléctrica Paute
Elaborado: Autor

COMPONENTES	DESCRIPCIÓN (Funcionalidad)
Devanados	El transformador se compone de dos devanados, dispuestos a partir del núcleo de la manera siguiente, Devanado de baja tensión ,Devanado de alta tensión
Núcleo	El núcleo está constituido por laminaciones magnéticas con cristales orientados aislados con material denominado cartita (Aislantes)
Sistema de enfriamiento	El enfriamiento del transformador (aceite y devanado) se realiza mediante la utilización de dos intercambiadores de calor con circulación forzada de aceite y de agua. El agua es enviada desde el sistema de agua de enfriamiento del nivel 1322 msnm va por los tubos interiores del

	intercambiador de calor y externamente a estos va el aceite dieléctrico, adicional existen termómetros para la medición de temperatura del aceite y agua. Cuando sale el agua va a un depósito el cual tiene un sensor de flujo
Bombas de aceite	Para la circulación de aceite a través del intercambiador de calor se dispone de dos bombas centrífugas montadas en cada uno de los tubos de entrada de aceite con lo cual se asegura la circulación forzada del aceite al exterior del conjunto de tubos del intercambiador, existe a la salida un sensor de flujo de aceite.
Cambiador de taps	El conmutador de TAPS en vacío (Que hay que maniobrar solo con transformador completamente desconectado del sistema). Se compone esencialmente de un selector de tomas, colocado en el interior del transformador, provisto al exterior de una manija de mando manual ubicada en la parte inferior del transformador, de manera que se pueda maniobrar desde el piso de apoyo del transformador
Relé buchholtz	Estos relés esta provistos de tres elementos móviles un flotador superior, un flotador inferior y un dispositivo sensible a la corriente contraria del aceite, a cada uno de los cuales son conectados los dispositivos de contado eléctrico
Válvula de alivio de presión (seguridad).	El tanque de transformadores por contener un líquido aislante/regularmente (aceite) constituye un recipiente sometido a presión interna, por lo tanto debe estar provisto de una o más válvulas de seguridad, adecuadamente calibradas para actuar al tiempo al producirse sobrepresiones por fallas del transformador como corto circuito u otras causas; dichas sobrepresiones deben ser descargadas inmediatamente a través de estas válvulas de seguridad para evitar daños mayores incluido una deformación o hasta el estallido del tanque, con el consiguiente derrame de aceite y su potencial peligro de incendio
Carcaza	Es la encargada de proteger el núcleo y en su interior se encuentra lleno de aceite dieléctrico que sirve como aislante.

Tabla 2.8 Componentes del Transformador

Fuente: Manual de la Central Hidroeléctrica Paute

Elaborado: Autor

2.2.6 Sistema de agua de enfriamiento de la unidad.

Para el control de la temperatura producida por el rozamiento de los elementos en movimiento se dispone del sistema de refrigeración por medio de agua a través de un sistema de bombas y más dispositivos necesarios, para ello.

Las bombas de agua de la fase AB y C son de eje vertical toman el agua desde un pozo el que dispone de una rejilla con malla de 8 mm. Removible para su limpieza y mantenimiento con un caudal de 450 m³/hora (fase C), también poseen una campana cernidora de succión con malla de acero de 4 mm. La válvula tipo mariposa con actuador de aire comprimido, en la fase AB un ramal alimenta directamente a los radiadores y otro pasa por un filtro dúplex con doble malla de acero. Tanto en la fase AB como en la fase C se puede sacar la arena del pozo de agua de enfriamiento manualmente, colocando las compuertas respectivas.

Para cada intercambiador de calor que tiene la unidad de generación el sistema de agua de enfriamiento envía el caudal necesario que está diseñado para el correcto enfriamiento.

Característica	FASE AB	FASE C
Presión Nominal	3 Bar	3.5 Bar
Capacidad	125 l/s	

Elevación	35 m
Retención	200µm.

Tabla 2.9 Características del SAE
Fuente: Manual de la Central Hidroeléctrica Paute
Elaborado: Autor

COMPONENTES	DESCRIPCIÓN (Funcionalidad)
Bombas de alimentación	Son las encargadas de alimentar al sistema con agua desde una profundidad del pozo de 10m hacia los intercambiadores de calor. Con una velocidad de 1570RPM y una elevación máxima de 38.6m
Filtro dúplex	Se debe recordar antes que nada de la necesidad sustancial de tener un agua relativamente limpia que debe circular por los intercambiadores de calor de los cojinetes, también es necesario puntualizar los requerimientos de un servicio continuo esto es sin interrupción en la operación por lo que se ha recurrido a la utilización de un filtro dúplex que puede trabajar alternadamente gracias al accionamiento de una válvula selectora doble, así mientras él un filtro trabaja el otro puede ser intervenido para los fines de limpieza y mantenimiento. Capacidad máxima de 120m ³ /s
Panel de burbujas fase Ab	Posee como elemento principal al hidrómetro que indica el nivel del pozo de agua en metros con relés auxiliares que dan la señal de nivel normal o nivel bajo para sacar fuera de servicio a las bombas.
Caudalímetros	Son los encargados de verificar la cantidad de agua necesaria para cada sistema, son dispositivos para cada sistema, son dispositivos que funcionan electrónicamente con sensores en cada una de las tuberías de alimentación de agua.
Válvula tipo mariposa o válvula direccional	Aseguran el no retorno del agua cuando el sistema está parado, los cojinetes de estas válvulas no requieren de lubricación lo que habría que revisar el engranaje de accionamiento de la válvula esté bien lubricado.
Tuberías y accesorios	Son los que unen desde las bombas principales hacia los distintos destinos de enfriamiento.

Tabla 2.10 Componentes del SAE
Fuente: Manual de la Central Hidroeléctrica Paute
Elaborado: Autor

2.2.7 Sistema de ventilación de la Unidad (B y C).

Este sistema nos ayuda a mantener una cierta temperatura en el ambiente en los lugares en los que destinan el aire forzado. Para lo cual toma el aire desde el túnel de la galería de ventilación general el cual enfría el ambiente de los tableros de control de la unidad y el otro ventilador tiene un circuito cerrado hacia el cuarto del Transformador.

COMPONENTES	DESCRIPCIÓN (Funcionalidad)
Motores	Es el encargado de dar el movimiento (conductor)
Poleas y bandas	Son los que transmiten el movimiento hacia el ventilador.
Ventiladores	Son los que producen el aire forzado de ventilación para el cuarto del transformador como los tableros eléctricos de control
Radiador	Es el encargado de enfriar el aire.

Tabla 2.11 Componentes de Ventilación By C
Fuente: Central Hidroeléctrica Paute
Elaborado: Autor

2.2.8 Sistema de ventilación de la Excitación.

El sistema de ventilación ayuda a mantener el banco de los tiristores (excita a la unidad en el arranque y operación), con la temperatura adecuada en la cabina eléctrica.

Esta ventilación es con aire forzado que viene de los ventiladores los cuales son conducidos por los elementos de transmisión ya que el movimiento es producido por el motor eléctrico.

COMPONENTES	DESCRIPCIÓN (Funcionalidad)
Motores	Es el encargado de dar el movimiento (conductor)
Poleas y bandas	Son los que transmiten el movimiento hacia el ventilador.
Ventiladores	Son los que producen el aire forzado de ventilación para el cuarto del transformador como los tableros eléctricos de control
Radiador	Es el encargado de enfriar el aire.

Tabla 2.12 Componentes de Ventilación Excitación

Fuente: Central Hidroeléctrica Paute

Elaborado: Autor

2.3 Registros de Riesgos de los activos.

Los registros son un mecanismo común y efectivo dentro de una organización, se debe incluir riesgos importantes relacionados con los activos. El proceso de mantener actualizado y auditar el registro de los riesgos, y debería ser referenciado en la estrategia de gestión de activos (PAS 55:2008).

El monitoreo del registro de los riesgos debe ser constante y revisado por los supervisores de seguridad y el personal del área a la cual pertenece y estos elevan los riesgos identificados.

Para lo cual se desarrolla un formato en donde tiene:

- Título del formato
- Departamento: Mantenimiento Mecánico
- No.: Número secuencial del riesgo.
- Instalación: Unidad de generación que corresponde.
- Sistema: Sistema al cual pertenece el equipo.
- Componente: Equipo o elemento que ha sido identificado con mayor potencial de falla.
- Riesgo: Riesgo que se ha detectado de acuerdo a una adecuada capacitación al personal y se considerara la experiencia que el personal con la experticia ha laborado durante varios años, adicional sobre las fallas que en el historial de las unidades de generación se registran.
- Reportado por: Nombre de la persona responsable que detecto el riesgo o personal que ha hecho una identificación previa.

Este formato se debe llenar por el personal mecánico y revisado por el supervisor el cual será enviado al Jefe del Área, y éste entregara al grupo de análisis del área de mantenimiento mecánico, el cual evaluará y determinará los controles de acuerdo a la matriz de riesgos que debe estar aprobado por el Jefe del Área con el Jefe de Grupo (puede ser el mismo cargo).

2.4 Manejar los riesgos relacionados al activo.

El manejo de riesgos de los activos debería ser llevado a cabo utilizando procesos que sean consistentes con cualquier registro corporativo de riesgos, permitiendo que los riesgos relacionados al activo sean escalonados al registro corporativos donde estos tengan la magnitud suficiente (BSI, 2008).

Lo más importante para el manejo de los riesgos, es el conocimiento de parte del personal técnico, ya que de ellos nace los posibles riesgos que tiene cualquier activo del área de mantenimiento mecánico, adicional podemos tomar el histórico de los equipos o sistemas por fallas ya ocurridas, por lo que se debe realizar un proceso que sea identificado, evaluado y aprobado para poder manejar el riesgo de acuerdo a su importancia. Se debe formar un equipo en el cual se analice cada uno de los riesgos al momento que el Jefe del área de mantenimiento mecánico eleve a conocimiento del grupo de análisis.

El buen manejo del riesgo según como se recomienda registrar en el formato de la Figura 2.4, relacionado a los activos que afecten al área de mantenimiento mecánico y estos riesgos a su vez puede causar la indisponibilidad de las unidades de generación por lo que se vería afectada las partes interesadas (Cenace, País, etc).

2.4.1 Responsabilidades y Políticas

Como se indicó anteriormente lo fundamental es el de formar y validar un grupo de análisis de riesgo en el área de mantenimiento mecánico que dicte las políticas, y este grupo tenga las siguientes responsabilidades que abajo se detalla, así como el personal que labora directamente en el área.

Grupo de análisis:

- Es el encargado de validar y hacer cumplir con la metodología y contexto de la gestión del riesgo que aquí se expone.
- Aprobar los riesgos identificados relevantes, aprobar las medias de control y respuesta.
- Priorizar los riesgos a tratar.
- Definen el tratamiento o control operacional del riesgo. Considerando lo siguiente:
 - Aceptar
 - Evitar
 - Prevenir
 - Reducir
 - Optimizar
 - Tratar como emergencia (riesgo catastrófico).

- Proteger
- Retener
- Transferir
- Combinación de varios.

Responsable y jefe del grupo:

- Hacer que se cumpla la gestión de riesgos en el proceso asignado y actividades que le corresponda.
- Coordina los requerimientos del grupo de análisis.
- Revisar documentación que se realiza.

Personal mecánico.

- Debe tener una cultura de prevención de riesgos que afecten la gestión de riesgos del área mecánica, siendo consciente de sus consecuencias que esto provoque.
- Son los primeros en registrar y aplicar las medidas de control para prevenir, y dar respuestas necesarias cuando se materialice el riesgo.

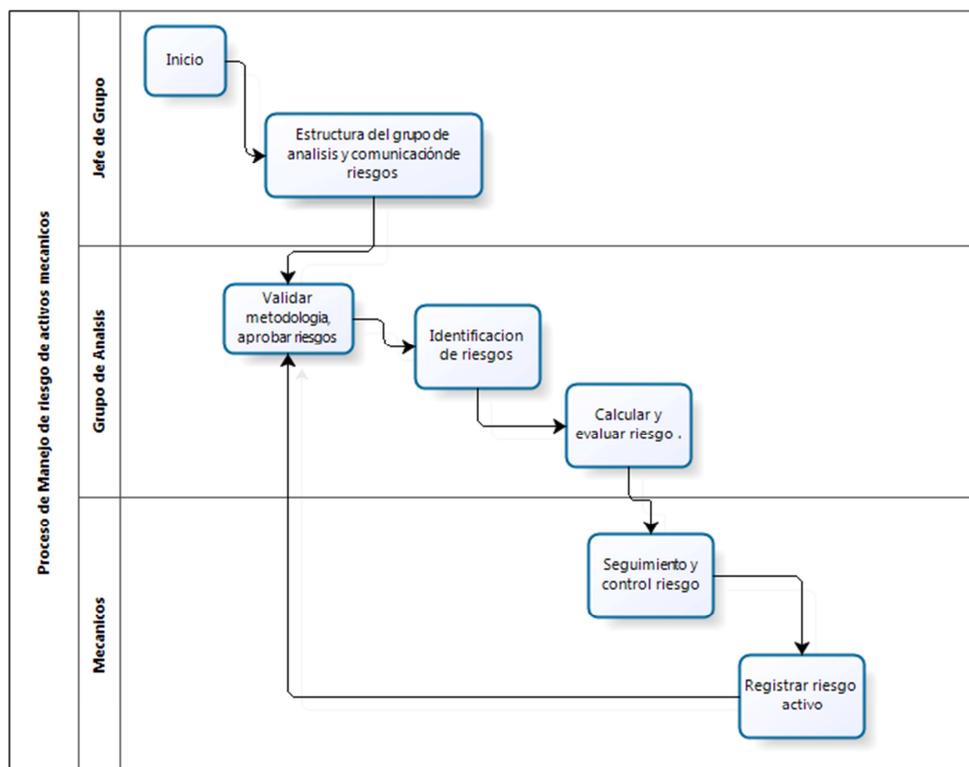


Figura 2.5 Proceso de manejo de riesgo de los activos mecánicos
Elaborado: Autor

2.5 Análisis de la Criticidad del activo.

El concepto de criticidad del activo es una manifestación particular del manejo del riesgo pero el reconocimiento que los activos y los sistemas de activos tienen distinta importancia (valor) o representan diferentes vulnerabilidades para la organización (BSI, 2008).

La criticidad no necesariamente está limitada a las fallas o falta de desempeño del activo, algunos activos de bajo valor pueden tener un alto impacto en caso de fallas, puede ocurrir cuando no se considera el todo. La criticidad está interrelacionada con el riesgo.

Como ejemplo podremos decir que los equipos o sistemas que tengan mayor criticidad deberían recibir la atención especial para realizar el mantenimiento para poder prevenir fallas y así mantener la disponibilidad de las unidades de generación, los que tengan criticidad 2 deben ser rápidamente analizados para determinar su impacto en el tiempo de indisponibilidad, y de calificación 3 el costo del impacto y riesgo es insignificante (efecto mínimo en la Operación).

El análisis de la criticidad es una metodología que permite establecer la jerarquía o prioridades de instalaciones, sistemas, equipos y elementos de acuerdo al índice de criticidad que es proporcional al riesgo, y esto crea una estructura que facilita la toma de decisiones y direccionando el esfuerzo de recursos hacia los sistemas de acuerdo al impacto o sus consecuencias que tengan en las unidades de generación.

El análisis de la Criticidad (AC) es una de las metodologías semi-cuantitativa para dimensionar el riesgo que permite establecer prioridades de los sistemas o equipos de acuerdo a una tabla de criticidad que es proporcional al riesgo.

La criticidad se calcula mediante la fórmula de **Criticidad = Frecuencia x impacto**, la cual es proporcional a la siguiente fórmula que **Riesgo = Probabilidad de falla x Consecuencia**. Esto nos dice que la frecuencia de fallo es proporcional a la probabilidad de falla y el impacto a la Consecuencia de una falla, en consecuencia Criticidad es Proporcional al Riesgo (Gutierrez, 2007).

Este análisis de criticidad nos lleva a una matriz que tiene un código de colores que nos denota menor o mayor intensidad del riesgo relacionado con la instalación, sistema o equipo, para la presente tesis nos enfocamos en los sistemas ya que si falla un sistema falla la unidad de generación con sus consecuencias que es la pérdida de producción de energía eléctrica, cabe indicar que existen sistemas que tienen equipos con redundancia lo cual disminuye notablemente la probabilidad de falla.

Para el análisis de la criticidad de los activos se parte de la frecuencia de fallo por el impacto para lo cual se basa en el historial de fallas de las unidades de generación el

impacto viene dado por la parte de producción de energía eléctrica, con estos valores nos da una índice de criticidad el cual hay que valor en la matriz de riesgo.

Con lo expuesto en este apartado, el presente trabajo vamos aplicar el método del análisis del riesgo de acuerdo al histórico de los equipos, con lo cual desarrollaremos una matriz de riesgo o criticidad, en la cual se pueda identificar las tres regiones de riesgo aceptable hasta la inaceptable de acuerdo al esquema presentado en un inicio.

En consecuencia si tenemos mayor riesgo en el sistema o sus equipos, diremos que el sistema o el equipo son proporcionales en su criticidad, ya que trae consecuencias mayores de acuerdo al nivel de riesgo que se mostrará en la matriz de riesgo.

CAPITULO 3

3 EVALUAR E IDENTIFICAR LOS RIESGOS.

Según PAS 55 nos recomienda que la identificación y evaluación de riesgos deban considerar la probabilidad de eventos creíbles y sus consecuencias deberán cubrir por lo menos las fallas físicas, riesgos operacionales, eventos ambientales naturales entre otros, por lo que aquí se pretende realizar el análisis de las fallas físicas de los sistemas con sus consecuencias.

El riesgo se evalúa determinando las consecuencias y su probabilidad, la forma de expresarlas puede ser en forma cualitativa, semi-cuantitativa o cuantitativa, para el presente trabajo se va generar el análisis de riesgo en forma semi-cuantitativa, ya que se dispone de los datos históricos para el análisis de la probabilidad de falla como las consecuencias, estas consecuencias serán medidas de acuerdo al impacto que genera la indisponibilidad (No generación de energía eléctrica) de las unidades de la fase C como la fase AB, esto es medido con el costo real de la generación hidroeléctrica.

El impacto de las consecuencias se realizara una estimación financiera; esto quiere decir que las consecuencias se verá como el costo que produce una indisponibilidad, esta indisponibilidad se considera el costo de dejar de producir eléctrica, como referencia para las centrales hidroeléctricas el costo real de producción es de 0.15 USD kWh (Telegrafo, 2011). En una breve explicación de este cargo, se podría indicar que es el costo de producción, donde se incluye el costo fijo más el costo variable que son los principales, adicional en las grandes Centrales como la Central Molino existe un costo por tener regulación secundaria (Reserva de potencia flotante).

Los costos fijos, los variables entre otros son regulados por el ARCONEL (Agencia de Regulación y Control de Electricidad) del Ecuador antes CONELEC, la cual es la responsable de la regulación y control de las actividades relacionadas con el servicio público de energía eléctrica y el servicio de alumbrado público. LA ARCONEL se encarga de la regulación de los aspectos técnico-económicos y operativos del sector entre otros (ARCONEL, 2015).

En un breve resumen de los costos más relevantes que se manejan para costear la energía eléctrica, se indica lo siguiente:

Costos de Generación.

- **Cargo o costo fijo**, *“considera tanto los costos de recuperación de la inversión, como los de administración, operación y mantenimiento. Estos últimos podrán incluir mantenimientos y labores para la repotenciación de equipos y prolongación de la vida útil de las instalaciones afectadas al servicio; actividades y*

labores para evitar el deterioro de los niveles de calidad y seguridad en las redes de transporte". (Cier, 2013).

Los costos fijos de operación, producción y mantenimiento son mínimos para las centrales hidroeléctricas, ya que no necesitan ningún tipo de combustible y no se paga por la utilización del agua. Como ejemplo se coloca la siguiente figura 3.1.

COSTOS FIJOS DE PRODUCCIÓN HIDROPAUTE					
Tabla 4.6. COSTOS FIJOS DE PRODUCCIÓN DE HIDROPAUTE					
COSTOS FIJOS DE PRODUCCIÓN - HIDROPAUTE					
Central	Costos de Producción [USD]	Costos de Operación [USD]	Costos de Mantenimiento [USD]	Gastos de Administración [USD]	Total [USD]
Molino	3.513.226	38.094.861	2.391.951	4.277.915	48.277.953
Mazar	417.894	263.118	301.427	676.507	1.658.946

Fuente: Datos No Oficiales proporcionados CELEC EP

Figura 3.1 Costos fijos Hidropaute
Fuente: (Buñay Ortiz & Pérez Luna, 2012)

En términos generales, los costos fijos son los que mantienen la disponibilidad de las unidades de generación.

- **Cargo o costo variables de producción**, "que es determinado conforme la normativa específica y liquidado de acuerdo con la producción de energía eléctrica medida" (Cier, 2013). La Regulación del costo variable que se aplicara para la declaración de este componente será de acuerdo a la regulación CONELEC-013-08 o la que sustituya.

El costo variable de producción, en términos generales podríamos decir que es la cantidad de energía eléctrica producida por la central hidroeléctrica por el valor del costo variable (0.2 cUSD/Kwh) (CONELEC, 2008).

Con respecto a los aspectos ambientales, se puede indicar que es una central hidroeléctrica, la cual no constituye un riesgo mayor al ambiente, por lo que este tipo de centrales que producen energía eléctrica, se les consideran como energías limpias y renovables.

Otro de los componentes para la evaluación de los riesgos es la probabilidad de falla, por lo cual el presente estudio se basa en la curva de la bañera la cual nos indica el ciclo de vida de los activos de las plantas industriales, en la cual indica que existen tres fases, Mortalidad infantil, Vida útil, y desgaste y envejecimiento figura, el riesgo se considerara en la fase de la vida útil de la unidad de generación eléctrica.

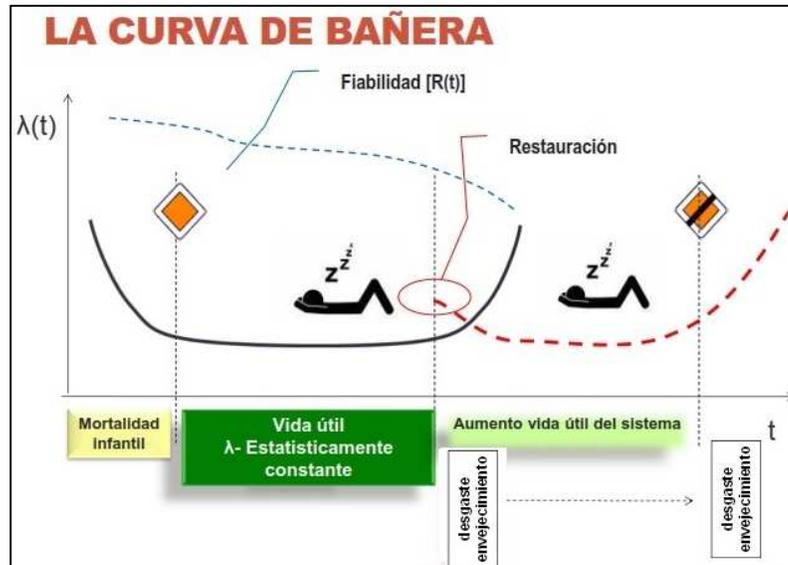


Figura 3.2 Curva de la Bañera
Fuente: Modulo de Confiabilidad Operacional-UDA

La probabilidad de falla en un determinado tiempo que se le conoce también como infiabilidad, la cual viene dada por $1-R(t)$; donde $R(t)$ es la confiabilidad o fiabilidad de un sistema o equipo, esta es una expresión de la distribución exponencial correspondiente a una tasa de fallos constante.

Esta expresión de fiabilidad $R(t) = e^{-\lambda t}$ (Función exponencial), la más simple función de fiabilidad, está definida por un solo parámetro que es lamda (λ) que es la tasa de fallos (Sexto, 2014-2016)

Donde $\lambda = 1/MTBF$, esto se entiende como la tasa de fallos $\lambda =$ números de fallos en un determinado tiempo (coincide con el inverso del MTBF),

MTBF: Mean Time Between Failures (Tiempo medio entre fallas)

La probabilidad de falla se analizara por sistemas ya que cuando existe una falla en uno de los componentes afecta directamente al sistema que lo contiene y por ende a la Unidad de generación.

El resumen las probabilidades y consecuencias de la fallas se realizaran de acuerdo a los datos históricos de la Central Molino, los cuales nos ayudan a armar la matriz de riesgo. Todo el análisis se encuentra en los anexos del 1 al 10.

Se presenta a continuación el resumen de las probabilidades de ocurrencia de fallas (Figura 3.2), por sistemas de las 10 unidades de generación de la Central Hidroeléctrica Paute Molino.

Estimación de la Probabilidad de ocurrencia de falla										
Sistema	U01		U02		U03		U04		U05	
	Tasa de fallas /h (λ)	P falle 1 año	Tasa de fallas /h (λ)	P falle 1 año	Tasa de fallas /h (λ)	P falle 1 año	Tasa de fallas /h (λ)	P falle 1 año	Tasa de fallas /h (λ)	P falle 1 año
Turbina Hidraulica	0.000075	36.72%	0.000088	41.55%	0.000045	24.26%	0.000049	26.10%	0.000023	12.90%
Generador Principal	0.000075	36.72%	0.000025	14.22%	0.000023	12.97%	0.000012	7.28%	0.000011	6.67%
Sistema de señal de velocidad	0.000030	16.73%			0.000011	6.71%	0.000025	14.03%		
Acumulacion Bombeo	0.000030	16.73%	0.000050	26.43%	0.000011	6.71%	0.000037	20.29%	0.000023	12.90%
Valvula de Guarda			0.000013	7.38%	0.000057	29.34%	0.000025	14.03%		
Alta presión					0.000023	12.97%				
Frenos y gatos							0.000012	7.28%		
Agua de Enfriamiento					0.000011	6.71%				
Sistema	U06		U07		U08		U09		U10	
	Tasa de fallas /h (λ)	P falle 1 año	Tasa de fallas /h (λ)	P falle 1 año	Tasa de fallas /h (λ)	P falle 1 año	Tasa de fallas /h (λ)	P falle 1 año	Tasa de fallas /h (λ)	P falle 1 año
Generador Principal	0.000020	11.70%	0.000011	6.76%	0.000040	21.73%	0.000077	37.42%	0.000033	18.09%
Acumulacion Bombeo	0.000031	17.02%	0.000057	29.54%	0.000013	7.84%				
Valvula de Guarda	0.000010	6.03%	0.000034	18.95%	0.000053	27.87%	0.000013	7.51%	0.000016	9.49%
Alta presión			0.000053	27.87%	0.000038	20.89%			0.000065	32.90%
Exitacion			0.000023	13.07%						
Cojinete Combinado			0.000011	6.76%	0.000013	7.84%			0.000016	9.49%
			0.000023	13.07%	0.000013	7.84%	0.000013	7.51%		

Nota: se toma promedio de 1 año de operación normal que es de 6116.53Hrs

Resumen de Estimación de la Probabilidad de ocurrencia de falla			
Sistema	Mínimo	Promedio	Máximo
Turbina Hidraulica	6.76%	25.06%	41.55%
Generador Principal	6.67%	15.87%	36.72%
Sistema de señal de velocidad	6.71%	12.49%	16.73%
Acumulacion Bombeo	6.71%	16.39%	27.87%
Valvula de Guarda	6.03%	19.78%	32.90%
Alta presión	12.97%	13.02%	13.07%
Frenos y gatos	7.28%	7.28%	7.28%
Exitacion	6.76%	8.03%	9.49%
Cojinete Combinado	7.51%	9.47%	13.07%
Agua de Enfriamiento	6.71%		
	6.03%	14.15%	41.55%

Figura 3.3 Máximo, Mínimo, Promedio de Probabilidad de falla
Elaborado por: Autor

A continuación se realiza los cuadros de consecuencias (Figura 3.3) para lo cual se calculó de acuerdo al historial y realizando un promedio, máximo, mínimo de acuerdo al costo de dejar de producir energía eléctrica (Indisponibilidad).

		FASE AB				FASE C					
		Horas Indisponible	Energía por indisponibilidad	USD\$ kWh	USD\$ kWh Hidráulicas Real			Horas Indisponible	Energía por indisponibilidad	USD\$ kWh	USD\$ kWh Hidráulicas Real
U01	Mínimo	0.12	12.25	\$ 24.50	\$ 1,837.50	U06		0.95	109.25	\$ 218.50	\$ 16,387.50
	Promedio	8.51	893.25	\$ 1,786.50	\$ 133,987.50			2.92	336.06	\$ 672.11	\$ 50,408.33
	Alto	20.93	2198.00	\$ 4,396.00	\$ 329,700.00			5.32	611.42	\$ 1,222.83	\$ 91,712.50
U02	Mínimo	0.57	59.50	\$ 119.00	\$ 8,925.00	U07		1.50	172.50	\$ 345.00	\$ 25,875.00
	Promedio	4.00	419.88	\$ 839.75	\$ 62,981.25			18.38	2113.13	\$ 4,226.25	\$ 316,968.75
	Alto	9.10	955.50	\$ 1,911.00	\$ 143,325.00			47.75	5491.25	\$ 10,982.50	\$ 823,687.50
U03	Mínimo	0.67	70.00	\$ 140.00	\$ 10,500.00	U08		1.45	166.75	\$ 333.50	\$ 25,012.50
	Promedio	5.01	525.63	\$ 1,051.25	\$ 78,843.75			4.46	512.71	\$ 1,025.42	\$ 76,906.25
	Alto	11.00	1155.00	\$ 2,310.00	\$ 173,250.00			10.03	1153.83	\$ 2,307.67	\$ 173,075.00
U04	Mínimo	0.37	38.50	\$ 77.00	\$ 5,775.00	U09		1.95	224.25	\$ 448.50	\$ 33,637.50
	Promedio	3.78	397.25	\$ 794.50	\$ 59,587.50			8.25	948.75	\$ 1,897.50	\$ 142,312.50
	Alto	7.52	789.25	\$ 1,578.50	\$ 118,387.50			19.00	2185.00	\$ 4,370.00	\$ 327,750.00
U05	Mínimo	0.18	19.25	\$ 38.50	\$ 2,887.50	U10		0.23	26.83	\$ 53.67	\$ 4,025.00
	Promedio	5.64	592.03	\$ 1,184.05	\$ 88,803.75			1.38	158.70	\$ 317.40	\$ 23,805.00
	Alto	22.97	2411.50	\$ 4,823.00	\$ 361,725.00			3.15	362.25	\$ 724.50	\$ 54,337.50
		FASE AB				FASE C					
	Mínimo	0.12	12.25	\$ 24.50	\$ 1,837.50	Mínimo	0.23	26.83	\$ 53.67	\$ 4,025.00	
	Promedio	6.69	702.45	\$ 1,404.90	\$ 105,367.75	Promedio	8.45	971.51	\$ 1,943.02	\$ 145,726.72	
	Alto	22.97	2411.50	\$ 4,823.00	\$ 361,725.00	Alto	47.75	5491.25	\$ 10,982.50	\$ 823,687.50	

Figura 3.4 Máximo, Mínimo, Promedio de costo de indisponibilidad

Fuente: Central Pute-Molino

Elaborado por: Autor

Con las tablas de las probabilidades de ocurrencia de falla y las consecuencias que están estimadas en con un índice financiero, podemos categorizar y construir la matriz de riesgos, que nos sirve para realizar una evaluación del riesgo más cercana a la realidad ya que se han utilizado los datos históricos durante los años 2000 al 2014 de acuerdo a los anexos (Anexo 1 al 10).

Bajo las premisas anteriormente señaladas y la metodología de semi-cuantitativa que se desarrolló (ver anexos 1 al 10), adicional la experiencia del autor en la central hidroeléctrica de turbina tipo Pelton, se decide categorizar las probabilidades de falla de acuerdo a la estimación de probabilidades de ocurrencia de fallos de acuerdo a las figura 3.2; así mismo se desarrolló para las consecuencias (Figura 3.3)

Categoría de Probabilidades de fallas en equipos de Mantenimiento Mecánico		
4	Alta probabilidad de ocurrencia	Puede definirse la probabilidad para un modo de fallo con una probabilidad de ocurrencia mayor de 30% durante 1 año de operación
3	Moderada probabilidad de ocurrencia	Puede definirse la probabilidad para un modo de fallo con una probabilidad de ocurrencia mayor de 14% pero menor de 30% durante el tiempo de operación.
2	Ocasional probabilidad de ocurrencia	Puede definirse la probabilidad para un modo de fallo con una probabilidad de ocurrencia mayor de 7% pero menor de 14% durante 1 año de operación
1	Baja probabilidad de ocurrencia	Puede definirse la probabilidad para un modo de fallo con una probabilidad de ocurrencia mayor de 1% pero menor de 7% durante 1 año de operación

Figura 3.5 Categoría de probabilidades de ocurrencia.

Elaborado por: Autor

Categoría de Consecuencias en equipos de Mantenimiento Mecánico		
D	Grave	Perdidas muy altas de producción energía eléctrica > 500,000(Indisponibilidad)
C	Sustancial	Perdidas sustanciales de producción energía eléctrica entre USD \$150,000 a 500,000(Indisponibilidad)
B	Marginal	Perdidas marginales de producción energía eléctrica entre USD \$20,000 a 150,000 (Indisponibilidad)
A	Baja	Perdidas menores de producción energía eléctrica <USD \$20,000 (Indisponibilidad)

Figura 3.6 Categoría de consecuencias.
Elaborado por: Autor

MATRIZ DE RIESGO DE MANTENIMIENTO MECANICO										
CONSECUENCIAS	D	Grave					<table border="1"> <tr><td>Riesgo Inaceptable</td></tr> <tr><td>Riesgo Tolerable</td></tr> <tr><td>Riesgo Aceptable</td></tr> </table>	Riesgo Inaceptable	Riesgo Tolerable	Riesgo Aceptable
	Riesgo Inaceptable									
	Riesgo Tolerable									
	Riesgo Aceptable									
C	Sustancial									
B	Marginal									
A	Baja									
			Baja	Media	Alta	Muy Alta				
			1	2	3	4				
PROBABILIDAD										

Figura 3.7 Matriz de Riesgo Mto. Mecánico
Elaborado por: Autor

3.1 Identificación de riesgos

A continuación se presenta la identificación de los riesgos de acuerdo al criterio del evaluador, ya que se tomó como base el histórico de las fallas ocurridas entre los años 2000 y 2014 de las Unidades de Generación de la Central Molino.

A base del historial (Anexos del 1 al 10) entre los años 2000 al 2014, se identifican los riesgos que provocan la pérdida de la función de la unidad de generación, esto significa que queda indisponible (no genera energía eléctrica).

Como se indican a continuación se identificó los riesgos a cada uno de los sistemas tanto en las unidades de la fase AB como en la fase C, se acota que los sistemas son similares pero sus diseños difieren de acuerdo a la época tecnológica que fueron construidos. Los únicos sistemas iguales son Válvula de Guarda, Turbina hidráulica, Ventilación B y C.

REGISTRO DE RIESGOS CENTRAL HIDROELÉCTRICA (PELTON)					
Unidades Fase AB					
No.	Fecha	Sistema	Componente	RIESGO	Reportado por:
1	01/11/2015	Acumulación y bombeo	Compresor	Pérdida de presión	Autor
2			Bombas	Trabamiento de bomba	
3			Tanques y Cuba	Baja presión	
4				Bajo nivel de presión	
5			Tuberías, válvulas y accesorios	Operación errónea del personal	
6				Trabamiento de válvulas	
7				Fugas de Aceite	
8	01/11/2015	Válvula de Guarda	Cuerpo Externo	Fisura de cuerpo	
9			Bridas de Acople y válvulas	Fugas de Agua (alta presión)	
10			Sellos aguas arriba y abajo	Fugas de Agua (alta presión)	
11				Trabamiento de sello	
12			Servomotor	Trabamiento de eje	
13			By – Pass (Válvula de Compuerta V4 y V4)	Fugas de Agua (alta presión)	
14				Trabamiento de eje de válvulas	
15				Rotura de tubería	
16			Válvula de Aireación	Trabamiento de eje de válvulas	
17				Fugas de Agua (alta presión)	
18			Válvulas auxiliares y de control	Trabamiento de eje de válvulas	
19				Fugas de Agua (alta presión)	
20				Mala operación de personal	
21	01/11/2015	Turbina Hidráulica	Rodete	Rotura de álabe	
22				Fisura de álabe	
23			Inyectores (6)	Trabamiento de eje	
24				Pérdida de presión de aceite	
25				Descalibración de inyectores	
26				Rotura de tubería de aceite (Fugas)	
27			Válvula reguladora DCSP	Perdida de presión	
28				Perdida de caudal	

29			Cojinete guía turbina.	Bajo nivel de aceite	
30				Alto nivel de aceite	
31				Alta Temperatura	
32			Tubería en espiral o caracol:	Fugas de agua	
33				Rotura de caracol	
34			Carcasa y ductos de ventilación.	Rotura de caracol	
35				Fugas de Agua (alta presión)	
36			Rejillas quiebra chorro	Rotura de rejillas	
37	01/11/2015	Generador	Circuito de AE	Fuga de agua de radiadores	
38			Tuberías válvulas y accesorios	Fuga de agua	
39			Eje	Vibración excesiva	
40			Cojinete inferior	Sobre temperatura de cojinete	
41				Alto nivel de aceite	
42				Bajo nivel de aceite	
43			Anillos rozantes	Trabamiento de eje (ruido extremo)	
44			Cojinete Combinado	Fugas de agua por válvulas	
45				Alto nivel de aceite	
46				Bajo nivel de aceite	
47			Inyección de alta presión	Fuga de aceite	
48				Baja presión	
49	01/11/2015	Transformador Principal	Tuberías Válvulas y accesorios	Fugas de agua en intercambiador de calor	
50	01/11/2015	Frenos y Gatos	Gatos	Trabamiento de gato	
51			Tuberías, válvulas y accesorios	Fugas de aire	
52	01/11/2015	Agua de enfriamiento	Bomba	Trabamiento de eje	
53			Tuberías, válvulas y accesorios	Trabamiento de válvulas	
54				Baja presión del sistema	
55				Fugas de agua	
56			Pozo de agua	Bajo nivel de agua	

Tabla 3.1 Identificación de Riesgos Unidad de generación Fase AB
Elaborado: Autor

REGISTRO DE RIESGOS CENTRAL HIDROELECTRICA (PELTON) Unidades Fase C					
No.	Fecha	Sistema	Componente Equipo	RIESGO	Reportado por:
1	01/11/2015	ACUMULACIÓN Y BOMBEO	Compresor	Pérdida de presión	Autor
2			Bombas	Trabamiento de bomba	
3			Tanques y Cuba	Baja presión	
4				Bajo nivel de presión	
5				Alto nivel de aceite	
6			Tuberías, válvulas y accesorios	Operación errónea del personal	
7				Desajuste de calibración de válvulas	
8				Trabamiento de válvulas	
9				Fugas de Aceite	
10	01/11/2015	Válvula de Guarda	Cuerpo Externo	Fisura de cuerpo	
11			Bridas de Acople y válvulas	Fugas de Agua (alta presión)	
12			Sellos aguas arriba y abajo	Fugas de Agua (alta presión)	
13				Trabamiento de sello	
14			Servomotor	Trabamiento de eje	
15			By – Pass (Válvula de Compuerta V4 y V4)	Fugas de Agua (alta presión)	
16				Trabamiento de eje de válvulas	
17				Rotura de tubería	
18			Válvula de Aireación	Trabamiento de eje de válvulas	
19				Fugas de Agua (alta presión)	
20			Válvulas auxiliares y de control	Trabamiento de eje de válvulas	
21				Fugas de Agua (alta presión)	
22				Operación errónea del personal	
23	01/11/2015	Turbina Hidráulica	Rodete	Rotura de álabe	
24				Fisura de álabe	
25			Inyectores (6)	Trabamiento de eje	
26				Perdida de presión de aceite	
27				Des calibración de inyectores	
28				Rotura de tubería de aceite (Fugas)	
29			Válvula reguladora DCSP	Perdida de presión	
30				Perdida de caudal	
31			Cojinete guía turbina.	Bajo nivel de aceite	
32				Alto nivel de aceite	
33				Alta Temperatura	

34			Tubería en espiral o caracol:	Fugas de agua	
35				Rotura de caracol	
36			Carcasa y ductos de ventilación.	Rotura de caracol	
37				Fugas de Agua (alta presión)	
38			Rejillas quiebra horro	Rotura de rejillas	
39	01/11/2015	Generador	Circuito de AE	Fuga de agua de radiadores	
40			Tuberías válvulas y accesorios	Fuga de agua	
41			Cojinete inferior	Sobre temperatura de cojinete	
42				Alto nivel de aceite	
43				Bajo nivel de aceite	
44			Rotor	Rotura de barra de conexión polos	
45			Cojinete Combinado	Fugas de agua	
46				Alto nivel de aceite	
47				Bajo nivel de aceite	
48			Inyección de alta presión	Bloqueo de Válvulas	
				Fuga de aceite (alta presión)	
49				Sobre presión	
50	01/11/2015	Transformador Principal	Tuberías Válvulas y accesorios	Fugas de agua	
51	01/11/2015	Frenos y Gatos	Gatos	Trabamiento de gato	
52			Tuberías válvulas y accesorios	Fugas de aire	
53	01/11/2015	Agua de enfriamiento	Bomba	Trabamiento de eje	
54			Tuberías, válvulas y accesorios	Trabamiento de válvulas	
55				Baja presión del sistema	
56				Fugas de agua	
57			Pozo de agua	Bajo nivel de agua	
58	01/11/2015	Excitación (Ventiladores)	Ventiladores	Transmisión rota	
59	01/11/2015	Ventilación B y C	Tuberías válvulas y accesorios	Fuga de agua	

Tabla 3.2 Identificación de Riesgos Unidad de generación Fase C
Elaborado: Autor

En los sistemas de la Ventilación “B y C” y de excitación de la Fase AB, dentro del historial de los años 2000 al 2014, no muestra fallas o la probabilidad es nula que tenga impacto a la indisponibilidad de la Unidad, ya que se les consideran sistemas auxiliares, adicional tienen equipos redundantes esto nos indica que si falla el uno entra el otro equipo a funcionar.

3.2 Análisis de Riesgo de las Unidades de Generación Fase AB y C

Luego de que se realiza la identificación de los estos en los diferentes sistemas de las unidades de generación de la Fase C y Fase AB, procedemos de acuerdo a lo que nos recomienda la ISO 31000.

Se toma una Unidad de generación de la Fase AB (Unidad de generación 03) y una de la Fase C (Unidad de generación 07), según el historial que se determina con la mayor tasa de fallas que ha presentado durante los años de estudio, para realizar el análisis de acuerdo a la matriz de riesgos ya definida anteriormente para los equipos mecánicos.

	U03		U07
Sistema	Tasa de fallas /h (λ)	Sistema	Tasa de fallas /h (λ)
Turbina Hidráulica	0.000045	Turbina Hidráulica	0.000011
Generador Principal	0.000023	Generador Principal	0.000057
Sistema de señal de velocidad	0.000011	Acumulación Bombeo	0.000034
Acumulación Bombeo	0.000011	Alta presión	0.000023
Válvula de Guarda	0.000057	Excitación	0.000011
Alta presión	0.000023	Cojinete Combinado	0.000023

Tabla 3.3 Unidades con tasa de fallo mayor
Elaborado: Autor

El análisis del riesgo es el segundo paso que debe darse para una buena apreciación del riesgo. Podemos definir entonces el análisis el riesgo como el proceso usado para asignar probabilidades y consecuencias de falla a los componentes del riesgo (Medina, ISO 55000, ISO 31000 y API RP 581 Aliados Fundamentales para la generación de valor en la Gestión de Riesgo de los Activos Fisicos, 2015). Por lo que se procedió al cálculo de las probabilidades de ocurrencia de fallos según los datos obtenidos del historial, en seguida se muestra el análisis realizado a la Unidad de generación de la Fase AB.

En cuando a las consecuencias que se va analizar, se anotó anteriormente que va ser en términos financieros, esto quiere decir, lo que cuesta la indisponibilidad (no producción de energía eléctrica) de la unidad de generación, no se incluyó los repuestos, materiales o mano de obra, ya que no es representativo en relación al costo de la indisponibilidad de la unidad de generación.

Para el análisis se tomó como referencia las horas de operación totales de los años en estudio de cada unidad U03 y U07 (Anexo 3 y 7), así como el promedio anual de operación según como consta en la siguiente tabla.

U03	Total horas de operación 2000-2014	88,064.66	Promedio de Horas de operación en 1 año	6,116.53
U07	Total horas de operación 2000-2014	87,346.92		

Tabla 3.4 Datos de referencia Probabilidad Falla

Elaborado por: Autor

Los análisis de los riesgos de las Unidades U03 y U07 se muestran en las siguientes tablas 3.5 y 3.6.

ANÁLISIS DE RIESGOS EN LA UNIDAD DE GENERACIÓN 03

Fecha	Sistema	Tiempo Indisponible	Modo de la falla	Riesgo	No. Fallos	Tasa de fallas /h (λ)	Confiabilidad t= 1 año	Probabilidad de que falle en 1 año	Tiempo Indisponible	Energía de Unidad 105 mWh	Promedio USD kWh Real con Hidráulicas
										Energía por indisponibilidad	0.15
20-mar-13	AB	3.45	Presencia de aceite al exterior en el sistema oleodinámico del regulador de velocidad.	Fuga de aceite	1	0.0000114	93.29%	6.71%	3.45	362.25	\$ 54,337.50
20-ene-03	AE	11.00	Presencia de agua y no abre la válvula tipo mariposa de accionamiento neumático de bomba principal B del SAE	Fugas de Agua	1	0.0000114	93.29%	6.71%	11.00	1155	\$ 173,250.00
7-ene-05	GE	0.67	Presencia de agua por junta flexible de radiador No. 4 del generador.	Fugas de Agua	2	0.0000227	87.03%	12.97%	3.33	350	\$ 52,500.00
30-dic-14	GE	6.00	Fuga de agua por la junta flexible de la tubería de entrada al radiador #4 del generador, además de la corrección de la válvula limitadora de presión de la bomba de alta presión.	Fugas de Agua							
23-abr-04	IA	5.10	Fuga de aceite por tubería de bomba de alta presión	Fuga de aceite	2	0.0000227	87.03%	12.97%	7.93	833	\$ 124,950.00
6-ago-05	IA	10.77	Fuga de aceite por cañería de manómetro de bomba de alta presión.	Fuga de aceite							
21-dic-05	SSG	4.85	Ruido anormal en el SSG del generador.	Rodamientos en mal estado	1	0.0000114	93.29%	6.71%	4.85	509.25	\$ 76,387.50
7-may-00	TH	5.40	Inyectores trabados. Se presenta vibración en recinto acople turbina generador y elevación de temperatura en cojinetes. Luego de	Trabamiento de eje	1	0.0000114	93.29%	6.71%	5.40	567	\$ 85,050.00

			la revisión se halla que los ejes de puntería de inyectores #5 y #6 estaban trabados.								
5-ene-01	TH	9.50	Reparación del rodete.,	Alta cavitación de álabes	2	0.0000227	87.03%	12.97%	8.75	918.75	\$ 137,812.50
11-feb-01	TH	8.00	Reparación del rodete.	Alta cavitación de álabes							
8-ago-02	TH	3.00	Calibración de agujas de los inyectores	Descalibración de inyectores	1	0.0000114	93.29%	6.71%	3.00	315	\$ 47,250.00
17-ene-08	TU	4.07	Corrección de fuga de agua por tubería del tacho regulador de caudal del intercambiador de calor del Transformador Principal	Fugas de Agua	1	0.0000114	93.29%	6.71%	4.07	427	\$ 64,050.00
13-jun-07	VG	1.25	Cambio de válvula VHWQ	Fugas de Agua (alta presión)	1	0.0000114	93.29%	6.71%	1.25	131.25	\$ 19,687.50
25-jul-09	VG	5.42	Fuga de agua por la válvula de aireación	Fugas de Agua (alta presión)	3	0.0000341	81.19%	18.81%	4.27	448	\$ 67,200.00
28-jul-09	VG	1.62	Fuga de agua por la válvula de aireación.	Fugas de Agua (alta presión)							
19-dic-13	VG	5.77	Fuga de agua en la válvula de aireación 20A de la válvula esférica.	Fugas de Agua (alta presión)							
7-ene-10	VG	7.13	Cambio de la válvula hongo del bypass de la válvula esférica por desgaste de sellos y bridas.	Fugas de Agua (alta presión)	1	0.0000114	93.29%	6.71%	7.13	749	\$ 112,350.00
Total horas de operación 2000-2014		88,064.66	Promedio de Hrs de operación en 1 año	6,116.53							

Tabla 3.5 Análisis de riesgos U03

Elaborado por: Autor

ANÁLISIS DE RIESGOS EN LA UNIDAD DE GENERACIÓN 07											
Fecha	Sistema	Tiempo Indisponible	Modo de la falla	Riesgo	No. Fallos	Tasa de fallas /h (λ)	Confiabilidad t= 1 año	Probabilidad de que falle en 1 año	Tiempo Indisponible	Energía de Unidad 105 MWh	Promedio USD kWh Real con Hidráulicas
										Energía por indisponibilidad	0.15
30-jun-00	AB	0.13	Falla en el regulador de velocidad al descender el nivel del aceite por encontrarse el compresor de aire en funcionamiento continuo.	Bajo nivel de aceite	1	0.0000114	93.24%	6.76%	0.13	15.33	\$ 2,300.00
10-nov-05	AB	1.00	Baja Presión en el Sistema de Acumulación y Bombeo.	Baja presión	1	0.0000114	93.24%	6.76%	1.00	115.00	\$ 17,250.00
22-dic-09	AB	1.50	Fuga de aceite por NQPR1-2	Fuga de aceite	1	0.0000114	93.24%	6.76%	1.50	172.50	\$ 25,875.00
9-jul-09	CJ	8.78	Fuga de aceite del cojinete combinado.	Fuga de aceite	2	0.0000229	86.93%	13.07%	5.59	643.04	\$ 96,456.25
14-ene-10	CJ	2.40	Nivel aceite Cojinete Combinado Paso 1								
20-oct-13	CJ	29.40	Fuga de agua por el intercambiador de calor del cojinete combinado.	Fuga de agua	1	0.0000114	93.24%	6.76%	29.40	3381.00	\$ 507,150.00
21-ago-01	EX	1.93	Falla en banda del motor del ventilador superior del sistema de excitación.	Transmisión rota	1	0.0000114	93.24%	6.76%	1.93	222.33	\$ 33,350.00
24-dic-01	GE	4.00	Fuga en radiador # 1 del generador.	Fugas de Agua	4	0.0000458	75.57%	24.43%	8.95	1029.73	\$ 154,459.38
23-mar-08	GE	2.62	Reparación de tubería del Sistema de Agua de Enfriamiento del generador (radiadores).	Fugas de Agua							

10-abr-10	GE	7.38	Cambio de radiadores y válvulas DCSP.	Fugas de Agua							
28-dic-09	GE	21.82	Perforación en el radiador N°1 del generador.	Fugas de Agua							
4-ene-09	GE	3.88	Perforación del intercambiador de calor del cojinete guía inferior del generador.	Fugas de Agua	1	0.0000114	93.24%	6.76%	3.88	446.58	\$ 66,987.50
27-abr-09	IA	7.37	Bloqueo en la tubería de inyección de aceite a uno de los patines del cojinete de empuje.	Bloqueo de tubería	1	0.0000114	93.24%	6.76%	7.37	847.17	\$ 127,075.00
27-oct-12	IA	47.75	Problemas en las válvulas reguladoras del sistema de alta presión.	Fuga de aceite (alta presión)	1	0.0000114	93.24%	6.76%	47.75	5491.25	\$ 823,687.50
26-sep-01	TH	2.42	Fuga de aceite por eje de puntería del inyector # 3 de la turbina.	Perdida de presión	1	0.0000114	93.24%	6.76%	2.42	277.92	\$ 41,687.50
7-dic-08	TU	5.27	Problemas en el intercambiador de calor del Transformador Principal de Unidad.	Fuga de agua	1	0.0000114	93.24%	6.76%	5.27	605.67	\$ 90,850.00

Total horas de operación 2000-2014	87,346.92	Promedio de Hrs de operación en 1 año	6,116.53
---	------------------	--	-----------------

Tabla 3.6 Analisis de riesgos U07
Elaborado por: Autor

3.3 Evaluación del Riesgo.

La siguiente ilustración se muestra los resultados obtenidos de acuerdo a la matriz de riesgos que se realizó con los datos históricos de los modos de fallas.

La evaluación de riesgos nos ayuda para la toma de decisiones, determinando los riesgos a tratar y la prioridad para implementación el tratamiento. La evaluación del riesgo implica comparar el nivel de riesgo establecido cuando se realizaron la categorización de las probabilidades y las consecuencias, lo que nos dio como resultado la siguiente evaluación de las dos unidades que se tomó como las mayores tasas de fallas.

Probabilidad de que falle en 1 año	Promedio USD KW/h Real con Hidráulicas	Sistema-Equipo	Riesgo	Nivel de Riesgo	(En términos Monetarios)
6.71%	\$ 19,687.50	VG-TV	Fugas de Agua (alta presión)	<i>Riesgo Aceptable</i>	\$ 1,320.99
6.71%	\$ 47,250.00	TH-IY	Descalibración de inyectores	<i>Riesgo Aceptable</i>	\$ 3,170.38
6.71%	\$ 54,337.50	AB-TV	Fuga de aceite	<i>Riesgo Aceptable</i>	\$ 3,645.93
6.71%	\$ 64,050.00	TU-TV	Fugas de Agua	<i>Riesgo Aceptable</i>	\$ 4,297.62
6.71%	\$ 76,387.50	GE-SSG	Rodamientos en mal estado	<i>Riesgo Aceptable</i>	\$ 5,125.44
6.71%	\$ 85,050.00	TH-IY	Trabamiento de eje	<i>Riesgo Aceptable</i>	\$ 5,706.68
6.71%	\$ 112,350.00	VG-BY	Fugas de Agua (alta presión)	<i>Riesgo Aceptable</i>	\$ 7,538.45
6.71%	\$ 173,250.00	AE-TV	Fuga de aceite	<i>Riesgo Aceptable</i>	\$ 11,624.71
12.97%	\$ 52,500.00	GE-AE	Fugas de Agua	<i>Riesgo Tolerable</i>	\$ 6,808.92
18.81%	\$ 67,200.00	VG-TV	Fugas de Agua (alta presión)	<i>Riesgo Tolerable</i>	\$ 12,639.61
12.97%	\$ 124,950.00	IA-TV	Fuga de aceite	<i>Riesgo Tolerable</i>	\$ 16,205.22
12.97%	\$ 137,812.50	TH-RD	Alta cavitación de alabes	<i>Riesgo Tolerable</i>	\$ 17,873.41

Tabla 3.7 Evaluación de riesgos U03

Elaborado: Autor

Como podemos observar los niveles de riesgos del sistema-equipo de acuerdo a la evaluación en la matriz de riesgo caen entre el **riesgo aceptable y el tolerable**, lo que significa que pueden ser tratados en ese momento de la falla o mitigado en cierta manera,

para que ingresen a seguir produciendo, en el próximo numeral se señalan los tratamientos de los riesgos.

Probabilidad de que falle en 1 año	Promedio USD KWh Real con Hidráulicas	Sistema-Equipo	Riesgo	Nivel de Riesgo	(En términos Monetarios)
6.76%	\$ 2,300.00	AB-TV	Bajo nivel de aceite	Riesgo Aceptable	\$ 155.55
6.76%	\$ 17,250.00	AB-TV	Baja presión	Riesgo Aceptable	\$ 1,166.62
6.76%	\$ 25,875.00	AB-TV	Fuga de aceite	Riesgo Aceptable	\$ 1,749.93
6.76%	\$ 33,350.00	EX-VE	Transmisión rota	Riesgo Aceptable	\$ 2,255.47
6.76%	\$ 41,687.50	TH-TV	Perdida de presión	Riesgo Aceptable	\$ 2,819.33
6.76%	\$ 66,987.50	GE-CJ	Fugas de Agua	Riesgo Aceptable	\$ 4,530.38
6.76%	\$ 90,850.00	TU-AE	Fuga de agua	Riesgo Aceptable	\$ 6,144.20
6.76%	\$ 127,075.00	IA-TV	Bloqueo de tubería	Riesgo Aceptable	\$ 8,594.10
13.07%	\$ 96,456.25	CJ-TV	Fuga de aceite	Riesgo Tolerable	\$ 12,605.53
6.76%	\$ 507,150.00	CJ-AE	Fuga de agua	Riesgo Tolerable	\$ 34,298.64
24.43%	\$ 154,459.38	GE-AE	Fugas de Agua	Riesgo Tolerable	\$ 37,733.51
6.76%	\$ 823,687.50	IA-TV	Fuga de aceite (alta presión)	Riesgo Tolerable	\$ 55,706.13

Tabla 3.8 Evaluación de riesgos U07

Elaborado: Autor

3.4 Tratamiento o control del Riesgo.

Lo que nos indica la PAS 55 lo tomamos como una recomendación, que se debe considerar combinaciones de técnicas según sea apropiado a las criticidades de los activos (British Standards Institute BSI, 2008); pero considerando que la criticidad es proporcional al riesgo, dependiendo de la organización.

Aparte de las recomendaciones de la PAS 55 nos apoyamos por el estándar ISO 31000, en la cual establece que el tratamiento del riesgo implica la selección y la implementación de una o varias opciones para modificar los riesgos (Medina, ISO 55000, ISO 31000 y API RP 581 Aliados Fundamentales para la generación de valor en la Gestión de Riesgo de los Activos Físicos, 2015)

Los tipos de control que se propone de acuerdo a las fallas que se presentan en el historial de las unidades de generación son las siguientes:

ID	TIPO DE CONTROL
A)	Aceptar con el fin de perseguir una oportunidad.
B)	Modificar, Reducir o eliminar la fuente del riesgo con nuevos diseños del sistema o componente para que la probabilidad de falla se reduzca
C)	Prevenir con las inspecciones más detalladas en los planes de mantenimiento preventivo de las unidades de generación.
D)	Optimizar las intervenciones que se realizan en los mantenimientos preventivos programados.
E)	Tratar como emergencia (riesgo catastrófico) cuando la unidad de generación sobrepase o se mantenga en el nivel de riesgo Inaceptable.
F)	Proteger, colocar medidas de seguridad o resguardar los sistemas que provocan el riesgo para alargar el tiempo de disponibilidad.
G)	Retener, el riesgo se puede tratar al interior del área con pequeñas mejoras en los materiales de sus componentes.
H)	Compartir o Transferir, en caso de que el riesgo es Inaceptable y que afecte a la Turbina Hidráulica, Válvula de Guarda, Generador o Transformador principal, ya que son sistemas que por su magnitud, el tiempo de respuesta y el costo es mayor que la indisponibilidad que provocan
I)	Cuando un repuesto cueste más que la indisponibilidad causada, se debe pensar en transferir el riesgo hacia las aseguradoras.
J)	Evitar el riesgo decidiendo no iniciar o realizar alguna actividad para mitigar la causa el riesgo.

Tabla 3.9 Tipos de controles o tramientos del Nivel de Riesgo
Elaborado: Autor

El análisis del tipo de control o tratamiento lo realizara el grupo de análisis considerando la siguiente tabla 3.10, los cuales deben decidir si el riesgo aceptable, tolerable o inaceptable, por lo que será tratado en el interior del grupo al momento de verificar el nivel de riesgo y si es necesario o no hacía a la Jefatura de la Central.

Nivel de Riesgo	Tipo de Control
Riesgo Inaceptable	C, D, E, H, I
Riesgo Tolerable	B, C, D, F, G, J
Riesgo Aceptable	A, J, G

Tabla 3.10 Tipos de control y nivel de riesgo

Elaborado: Autor

Para los equipos estáticos se debe desarrollar un plan de inspección que permita modificar la probabilidad de la falla, en donde se debe ver el estado real como la función del equipo. En el plan del mantenimiento se debe hacer más énfasis en este tipo de inspecciones.

3.5 Proceso para el uso y mantenimiento de la información.

Según Pas55, la organización deberá asegurar que los resultados de las evaluaciones de riesgo y los efectos de las medidas de control de riesgo sean considerados, y, según sea apropiado, proporcionen insumos al plan estratégico de la empresa.

La información deberá mantener actualizado y documentados en el área de mantenimiento mecánico, por lo cual es necesario que se disponga la información en el archivo de las oficinas del taller mecánico y en en el archivo general de la central hidroeléctrica.

En seguida se muestra un proceso para documentar la información (Figura 3.7). El encargado principal tiene que velar por el cumplimiento de este proceso.

En el siguiente grafico se puede observar el proceso de cómo se debe documentar la identificación de los riesgo del área mecánica.

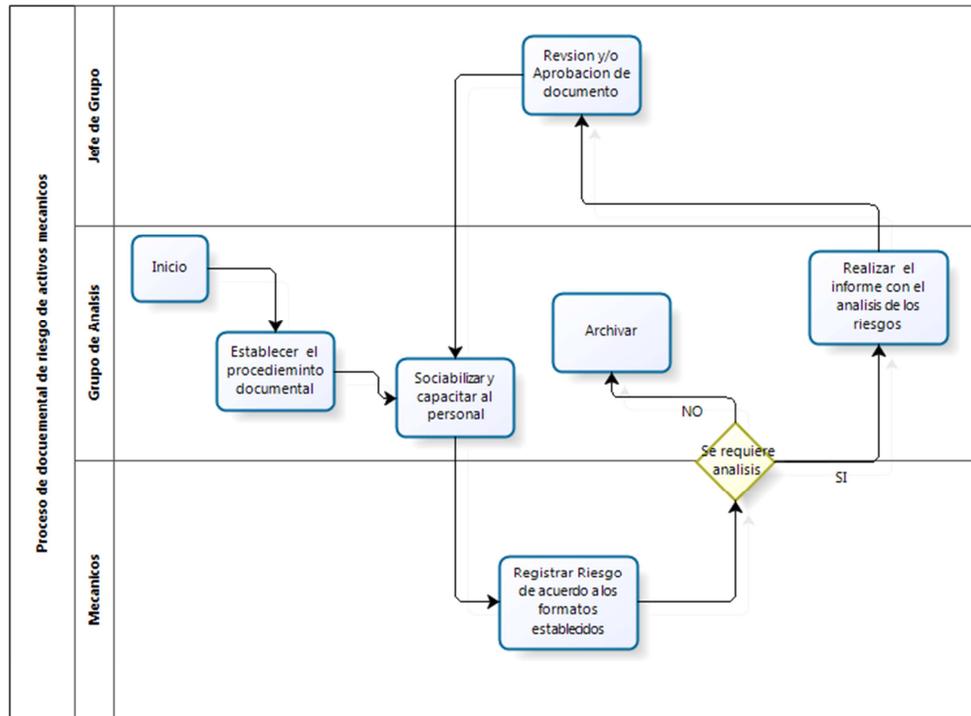


Figura 3.8 Proceso documental Mto. Mecanico
Elaborado por: Autor

3.5.1 Procedimiento para documentar los riesgos mecánicos.

- **Identificación de los documentos:** Se identifican en cada documento mediante los siguientes elementos
 - El logotipo de la Empresa.
 - Título del documento: **“Proceso de uso de la información y mantenimiento de riesgos”**
 - Objeto:
 - Versión: 1
 - Fecha de vigencia.
- **Tabla de contenido.**
La segunda página lleva la tabla de contenido del procedimiento.
- **Tabla de figuras y listado de tablas.**
Cuando se requiera colocar figuras o tablas en el documento, estas se detallan en un listado.
- **Estructura del documento.**

Alcance: El presente documento tiene la finalidad de mantener la información que se genere con respecto a los riesgos en los sistemas de las unidades de generación de la central Hidroeléctrica.

- **Referencias:** PAS 55, ISO 31000.
- **Responsabilidades y Políticas.**

Mecánicos:

Cumplir con lo estipulado en este procedimiento para el correcto control de documentos.

Asegurar que los documentos que aplican cumplan con las características respectivas para su uso.

Grupo de Análisis:

Mantener, actualizar, mejorar el proceso de documentación de los riesgos y asegurar que todo el personal tenga acceso a esta fuente de consulta.

- **Descripción de los Riesgos**

De acuerdo a los formatos de las Tablas 3.1 y 3.2.

Análisis, evaluación y tratamiento de los riesgos de acuerdo a los formatos de las Tablas 3.5, 3.6, 3.7, 3.8, 3.9 y 3.10, acerca de los riesgos

- **Revisión y Aprobación.**

La revisión lo hará el grupo de análisis de riesgos creado por el área de mantenimiento mecánico, mientras que la aprobación lo hará el Jefe del Area, con sus respectivas firmas de responsabilidad.

CONCLUSIONES

- La PAS 55 es un referente para poder desarrollar el presente trabajo, ya que existe la norma ISO 31000 la cual nos indica claramente los pasos para la Gestión de Riesgos de los activos físicos.
- Se muestra como un referente o base el presente trabajo para la identificación, análisis, evaluación y tratamiento de los riesgos en los activos físicos que corresponde al área de mantenimiento mecánico de una Central Hidroeléctrica con turbina tipo Pelton.
- Se elaboró las categorías de probabilidad y consecuencias de acuerdo a los datos históricos y así se realizó la apreciación del nivel de riesgo, que se traduce en una matriz de riesgo. La cual es un referente para otras centrales hidroeléctricas de la magnitud descrita en el presente trabajo.
- Del análisis de riesgos, podemos indicar que los sistema con mayor riesgo a una falla mecánica son la Válvula de Guarda, Generador Principal (incluye el sistema de alta presión y, Cojinete Combinado), y Turbina Hidráulica, porque según el análisis está entre el 6% al 18% de probabilidad a que exista una falla tomando como referencia una año promedio de operación (6,116.53 Horas), con consecuencias manejables al interior de la central, porque el nivel de riesgo que provocan estos, esta entre el nivel de riesgo aceptable y tolerable y como se indicó son medidos en términos monetarios.

RECOMENDACIONES

- Se debe tratar como el sistema más crítico de acuerdo al nivel de riesgo que se analizó para los sistemas del generador y sistema de alta presión (inyección alta presión), por lo que la empresa debe dar la proporcionalidad que amerite para mejorar los índices de disponibilidad y confiabilidad de las unidades de generación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 31000, I. (2010). *Estandar Internacional UNE ISO 31000 Gestion del Riesgo, principios y directrices*.
- ARCONEL. (2015). *Agencia de Regulación y Control de Electricidad*. Recuperado el 2015, de <http://www.regulacionelectrica.gob.ec/arconel/>
- British Standards Institute BSI. (2008). *Gestion de Activos*. London.
- BSI, B. S. (2008). BSI-PAS 55. *PAS 55 Gestion de Activos*. London, United Kingdon.
- Buñay Ortiz, F. R., & Pérez Luna, F. G. (2012). *Comparación de costos de produccion de energía eléctrica para difereentes tecnologías en el Ecuador*. Cuenca.
- Cier. (2013). *Regulación sector eléctrico*. Recuperado el 2016, de <https://sites.google.com/site/regulacionsectorelectrico/ecuador>
- CONELEC. (2008). *Regulacion Complementaria No.1*. Recuperado el 2016, de http://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/12/CONELEC-013-08-MANDATO15-COMPL.-No.1_-.pdf
- Gutierrez, A. C. (2007). *Analisis de criticidad integral de activos*. Recuperado el 2015, de <http://www.academia.edu/>:
http://www.academia.edu/11411635/AN%C3%81LISIS_DE_CRITICIDAD_INTEGRAL_DE_ACTIVOS_
- Hidropaute, C. (2013). *Celec Hidropaute*. Recuperado el 2015, de <https://www.celec.gob.ec/hidropaute/>
<https://www.celec.gob.ec/hidropaute/centrales/casa-de-maquinas-molino.html>
<https://www.celec.gob.ec/hidropaute/centrales/mazar/11-espanol/perfil-corporativo/127-paute-integral.html>
- Inecel, I. E. (1990). Proyecto Hidroelectrico Paute Fase C. *Equipo Mecanico*. Ecuador.
- ISO 31000, N. (2010). *Estandar Internacional UNE ISO 31000 Gestion del Riesgo, principios y directrices*.
- Medina, R. (Abril de 2014). *Gestión de Riesgos Asociados a Mantenimiento*. Bogota, Colombia.
- Medina, R. (2015). ISO 55000, ISO 31000 y API RP 581 Aliados Fundamentales para la generación de valor en la Gestión de Riesgo de los Activos Fisicos., (pág. 13). Maracaibo.

Palencia, O. G. (2014). Implementacion de la Gestion Integral de Activos.

Sexto, L. F. (2014-2016). CONFIABILIDAD OPERACIONAL. *MODULO DE CONFIABILIDAD OPERACIONAL (UDA)*. Cuenca.

Telegrafo, E. (2011). <http://www.telegrafo.com.ec/>. Recuperado el 2015, de <http://www.telegrafo.com.ec/noticias/informacion-general/item/nuevas-tarifas-se-definen-segun-nivel-de-consumo.html>

ANEXOS

ANEXO 1 RESUMEN DE FALLAS MECÁNICAS, ESTIMACIÓN DE PROBABILIDADES Y CONSECUENCIAS U01

RESUMEN DE FALLAS PRESENTADAS DURANTE 2000-2014 UNIDAD 01 CENTRAL MOLINO Mantenimiento Mecánico					ESTIMACIÓN DE COSTOS POR INDISPONIBILIDAD				
					U01		Promedio de energía de Unidad 105 Mw/h	Promedio USD\$ kWh Molino	Promedio USD kWh Real con Hidráulicas
Item	Fecha	Sistema	Tiempo Indisponible	Modo de la falla	Sistema	Tiempo Indisponible	Energía por indisponibilidad	0.002	0.15
1	7-abr-01	TH	17H15	Cambio del Servomotor de deflectores. Fugas excesivas	TH	17.25	1811.25	\$ 3,622.50	\$ 271,687.50
2	28-nov-01	GE	16H50	Fuga en tubería del intercambiador de calor de cojinete guía inferior de generador.	GE	16.83	1767.50	\$ 3,535.00	\$ 265,125.00
3	17-jul-02	TH	03H44	Variación brusca de carga, inyector # 1 trabado	TH	3.73	392.00	\$ 784.00	\$ 58,800.00
4	20-jul-02	TH	20H56	Cambio del servomotor de deflectores (Alargue de mantenimiento programado)	TH	20.93	2198.00	\$ 4,396.00	\$ 329,700.00
5	9-nov-02	AB	05H21	Baja Presión Sistema de Regulación de Velocidad - Rechazo de carga	AB	5.35	561.75	\$ 1,123.50	\$ 84,262.50
6	31-ene-05	SSG	04H40	Ruido anormal en el SSG del generador.	AR	4.67	490.00	\$ 980.00	\$ 73,500.00
7	16-jun-05	SSG	04H14	Ruido anormal en rodamientos del SSG.	AR	4.23	444.50	\$ 889.00	\$ 66,675.00
8	21-sep-07	GE	10H43	Baja Resistencia a Tierra del Rotor, por fuga de agua en tubería de salida del radiador # 5 del Generador	GE	10.72	1125.25	\$ 2,250.50	\$ 168,787.50

9	29-sep-08	GE	16H14	Fuga de agua por rotura de la junta flexible del radiador #4 del generador.	GE	16.23	1704.50	\$ 3,409.00	\$ 255,675.00
10	27-nov-09	AB	00H07	Operación intermitente de Bomba No. 2 del regulador. Actuación del relé 786-SPN	AB	0.12	12.25	\$ 24.50	\$ 1,837.50
11	10-ago-09	TH	08H34	Fuga de agua por el intercambiador de calor del cojinete guía de la turbina.	TH	8.57	899.50	\$ 1,799.00	\$ 134,925.00
12	7-dic-10	GE	02H11	Vibración excesiva de la unidad.	GE	2.18	229.25	\$ 458.50	\$ 34,387.50
13	18-dic-10	GE	03H51	Vibraciones excesivas en la unidad.	GE	3.85	404.25	\$ 808.50	\$ 60,637.50
14	14-abr-11	TH	04H26	Oscilaciones de potencia activa por falla en uno de los inyectores de la turbina	TH	4.43	465.50	\$ 931.00	\$ 69,825.00
					Mínimo	0.12	12.25	\$ 24.50	\$ 1,837.50
					Promedio	8.51	893.25	\$ 1,786.50	\$ 133,987.50
					Alto	20.93	2198.00	\$ 4,396.00	\$ 329,700.00
PROBABILIDADES DE FALLA U01									
Sistema	No. Fallos	Tasa de fallas /h (λ)	Confiabilidad t= 1 año	Probabilidad de que falle en 1 año	Probabilidad de que falle en 2 años	Probabilidad de que falle en 3 años	Probabilidad de que falle en 4 años	Probabilidad de que falle en 5 años	
Turbina Hidráulica	5	0.0000748	63.28%	36.72%	59.95%	74.66%	83.96%	89.85%	
Generador Principal	5	0.0000748	63.28%	36.72%	59.95%	74.66%	83.96%	89.85%	
Sistema de señal de velocidad	2	0.0000299	83.27%	16.73%	30.65%	42.25%	51.91%	59.95%	
Acumulación Bombeo	2	0.0000299	83.27%	16.73%	30.65%	42.25%	51.91%	59.95%	
Total Fallas	14	0.0002095	27.77%	72.23%	92.29%	97.86%	99.41%	99.83%	
Horas de Operación Totales durante los años 2000-2011					Promedio de Horas Generación eléctrica		Hrs Operación		
66,837.43					1 año		6,116.53		
					2 año		12,233.06		
					3 año		18,349.60		
					4 año		24,466.13		
					5 año		30,582.66		

ANEXO 2 RESUMEN DE FALLAS MECÁNICAS, ESTIMACIÓN DE PROBABILIDADES Y CONSECUENCIAS U02

RESUMEN DE FALLAS PRESENTADAS DURANTE 2000-2014 UNIDAD 02 CENTRAL MOLINO Mantenimiento Mecánico					ESTIMACIÓN DE COSTOS POR INDISPONIBILIDAD U02				
					U02		Promedio de energía de Unidad 105 Mw/h	Promedio USD\$ kWh Molino	Promedio USD kWh Real con Hidráulicas
Item	Fecha	Sistema	Tiempo Indisponible	Causa de la falla	Sistema	Tiempo Indisponible	Energía por indisponibilidad	0.002	0.15
1	18-may-00	TH	07H30	Reparación de álabes del rodete. En coordinación con el CENACE se consigna la unidad para ser intervenida por mantenimiento mecánico.	TH	7.50	787.5	\$ 1,575.00	\$ 118,125.00
2	21-may-00	VG	04H26	Cambio de válvula "argus" de sello aguas abajo. En coordinación con el CENACE se consigna la unidad para ser intervenida por mantenimiento mecánico.	VG	4.43	465.5	\$ 931.00	\$ 69,825.00
3	9-jul-00	TH	08H15	Fuga de aceite por eje de puntería de inyectores. El día 08/07/2000 se detecta bajo nivel de aceite del regulador de velocidad por efecto de fugas de aceite en recinto de acople turbina-generador.	TH	8.25	866.25	\$ 1,732.50	\$ 129,937.50
4	4-jul-02	TH	02H33	Calibración de agujas de los inyectores	TH	2.55	267.75	\$ 535.50	\$ 40,162.50
5	11-sep-02	TH	09H06	Reparación de alabes del rodete de turbina hidráulica	TH	9.10	955.5	\$ 1,911.00	\$ 143,325.00
6	13-jun-03	TH	05H15	Reparación de fuga de aceite por tubería del inyector 3	TH	5.25	551.25	\$ 1,102.50	\$ 82,687.50

7	2-mar-07	AB	03H00	Bajo nivel de aceite en el Sistema de Regulación, por fuga en tubería de ingreso de aceite del inyector # 2	AB	3.00	315	\$ 630.00	\$ 47,250.00
8	18-mar-08	TH	04H35	Revisión y reparación de tubería de aceite del regulador (inyectores).	TH	4.58	481.25	\$ 962.50	\$ 72,187.50
9	28-sep-09	TH	01H25	Fuga de agua por la tubería de graseo posición 2 Inyector # 2	TH	1.42	148.75	\$ 297.50	\$ 22,312.50
10	5-dic-09	GE	04H44	Sobre temperatura cojinete guía inferior, falta de AE	GE	4.73	497	\$ 994.00	\$ 74,550.00
11	9-ago-12	AB	00H34	Pérdida de presión del sistema de acumulación oleodinámico del regulador de velocidad por falla de la válvula check a la salida del compresor.	AB	0.57	59.5	\$ 119.00	\$ 8,925.00
12	1-nov-12	AB	00H37	Disparo de la Unidad, por baja presión de Aceite, en el sistema Oleodinámico	AB	0.62	64.75	\$ 129.50	\$ 9,712.50
13	9-ago-12	AB	01H45	Mantenimiento Mecánico reemplaza sello defectuoso de la válvula check a la salida del compresor del sistema oleodinámico.	AB	1.75	183.75	\$ 367.50	\$ 27,562.50
14	8-sep-13	GE	02H14	Perforación en la tubería de ingreso de agua a los radiadores del generador.	GE	2.23	234.5	\$ 469.00	\$ 35,175.00
					Mínimo	0.57	59.50	\$ 119.00	\$ 8,925.00
					Promedio	4.00	419.88	\$ 839.75	\$ 62,981.25
					Alto	9.10	955.50	\$ 1,911.00	\$ 143,325.00

PROBABILIDADES DE FALLA U02								
Sistema	No. Fallos	Tasa de fallas /h (λ)	Confiabilidad t= 1 año	Probabilidad de que falle en 1 año	Probabilidad de que falle en 2 año	Probabilidad de que falle en 3 años	Probabilidad de que falle en 4 años	Probabilidad de que falle en 5 años
Turbina Hidráulica	7	0.0000878	58.45%	41.55%	65.84%	80.03%	88.33%	93.18%
Generador Principal	2	0.0000251	85.78%	14.22%	26.43%	36.89%	45.87%	53.57%
Acumulación Bombeo	4	0.0000502	73.57%	26.43%	45.87%	60.17%	70.70%	78.44%
Válvula de Guarda	1	0.0000125	92.62%	7.38%	14.22%	20.56%	26.43%	31.86%
Total Fallas	14	0.0001756	34.16%	65.84%	88.33%	96.01%	98.64%	99.53%
Horas de Operación Totales durante los años 2000-2013				Promedio de Horas Generación eléctrica		Hrs Operación		
79,726.85				1 año		6,116.53		
				2 año		12,233.06		
				3 año		18,349.60		
				4 año		24,466.13		
				5 año		30,582.66		

ANEXO 3 RESUMEN DE FALLAS MECÁNICAS, ESTIMACIÓN DE PROBABILIDADES Y CONSECUENCIAS U03

RESUMEN DE FALLAS PRESENTADAS DURANTE 2000-2014 UNIDAD 03 CENTRAL MOLINO Mantenimiento Mecánico					ESTIMACIÓN DE COSTOS POR INDISPONIBILIDAD				
					U03		Promedio de energía de Unidad 105 Mw/h	Promedio USD\$ KWh Molino	Promedio USD kWh Real con Hidráulicas
Item	Fecha	Sistema	Tiempo Indisponible	Causa de la falla	Sistema	Tiempo Indisponible	Energía por indisponibilidad	0.002	0.15
1	7-may-00	TH	05H24	Inyectores trabados. Se presenta vibración en recinto acople turbina generador y elevación de temperatura en cojinetes. Luego de la revisión se halla que los ejes de puntería de inyectores #5 y #6 estaban trabados.	TH	5.40	567	\$ 1,134.00	\$ 85,050.00
2	5-ene-01	TH	09H30	Reparación del rodete.,	TH	9.50	997.5	\$ 1,995.00	\$ 149,625.00
3	11-feb-01	TH	08H00	Reparación del rodete.	TH	8.00	840	\$ 1,680.00	\$ 126,000.00
4	8-ago-02	TH	03H00	Calibración de agujas de los inyectores	TH	3.00	315	\$ 630.00	\$ 47,250.00
5	20-ene-03	AE	11H00	Cambio de válvula tipo mariposa de accionamiento neumático de bomba principal B del sistema de agua de enfriamiento.	AE	11.00	1155	\$ 2,310.00	\$ 173,250.00
6	23-abr-04	IA	05H06	Fuga de aceite por tubería de bomba de alta presión	IA	5.10	535.5	\$ 1,071.00	\$ 80,325.00
7	7-ene-05	GE	00H40	Fuga de agua por junta flexible de radiador No. 4 del generador.	GE	0.67	70	\$ 140.00	\$ 10,500.00
8	6-ago-05	IA	10H46	Fuga de aceite por cañería de manómetro de bomba de alta presión.	IA	10.77	1130.5	\$ 2,261.00	\$ 169,575.00
9	21-dic-05	SSG	04H51	Ruido anormal en el SSG del generador.	AR	4.85	509.25	\$ 1,018.50	\$ 76,387.50
10	13-jun-07	VG	01H15	Cambio de válvula VHWWQ	VG	1.25	131.25	\$ 262.50	\$ 19,687.50
11	17-ene-08	TU	04H04	Corrección de fuga de agua por tubería del tacho regulador de caudal del intercambiador de calor del Transformador Principal	TU	4.07	427	\$ 854.00	\$ 64,050.00

12	25-jul-09	VG	05H25	Fuga de agua por la válvula de aireación	VG	5.42	568.75	\$ 1,137.50	\$ 85,312.50
13	28-jul-09	VG	01H37	Fuga de agua por la válvula de aireación.	VG	1.62	169.75	\$ 339.50	\$ 25,462.50
14	7-ene-10	VG	55:08	Cambio de la válvula hongo del by-pass de la válvula esférica por desgaste de sellos y bridas.	VG	7.13	749	\$ 1,498.00	\$ 112,350.00
15	20-mar-13	AB	03H27	Fuga de aceite en el sistema oleodinámico del regulador de velocidad.	AB	3.45	362.25	\$ 724.50	\$ 54,337.50
16	19-dic-13	VG	05H46	Fuga de agua en la válvula de aireación 20A de la válvula esférica.	VG	5.77	605.5	\$ 1,211.00	\$ 90,825.00
17	30-dic-14	GE	06H00	Fuga de agua por la junta flexible de la tubería de entrada al radiador #4 del generador, además de la corrección de la válvula limitadora de presión de la bomba de alta presión.	GE	6.00	630	\$ 1,260.00	\$ 94,500.00
					Mínimo	0.67	70.00	\$ 140.00	\$ 10,500.00
					Promedio	5.01	525.63	\$ 1,051.25	\$ 78,843.75
					Alto	11.00	1155.00	\$ 2,310.00	\$ 173,250.00
Sistema	No. Fallos	Tasa de fallas /h (λ)	Confiabilidad t= 1 año	Probabilidad de que falle en 1 año	Probabilidad de que falle en 2 año	Probabilidad de que falle en 3 años	Probabilidad de que falle en 4 años	Probabilidad de que falle en 5 años	
Turbina Hidráulica	4	0.0000454	75.74%	24.26%	42.63%	56.55%	67.09%	75.07%	
Generador Principal	2	0.0000227	87.03%	12.97%	24.26%	34.08%	42.63%	50.07%	
Sistema de señal de velocidad	1	0.0000114	93.29%	6.71%	12.97%	18.81%	24.26%	29.34%	
Acumulación Bombeo	1	0.0000114	93.29%	6.71%	12.97%	18.81%	24.26%	29.34%	
Válvula de Guarda	5	0.0000568	70.66%	29.34%	50.07%	64.72%	75.07%	82.38%	
Agua Enfriamiento	1	0.0000114	93.29%	6.71%	12.97%	18.81%	24.26%	29.34%	
Alta presión	2	0.0000227	87.03%	12.97%	24.26%	34.08%	42.63%	50.07%	
Total Fallas	16	0.0001817	32.91%	67.09%	89.17%	96.43%	98.83%	99.61%	

Horas de Operación Totales durante los años 2000-2014	Promedio de Horas Generación eléctrica	Hrs Operación
88,064.66	1 año	6,116.53
	2 año	12,233.06
	3 año	18,349.60
	4 año	24,466.13
	5 año	30,582.66

ANEXO 4 RESUMEN DE FALLAS MECÁNICAS, ESTIMACIÓN DE PROBABILIDADES Y CONSECUENCIAS U04

RESUMEN DE FALLAS PRESENTADAS DURANTE 2000-2014 UNIDAD 04 CENTRAL MOLINO Mantenimiento Mecánico					ESTIMACIÓN DE COSTOS POR INDISPONIBILIDAD				
					U04		Promedio de energía de Unidad 105 Mw/h	Promedio USD\$ kWh Molino	Promedio USD kWh Real con Hidráulicas
Item	Fecha	Sistema	Tiempo Indisponible	Causa de la falla	Sistema	Tiempo Indisponible	Energía por indisponibilidad	0.002	0.15
1	14-jun-01	TH	04H00	Reparación de deflectores.	TH	4.00	420	\$ 840.00	\$ 63,000.00
2	24-ene-03	TH	04H50	Reparación de fuga de aceite por tubería de retorno del inyector 5.	TH	4.83	507.5	\$ 1,015.00	\$ 76,125.00
3	19-feb-05	TH	04H09	Fuga de aceite por tubería de inyector No. 4	TH	4.15	435.75	\$ 871.50	\$ 65,362.50
4	10-sep-06	FL	00H59	Reparación del sistema de frenado, gato # 3 trabado	FL	0.98	103.25	\$ 206.50	\$ 15,487.50
5	4-jun-08	GE	06H38	Operación en prueba de la U04	GE	6.63	696.5	\$ 1,393.00	\$ 104,475.00
6	14-oct-10	AB	00H22	Falla Bomba 2 de Regulador de Velocidad.	AB	0.37	38.5	\$ 77.00	\$ 5,775.00
7	23-ene-10	AE	05H14	Falla en SAE. Bajo Nivel de agua para bombas en Fase AB	AE	5.23	549.5	\$ 1,099.00	\$ 82,425.00
8	14-oct-10	AB	01H45	Falla de la bomba 2 del sistema de acumulación aire-aceite del regulador de velocidad	AB	1.75	183.75	\$ 367.50	\$ 27,562.50
9	19-mar-11	AB	02H18	Falla en la válvula de control del sistema de acumulación del Regulador de Velocidad.	AB	2.30	241.5	\$ 483.00	\$ 36,225.00
10	20-may-11	SSG	06H59	Daño en los rodamientos del sistema de medición de velocidad SSG	AR	6.98	733.25	\$ 1,466.50	\$ 109,987.50
11	7-feb-12	VG	03H25	Reparación de la tubería de alimentación al decantador de válvula esférica	VG	3.42	358.75	\$ 717.50	\$ 53,812.50
12	9-may-12	CJ	02H51	Cambio de la válvula del intercambiador de calor del cojinete combinado	CJ	2.85	299.25	\$ 598.50	\$ 44,887.50

13	3-jun-12	VG	01H20	Perforación en la tubería de alimentación al decantador de válvula esférica.	VG	1.33	140	\$ 280.00	\$ 21,000.00
14	1-feb-13	TH	07H31	Operación defectuosa del inyector No 5 de la turbina.	TH	7.52	789.25	\$ 1,578.50	\$ 118,387.50
15	3-nov-13	SSG	04H37	Daños en los rodamientos en el sistema de medición de velocidad SSG.	AR	4.62	484.75	\$ 969.50	\$ 72,712.50
					Mínimo	0.37	38.50	\$ 77.00	\$ 5,775.00
					Promedio	3.78	397.25	\$ 794.50	\$ 59,587.50
					Alto	7.52	789.25	\$ 1,578.50	\$ 118,387.50
PROBABILIDADES DE FALLA U04									
Sistema	No. Fallos	Tasa de fallas /h (λ)	Confiabilidad ad t= 1 año	Probabilidad de que falle en 1 año	Probabilidad de que falle en 2 años	Probabilidad de que falle en 3 años	Probabilidad de que falle en 4 años	Probabilidad de que falle en 5 años	
Turbina Hidráulica	4	0.0000494	73.90%	26.10%	45.39%	59.64%	70.17%	77.96%	
Generador Principal	1	0.0000124	92.72%	7.28%	14.03%	20.29%	26.10%	31.48%	
Sistema de señal de velocidad	2	0.0000247	85.97%	14.03%	26.10%	36.47%	45.39%	53.05%	
Acumulación Bombeo	3	0.0000371	79.71%	20.29%	36.47%	49.36%	59.64%	67.83%	
Válvula de Guarda	2	0.0000247	85.97%	14.03%	26.10%	36.47%	45.39%	53.05%	
Frenos y gatos	1	0.0000124	92.72%	7.28%	14.03%	20.29%	26.10%	31.48%	
Total Fallas	13	0.0001607	37.42%	62.58%	86.00%	94.76%	98.04%	99.27%	
Horas de Operación Totales durante los años 2000-2013				Promedio de Horas Generación eléctrica			Hrs Operación		
80,895.02				1 año			6,116.53		
				2 año			12,233.06		
				3 año			18,349.60		
				4 año			24,466.13		
				5 año			30,582.66		

ANEXO 5 RESUMEN DE FALLAS MECÁNICAS, ESTIMACIÓN DE PROBABILIDADES Y CONSECUENCIAS U05

RESUMEN DE FALLAS PRESENTADAS DURANTE 2000-2014 UNIDAD 05 CENTRAL MOLINO Mantenimiento Mecánico					ESTIMACIÓN DE COSTOS POR INDISPONIBILIDAD U05				
					U05		Promedio de energía de Unidad 105 Mw/h	Promedio USD\$ kWh Molino	Promedio USD kWh Real con Hidráulicas
Item	Fecha	Sistema	Tiempo Indisponible	Causa de la falla	Sistema	Tiempo Indisponible	Energía por indisponibilidad	0.002	0.15
1	6-ene-01	VG	02H30	Reparación de válvula F-MAN.	VG	2.50	262.5	\$ 525.00	\$ 39,375.00
2	8-dic-01	VG	14H30	Válvula V4' del By-Pass de presurización del distribuidor de la turbina dañada, en posición cerrado.	VG	14.50	1522.5	\$ 3,045.00	\$ 228,375.00
3	4-may-02	AB	01H50	Revisión del sistema de regulación, nivel y presión, y actuación de prosóstato del tanque y del sistema (Alargue de mantenimiento programado)	AB	1.83	192.5	\$ 385.00	\$ 28,875.00
4	25-abr-02	AB	00H11	Baja presión de aceite del regulador, por mala maniobra en el control de nivel de aceite en el tanque acumulador. Se produce la actuación de relé de emergencia mecánica a causa de baja presión (22.5 Kg/cm2) en el regulador, provocado por una mala maniobra en el de control manual del nivel de aceite en el acumulador mediante drenaje de aire del tanque.	AB	0.18	19.25	\$ 38.50	\$ 2,887.50
5	16-feb-03	VG	22H58	Reparación de fuga de agua en by-pass de válvula esférica.	VG	22.97	2411.5	\$ 4,823.00	\$ 361,725.00
6	1-jul-03	VG	01H14	Fuga de agua en tubería que conecta a la válvula V9, en Válvula Esférica, lo que provoca falta de presión en 63 Q by-pass y la consecuente pérdida de presión en el circuito de regulación de velocidad.	VG	1.23	129.5	\$ 259.00	\$ 19,425.00
7	12-abr-04	TH	02H40	Reparación de acople de tubería de aceite del inyector 6	TH	2.67	280	\$ 560.00	\$ 42,000.00

8	15-jul-05	GE	00H23	Sobre temperatura aire del Generador	GE	0.38	40.25	\$ 80.50	\$ 6,037.50	
9	13-feb-10	TH	02H44	Re calibración de inyectores de la turbina.	TH	2.73	287	\$ 574.00	\$ 43,050.00	
10	25-dic-13	VG	07H23	Cambio de la válvula hongo en la válvula esférica.	VG	7.38	775.25	\$ 1,550.50	\$ 116,287.50	
						Horas Indis	Energía por indisponibilidad	USD\$ KWh	USD\$ KWh Hidráulicas Real	
						Mínimo	0.18	19.25	\$ 38.50	\$ 2,887.50
						Promedio	5.64	592.03	\$ 1,184.05	\$ 88,803.75
						Alto	22.97	2411.50	\$ 4,823.00	\$ 361,725.00
PROBABILIDADES DE FALLA U05										
Sistema	No. Fallos	Tasa de fallas /h (λ)	Confiabilidad t= 1 año	Probabilidad de que falle en 1 año	Probabilidad de que falle en 2 año	Probabilidad de que falle en 3 años	Probabilidad de que falle en 4 años	Probabilidad de que falle en 5 años		
Turbina Hidráulica	2	0.0000226	87.10%	12.90%	24.14%	33.92%	42.45%	49.87%		
Generador Principal	1	0.0000113	93.33%	6.67%	12.90%	18.71%	24.14%	29.20%		
Acumulación Bombeo	2	0.0000226	87.10%	12.90%	24.14%	33.92%	42.45%	49.87%		
Total Fallas	5	0.0000565	70.80%	29.20%	49.87%	64.51%	74.87%	82.21%		
Horas de Operación Totales durante los años 2000-2013				Promedio de Horas Generación eléctrica			Hrs Operación			
88,569.67				1 año			6,116.53			
				2 año			12,233.06			
				3 año			18,349.60			
				4 año			24,466.13			
				5 año			30,582.66			

ANEXO 6 RESUMEN DE FALLAS MECÁNICAS, ESTIMACIÓN DE PROBABILIDADES Y CONSECUENCIAS U06

RESUMEN DE FALLAS PRESENTADAS DURANTE 2000-2014 UNIDAD 06 CENTRAL MOLINO Mantenimiento Mecánico					ESTIMACIÓN DE COSTOS POR INDISPONIBILIDAD U06					
					U06		Promedio de energía de Unidad 105 Mw/h	Promedio USD\$ KWh Molino	Promedio USD KWh Real con Hidráulicas	
Item	Fecha	Sistema	Tiempo Indisponible	Causa de la falla	Sistema	Tiempo Indisponible	Energía por indisponibilidad	0.002	0.15	
1	11-nov-01	GE	02H51	Fuga en radiador # 4 del generador.	GE	2.85	327.75	\$ 655.50	\$ 49,162.50	
2	4-nov-02	GE	00H57	Corrección de fuga de agua por el radiador 4 del generador	GE	0.95	109.25	\$ 218.50	\$ 16,387.50	
3	2-dic-03	AB	03H25	Fuga de agua por tubería de válvula hongo hacia la cuba del sistema de regulación.	AB	3.42	392.92	\$ 785.83	\$ 58,937.50	
4	31-ene-06	VG	05H19	Cambio de la válvula hongo de la válvula esférica	VG	5.32	611.42	\$ 1,222.83	\$ 91,712.50	
5	4-may-10	AB	03H48	Baja presión en circuito del sistema oleodinámico.	AB	3.80	437.00	\$ 874.00	\$ 65,550.00	
6	7-abr-14	AB	01H12	Fuga de aceite en el sistema oleodinámico, en la tubería que va desde la válvula VQ hacia la HQ-12i (V. Esférica) y presencia de aceite en la válvula de DCSP del posicionado #2 en el acople Guía Turbina.	AB	1.20	138.00	\$ 276.00	\$ 20,700.00	
						Horas Indis	Energía por indisponibilidad	USD\$ KWh	USD\$ KWh Hidráulicas Real	
						Mínimo	0.95	109.25	\$ 218.50	\$ 16,387.50
						Promedio	2.92	336.06	\$ 672.11	\$ 50,408.33
						Alto	5.32	611.42	\$ 1,222.83	\$ 91,712.50

PROBABILIDADES DE FALLA U06								
Sistema	No. Fallos	Tasa de fallas /h (λ)	Confiabilidad t= 1 año	Probabilidad de que falle en 1 año	Probabilidad de que falle en 2 año	Probabilidad de que falle en 3 años	Probabilidad de que falle en 4 años	Probabilidad de que falle en 5 años
Generador Principal	2	0.0000203	88.30%	11.70%	22.02%	31.15%	39.20%	46.31%
Acumulación Bombeo	3	0.0000305	82.98%	17.02%	31.15%	42.87%	52.59%	60.66%
Válvula de Guarda	1	0.0000102	93.97%	6.03%	11.70%	17.02%	22.02%	26.73%
Total Fallas	6	0.0000610	68.85%	31.15%	52.59%	67.36%	77.52%	84.52%
Horas de Operación Totales durante los años 2000-2014				Promedio de Hrs Generación eléctrica		Hrs Operación		
98,344.26				1 año		6,116.53		
				2 año		12,233.06		
				3 año		18,349.60		
				4 año		24,466.13		
				5 año		30,582.66		

ANEXO 7 RESUMEN DE FALLAS MECÁNICAS, ESTIMACIÓN DE PROBABILIDADES Y CONSECUENCIAS U07

RESUMEN DE FALLAS PRESENTADAS DURANTE 2000-2014 UNIDAD 07 CENTRAL MOLINO Mantenimiento Mecánico					ESTIMACIÓN DE COSTOS POR INDISPONIBILIDAD				
					U07		Promedio de energía de Unidad 105 Mw/h	Promedio USD\$ KWh Molino	Promedio USD KWh Real con Hidráulicas
Item	Fecha	Sistema	Tiempo Indisponible	Causa de la falla	Sistema	Tiempo Indisponible	Energía por indisponibilidad	0.002	0.15
1	30-jun-00	AB	0.13	Se produce el disparo de la unidad por actuación del bloqueo mecánico 86M, debido a la falla en el regulador de velocidad al descender el nivel del aceite por encontrarse el compresor de aire en funcionamiento continuo.	AB	3.20	368.00	\$ 736.00	\$ 55,200.00
2	21-ago-01	EX	1.93	Falla en banda del motor del ventilador superior del sistema de excitación.	EX	22.40	2576.00	\$ 5,152.00	\$ 386,400.00
3	26-sep-01	TH	2.42	Fuga de aceite por eje de punteria del inyector # 3 de la turbina.	TH	10.00	1150.00	\$ 2,300.00	\$ 172,500.00
4	24-dic-01	GE	4.00	Fuga en radiador # 1 del generador.	GE	0.00	0.00	\$ 0.00	\$ 0.00
5	10-nov-05	AB	1.00	Baja Presión en el Sistema de Acumulación y Bombeo.	AB	0.00	0.00	\$ 0.00	\$ 0.00
6	23-mar-08	GE	2.62	Reparación de tubería del Sistema de Agua de Enfriamiento del generador (radiadores).	GE	14.80	1702.00	\$ 3,404.00	\$ 255,300.00
7	7-dic-08	TU	5.27	Problemas en el intercambiador de calor del Transformador Principal de Unidad.	TU	6.40	736.00	\$ 1,472.00	\$ 110,400.00
8	4-ene-09	GE	3.88	Perforación del intercambiador de calor del cojinete guía inferior del generador.	GE	21.20	2438.00	\$ 4,876.00	\$ 365,700.00
9	27-abr-09	IA	7.37	Bloqueo en la tubería de inyección de aceite a uno de los patines del cojinete de empuje.	IA	8.80	1012.00	\$ 2,024.00	\$ 151,800.00
10	9-jul-09	CJ	8.78	Fuga de aceite del cojinete combinado.	CJ	18.80	2162.00	\$ 4,324.00	\$ 324,300.00

11	22-dic-09	AB	1.50	Fuga de aceite por NQPR1-2	AB	12.00	1380.00	\$ 2,760.00	\$ 207,000.00
12	28-dic-09	GE	21.82	Perforación en el radiador N°1 del generador.	GE	19.60	2254.00	\$ 4,508.00	\$ 338,100.00
13	14-ene-10	CJ	2.40	Nivel aceite Cojinete Combinado Paso 1	CJ	9.60	1104.00	\$ 2,208.00	\$ 165,600.00
14	10-abr-10	GE	7.38	Cambio de radiadores y válvulas DCSP.	GE	9.20	1058.00	\$ 2,116.00	\$ 158,700.00
15	27-oct-12	IA	47.75	Problemas en las válvulas reguladoras del sistema de alta presión.	IA	47.75	5491.25	\$ 10,982.50	\$ 823,687.50
16	20-oct-13	CJ	29.40	Fuga de agua por el intercambiador de calor del cojinete combinado.	CJ	29.40	3381.00	\$ 6,762.00	\$ 507,150.00
					Mínimo	9.20	1058.00	\$ 2,116.00	\$ 158,700.00
					Promedio	21.26	2444.71	\$ 4,889.42	\$ 366,706.25
					Alto	47.75	5491.25	\$ 10,982.50	\$ 823,687.50
PROBABILIDADES DE FALLA U07									
Sistema	No. Fallos	Tasa de fallas /h (λ)	Confiabilidad t= 1 año	Probabilidad de que falle en 1 año	Probabilidad de que falle en 2 año	Probabilidad de que falle en 3 años	Probabilidad de que falle en 4 años	Probabilidad de que falle en 5 años	
Turbina Hidráulica	1	0.0000114	93.24%	6.76%	13.07%	18.95%	24.43%	29.54%	
Generador Principal	5	0.0000572	70.46%	29.54%	50.35%	65.02%	75.35%	82.63%	
Excitación	1	0.0000114	93.24%	6.76%	13.07%	18.95%	24.43%	29.54%	
Acumula. Bombeo	3	0.0000343	81.05%	18.95%	34.31%	46.75%	56.84%	65.02%	
Alta presión	2	0.0000229	86.93%	13.07%	24.43%	34.31%	42.89%	50.35%	
Cojinete Combinado	2	0.0000229	86.93%	13.07%	24.43%	34.31%	42.89%	50.35%	
Total Fallas	14	0.0001603	37.52%	62.48%	85.92%	94.72%	98.02%	99.26%	
Horas de Operación Totales durante los años 2000-2013			Promedio de Hrs Generación eléctrica				Hrs Operación		
87,346.92			1 año				6,116.53		
			2 año				12,233.06		
			3 año				18,349.60		
			4 año				24,466.13		
			5 año				30,582.66		

ANEXO 8 RESUMEN DE FALLAS MECÁNICAS, ESTIMACIÓN DE PROBABILIDADES Y CONSECUENCIAS U08

RESUMEN DE FALLAS PRESENTADAS DURANTE 2000-2014 UNIDAD 08 CENTRAL MOLINO Mantenimiento Mecánico					ESTIMACIÓN DE COSTOS POR INDISPONIBILIDAD U08				
					U08		Promedio de energía de Unidad 105 Mw/h	Promedio USD\$ KWh Molino	Promedio USD KWh Real con Hidráulicas
Item	Fecha	Sistema	Tiempo Indisponible	Causa de la falla	Sistema	Tiempo Indisponible	Energía por indisponibilidad	0.002	0.15
1	10-jun-00	AB	2:43	Se dispara la unidad por falla en sistema de acumulación y bombeo al detenerse las bombas de aceite y actuar bloqueo mecánico 86M.	AB	2.72	312.42	\$ 624.83	\$ 46,862.50
2	23-jul-00	AB	0:12	El disparo se produce debido a que el personal de mantenimiento arranca el compresor de la unidad 9 (en mantenimiento) para normalizar presión de aire, sin percatarse que las válvulas de interconexión de la U8 y U9 estaban abiertas, lo que produjo la descarga de aire de la U8 a la U9, produciéndose la disminución intempestiva de la presión de aire y el disparo del interruptor	VG	0.20	23.00	\$ 46.00	\$ 3,450.00
3	30-jul-00	VG	1:17	La unidad generaba normalmente, cuando se produce el cierre intempestivo de válvula esférica, manualmente por error humano la válvula de paso de aceite VQ2, causando actuación del bloqueo mecánico y disparo de la unidad.	AB	1.28	147.58	\$ 295.17	\$ 22,137.50
4	18-feb-01	AB	3:00	Cambio de válvula de drenaje de aire del regulador.	CJ	3.00	345.00	\$ 690.00	\$ 51,750.00
5	24-jun-01	CJ	10:00	Cambio de intercambiador de calor del cojinete combinado del generador.	TH	10.00	1150.00	\$ 2,300.00	\$ 172,500.00
6	10-feb-02	TH	4:58	Calibración de agujas de los inyectores	GE	4.97	571.17	\$ 1,142.33	\$ 85,675.00

7	19-abr-02	GE	3:30	Reparación de tapa inferior de radiador numero 6	EX	3.50	402.50	\$ 805.00	\$ 60,375.00	
8	30-mar-03	EX	2:23	Cambio de motor del ventilador inferior del sistema de excitación.	VU	2.38	274.08	\$ 548.17	\$ 41,112.50	
9	11-jul-03	VU	0:45	Secado de los transformadores de excitación por fuga de agua por radiador de ventilación B	VG	0.75	86.25	\$ 172.50	\$ 12,937.50	
10	20-dic-04	VG	11:56	Fuga de agua por eje de sello mecánico del Servomotor de Válvula Esférica, cambio de eje	VG	11.93	1372.33	\$ 2,744.67	\$ 205,850.00	
11	23-dic-05	VG	6:35	Fuga de agua por válvula hongo de la válvula esférica.	VG	6.58	757.08	\$ 1,514.17	\$ 113,562.50	
12	14-ene-06	VG	3:55	Cambio de la válvula hongo de la válvula esférica	TH	3.92	450.42	\$ 900.83	\$ 67,562.50	
13	13-sep-08	TH	2:12	Falla en el mecanismo de actuación del inyector # 5.	AB	2.20	253.00	\$ 506.00	\$ 37,950.00	
14	26-ene-09	AB	1:27	Bajo nivel de aceite en el sistema de regulación de velocidad	TH	1.45	166.75	\$ 333.50	\$ 25,012.50	
15	7-jul-09	TH	10:02	Revisión del sistema de excitación y calibración de inyectores	TH	10.03	1153.83	\$ 2,307.67	\$ 173,075.00	
16	22-feb-11	TH	2:34	Revisión de fuga de aceite en inyector No. 1	TH	2.57	295.17	\$ 590.33	\$ 44,275.00	
						Horas Indis	Energía por indisponibilidad	USD\$ KWh	USD\$ KWh Hidráulicas Real	
						Mínimo	1.45	166.75	\$ 333.50	\$ 25,012.50
						Promedio	4.46	512.71	\$ 1,025.42	\$ 76,906.25
						Alto	10.03	1153.83	\$ 2,307.67	\$ 173,075.00

PROBABILIDADES DE FALLA U08								
Sistema	No. Fallos	Tasa de fallas /h (λ)	Confiabilidad ad t= 1 año	Probabilidad de que falle en 1 año	Probabilidad de que falle en 2 año	Probabilidad de que falle en 3 años	Probabilidad de que falle en 4 años	Probabilidad de que falle en 5 años
Turbina Hidráulica	3	0.0000401	78.27%	21.73%	38.73%	52.05%	62.47%	70.62%
Generador Principal	1	0.0000134	92.16%	7.84%	15.07%	21.73%	27.87%	33.52%
Excitación	1	0.0000134	92.16%	7.84%	15.07%	21.73%	27.87%	33.52%
Acumulación Bombeo	4	0.0000534	72.13%	27.87%	47.97%	62.47%	72.92%	80.47%
Válvula de Guarda	4	0.0000534	72.13%	27.87%	47.97%	62.47%	72.92%	80.47%
Cojinete Combinado	1	0.0000134	92.16%	7.84%	15.07%	21.73%	27.87%	33.52%
Total Fallas	14	0.0001869	31.88%	68.12%	89.84%	96.76%	98.97%	99.67%
Horas de Operación Totales durante los años 2000-2011				Promedio de Hrs Generación eléctrica			Hrs Operación	
74,904.20				1 año			6,116.53	
				2 año			12,233.06	
				3 año			18,349.60	
				4 año			24,466.13	
				5 año			30,582.66	

ANEXO 9 RESUMEN DE FALLAS MECÁNICAS, ESTIMACIÓN DE PROBABILIDADES Y CONSECUENCIAS U09

RESUMEN DE FALLAS PRESENTADAS DURANTE 2000-2014 UNIDAD 09 CENTRAL MOLINO Mantenimiento Mecánico					ESTIMACIÓN DE COSTOS POR INDISPONIBILIDAD				
					U09		Promedio de energía de Unidad 105 Mw/h	Promedio USD\$ KWh Molino	Promedio USD KWh Real con Hidráulicas
Item	Fecha	Sistema	Tiempo Indisponible	Causa de la falla	Sistema	Tiempo Indisponible	Energía por indisponibilidad	0.002	0.15
1	5-ago-02	TH	2:38	Variación brusca de carga, inyector # 1 trabado	TH	2.63	302.83	\$ 605.67	\$ 45,425.00
2	20-sep-02	AB	2:18	Baja presión en el sistema de regulación de velocidad	AB	2.30	264.50	\$ 529.00	\$ 39,675.00
3	5-feb-03	TH	10:40	Reparación de mecanismo de apertura y cierre de inyectores impares	TH	10.67	1226.67	\$ 2,453.33	\$ 184,000.00
4	20-ago-03	TH	4:08	Inyector 2 de Turbina Hidráulica trabado.	TH	4.13	475.33	\$ 950.67	\$ 71,300.00
5	27-dic-03	TH	10:33	Revisión por fuga de aceite por inyectores 5 y 6.	TH	10.55	1213.25	\$ 2,426.50	\$ 181,987.50
6	30-ene-04	CJ	15:50	Rotura de junta flexible del intercambiador de calor del cojinete combinado	CJ	15.83	1820.83	\$ 3,641.67	\$ 273,125.00
7	27-jul-04	VG	10:43	Fuga de agua por válvula hongo de válvula esférica (cambio de válvula)	VG	10.72	1232.42	\$ 2,464.83	\$ 184,862.50
8	3-sep-04	VG	11:00	Cambio de empaques en válvula V4' de By-Pass de válvula esférica	VG	11.00	1265.00	\$ 2,530.00	\$ 189,750.00
9	7-jul-05	TH	3:09	Cambio de tubería de aceite del inyector No. 4.	TH	3.15	362.25	\$ 724.50	\$ 54,337.50
10	5-ago-07	AE	19:00	Cambio de bomba principal No. 1 del sistema de agua de enfriamiento	AE	19.00	2185.00	\$ 4,370.00	\$ 327,750.00
11	18-mar-11	TH	3:41	Daño de la válvula de aireación del distribuidor de la turbina	TH	3.68	423.58	\$ 847.17	\$ 63,537.50
12	4-jun-11	VG	1:57	Fuga de agua por tubería de By-Pass del llenado del cuerpo de válvula esférica	VG	1.95	224.25	\$ 448.50	\$ 33,637.50
					Mínimo	1.95	224.25	\$ 448.50	\$ 33,637.50

Promedio	8.25	948.75	\$ 1,897.50	\$ 142,312.50
Alto	19.00	2185.00	\$ 4,370.00	\$ 327,750.00

PROBABILIDADES DE FALLA U09

Sistema	No. Fallos	Tasa de fallas /h (λ)	Confiabilidad t= 1 año	Probabilidad de que falle en 1 año	Probabilidad de que falle en 2 años	Probabilidad de que falle en 3 años	Probabilidad de que falle en 4 años	Probabilidad de que falle en 5 años
Turbina Hidráulica	6	0.0000766	62.58%	37.42%	60.83%	75.49%	84.66%	90.40%
Acumulación Bombeo	1	0.0000128	92.49%	7.51%	14.46%	20.89%	26.83%	32.33%
Válvula de Guarda	3	0.0000383	79.11%	20.89%	37.42%	50.49%	60.83%	69.01%
Cojinete Combinado	1	0.0000128	92.49%	7.51%	14.46%	20.89%	26.83%	32.33%
Total Fallas	11	0.0001405	42.35%	57.65%	82.06%	92.40%	96.78%	98.64%

Horas de Operación Totales durante los años 2000-2011	Promedio de Hrs Generación eléctrica	Hrs Operación
78,306.96	1 año	6,116.53
	2 año	12,233.06
	3 año	18,349.60
	4 año	24,466.13
	5 año	30,582.66

ANEXO 10 RESUMEN DE FALLAS MECÁNICAS, ESTIMACIÓN DE PROBABILIDADES Y CONSECUENCIAS U10

RESUMEN DE FALLAS PRESENTADAS DURANTE 2000-2014 UNIDAD 10 CENTRAL MOLINO					ESTIMACIÓN DE COSTOS POR INDISPONIBILIDAD U10					
					U10		Promedio de energía de Unidad 105 Mw/h	Promedio USD\$ KWh Molino	Promedio USD KWh Real con Hidráulicas	
Item	Fecha	Sistema	Tiempo Indisponible	Causa de la falla	Sistema	Tiempo Indisponible	Energía por indisponibilidad	0.002	0.15	
2	20-jul-00	EX	2:05	Avería en ventilador del sistema de excitación. Se presenta alarma "Falla un ventilador", se consigna la máquina para revisión del motor y cambio de bandas del ventilador inferior del sistema de excitación.	EX	2.08	239.58	\$ 479.17	\$ 35,937.50	
3	12-oct-04	AB	2:18	Limpieza y calibración de válvula NQPR1/2 del regulador de velocidad	AB	2.30	264.50	\$ 529.00	\$ 39,675.00	
4	21-jun-05	VG	5:17	Válvula esférica no abre en el momento de arranque de la unidad.	VG	5.28	607.58	\$ 1,215.17	\$ 91,137.50	
5	16-jul-05	VG	0:27	Válvula esférica no abre por no accionamiento del sello aguas abajo en el proceso de arranque.	VG	0.45	51.75	\$ 103.50	\$ 7,762.50	
6	3-nov-05	TH	2:40	Fuga de aceite por tubería de inyector No. 1	TH	2.67	306.67	\$ 613.33	\$ 46,000.00	
7	7-ene-06	VG	0:24	Válvula Esférica en secuencia de arranque, no abre	VG	0.40	46.00	\$ 92.00	\$ 6,900.00	
8	16-ene-06	VG	0:14	No abre válvula esférica durante la secuencia de arranque	VG	0.23	26.83	\$ 53.67	\$ 4,025.00	
9	23-mar-09	TH	3:09	Perforación en la tubería de control de apertura/cierre del inyector #6	TH	3.15	362.25	\$ 724.50	\$ 54,337.50	
						Horas Indis	Energía por indisponibilidad	USD\$ KWh	USD\$ KWh Hidráulicas Real	
						Mínimo	0.23	26.83	\$ 53.67	\$ 4,025.00
						Promedio	1.38	158.70	317.40	\$ 23,805.00

Alto	3.15	362.25	\$ 724.50	\$ 54,337.50
------	------	--------	-----------	--------------

PROBABILIDADES DE FALLA U10

Sistema	No. Fallos	Tasa de fallas /h (λ)	Confiabilidad t= 1 año	Probabilidad de que falle en 1 año	Probabilidad de que falle en 2 años	Probabilidad de que falle en 3 años	Probabilidad de que falle en 4 años	Probabilidad de que falle en 5 años
Turbina Hidráulica	2	0.0000326	81.91%	18.09%	32.90%	45.04%	54.98%	63.12%
Excitación	1	0.0000163	90.51%	9.49%	18.09%	25.86%	32.90%	39.27%
Acumulación Bombeo	1	0.0000163	90.51%	9.49%	18.09%	25.86%	32.90%	39.27%
Válvula de Guarda	4	0.0000652	67.10%	32.90%	54.98%	69.79%	79.73%	86.40%
Total Fallas	8	0.0001305	45.02%	54.98%	79.73%	90.87%	95.89%	98.15%

Horas de Operación Totales durante los años 2000-2011	Promedio de Hrs Generación eléctrica	Hrs Operación
61,317.55	1 año	6,116.53
	2 año	12,233.06
	3 año	18,349.60
	4 año	24,466.13
	5 año	30,582.66

ANEXO 11 DATOS Y PROMEDIOS DE HORAS DE OPERACIÓN DE LAS UNIDADES DE GENERACION

HORAS ACUMULADAS DE LAS UNIDADES DE GENERACIÓN										
	U1	U2	U3	U4	U5	U6	U7	U8	U9	U10
1999	104321.74	108286.26	106286.27	105404.79	101635.93	45169.17	49393.7	49482.64	50297.59	38182.97
Año 2000	110705.77	114078.23	112435.09	111580.18	107564.27	52567.72	56206.08	56553.82	57468.05	45273.64
Año 2001	115241.46	118716.59	117488.02	116595.96	115001.78	60648.80	62123.35	62201.55	63302.92	51592.83
Año 2002	121194.98	124454.45	122901.63	122466.62	121505.62	66720.80	68189.72	68416.28	69665.40	57988.53
Año 2003	127181.91	129869.12	129463.43	127684.73	126768.30	73019.79	74207.73	74431.42	75467.95	63697.95
Año 2004	132343.11	134745.78	135025.37	133889.93	132923.47	78987.52	80490.13	81168.34	81616.44	69928.61
Año 2005	138129.61	140278.60	140055.58	138481.70	138272.40	84661.00	86457.78	86855.45	87367.70	75704.77
Año 2006	143434.52	145379.38	144986.62	143984.48	143318.97	91264.63	91824.70	92412.72	93611.70	81733.11
Año 2007	148848.67	151134.17	150640.68	149633.25	149456.75	97121.92	97564.18	99318.25	100782.05	87399.90
Año 2008	155978.97	158293.13	158018.97	154215.52	157080.52	104747.12	104942.30	106554.65	108097.55	93793.80
Año 2009	161363.40	163595.43	163596.78	160290.38	162576.51	110613.30	110957.32	112598.85	114018.70	99500.52
Año 2010	165800.23	168149.21	168087.47	164971.70	168042.25	115542.42	115619.03	117596.22	121083.42	104259.87
Año 2011	171159.17	174729.48	175013.10	172394.46	175478.73	122498.43	122272.35	124386.84	128604.55	108954.85
Año 2012	178321.03	181830.20	182222.45	179761.73	182675.86	129864.90	130189.20	131499.12	135747.80	114185.12
Año 2013	184431.26	188013.11	188366.87	186299.81	190205.60	136940.30	136740.62	137759.54	141933.88	120542.23
Año 2014	190383.96	193859.75	194350.93	192788.51	198516.57	143513.43	142922.05	144099.29	148472.30	127034.05

Horas de operación por años de las Unidades de generación										
Año	U1	U2	U3	U4	U5	U6	U7	U8	U9	U10
2000	6384.03	5791.97	6148.82	6175.39	5928.34	7398.55	6812.38	7071.18	7170.46	7090.67
2001	4535.70	4638.36	5052.93	5015.77	7437.51	8081.09	5917.28	5647.73	5834.87	6319.19
2002	5953.51	5737.86	5413.62	5870.67	6503.84	6072.00	6066.37	6214.73	6362.48	6395.70
2003	5986.93	5414.67	6561.80	5218.11	5262.68	6298.99	6018.00	6015.14	5802.54	5709.42
2004	5161.20	4876.67	5561.93	6205.20	6155.17	5967.73	6282.40	6736.92	6148.50	6230.65

2005	5786.51	5532.82	5030.22	4591.77	5348.93	5673.48	5967.66	5687.11	5751.26	5776.16
2006	5304.90	5100.78	4931.03	5502.78	5046.57	6603.63	5366.92	5557.27	6244.00	6028.35
2007	5414.15	5754.78	5654.07	5648.77	6137.78	5857.28	5739.48	6905.53	7170.35	5666.78
2008	7130.30	7158.96	7378.28	4582.27	7623.77	7625.20	7378.12	7236.40	7315.50	6393.90
2009	5384.43	5302.30	5577.82	6074.87	5496.00	5866.18	6015.02	6044.20	5921.15	5706.72
2010	4436.83	4553.78	4490.68	4681.32	5465.73	4929.12	4661.72	4997.37	7064.72	4759.35
2011	5358.93	6580.27	6925.63	7422.77	7436.48	6956.02	6653.32	6790.62	7521.13	4694.98
2012	7161.86	7100.72	7209.35	7367.27	7197.13	7366.47	7916.85	7112.28	7143.25	5230.27
2013	6110.23	6182.92	6144.42	6538.08	7529.73	7075.40	6551.42	6260.42	6186.08	6357.12
2014	5952.70	5846.63	5984.07	6488.70	8310.97	6573.13	6181.43	6339.75	6538.42	6491.82
Total de operación en 14 años	86062.22	85573.49	88064.66	87383.72	96880.64	98344.26	93528.35	94616.65	98174.71	88851.08
Promedio Anual	5737.48	5704.90	5870.98	5825.58	6458.71	6556.28	6235.22	6307.78	6544.98	5923.41
Promedio Anual de horas de operación				6116.53						

Horas acumuladas a los años de las ultimas fallas										
Año	U1	U2	U3	U4	U5	U6	U7	U8	U9	U10
Año 2009										61317.55
Año 2011	66837.43							74904.20	78306.96	
Año 2013		79726.85		80895.02	88569.67		87346.92			
Año 2014			88064.66			98344.26				