



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería de Mecánica Eléctrica

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE LAS METODOLOGÍAS DE MANTENIMIENTO  
PRODUCTIVO TOTAL (TPM) PARA AUMENTAR LA CONFIABILIDAD Y DISPONIBILIDAD  
DE UNA HIDROELÉCTRICA CON GENERADOR DISTRIBUIDO RENOVABLE (GDR) Y  
TURBINA PELTON EN GUATEMALA**

**Edwin Martin Aspuac Axpuc**

Asesorado por el MSc Ing. Edgar Estuardo Chaj Ramírez

Guatemala, noviembre de 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE LAS METODOLOGÍAS DE MANTENIMIENTO  
PRODUCTIVO TOTAL (TPM) PARA AUMENTAR LA CONFIABILIDAD Y DISPONIBILIDAD  
DE UNA HIDROELÉCTRICA CON GENERADOR DISTRIBUIDO RENOVABLE (GDR) Y  
TURBINA PELTON EN GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**EDWIN MARTIN ASPUAC AXPUAC**

ASESORADO POR EL MSC. ING. EDGAR ESTUARDO CHAJ RAMÍREZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO ELECTRICISTA**

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Armando Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Otto Fernando Andrino Gonzáles
EXAMINADOR	Ing. Jorge Armando Cortez Chanchavac
EXAMINADOR	Ing. Gustavo Benigno Orozco Godínez
SECRETARIO	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE LAS METODOLOGÍAS DE MANTENIMIENTO  
PRODUCTIVO TOTAL (TPM) PARA AUMENTAR LA CONFIABILIDAD Y DISPONIBILIDAD  
DE UNA HIDROELÉCTRICA CON GENERADOR DISTRIBUIDO RENOVABLE (GDR) Y  
TURBINA PELTON EN GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Estudios de Postgrado con fecha 31 de julio de 2021.

**Edwin Martin Aspuac Axpuc**

Ref. EEPFI-0948-2021  
Guatemala, 31 de julio de 2021

Director  
Armando Alonso Rivera Carrillo  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica  
Presente.

Estimado Ing. Rivera:

Reciba un cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado. El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el DISEÑO DE INVESTIGACIÓN: **METODOLOGÍAS DE MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL (TPM) PARA AUMENTAR LA CONFIABILIDAD Y DISPONIBILIDAD DE UNA HIDROELÉCTRICA CON GENERADOR DISTRIBUIDO RENOVABLE (GDR) Y TURBINA PELTON EN GUATEMALA**, presentado por el estudiante **Edwin Martin Aspuac Apxuac** carné número **200212734**, quien optó por la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la Maestría en Artes Ingeniería de Mantenimiento.

Y habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Décimo, Inciso 10.2 del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

Atentamente,

*"Id y Enseñad a Todos"*

EDGAR ESTUARDO CHAJ RAMIREZ  
INGENIERO ELECTRICISTA  
COLEGIADO NO. 9134

Mtro. Edgar Estuardo Chaj Ramírez  
Asesor

Mtra. Rocío Carolina Medina Galindo  
Coordinador de Maestría  
Ingeniería de Mantenimiento

Mtro. Edgar Darío Álvarez Cotí  
Director  
Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería



EEP-EIME-024-2021

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador y Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, del Diseño de Investigación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado titulado: **METODOLOGÍAS DE MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL (TPM) PARA AUMENTAR LA CONFIABILIDAD Y DISPONIBILIDAD DE UNA HIDROELÉCTRICA CON GENERADOR DISTRIBUIDO RENOVABLE (GDR) Y TURBINA PELTON EN GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario **Edwin Martin Aspucac Apxuac**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería en esta modalidad.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo  
Director

Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica



Guatemala, julio de 2021



**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Decanato  
Facultad de Ingeniería  
24189101 - 24189102  
secretariadecanato@ingenieria.usac.edu.gt

DTG. 631-2021

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE LAS METODOLOGÍAS DE MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL (TPM) PARA AUMENTAR LA CONFIABILIDAD Y DISPONIBILIDAD DE UNA HIDROELÉCTRICA CON GENERADOR DISTRIBUIDO RENOVABLE (GDR) Y TURBINA PELTON EN GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario: **Edwin Martin Aspuac Axpuc**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

  
Inga. Anabela Cordova Estrada  
Decana



Guatemala, noviembre de 2021

AACE/asga

## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Por bendecirme en el cumplimiento de esta meta.
<b>Mis padres</b>	Tomas Aspuac y María Axpuc, por su amor y su apoyo incondicional.
<b>Mis hermanos</b>	Regina, Magdalena, Sergio, Tomasa y Naty Aspuac por ser fuente de inspiración.
<b>Familia y amigos</b>	Edgar Herrera y Florencio Carrillo, por demostrar siempre su apoyo y motivarme en cualquier situación.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por la formación académica que me ha brindado.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por los conocimientos que hicieron desarrollarme en mi carrera.
<b>Mis padres</b>	Por el esfuerzo y bríndame los medios para que pudiera finalizar con la meta.
<b>Mis amigos</b>	Por el apoyo e influencia para seguir adelante en la carrera.
<b>Mi asesor</b>	MSc. Ing. Edgar Estuardo Chaj Ramírez por guiarme en el proceso.
<b>Compañeros de trabajo</b>	Por su amistad.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	VII
GLOSARIO .....	IX
RESUMEN.....	XI
1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. ANTECEDENTES .....	3
2.1. Análisis de resultados de investigaciones previas .....	3
2.1.1. Análisis a nivel internacional.....	3
2.2. Discusión de resultados de investigaciones previas.....	11
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	13
3.1. Descripción general del problema .....	13
3.2. Definición del problema .....	14
3.2.1. Problemas específicos.....	14
3.2.2. Delimitación del problema .....	14
3.2.3. Pregunta principal de investigación.....	15
3.2.4. Preguntas complementarias de investigación.....	15
3.3. Necesidades para cubrir .....	15
3.4. Ubicación del área o lugar en estudio.....	16
3.5. Localización del área o lugar de estudio.....	16
4. JUSTIFICACIÓN .....	17

5.	OBJETIVOS.....	19
5.1.	General .....	19
5.2.	Específicos .....	19
6.	NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN .....	21
7.	MARCO TEÓRICO .....	23
7.1.	Centrales hidroeléctricas .....	23
7.1.1.	Clasificación de centrales hidroeléctricas .....	24
7.1.1.1.	Hidroeléctricas de río .....	24
7.1.1.2.	Casa de máquinas junto a la cortina.....	24
7.1.1.3.	Hidroeléctricas con derivación .....	25
7.2.	Elementos principales de una hidroeléctrica .....	25
7.2.1.	Casa de máquinas.....	26
7.2.2.	Presa.....	26
7.2.3.	Canal de derivación.....	26
7.2.4.	Tuberías forzadas de presión.....	27
7.2.5.	Cámara de carga .....	27
7.2.6.	Toma de agua .....	27
7.2.7.	Chimeneas de equilibrio.....	28
7.3.	Turbinas hidráulicas .....	28
7.3.1.	Criterios de clasificación .....	29
7.3.2.	Turbinas Pelton .....	30
7.4.	Origen del mantenimiento productivo total .....	30
7.4.1.	Concepto del TPM .....	31
7.4.2.	Pilares del mantenimiento productivo total .....	31
7.4.2.1.	Mantenimiento preventivo.....	32
7.4.2.2.	Mejoras enfocadas .....	34
7.4.2.3.	Mantenimiento costo de vida útil.....	35

7.4.2.4.	Educación y capacitación.....	36
7.4.2.5.	Mantenimiento de calidad.....	37
7.4.2.6.	Control administrativo .....	38
7.4.2.7.	Filosofía de las 5's.....	38
7.4.2.8.	Medio ambiente, seguridad e higiene .....	40
7.4.2.9.	Mantenimiento autónomo.....	40
7.5.	Disponibilidad de hidroeléctricas .....	41
7.5.1.	Disponibilidad de centrales .....	42
7.5.2.	Coefficiente de Disponibilidad.....	43
7.6.	Confiabilidad de hidroeléctricas .....	44
7.6.1.	Cálculo de coeficiente de confiabilidad.....	45
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	47
9.	METODOLOGÍA.....	51
9.1.	Tipo de estudio .....	51
9.2.	Fases del estudio.....	52
9.2.1.	Fase 1: Recopilación de información .....	52
9.2.2.	Fase 2: Caracterización de información .....	52
9.2.3.	Fase 3: Análisis del TPM aplicables.....	52
9.2.4.	Fase 4: Análisis de la información.....	53
9.2.5.	Fase 5: Impacto Técnico-económico .....	53
9.3.	Variables.....	53
9.3.1.	Operacionalización de variables.....	53
9.4.	Universo y población de estudio .....	55
9.4.1.	Criterios de inclusión.....	55
9.4.2.	Criterios de exclusión.....	55
9.5.	Muestreo.....	56
9.6.	Hipótesis.....	57

10.	TÉCNICA DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN .....	59
10.1.	Método de recolección de datos .....	59
10.2.	Técnicas de recolección de datos .....	59
10.3.	Instrumentos para recolección de datos .....	59
10.4.	Procesamiento y análisis de información .....	60
10.5.	Límites de la investigación .....	60
10.6.	Obstáculos (riesgos y dificultades).....	60
10.7.	Aspectos éticos de la investigación.....	60
10.8.	Autonomía.....	61
10.9.	Riesgo de la investigación .....	61
10.9.1.	Categoría I (sin riesgo).....	61
11.	CRONOGRAMA .....	63
12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO .....	65
12.1.	Costo del estudio .....	66
13.	REFERENCIAS .....	67
14.	APÉNDICE.....	73
15.	ANEXO .....	75

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Ubicación de área en estudio.....	16
----	-----------------------------------	----

### TABLAS

I.	Criterios de selección y valor de ponderación.....	42
II.	Operacionalización de variables de investigación.....	54
III.	Valores k y niveles de confianza.....	56
IV.	Cronograma .....	63
V.	Costos del estudio .....	66



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>Pf</b>	Factor de potencia
<b>Hd</b>	Horas de disponibilidad
<b>Hif</b>	Horas de indisponibilidad forzada
<b>Hmp</b>	Horas de mantenimiento programado
<b>HEd</b>	Horas equivalentes de degradación
<b>Mw</b>	Potencia activa
<b>Mya</b>	Potencia aparente
<b>Myar</b>	Potencia reactiva



## GLOSARIO

<b>AMFE</b>	Análisis modal de fallos y efectos.
<b>AMM</b>	Administrador del Mercado Mayorista.
<b>CEI</b>	Comité de ética de investigación.
<b>Confiabilidad de una planta de generación eléctrica</b>	Es la capacidad de que una central de generación no falle durante el tiempo previsto para su funcionamiento.
<b>Disponibilidad</b>	Es la relación entre el tiempo en que se genera electricidad y el tiempo que los generadores no generan energía por variedad de causas.
<b>GDR</b>	Generador distribuido renovable.
<b>Generador Distribuido Renovable</b>	Tipo de generación de electricidad que utiliza recursos renovables, se conecta a en instalaciones de distribución y su capacidad es igual o menor a 5 MW.
<b>MPH</b>	Manual de pequeña hidráulica.

<b>Metodología</b>	Conjunto de métodos o técnicas que aplican para alcanzar un resultado propuesto.
<b>NCC2</b>	Norma de Coordinación Comercial No. 2.
<b>PRADIS</b>	Programa de prueba aleatoria de disponibilidad.
<b>SNI</b>	Sistema Nacional Interconectado.
<b>TPM</b>	Mantenimiento productivo total.
<b>Turbina</b>	Es una máquina que utiliza la energía del agua para producir un movimiento.
<b>Turbina Pelton</b>	Es una turbina de acción y entre sus características es que su altura es grande.

## RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo determinar las metodologías aplicables del mantenimiento productivo total (TPM) para aumentar la confiabilidad y disponibilidad de una hidroeléctrica con GDR y turbina Pelton en Guatemala; para aumentar la confiabilidad y disponibilidad, es necesario detectar cuáles son las causas leves y críticas que afecta la disponibilidad. El problema radica en el desconocimiento de las metodologías del TPM como herramienta complementaria en la planificación de mantenimiento.

La técnica de las metodologías se fundamenta en un enfoque de cero pérdidas y cero accidentes; para lo cual será necesario realizar un exhaustivo análisis de las fallas frecuentes y la falla crítica; así como el estado actual de los equipos.

Al tener el diagnóstico final del análisis, se debe ajustar a las metodologías principales del TPM, para lo cual será necesario la participación de todo el personal para llevar a cabo la técnica y evitar indisponibilidades de la central. En las hidroeléctricas también se considera que un equipamiento está indisponible cuando está fuera de servicio por causa propia o por la de un equipo asociado a su protección o maniobra.

Se ha realizado un cálculo aproximado de 10 meses para llevar a cabo la investigación y con un costo aproximado de Q. 30,800.00; gastos que serán responsabilidad del investigador.

Los resultados que se pretenden alcanzar son aumentar la confiabilidad y disponibilidad de la central, objeto principal del estudio de investigación. Para alcanzar el objeto de estudio se utilizará la metodología de investigación no experimental de tipo descriptiva correlacional.

Dentro de las investigaciones previamente realizadas, se observa que, a nivel de maestría en el territorio de Guatemala, no se ha realizado investigación de la metodología del TPM en una central de generación.

# 1. INTRODUCCIÓN

En Guatemala, la generación distribuida renovable es la modalidad de generación de electricidad, producida por unidades de tecnologías de generación con recursos renovables, que se conectan a instalaciones de distribución cuyo aporte de potencia neto es inferior o igual a cinco Megavatios.

Por el tipo de industria, los principales resultados de cualquier gestión de mantenimiento deben ser, la confiabilidad de los equipos y de forma directamente proporcional la disponibilidad de la planta. Es por eso, que las empresas utilizan herramientas para complementar la planificación de mantenimiento.

La metodología del TPM es una herramienta reconocida a nivel internacional por los resultados exitosos y esta puede ser la herramienta que le dé un aporte significativo a gestión mantenimiento de mantenimiento de la central. Cuando se menciona el aporte significativo se refiere a un cambio radical de cómo enfocar el mantenimiento en las personas; un enfoque en prevención, cero defectos, cero accidentes y sobre todo el apoyo o colaboración del personal.

Para la realización de la presente investigación, se estudiará en una hidroeléctrica GDR, en el municipio de Escuintla; a continuación, se describe lo que se llevará a cabo:

Se plantea el marco teórico, el cual se describirán todos los equipos que integran la central GDR en estudio; se realizará el estudio técnico el cual se hará el reconocimiento visual del área, condiciones actuales, tanto en casa de máquina como en área civil y también el análisis de las principales metodologías

a aplicar, a través de la realización del inventario, análisis modal de fallos, histórico de fallas y revisión histórica de mantenimiento e indisponibilidades, modo de operación y mantenimiento programado.

Posterior al estudio técnico, se tendrá un diagnóstico del estado, condiciones de operación y detectado las fallas frecuentes y críticas. Se continuará en base a la información recopilada, con la implementación del TPM y se realizará un análisis financiero de mantenimiento convencional realizado comparado con el mantenimiento en base a las metodologías TPM.

Se realizará el análisis de la metodología a utilizar y las técnicas de análisis a utilizar, se plantea el cronograma de ejecución del trabajo y se plantea la factibilidad del estudio.

## **2. ANTECEDENTES**

En este apartado, se describen investigaciones previas con referencia a la metodología del TPM y su implementación en varias industrias.

Las investigaciones que se describirán a continuación serán a nivel internacional y la premisa es buscar en cada caso de estudio los resultados finales y beneficios que se obtienen.

### **2.1. Análisis de resultados de investigaciones previas**

En el presente apartado se presentarán investigaciones internacionales, que utilizan la metodología del TPM objeto del presente estudio.

Esta sección es de importancia, debido a que ofrece encaminar nuestra investigación hacia un camino con resultado exitoso.

#### **2.1.1. Análisis a nivel internacional**

Como sucede en la mayoría de las investigaciones, se evalúa el estado actual de las empresas donde se realizará el estudio, “para la selección de la línea donde se implementarán los pilares del TPM, se realiza una matriz de decisión en el cual se ha considerado las paradas programadas” (Tuarez, 2013, p. 84).

Las desventajas y logros que se presentaron en llevar a cabo el TPM, según Tuarez (2013) son los siguiente:

Lo más complejo que se presentó, fue la resistencia al cambio por parte de los operadores de la línea, debido a que tenían la imagen de que el TPM sería para ellos una carga adicional de responsabilidad, pero a medida que se iba mostrando los beneficios que traería para mejorar sus actividades y ambiente de trabajo sin necesidad de requerir mayor esfuerzo físico u horas adicionales a su jornada laboral, hubo apertura de aprendizaje y a practicar los conocimientos que iban asimilando.

Se optimizó las tareas de mantenimiento preventivo, gracias a que los operadores empezaron a realizar las tareas básicas de inspección en las máquinas, entre estas actividades estaban la inspección de estado de tornillería, limpieza de sensores y lubricación básica. El cumplimiento del plan de mantenimiento preventivo que en el mes de enero estaba en un 57 % llegó a aumentar a mes de junio al 91 %. (pp. 142-143)

El mantenimiento preventivo como elemento del TPM, hace por medio de la inspección y tareas básicas detecten algún problema que quizás pueda corregirse sin la necesidad de interrumpir la producción y que si no se hace puede ocasionar daño del equipo y parar producción.

El reconocimiento que recibe el TPM, es descrito en este estudio como base para el desarrollo táctico del mantenimiento, y es sin duda una de las herramientas más antiguas y básicas que existen en el proceso de la gestión del mantenimiento, valga la redundancia, por el cual ha sido base de muchas otras herramientas que hacen parte indispensable de los más

grandes métodos usados en la actualidad, de ahí la importancia del TPM. (Forero, 2020, p. 28)

Las afirmaciones para Ferrero (2020) que se realizan con la investigación son la siguientes:

En la implementación del TPM, es posible, identificar tres factores importantes, el compromiso de la alta dirección, la integración de todo el personal y la limpieza determinada en una herramienta conocida como las 5's.

La implementación del TPM, se logra más fácilmente con la integración de otras herramientas como son el Kaizen, las 5's, las seis sigmas, entre otras, dado la incidencia que tiene estas herramientas en las etapas del proceso de implementación.

A partir de la revisión de la literatura, ha encontrado que los aportes hechos por los directivos en la implementación del TPM son muy cuestionables, y es función de los gerentes, el éxito al emplear las iniciativas del TPM en todas las situaciones que puedan surgir en el desarrollo y la participación de los objetivos de su organización. (p. 58)

Es importante entender que para el éxito de la implementación del TPM el primer factor a tomar en cuenta es que la alta gerencia quiera implementarlo o que sea parte de este.

La colaboración o integración de todas las áreas hacia el proceso del TPM es otro elemento importante para su éxito y además esta metodología se apoya en otras herramientas como el Kaizen.

Según García, Romero y Noriega (2012) indica que:

El mantenimiento productivo total, es una herramienta ampliamente usada en las áreas productivas, la cual está encaminada a incrementar la disponibilidad de la maquinaria y equipo de producción, así como los beneficios económicos de las empresas. Sin embargo, no se conocen los factores administrativos que aseguren su éxito de implantación.

En este artículo, se presentan los resultados de una encuesta que fue aplicada a 203 gerentes y supervisores de mantenimiento de empresas localizadas en Ciudad Juárez, que constó de veinte actividades y tres beneficios, y que debía ser respondida en una escala Likert.

El cuestionario se validó mediante el índice alfa de Cronbach, y se aplicó un análisis factorial exploratorio, mediante el método de componentes principales y se determinó que solamente tres factores podrían explicar el 66.06 % de la varianza total, mientras que la relación entre los factores, las actividades y beneficios se obtuvieron mediante modelos de ecuaciones estructurales. (p. 173)

Se ha determinado nuevamente que un factor fundamental para que la implementación se lleve a cabo y que los resultados sean exitosos es el compromiso de la alta gerencia.

Con lo que respecta los pilares de mantenimiento cualquiera que sea; debe integrarse el conocimiento para que todos obtengan la misma información y puede reemplazarse. Esto es a lo que se llama integración del personal hacia las actividades operativas, mantenimiento y administrativas.

Anaya (2020) indica que:

La etapa de lanzamiento es un evento que se realiza ante el mayor número de colaboradores de la compañía, marcando un hito para la compañía y dirigiendo la compañía hacia un objetivo común de mejora continua, mostrando el compromiso de la alta gerencia para poder culminar la implementación de manera exitosa.

Los aspectos generales son la base de los 12 pilares del sistema TPM que se quiere implementar, su objetivo se basa en dominar los conceptos básicos de la metodología para ser aplicados de forma transversal y sostenible en toda la compañía.

Para mejorar la efectividad en el proceso de implementación de la metodología TPM, se planteó una estructura organizacional de tipo jerárquico, enfocada en el liderazgo, capacidad de toma de decisión y conformación de equipos de trabajo, esta condición transmite compromiso por parte de los trabajadores hacia el proceso y la organización. (pp. 80-106)

Se ha abordado 2 aspectos importantes, divulgación de la gerencia, que todas las partes involucradas conozcan del TPM. Estos aspectos son importantes debido al liderazgo que se debe tener de parte de la gerencia y capacitación de lo que se implementará de forma transversal para su entendimiento.

Matos (2012) describe, porque implementar el TPM:

La industria actual busca adaptarse a los cambios de los consumidores, por lo que la implantación del mantenimiento productivo total (MPT) toma importancia, al fundamentarse en una interrelación operador-máquina que fomenta el aumento en la productividad de las organizaciones. Esto lo logra mediante el indicador efectividad global del proceso, el cual incluye disponibilidad de equipos, eficiencia de operadores y calidad del producto.

Es por esto por lo que se plantea desarrollar un programa TPM para aumentar la productividad en el área de mezclas especiales de una empresa molinera, tomando en cuenta las acciones tomadas en campo y el papel del departamento de mantenimiento. La aplicación de esta estrategia permitió conocer que la obstrucción de la tubería de transporte y el desajuste del compensador de la empacadora son situaciones con alta incidencia en la disminución de la efectividad global. (p. 66)

El análisis que realiza el autor es que para adaptar el TPM debe conocerse el proceso y luego con las metodologías de la técnica a implementar se vuelve efectivo el camino a la obtención de producto final.

El modelo que se ha diseñado obedece al cumplimiento de un plan estratégico cuyos esfuerzos permiten lograr el cambio de actitud del personal para ser más eficientes y eficaces en todas las actividades en las que se le involucra. En este caso es el mantenimiento en todos sus órdenes; la toma de decisiones se soporta o sustenta adecuadamente para dar cumplimiento a la misión, visión, objetivos y metas del departamento y por consiguiente de la organización. (Martínez, 2009, p. 108)

Para lograr la actitud de una persona parece ser difícil, se debe tener un líder para este tipo de proyecto, formando equipos de trabajo y cambiar de actitud al personal dándoles a conocer que es una metodología que hará más eficiente su trabajo y con el tiempo se hará más fácil.

García (2011) afirma que:

El mantenimiento productivo total (TPM) es una herramienta ampliamente usada en las áreas productivas, encaminada a incrementar la disponibilidad de la maquinaria y equipo de producción y los beneficios económicos de las empresas. Sin embargo, no se conocen los factores administrativos que aseguren su éxito de implantación. (p. 129).

En la investigación se observa que el compromiso de la alta gerencia y la nueva técnica que complementan al TPM son la principal base de la metodología. Pero algo bastante interesante que se muestra en este estudio es que también han concluido que los operadores deben ser conocedores de aspectos administrativos.

El modelo de TPM propicia la mejora basada en actividades eficientes sobre el rendimiento de la mano de obra, la tasa de productividad, tasa de no calidad, el tiempo de ciclo de todo el proceso, las indisponibilidades por averías, los recursos utilizados para la producción y los tiempos y gamas asignados en cada proceso, y evalúa esta mejora a través de los índices de disponibilidad, eficacia y calidad, es decir eficiencia global del proceso. (Altamirano, 2017, p. 1)

La metodología de la capacitación para el personal, para el caso del presente estudio, podría ser el entrenamiento para realizar adecuadamente la

operación de la planta. Saber los parámetros de operación a la que la unidad debe trabajar o el procedimiento de sincronización a la red de distribución. A esto se refiere el autor según lo explica en el párrafo anterior para no cometer errores en el proceso.

Según Astudillo (2017):

El mantenimiento productivo total está enfocado a la disminución o eliminación de las seis grandes pérdidas. Con la aplicación de los ocho pilares del TPM y con el apoyo de otras herramientas lean la productividad de las empresas será mucho más eficiente.

El compromiso por parte de la alta gerencia debe ser el primer peldaño hacia la ejecución de esta guía en la empresa, ellos son los que deben tomar la decisión y el compromiso del desarrollo de esta plataforma. Al sumar todos los esfuerzos realizados, desde los administradores hasta los operarios, la empresa podrá encaminarse hacia una implementación adecuada del TPM soportado en una filosofía lean y un pensamiento Kaizen. (pp. 1-4)

Para mejorar la efectividad en el proceso de implementación de la metodología TPM, se planteó una estructura organizacional de tipo jerárquico, enfocada en el liderazgo, capacidad de toma de decisión y conformación de equipos de trabajo, esta condición transmite compromiso por parte de los trabajadores hacia el proceso y la organización.

El enfoque principal de la implementación de TPM es la reducción de pérdidas, en todos los niveles, procesos y procedimientos, tanto administrativos como operativos. Para esto se debe realizar un diagnóstico,

e identificar unos posibles problemas a atacar desde la filosofía, para poder iniciar un programa sobre información real y actual. (Villegas, 2014, p. 8)

## **2.2. Discusión de resultados de investigaciones previas**

Posterior a las investigaciones previas sobre el TPM, es necesario realizar un análisis de los resultados obtenidos, como fue que se llegó a un camino exitoso; que procedimientos del TPM en su implementación fueron los más importantes.

Para la investigación de Astudillo (2017), titulada *Crear una plataforma para la implementación de mantenimiento productivo total basada en la filosofía lean, aplicado a las medianas empresas de manufactura*, su principal recomendación para que el TPM funcione requiere el compromiso de la alta gerencia, por lo que será necesario tomar en cuenta este aspecto para el principal estudio.

Para la investigación de Forero (2020), titulada *La gestión del mantenimiento productivo total como herramienta de mejoramiento en empresas del sector manufactura*, su recomendación para el éxito del TPM es el compromiso de la gerencia: por lo que al igual que la investigación anterior se tomará en cuenta para la presente investigación.

Para la investigación de Anaya (2020), titulada *Diseño de la propuesta de implementación de un sistema de mantenimiento productivo total para la empresa colombiana de cementos S.A.S en la región de Rio Claro-Antioquia*, su recomendación para éxito del TPM son la capacitación y por lo que es se tomará en cuenta para la presente investigación.

Para la investigación de Altamirano (2017), titulada *Análisis de impacto del mantenimiento productivo total (TPM) en la gestión operativa de la central hidroeléctrica San Francisco en el periodo 2010-2015*, indica que el TPM puede ser aplicado a hidroeléctricas en conjunto de la filosofía de las 5'S. Este es un aspecto importante dentro del TPM ya que nos ayuda a tener ordenado y limpio el área de trabajo, por lo que sería más fácil detectar alguna anomalía o en su defecto encontrar de forma rápida un repuesto; por lo que será implementado esto en la presente investigación.

### **3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **3.1. Descripción general del problema**

En Guatemala, en las investigaciones realizadas sobre la metodología TPM no se han encontrado estudios sobre el uso de esta técnica en centrales hidroeléctricas GDR. Por lo que adaptar esta herramienta en centrales hidroeléctricas, solucionaría problemas de confiabilidad y disponibilidad como lo sugiere el autor para otro tipo de industrias, indicando lo siguiente:

La implementación del TPM en las actividades de la compañía se basa en que este sistema de mejora continua tiene entre sus objetivos mejorar la confiabilidad de los equipos mediante el involucramiento de todos los colaboradores, en la actualidad la detención de equipos por averías es del 11.2 %, esto debido a muchos factores como la falta de disponibilidad de los equipos para mantenimiento preventivo, la poca cantidad de técnicos disponibles que tiene el departamento de mantenimiento para realizar las tareas preventivas.

El TPM busca mejorar las habilidades de los operadores para que ellos se encarguen de las tareas básicas de mantenimiento de la máquina como la limpieza, lubricación, reparaciones pequeñas, estas actividades van a ayudar a mejorar la disponibilidad de los equipos y alargar su tiempo de vida útil. (Tuarez, 2013, p. 20)

### **3.2. Definición del problema**

La falta de conocimiento de cuáles son las metodologías del TPM para aumentar la confiabilidad y disponibilidad de una hidroeléctrica con GDR Y turbina Pelton en Guatemala.

#### **3.2.1. Problemas específicos**

No se conocen cuáles son las metodologías del TPM aplicables o que sean los pilares fundamentales para aumentar la confiabilidad y disponibilidad de la hidroeléctrica.

Deben definirse las causas que afectan la confiabilidad y disponibilidad de la hidroeléctrica.

Debe conocerse que fallas son críticas y pueden dejar indisponible por tiempo indeterminado la hidroeléctrica.

#### **3.2.2. Delimitación del problema**

El estudio se pretende realizar en una hidroeléctrica con generador distribuido renovable y turbina Pelton ubicada en el departamento de Escuintla, durante los meses de octubre 2021 a octubre 2022, por medio de observación y recolección de datos.

### **3.2.3. Pregunta principal de investigación**

¿Cuáles son las metodologías del mantenimiento productivo total para aumentar la confiabilidad y disponibilidad de una hidroeléctrica con generador distribuido renovable con turbina Pelton en Guatemala?

### **3.2.4. Preguntas complementarias de investigación**

- ¿Cuáles son las principales metodologías de mantenimiento productivo total aplicables para aumentar la confiabilidad y disponibilidad de una hidroeléctrica con generador distribuido renovable con turbina Pelton en Guatemala?
- ¿Cuáles son las causas que afectan la confiabilidad y disponibilidad de una hidroeléctrica con generador distribuido renovable y turbina Pelton en Guatemala?
- ¿Cuáles son las fallas críticas o moderadas que afectan la disponibilidad de una hidroeléctrica con generador distribuido renovable y turbina Pelton en Guatemala?

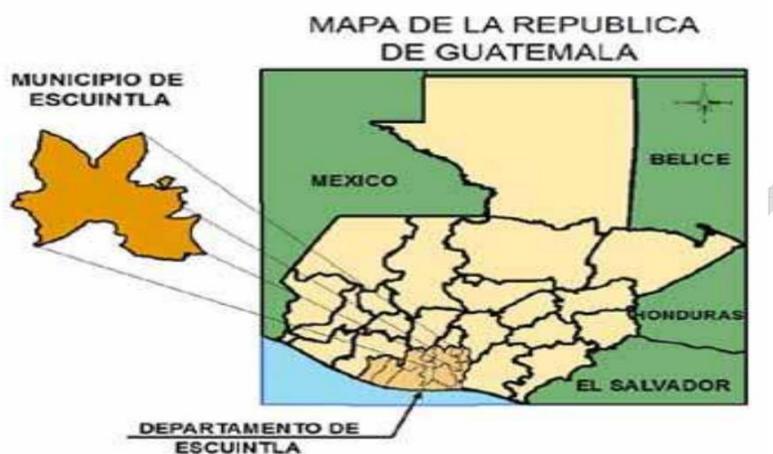
### **3.3. Necesidades para cubrir**

Se pretende a partir de las metodologías del TPM tener un mantenimiento planificado y controlado; con tendencia de cero pérdidas.

### 3.4. Ubicación del área o lugar en estudio

El área de estudio de la investigación se encuentra ubicada en el municipio de Escuintla.

Figura 1. Ubicación de área en estudio



Fuente: SEGEPLAN (2010). *Plan de desarrollo Escuintla, Escuintla*. Consultado el 21 de junio de 2021. Recuperado de <https://www.segeplan.gob.gt/nportal/index.php/departamento-de-escuintla>

### 3.5. Localización del área o lugar de estudio

El área en estudio se encuentra localizada en el municipio de Escuintla, departamento de Escuintla, se encuentra a una altura de 553 metros sobre el nivel del mar, con una latitud  $14^{\circ}21'26.99''$  norte y una longitud de  $90^{\circ}48'12.93''$  oeste. En la dirección siguiente: Km. 8 Carretera vieja Palín, Escuintla.

## 4. JUSTIFICACIÓN

La Investigación busca mediante la teoría y los conceptos del TPM encontrar las metodologías para aumentar la disponibilidad y confiabilidad de hidroeléctricas con generador distribuido renovable y turbina Pelton en Guatemala.

Conforme a los objetivos de estudio, se pretende encontrar soluciones concretas de los problemas de disponibilidad y confiabilidad de hidroeléctricas con generador distribuido renovable y turbina Pelton en Guatemala. Con los resultados que puedan obtenerse, se pretende hacer los cambios o mejoras necesarios para incrementar el ahorro económico por gastos de imprevistos o mantenimientos correctivos y aumentar el mantenimiento preventivo.

Además de los beneficios económicos en ahorro de dinero por gastos imprevistos, es importante mencionar que disminuye la probabilidad de una falla crítica con indisponibilidad de la planta. Esta falla puede incurrir en una multa por sanción o hasta la desconexión forzosa según lo determine la ley general de electricidad de Guatemala.

Esta investigación es una oportunidad para empresas, principalmente aquellas que quieran adoptar una nueva metodología para la gestión de mantenimiento y que requieran que el resultado final de plantas, equipos o instalaciones sean confiables; con un alto coeficiente de disponibilidad en su producción.

La aplicación de las principales metodologías TPM para las hidroeléctricas con GDR en turbinas Pelton, se eligió debido a que esta técnica se basa en analizar procesos operativos, de mantenimiento y administrativos. Además, un aspecto que es importante mencionar es que la técnica desde el aspecto administrativo tiene alcance en todos los niveles jerárquicos; es decir un trabajo en equipo desde la gerencia hasta el personal de limpieza y mientras más personas se unan para realizar las actividades, mejores serán los resultados presente estudio de investigación.

Esta investigación, dejará un modelo de mantenimiento específicamente para hidroeléctricas con GDR y turbina Pelton, como un estándar para este tipo de empresas. El objetivo es que cualquier empresa con las mismas características pueda implementarlo de forma adecuada y se traducirá en beneficios económicos para este tipo de centrales.

## **5. OBJETIVOS**

### **5.1. General**

Enumerar cuáles son las metodologías de mantenimiento productivo total para aumentar la confiabilidad y disponibilidad de una hidroeléctrica con generador distribuido renovable con turbina Pelton en Guatemala.

### **5.2. Específicos**

- Determinar las principales metodologías de mantenimiento productivo total (TPM), aplicables para aumentar la confiabilidad y disponibilidad de una hidroeléctrica con generador distribuido renovable con turbina Pelton en Guatemala.
- Definir las causas que afectan la confiabilidad y disponibilidad de una hidroeléctrica con generador distribuido renovable con turbina Pelton en Guatemala.
- Determinar fallas críticas que afectan la disponibilidad de una hidroeléctrica con generador distribuido renovable con turbina Pelton en Guatemala.



## **6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN**

Es primordial contar con un plan de mantenimiento con base de metodologías TPM que nos aumente la confiabilidad y disponibilidad de la central al menor costo. Esto requiere de un análisis de las condiciones de operación y mantenimiento actuales para poder determinar las principales técnicas del TPM a implementar. Además, es necesario cuantificar los costos del plan actual de mantenimiento y el ahorro que se obtendrá con la nueva metodología.

Para llevar a cabo la investigación es necesario contar con información verídica de la central y fuentes confiables del mantenimiento productivo total para determinar las principales técnicas y que se logre cubrir las necesidades de la central en estudio.

Mediante el TPM se pretende mejorar la confiabilidad y disponibilidad de la central, con la filosofía de cero defectos, cero accidentes, y la participación total de las personas.

Cuando se hace referencia a la participación de las personas, se refiere a involucrar al personal en actividades sencillas de mantenimiento, para prevenir y detectar fallas antes de que estas ocurran.



## 7. MARCO TEÓRICO

Este apartado, está dirigido a presentar la base teórica para dar a conocer el fundamento del conocimiento en materia de centrales hidroeléctricas, turbinas hidráulicas Pelton, TPM pilares, fundamentos, disponibilidad y confiabilidad.

### 7.1. Centrales hidroeléctricas

Las centrales hidroeléctricas “son centrales que generan electricidad, mediante el aprovechamiento de la energía potencial del agua embalsada en una presa” (Schallenberg *et. al.*, 2008, p. 30). La definición se refiere a la energía que se produce en una turbina al caer desde cierta altura.

La instalación de centrales hidroeléctricas depende de la posibilidad de construir embalses o presas en los cauces de los ríos, para retener el agua y transformar la energía hidráulica en energía eléctrica. La generación de energía eléctrica se produce al dejar caer el agua desde una cierta altura; esta agua mueve los álabes de una turbina que, a su vez, acciona un generador, produciendo electricidad. (Schallenberg *et. al.*, 2008, pp. 31-33)

Una de las ventajas más importantes de las hidroeléctricas es que no contaminan el medio ambiente y el costo \$/Mwh es uno de los más económicos. En cuanto a la capacidad en MW de producir la energía eléctrica va directamente relacionado con el caudal de agua, el nivel de caída, el volumen de los embalses para retener el agua.

En Guatemala existen varias centrales con baja capacidad de generación, normalmente esta es llamada generador distribuido renovable si su capacidad no supera lo que indica el reglamento de la ley general de electricidad.

### **7.1.1. Clasificación de centrales hidroeléctricas**

Para realizar una clasificación de las centrales hidroeléctricas podemos realizarlo con un enfoque en la altura o caída de agua. Por donde vamos a tomar el caudal de agua se han clasificado el tipo; por lo que a continuación se conocerá el concepto de estos.

#### **7.1.1.1. Hidroeléctricas de río**

Las hidroeléctricas de río son plantas que se instalan en ríos de llanura, es decir, ríos que están a punto de llegar al mar. En general se puede afirmar que los ríos de llanura cuentan con grandes gastos de agua y alturas aprovechables para generar energía eléctrica pequeñas, no mayores de 50 metros, por lo que la potencia de las unidades resulta de unas cuantas decenas de MW. (Juárez, 1992, p. 42)

En Guatemala es conocido como al filo de agua las centrales que tienen poca altura y de la misma manera su generación es en valores pequeños de KW. El embalse o la retención de agua está bastante cerca de la casa de máquinas.

#### **7.1.1.2. Casa de máquinas junto a la cortina**

Por su parte Juárez (1992), afirma que “estas plantas pueden tener alturas grandes de hasta 300 o 400 metros y gastos considerables, por lo que resultan ser generalmente de grandes capacidades. Cada unidad de dichas plantas tiene

potencias que superan con frecuencia los 100 MW” (p. 43). El autor menciona para este caso alturas moderadas; como lo que aumente su capacidad de generación.

### **7.1.1.3. Hidroeléctricas con derivación**

Según Juárez (1992) indica que:

Las hidroeléctricas tipo derivación tiene alturas de varios kilómetros y que a medida que la casa de máquinas está más lejos del embalse; se incrementa la altura, potencia y la capacidad de energía. La capacidad de energía se va a limitar a el caudal de agua debido que para este caso a medida que la caída es grande el caudal es pequeño. (p. 43)

Dependiendo de la altura y el caudal de agua así será el resultado de la potencia que se pueda generar; ambos son factores importantes para optimizar la generación.

Cuando el caudal recorre la tubería de presión al llegar el agua a la casa de máquinas y mover la turbina hidráulica, la energía cinética se convierte en energía mecánica de rotación la cual mueve el eje de la turbina hidráulica produciendo energía eléctrica a través de un generador controlado por el sistema de cómputo (Fundación Solar de Guatemala, 2013, p. 15).

## **7.2. Elementos principales de una hidroeléctrica**

Se refiere a los elementos que son fundamentales para el funcionamiento de la hidroeléctrica, el cual se describen a continuación:

### **7.2.1. Casa de máquinas**

Para Juárez (1992) “la casa de máquinas de la planta hidroeléctrica es el edificio donde está instalado las unidades generadores y turbinas; además del sistema de control de arranque de las unidades” (p. 41).

También se tienen los sistemas de mando, protección, automatización, talleres, transportes, entre otros. El equipo auxiliar indispensable para la operación de las turbinas y los generadores debe distribuirse en forma cómoda y racional de manera que ocupe el menor espacio posible, deberá ser compacto y ligero. El amplio rango de alturas utilizadas en las hidroeléctricas, así como las diversas condiciones geológicas, hidrológicas y climáticas obligan a utilizar turbinas de diferentes tipos y una serie de casas de máquinas con características propias. (Juárez, 1992, p. 133)

### **7.2.2. Presa**

Según el autor es “la construcción encargada de atajar el cauce natural del río, bien para embalsar (presas de embalse) es el elemento más importante de la central y depende en gran medida de las condiciones orográficas de terreno donde se realiza la instalación” (Madrazo y García, 2010, p. 189). Estas presas normalmente son construidas de piedra o concreto, y el tamaño dependerá del diseño del proyecto previamente estudiado.

### **7.2.3. Canal de derivación**

El autor indica que el canal de derivación es “de poca pendiente y rozamiento al agua, utilizado para conseguir una cierta altura o salto, previo pasó

a la cámara de presión y posterior tubería forzada” (Madrazo y García, 2010, p. 190).

#### **7.2.4. Tuberías forzadas de presión**

“Las tuberías de presión tienen por objeto conducir el agua desde la cámara de carga hacia la turbina, que se encuentra desde la casa de máquinas” (Fundación Solar de Guatemala, 2013, p. 11).

#### **7.2.5. Cámara de carga**

Este elemento es una parte importante de la central y es una obra civil en forma de caja que sirve para almacenar el agua en alto, para luego ser lanzada, por medio de la tubería de acero, metros más abajo hacia la casa de máquinas donde se encuentra la turbina. (Fundación Solar de Guatemala, 2013, p. 11)

#### **7.2.6. Toma de agua**

Para Madrazo y García (2010) la toma de agua es:

Es un elemento de funcionamiento, su misión es captar agua para el funcionamiento de las turbinas de la central su número y capacidad dependen del volumen y altura del embalse y de los servicios que debe abastecer, además es recomendable tener siempre alguna opción de reserva en el caso de avería. Su ubicación se encontrará en la máxima profundidad útil del aprovechamiento de la presa. (p. 197)

Este tipo de toma de agua tiene más elementos como las compuertas que dirigen el agua por la tubería de presión, compuertas de alivio de presión.

### **7.2.7. Chimeneas de equilibrio**

“las chimeneas de equilibrio consisten en una conducción abierta o pozo vertical, conectado al final de la galería de presión, encargada de recibir la onda de sobrepresión generada por los cambios de velocidad del fluido en las tuberías” (Madrazo y García, 2010, p. 199).

Los elementos descritos anteriormente son importantes entre sí para el funcionamiento adecuado de la función, no se puede prescindir de alguno de ellos. El diseño dependerá directamente de los estudios previamente realizados de caudal de agua y altura.

Otros elementos que podemos mencionar son las rejillas que son útiles para filtrar el agua; debidos que este puede estar acompañado de ramas de árboles, hojas, troncos o cualquier otro objeto que pueda dañar la turbina. Estas son instaladas desde la toma de agua, embalse hasta llegar a la tubería de presión que tomará un camino directo a la turbina.

En el embalse puede haber varios afluentes de agua que lo alimentan y cada uno con su canal de desfogue para aliviar por crecida del río o desvío del caudal por mantenimiento.

## **7.3. Turbinas hidráulicas**

“La turbina hidráulica es el principal componente de una PCH, responsable de transformar la energía cinética y potencial contenida en la caída de agua, en

un movimiento rotacional que se transfiere al generador eléctrico” (Morales *et. al.*, 2014, p. 180).

### **7.3.1. Criterios de clasificación**

El autor indica que “la energía potencial del agua se convierte en energía motriz en la turbina, con arreglo a dos mecanismos básicamente diferentes” (Dirección General de Energía [DGE], 1998, p. 165).

Según DGE (1998) describe los dos mecanismos:

En el primero, la energía potencial se transforma en energía cinética, mediante un chorro de gran velocidad, que es proyectado contra unas cazoletas, fijas en la periferia de un disco.

A este tipo de turbinas se las conoce como turbinas de acción. Como el agua, después de chocar con las cazoletas, cae al canal de descarga con muy poca energía remanente, la carcasa puede ser ligera y solo tiene por misión evitar accidentes e impedir las salpicaduras del agua.

En el segundo, la presión del agua actúa directamente sobre los álabes del rodete, disminuyendo de valor a medida que avanza en su recorrido. A este tipo de turbinas se las conoce como turbinas de reacción. Al estar el rodete completamente sumergido y sometido a la presión del agua, la carcasa que lo envuelve tiene que ser suficientemente robusta para poder resistir. (DGE, 1998, p. 165)

### **7.3.2. Turbinas Pelton**

Turbinas de acción en las que la tobera o toberas (una turbina de eje vertical puede tener hasta seis toberas, con uno o con dos rodetes) transforman la energía de presión del agua en energía cinética. Cada tobera produce un chorro, cuyo caudal se regula mediante una válvula de aguja. Suelen estar dotadas de un deflector, cuya misión es desviar el chorro para evitar que, al no incidir sobre las cazoletas, se embale la turbina, sin tener que cerrar bruscamente la válvula de aguja, maniobra que podría producir un golpe de ariete. Se utilizan en saltos entre 40 y 1200 m. (DGE, 1998, p. 166)

Este tipo de turbina puede ser de eje horizontal o vertical y se diferencia en la cantidad de chorros por cada rueda; siendo la turbina vertical la que tiene más cantidad de chorros aumentando de esta manera el caudal y por ende la potencia.

### **7.4. Origen del mantenimiento productivo total**

El mantenimiento industrial “está definido como el conjunto de actividades encaminadas a garantizar el correcto funcionamiento de las máquinas e instalaciones que conforman un proceso de producción permitiendo que éste alcance su máximo rendimiento” (Olarte, Botero y Cañon, 2010, p. 355).

A continuación, se describe el Origen del TPM:

TPM es un concepto japonés innovador. El origen de TPM se remonta a 1951 cuando se introdujo el mantenimiento preventivo en Japón. Sin embargo, el concepto de mantenimiento preventivo se tomó de EE. UU. Nippondenso fue la primera empresa en introducir el mantenimiento preventivo en toda la planta en 1960.

El mantenimiento preventivo es el concepto en el que los operadores producían bienes utilizando máquinas y el grupo de mantenimiento se dedicaba al trabajo de mantenimiento de esas máquinas, sin embargo, con la automatización de Nippondenso, el mantenimiento se convirtió en un problema, se requirió más personal de mantenimiento.

Por tanto, la dirección decidió que el mantenimiento de rutina de los equipos estaría a cargo de los operadores. (Este es el mantenimiento autónomo, una de las características de TPM). El grupo de mantenimiento se encargó únicamente de los trabajos de mantenimiento esenciales. (Venkatesh, 2007, p. 3)

#### **7.4.1. Concepto del TPM**

Concepto del TPM es "la reformulación y la mejora de la estructura empresarial a partir de la reestructuración y mejora de las personas y de los equipos, con el compromiso de todos los niveles jerárquicos y el cambio de la postura organizacional" (Tavarez, 2000, p. 99). La aplicación de la metodología del TPM de replicarse en operación y en departamentos administrativos. Es decir, debe aplicarse desde las altas gerencias hasta los niveles operativos.

#### **7.4.2. Pilares del mantenimiento productivo total**

En el proceso del mantenimiento productivo total se detallan los alcances por cada pilar y evitar fallos en la producción; los cuales se describen a continuación.

#### **7.4.2.1. Mantenimiento preventivo**

El mantenimiento preventivo tiene la finalidad de realizar tareas rutinarias esto se hace como su nombre lo indica para prevenir fallas. La tarea más común sería la lubricación, realizar cambio de repuestos, limpieza. El mantenimiento preventivo normalmente es recomendado por el manual del fabricante o por condición de las industrias, donde después de la experiencia se determina la intervención periódica del equipo.

Con respecto a la periodicidad del mantenimiento preventivo se establece según recomendación del fabricante por horas, kilometraje, según sea el caso. El mantenimiento preventivos es un pilar del TPM

Según Tavares (2000) busca establecer lo siguiente:

- Estandarización de las actividades de mantenimiento, o sea, establecer un lenguaje común de comunicación para todos en la empresa.
- Planificación del mantenimiento, o sea, establecer procedimientos adecuados para todas las intervenciones preventivas.
- Establecimiento de criterios de planificación forman el programa maestro de mantenimiento preventivo que correlaciona a los equipos con sus respectivas tablas, periodicidad, cronograma de ejecución de actividades programadas, instrucciones de mantenimiento, registro de mediciones, centros de costo, recursos humanos, máquinas, herramientas, repuestos y cualquier otro dato juzgado por el usuario como necesario para la correlación.

- Creación y utilización de los registros de mantenimiento, o sea, recolectar y almacenar el historial de las intervenciones (actividades, ocurrencias, tiempos y recursos) de forma adecuada.
- Control de repuestos, o sea, establecer de forma concreta, los repuestos específicos y no específicos asociados a cada equipo, así como su consumo y necesidad de almacenamiento (mínimo y máximo) y el punto de reabastecimiento.
- Control del presupuesto de mantenimiento y de reducción de costos, o sea, establecer los informes adecuados para el control de gastos y recursos aplicados en actividades programadas y no programadas.
- Control de la lubricación, o sea, establecer un programa adecuado de cambio, complemento y/o análisis de lubricantes.
- Mantenimiento predictivo y técnicas de diagnóstico de máquinas, o sea, definir métodos y técnicas de seguimiento de sus variables, para obtener la máxima duración del ciclo de vida de los equipos fundamentales en el proceso. (p. 108)

Es necesario crear un plan de trabajo por equipo, que se tiene que hacer, cómo debe hacerse, qué materiales o insumos necesito para hacerlo, que personal puede participar, en que horario se tiene que hacer, cuanto tiempo me lleva realizar, necesito parar la producción cuánto tiempo. Además de tener en cuenta si el equipo es crítico al momento de una falla.

Los registros de historial de mantenimiento son muy importantes, podemos tener lecciones aprendidas durante el mantenimiento para poder mejorar el próximo mantenimiento.

También es necesario como parte de la recolección de datos, el informe de lo realizado o dado caso fuese necesario algún informe de algún problema que fue encontrado durante el mantenimiento y que no era parte del plan de mantenimiento.

Es necesario realizar un análisis de los equipos que son críticos; aquellos que, al fallar, la producción se interrumpa y además evaluar la frecuencia en que ocurren estos eventos.

#### **7.4.2.2. Mejoras enfocadas**

Se debe analizar cada equipo o sistema de forma individual para determinar que problemas es la que son frecuentes y cómo puedo optimizar. Además de eliminar cualquier circunstancia que pueda incurrir en desperdicio o pérdida.

En el pilar las mejoras enfocadas se deben establecer para “eliminar las causas de las pérdidas ocultas a través del análisis profundo del problema por personal especializado y evitar los análisis superficiales de los problemas, a través de la eliminación del yo creo que” (Tavares, 2000, p. 108).

Para Tavares (2000):

La determinación de estos objetivos es alcanzada de acuerdo con la siguiente orientación:

- Selección del sistema operacional o equipo y acompañamiento de su operación.
- Esclarecimiento de los puntos problemáticos en el proceso y/o equipo.
- Definición de la mejora a través de estudios, evaluaciones y elaboración de procedimientos.
- Implantación de mejoras.
- Verificación de los resultados.
- Estandarización de los procedimientos. (p. 108)

Las óptimas condiciones de los equipos se refieren al funcionamiento correcto de los equipos. Para esto se tiene que realizar un análisis de las 6 grandes fuentes de pérdidas.

Las seis grandes pérdidas se refiere a realizar un análisis de falla en los equipos, ajustes no programados, paradas leves, reducción de velocidad, defectos en el proceso, pérdidas de arranque. El análisis debe ser minucioso y debe evitar realizar suposiciones de los problemas.

#### **7.4.2.3. Mantenimiento costo de vida útil**

Según Tavares (2000):

Es la evaluación de la conveniencia de adquirir máquinas más caras, pero de mejor confiabilidad, mantenibilidad, operacionalidad y economía. En el proyecto MP (*Maintenance Prevention*) se hace un análisis del historial del equipo para determinar mejoras, que tengan por objetivo la eliminación de problemas futuros, y consecuentemente, reducción del costo del ciclo de vida.

El costo del ciclo de vida es obtenido por la suma de los costos de adquisición y de funcionamiento (o de sustentación). El costo de adquisición abarca los costos de: diseño, fabricación, transporte e instalación y, normalmente, representa el 25 % del costo del ciclo de vida. El costo de funcionamiento es el resultado de la suma de los costos de operación y mantenimiento (directos e indirectos, donde se incluye pérdidas de producción por todos los motivos, mala calidad, paradas para mantenimiento, entre otros.), siendo normalmente el costo de operación constante y el costo mantenimiento bajo en los primeros años de funcionamiento, aumentando en forma progresiva a partir de los tres años. (p. 109)

Para este pilar se debe realizar un análisis profundo, la sustitución de un equipo más costoso, pero más confiable y económico en cuanto a su mantenimiento y operación; que el equipo que actualmente se tiene que ver la posibilidad que tenga muchas interrupciones o requiere un mantenimiento frecuente.

#### **7.4.2.4. Educación y capacitación**

Se debe capacitar a personal involucrado directamente para realizar las actividades, mediciones o interpretaciones. Una persona capacitada puede alertar sobre una medición de algún equipo que su funcionamiento tiene parámetros operando fuera de su rango, que pueda provocar en la avería de todo un sistema, equipo o hasta el paro de la producción.

Por lo que la clasificación del personal según actividad a realizar es:

Los operadores son profesionales capaces de realizar actividades de mantenimiento, de forma espontánea (limpieza, lubricación, inspección, pequeños ajustes y medición).

Los mantenedores son profesionales capaces de realizar actividades múltiples (originalmente mecatrónico = mecánico + electricista + electrónico), hoy ampliado al desarrollo de actividades de análisis de ocurrencias (aplicación de las siete herramientas de la calidad total).

Los ingenieros de producción son profesionales capaces de evaluar, revisar y proyectar equipos con reducida necesidad de intervención y alta mantenibilidad. (Tavares, 2000, p. 110)

#### **7.4.2.5. Mantenimiento de calidad**

Para el mantenimiento de calidad se persigue que los equipos o sistemas funcionen correctamente.

Para Tavares (2000) el mantenimiento de calidad se refiere a:

- Evaluación de la interferencia y de la condición operativa del equipo, en la calidad del producto o servicio ofrecido por la empresa.
- Definición de parámetros, que puedan ser indicadores de esa interferencia (acción conjunta: operación, mantenimiento, ingeniería, calidad y marketing).
- Seguimiento, a través de gráficos, de los parámetros y establecimiento de metas basadas en la necesidad del proceso (cliente). (p. 111)

Este pilar busca verificar condiciones de los equipos, defectos. Como, por ejemplo, que no indique bien la temperatura, por lo que la operación del equipo no es la correcta.

#### **7.4.2.6. Control administrativo**

Para este pilar se fundamenta en la aplicación de técnicas de gestión administrativa, con el objetivo de perder demasiado tiempo en la compra de repuestos o proceso administrativo.

Para eso Tavares (2000) indica que “debe implementarse las técnicas de las 5’s en área administrativas, *Just in Time* para el área de compra y materiales y el Kanban para la materia prima, herramientas y material de uso de oficina” (p. 111).

#### **7.4.2.7. Filosofía de las 5’s**

Según Tavares (2000) indica que:

El desarrollo del TPM se comprobó de forma fundamental que, además de la necesidad que cada uno de los componentes de la empresa, buscarse la limpieza y la organización, para la mejora de sus actividades y del ambiente laboral de un modo general; los atributos de orden, aseo y disciplina también influyen en la mejora de la productividad, complementando, de esta manera, el grupo de las 5’s, 5 palabras que, en japonés, empiezan con la letra S. (pp. 105-106)

Socóla *et. al.* (2020) describe el significado de las 5's:

- Clasificación (*seiri*): Significa separar las cosas necesarias de las innecesarias, poniéndolas en un lugar conveniente y adecuado, creando espacios necesarios para desplazarse de un lugar a otro sin dificultad alguna.
- Orden (*seiton*): Consiste en acomodar los elementos necesarios facilitando la búsqueda en cualquier instante, con la finalidad de tener un área de trabajo más organizada.
- Limpieza (*seiso*): Radica en eliminar hasta la más mínima suciedad, llegando a tener un área aseada y pulcra, empleando suministros y/o accesorios de limpieza.
- Estandarización (*seiketsu*): Consiste en el cumplimiento de las 3's primeras con la finalidad de mantener los logros alcanzados y de detectar aquellos dilemas que estaban invisibles. Además, contribuye a prevenir todo tipo de accidente que se presenta en la hora de trabajo.
- Disciplina (*shitsuke*): Se define como la voluntad de hacer las cosas como se supone se deben hacer, consiste en crear hábitos laborales llegando a tener una ventaja competitiva. (p. 43)

El orden y la limpieza en las plantas es de vital importancia no solo para evitar accidentes, sino también para detectar algún problema previo a que este fallé.

#### **7.4.2.8. Medio ambiente, seguridad e higiene**

Para este pilar, Tavares (2000), indica que deben establecerse:

- Tratamiento de políticas de prevención del accidente.
- Establecimiento de las recomendaciones de seguridad y adecuación del sistema para que sean implementadas en las OT.
- Aplicación de polígrafos de productividad, para evaluar la condición de prevención de accidentes.
- Evaluación de costos directos e indirectos de accidentes
- Establecimiento de acciones para obtener cero accidentes. (p. 111)

#### **7.4.2.9. Mantenimiento autónomo**

Según Tavares (2000) el mantenimiento autónomo comprende:

- Desarrollo de la conciencia, a mi máquina la cuido yo.
- Cambio de las características inadecuadas del local de trabajo.
- Implantación en seis fases:
  - Limpieza inicial (búsqueda de defectos)
  - Descubrir causas de la suciedad
  - Mejorar áreas de difícil acceso
  - Estandarizar actividades de mantenimiento autónomo
  - Capacitación para efectuar inspecciones
  - Inspección autónoma Organización del área de trabajo. (p. 112)

## **7.5. Disponibilidad de hidroeléctricas**

El concepto de disponibilidad se refiere a cualquier cosa que puede ser utilizada o que está en buen estado para su uso.

Para el caso de la disponibilidad de una hidroeléctricas, se refiere que las unidades de generación están en buen estado y pueden entrar a Generar o sincronizarse para aportar energía al sistema nacional interconectado, que sea requerido por el AMM y por el tiempo que ellos determinen.

El administrador del mercado mayorista según la ley general de electricidad en Guatemala, Decreto No. 93-96 fue creado para operar el sistema nacional interconectado (SIN), encargado del suministro de energía eléctrica del país.

Según el AMM (2007) en la norma de coordinación comercial No.2 indica que:

El AMM, con un programa de cómputo, generará las órdenes de prueba que aseguren un procedimiento objetivo e imparcial de la prueba de la disponibilidad de cada central o unidad generadora de cada participante productor. Este programa debe estar basado en un algoritmo de muestreo estadístico denominado programa de prueba aleatoria de disponibilidad y se le identifica en lo sucesivo con el acrónimo PRADIS.

La determinación de la disponibilidad se refiere a la comprobación del estado de una unidad generadora y/o central generadora que ha sido declarada disponible por el participante productor y a la potencia máxima disponible que puede ser declarada con la programación semanal y que se

toma en cuenta para la elaboración del programa de despacho diario. (p. 14)

### **7.5.1. Disponibilidad de centrales**

Según AMM (2007) indica que:

Para hacer más efectivo el control y disminuir su costo, el AMM utilizará criterios prácticos de ponderación de los sucesos que aumentan la frecuencia de convocatoria a Prueba de Disponibilidad a aquellas unidades o centrales generadoras, que por condiciones propias no han sido convocadas a generar o han presentado mayor número de horas de indisponibilidad forzada. (p. 14)

Los criterios para la selección de PRADIS son:

Cada uno de estos criterios tienen una ponderación que está en función directa a la probabilidad de que la unidad o central generadora sea seleccionada para realizar una prueba de disponibilidad, es decir que el criterio con mayor ponderación incide en mayor probabilidad de que una unidad o central generadora sea seleccionada. (AMM, 2007, p. 15)

Tabal I. **Criterios de selección y valor de ponderación**

<b>Criterios</b>	<b>Valor de ponderación (porcentaje)</b>
Número de horas no operadas durante los últimos 12 meses	35
Número de arranques fallidos de los últimos 10 arranque solicitados ya se por despacho o solicitud de prueba	25

Continuación tabla I.

Período de tiempo desde la salida de la última vez que fue convocado a generar	25
Número de salidas forzadas en los últimos doce meses.	10
Coefficiente de disponibilidad	5

Fuente: AMM (2007). *Norma de Coordinación Comercial No. 2.*

Al realizar el análisis de la tabla I, se observa que para convocar a una prueba PRADIS dependerá en una gran medida de que una hidroeléctrica tenga problemas para sincronizar; es decir que algún problema mecánico o eléctrico haga que no pueda conectarse al SNI. Que la central en operación normal solicite desconectarse del sistema; se le llama a esto indisponibilidad por salida forzada. La salida forzada, son por causas internas en la central; el cual finaliza el tiempo de indisponibilidad comunicándose personal de AMM solicita sincronizar las unidades de generación al SNI.

El AMM tomará la decisión de seguir conectado al sistema o salir del mismo dejándolo disponible.

### **7.5.2. Coeficiente de Disponibilidad**

El coeficiente de disponibilidad se calcula tomando como base los tiempos que ha estado disponible la central, los tiempos de indisponibilidad forzada, horas equivalentes de degradación cuando la unidad está disponible.

El coeficiente de disponibilidad de una unidad generadora se calcula anualmente a partir de los datos disponibles de los últimos dos años. (AMM, 2007, p. 26)

Para determinar el coeficiente de disponibilidad se emplea la siguiente ecuación:

$$Coefdispo = \frac{HD+HMP-HED}{HD+HIF+HMP} \quad (Ec.1)$$

Donde:

HD: horas de disponibilidad

HMP: horas de mantenimiento programado

HIF: horas de indisponibilidad forzada

HED: horas equivalentes de degradación

Para las unidades generadoras que inicien su operación previa a una programación anual, el AMM considerará el coeficiente de disponibilidad igual a uno para el período que reste para la siguiente programación anual.

## **7.6. Confiabilidad de hidroeléctricas**

“La confiabilidad es la cualidad que tienen los artículos técnicos de cumplir con las funciones para las que fueron diseñados y construidos, durante un período determinado de tiempo y bajo ciertas condiciones estables de explotación” (Mojicar y Reyes, 2009, p. 78).

### 7.6.1. Cálculo de coeficiente de confiabilidad

La disponibilidad es igual a la confiabilidad de un sistema no reparable. En sistemas reparables, después de una falla el sistema puede volverse a poner en servicio con la reparación, reduciendo así el efecto de la falla. Con ello, la confiabilidad no cambia, pero la disponibilidad sí.

El tiempo en servicio depende de la confiabilidad del sistema, mientras que el tiempo fuera de servicio depende de la mantenibilidad del sistema, por lo cual, la disponibilidad es una función tanto de la confiabilidad como de la mantenibilidad. (Fernández, 2018, p. 36)

Realizando el análisis de lo que menciona el autor Fernández (2018) en el párrafo anterior, el cálculo de la confiabilidad en función de la disponibilidad es:

$$Coefconf = Coefdispo * 100 \quad (Ec. 2)$$

Entonces tenemos:

$$Coefdispo = \frac{HD+HMP-HED}{HD+HIF+HMP} * 100 \quad (Ec.3)$$



## **8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS**

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

HIPÓTESIS

RESUMEN DEL MARCO TEÓRICO

INTRODUCCIÓN

### **1. MARCO TEÓRICO**

- 1.1. Centrales hidroeléctricas.
- 1.2. Clasificación
- 1.3. Elementos principales de una hidroeléctrica.
- 1.4. Mantenimiento área civil
- 1.5. Turbinas hidráulicas
- 1.6. Mantenimiento productivo total
- 1.7. Implantación del TPM
- 1.8. Metodología AMFE
- 1.9. índice de ponderación
- 1.10. Disponibilidad de hidroeléctricas
- 1.11. Confiabilidad de hidroeléctricas

### **2. ESTUDIO TÉCNICO**

- 2.1. Descripción del área de estudio.

- 2.2. Obra de captación
- 2.3. Embalse
- 2.4. Subestación eléctrica
- 2.5. Casa de máquinas
- 2.6. Análisis de metodologías del TPM en la central
  - 2.6.1. Inventario
  - 2.6.2. Análisis modal de fallos y efectos
  - 2.6.3. Análisis de criticidad
  - 2.6.4. Revisión historia de mantenimiento e indisponibilidades
  - 2.6.5. Revisión del coeficiente de disponibilidad
  - 2.6.6. Análisis de metodologías aplicadas
  
- 3. IMPLEMENTACIÓN DEL TPM
  - 3.1. Preparación
  - 3.2. introducción
  - 3.3. Implantación
  - 3.4. Disponibilidad
  - 3.5. Confiabilidad
  
- 4. ANÁLISIS FINANCIERO
  - 4.1. Costo por energía no generada
  - 4.2. Costo por penalizaciones
  - 4.3. Costo del mantenimiento convencional
  - 4.4. Costo de mantenimiento productivo total
  
- 5. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE DATOS
  
- 6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CONCLUSIONES  
RECOMENDACIONES  
REFERENCIAS  
APÉNDICES  
ANEXOS



## **9. METODOLOGÍA**

En este apartado se explica la estructura para recolectar la información, para posteriormente analizar los datos obtenidos durante la investigación.

Se realizan consultas en documentos, revistas o investigaciones con casos de estudio similar. Con la que se pretende determinar las metodologías del TPM principales para el tema de investigación.

Además, se utilizará la técnica de entrevista para obtener información en campo, con lo que se tiene como objetivo dar respuesta a las preguntas de investigación; como cuáles serán las causas de que afecta la disponibilidad de la hidroeléctrica y que es considerada una falla crítica que realizará la interrupción por tiempo indefinido de la planta.

### **9.1. Tipo de estudio**

El tipo de estudio de investigación será descriptivo, debido que se pretende a llegar a conocer a través de una descripción precisa actividades de mantenimiento y personas.

El diseño será no experimental de tipo descriptivo correlacional debido a que relaciona la disponibilidad y la confiabilidad con las metodologías del TPM.

El enfoque que se le dará a la investigación es mixto con métodos cuantitativos y cualitativos. Cuantitativo debido a que podemos evaluar por medio del coeficiente disponibilidad posterior a las metodologías del TPM. Cualitativo

porque se tratará de comprender el entorno del personal en la planta y cómo se percibirá un programa de mantenimiento preventivo.

## **9.2. Fases del estudio**

El estudio se realizará en 5 fases las cuales componen el desarrollo de estudio, estas se describen a continuación.

### **9.2.1. Fase 1: Recopilación de información**

En la primera fase se recopiló toda la información respecto al estado actual de la central, historial de mantenimiento programado y de emergencia, historial de fallas y fallas en la operación. Es necesario tener un historial de salidas por fallas internas y externas para determinar el coeficiente de disponibilidad de la central.

### **9.2.2. Fase 2: Caracterización de información**

La segunda fase consiste en detallar y analizar el mantenimiento y operación actual de la central para determinar si se está garantizando la gestión de mantenimiento.

### **9.2.3. Fase 3: Análisis del TPM aplicables**

En base a las fases 1 y 2 se debe determinar las metodologías aplicables a la central; para mejorar la confiabilidad y disponibilidad de la central.

#### **9.2.4. Fase 4: Análisis de la información**

Teniendo el conocimiento del mantenimiento actual de la central, deficiencias en la operación y mantenimiento; se debe establecer en bases a las metodologías aplicables principales el plan de mantenimiento óptimo para mejorar la confiabilidad y disponibilidad.

#### **9.2.5. Fase 5: Impacto Técnico-económico**

Consiste en determinar el impacto técnico-económico al adoptar la metodología del TPM; en comparación con los gastos de mantenimiento actual.

### **9.3. Variables**

La variable independiente son las metodologías del TPM que se propondrán para aumentar la confiabilidad y disponibilidad (variables dependientes) en la planta.

#### **9.3.1. Operacionalización de variables**

Las variables en la que se centrará el estudio será la metodología del TPM como una variable independiente principal y las variables dependiente la confiabilidad y disponibilidad.

Tabal II. Operacionalización de variables de investigación

VARIABLE	DEFINICION OPERATORIA	DIMENSIÓN	TIPO DE VARIABLE	INDICADOR
Metodologías TPM	Relación entre confiabilidad y disponibilidad	Confiabilidad	Cuantitativa	Coefficiente de confiabilidad
		Disponibilidad	Cuantitativa	coeficiente de disponibilidad
Metodologías del TPM aplicadas a Hidroeléctrica	Importancia de los pilares del TPM para aumento de confiabilidad y disponibilidad	Análisis	Cualitativa	análisis de condición actuales de la central, revisión documental
Mecánicas	Relación entre el número total de fallas mecánicas y el tipo de fallas mecánicas	clasificación de fallas mecánicas	Cuantitativa	Porcentaje de fallas por factores mecánicos
Eléctricas	Relación entre el número total de fallas eléctricas y el tipo de fallas mecánicas	clasificación de fallas eléctricas	Cuantitativa	Porcentaje de fallas por factores eléctricas
Operación	Relación entre el número total de fallas y fallas mecánicas, eléctricas, sistema hidráulico, operación	Clasificación de fallas	Cuantitativa	Porcentaje de clasificación de fallas (mecánicas, eléctricas, operación, sistema hidráulico)
Sistema Hidráulico	Relación entre el número total de fallas sistema hidráulico y el tipo de fallas hidráulicas.	Clasificación de fallas de sistemas hidráulicas	Cuantitativa	Porcentaje de por factores de sistema hidráulico
Frecuencia	Relación en entre frecuencia y consecuencia	Equipos de planta	Cuantitativa	# Establecimiento de frecuencia
Consecuencia		Costos de reparación		Establecimiento de IP (impacto producción),

Fuente: elaboración propia.

#### **9.4. Universo y población de estudio**

La población será para este diseño de investigación los trabajadores que operan los equipos en casa de máquinas y en área civil.

##### **9.4.1. Criterios de inclusión**

Personal operativo o administrativo que tienen relación directa con las actividades de operación y mantenimiento; además aceptaron participar de forma voluntaria en el estudio.

##### **9.4.2. Criterios de exclusión**

- Personal operativo o administrativo que tienen relación directa con las actividades de operación y mantenimiento; pero que no aceptaron participar en el estudio.
- Personal operativo o administrativo que tienen relación directa con las actividades de operación y mantenimiento; pero que se encontraban ausentes por gozar de periodo de vacaciones.
- Personal operativo o administrativo que tienen relación directa con las actividades de operación y mantenimiento; pero que se encontraban ausentes por enfermedad.

## 9.5. Muestreo

Del personal que labora en la central, por ser un número pequeño, será tomado en cuenta 8 personas que laboran para la operación y mantenimiento de la central. Se tomó un error del 5 % una confianza del 95 % y los persona que accedan a colaborar un 90 % y 10 % que no quiso colaborar o no se encontraba.

Por medio de la aplicación de la formula se conoce la población finita:

$$n = \frac{k^2 pqN}{e^2(N-1)+k^2 pq} \quad (\text{Ec. 4})$$

Donde:

n: tamaño muestra a determinar

p: variabilidad positiva = (0.80)

q: variabilidad negativa = (0.20)

N: tamaño de la población = (8)

e: es el error muestral que se considera = (0.05)

k: constante de nivel de confianza que indica la probabilidad de que los resultados del estudio sean ciertos o no. Los valores de k que más se utilizan y sus respectivos niveles de confianza son:

Tabal III. **Valores k y niveles de confianza**

<b>Valores Z</b> (valor del nivel de confianza)	<b>90 %</b>	<b>95 %</b>	<b>97 %</b>	<b>98 %</b>	<b>99 %</b>
<b>Varianza</b> (valor para reemplazar en la fórmula)	<b>1.645</b>	<b>1.960</b>	<b>2.170</b>	<b>2.326</b>	<b>2.576</b>

Fuente: Vallejo (2012). *Valores K y niveles de confianza.*

Sustitución de valores, para el cálculo de muestra:

$$n = \frac{(1.96)^2(0.9)(0.1)(8)}{(0.005)^2(8 - 1)(1.96)^2(0.1)(8)}$$

Por lo que se concluye que la muestra es n=7.

## 9.6. Hipótesis

- HO: Las metodologías del TPM aumentan la confiabilidad y disponibilidad de una hidroeléctrica con GDR y turbina Pelton en Guatemala.
- HI: Las metodologías del TPM no aumentan la confiabilidad y disponibilidad de una hidroeléctrica con GDR y turbina Pelton en Guatemala.



## **10. TÉCNICA DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN**

El siguiente capítulo pretende determinar las técnicas para recolectar la información de la investigación.

### **10.1. Método de recolección de datos**

El método por utilizar es el muestreo selectivo de informantes claves, debido a que estas muestras tienen la información esencial para la investigación.

### **10.2. Técnicas de recolección de datos**

La entrevista es la técnica para utilizar y consiste en una conversación, para obtener la información. Además, se utilizará la observación directa de cómo realizan las actividades de mantenimiento en la central a través de sus registros de mantenimiento.

### **10.3. Instrumentos para recolección de datos**

El instrumento será la cédula de entrevista utiliza preguntas abiertas debido a que se busca comprender la información recibida y el Historial de registro de fallas de equipos.

#### **10.4. Procesamiento y análisis de información**

Al tener todas las entrevistas se procederá a tabular datos y presentar resultados con tablas o gráficas que permitan una mejor comprensión del proceso de mantenimiento de la planta y el estado actual.

Se pretende conocer las interrupciones que afectan la disponibilidad de la central. Se utilizará un método de análisis de falla que nos permita comprender la causa raíz de los eventos.

#### **10.5. Límites de la investigación**

Se refiere a limitantes de acceder a la información, debido a varios factores que puedan suceder en el transcurso de la investigación.

#### **10.6. Obstáculos (riesgos y dificultades)**

La limitante actual es la pandemia Covid-19, se tendrán precauciones del caso, se realizará una distribución de los trabajadores en horarios específicos para realizar las entrevistas.

#### **10.7. Aspectos éticos de la investigación**

Los efectos benéficos se proporcionarán al obtener los datos mediante técnicas de entrevista, no se realizará experimento sobre los objetos de estudio.

La información que resulte de las entrevistas será de uso únicamente para el estudio y se guardará confidencialidad de la información.

## **10.8. Autonomía**

Para la realización del estudio de investigación se tomará en cuenta el grupo de personas que establezcan consentimiento informado de su participación; previamente informándoles el objeto de la entrevista, beneficios y riesgos.

Se respetarán las opiniones o la forma de pensar de las personas respecto a algún proceso y además no debe haber exclusión por incapacidad, etnia o raza.

## **10.9. Riesgo de la investigación**

Dado que la recolección de información para la presente investigación se llevará a cabo mediante la realización de entrevistas, se clasifica en la categoría I.

### **10.9.1. Categoría I (sin riesgo)**

Son estudios que emplean técnicas y métodos de investigación documental retrospectivo y aquellos en los que no se realiza ninguna intervención o modificación intencionada de las variables biológicas, fisiológicas, psicológicas o sociales de los individuos que participan en el estudio, entre los que se consideran, revisión de historias clínicas, entrevistas, cuestionarios y otros en los que no se le identifique ni se traten aspectos sensitivos de su conducta.



## 11. CRONOGRAMA

El presente capítulo presenta la organización cronológica del proceso de solución, organizado por semanas y un total de 10 meses de duración.

Tabal IV. Cronograma

Descripción de actividades	2022																															
	ENERO				FEBRERO				MARZO				ABRIL				MAYO				JUNIO				JULIO							
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
<b>Fase 1: Recopilar información</b>																																
Historial de mantenimiento programado y emergencia, fallas equipos y operación	■																															
<b>Fase 2: Caracterización de información</b>																																
Análisis de mantenimiento y operación actual					■																											
<b>Fase 3: Análisis del TPM aplicables a la central</b>																																
En base a toda la información recopilada y el análisis del mantenimiento actual, se deben determinar las metodologías aplicables.									■																							
<b>Fase 4: Análisis de la información</b>																																
Implementación del plan de mantenimiento con las técnicas TPM													■				■															
<b>Fase 5: Impacto Técnico-económico</b>																																
Determinar costos al adoptar la técnica TPM y comparar los gastos actuales.																									■							

Fuente: elaboración propia.



## 12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

El presente apartado pretende determinar la viabilidad del proyecto de estudio por parte del Investigador, para eso es necesario conocer 4 aspectos importantes a tomar en cuenta; el cual se describen a continuación:

- **Recurso humano:** A nivel personal, se cuenta con las herramientas intelectuales, experiencia sobre el tipo central y a tiempo parcial, se dedicará al estudio 25 horas a la semana. A nivel empresarial los directivos brindan la oportunidad y apoyo para el desarrollo de la investigación y respaldos de los sujetos de estudio. El personal está en la disposición de ser entrevistados y proporcionar la información relevante sobre mantenimientos realizados, fallas o eventos ocurridos.
- **Recurso económico:** Se cuenta con el recurso económico para cubrir los gastos de traslado a la central y gastos de alimentación.
- **Recurso de materiales:** Computadora personal, teléfono, vehículo para visita de campo, servicio energía eléctrica, servicio internet, gastos de alimentación por viáticos, materiales de oficina.
- **Recurso social:** Dentro del funcionamiento de la operación y mantenimiento de la central, se tiene un grado de aceptación de la sociedad.

- La factibilidad ecológica: El estudio de investigación busca evitar el mal uso de los recursos, por lo que no se realizará ninguna acción que pueda afectar los recursos ecológicos.

### 12.1. Costo del estudio

Esta tabla contiene los costos por recurso humano y materiales para realizar el proyecto de investigación

Tabal V. **Costos del estudio**

<b>Recursos</b>		<b>Presupuesto</b>
<b>Humano</b>	Investigador	Q. 12,500.00
	Asesor	Q. 3,500.00
	Curso de diseño de investigación 1 y 2	Q. 4,000.00
<b>Materiales</b>	1 computadoras personal	Q. 3,000.00
	Impresiones	Q. 1,500.00
	Útiles de oficina	Q. 500.00
	1 servicios Telefonía Móvil e internet	Q. 3,000.00
	Gastos imprevistos 10 %	Q. 2,800.00
<b>TOTAL</b>		<b>Q. 30,800.00</b>

Fuente: elaboración propia.

### 13. REFERENCIAS

1. Administrador del Mercado Mayorista (2007). *Norma de Coordinación Comercial No. 2*. Guatemala: Autor. Recuperado de [https://www.amm.org.gt/portal/?wpfb\\_dl=211NCC-2%20actualizado%2008-2019.pdf](https://www.amm.org.gt/portal/?wpfb_dl=211NCC-2%20actualizado%2008-2019.pdf)
2. Altamirano, G. R. (2017). *Análisis del impacto del mantenimiento productivo total (TPM) en la gestión operativa de la central hidroeléctrica San Francisco en el periodo 2010-2015* (Tesis de maestría). Escuela Politécnica Nacional, Ecuador. Recuperado de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/17608/1/CD-8079.pdf>
3. Anaya, G. G. (2020). *Diseño de la propuesta de implementación de un sistema de mantenimiento productivo total TPM para la empresa colombiana de cementos S.A.S en la región de Río Claro-Antioquia* (Tesis de maestría). Universidad EAN, Colombia. Recuperado de [https://repository.ean.edu.co/bitstream/handle/10882/10058/Anaya German2020.pdf?sequence=1](https://repository.ean.edu.co/bitstream/handle/10882/10058/Anaya%20German2020.pdf?sequence=1)
4. Astudillo, F.L. (2017). *Crear una plataforma para la implementación de mantenimiento productivo total basada en filosofía lean, aplicable a la mediana empresa de manufactura, caso etapa EP* (Tesis de maestría). Universidad del Azuay. Ecuador. Recuperado de <http://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/6932/1/12887.pdf>

5. Barros, A. (s.f.). *Formación para investigadores*. Bogotá, Colombia: Universidad Libre. Recuperado de <http://www.unilibrebaq.edu.co/unilibrebaq/Ciul/documentos/COMITE/ConsEticas.pdf>
6. Comisión Nacional de Energía Eléctrica (2014). *Norma técnica de generación distribuida renovable y usuarios autoprodutores con excedentes de energía*. Guatemala: Autor. Recuperado de <https://www.cnee.gob.gt/estudioselectricos/Normas%20Tecnicas/08%20NTGDR.pdf>
7. Decreto 93-96. Ley general de electricidad de Guatemala. Diario de Centroamérica. Guatemala, 22 junio del 2005. Recuperado de [https://www.cnee.gob.gt/pdf/marco-legal/LEY\\_GENERAL\\_DE\\_ELECTRICIDAD\\_Y\\_REGLAMENTOS.pdf](https://www.cnee.gob.gt/pdf/marco-legal/LEY_GENERAL_DE_ELECTRICIDAD_Y_REGLAMENTOS.pdf)
8. Dirección General de Energía (1998). *Manual de la pequeña hidroeléctrica*. Bruselas, Bélgica: Comisión Europea. Recuperado de [http://www.ingenieros.es/files/proyectos/Manual\\_pequena\\_hidraulica.pdf](http://www.ingenieros.es/files/proyectos/Manual_pequena_hidraulica.pdf)
9. Fernández, E. (2018). *La gestión del mantenimiento: Lean Maintenance y TPM* (Tesis de maestría) Universidad de Oviedo, España. Recuperado de <https://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/handle/10651/47868/Gesti%F3n%20de%20Mantenimiento.%20Lean%20Maintenance%20>

y%20TPM.pdf;jsessionid=256148ABB8A149509BE8C078459876B  
F?sequence=1

10. Forero, A. (2020). *La gestión del mantenimiento productivo total como herramienta de mejoramiento en empresas del sector manufactura* (Tesis de especialización) Fundación universidad de América, Colombia. Recuperado de <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7938/1/579766-2020-II-GC.pdf>
11. Fundación Solar en Guatemala (2013). *Centrales hidroeléctricas de pequeña escala, la experiencia de la Fundación Solar en Guatemala*. Guatemala: Fundación Autor. Recuperado de <https://www.undp.org/content/dam/guatemala/06%20Centrales%20Hidroel%C3%A9ctricas%20peque%C3%B1a%20escala.pdf>
12. García, J., Romero, J. y Noriega, S. (octubre, 2012). El éxito del mantenimiento productivo total y su relación con los factores administrativos contaduría y administración. *Red de revistas científicas de América latina, el caribe, España y Portugal*, 57(4), 173-196. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=39524375009>
13. García, J. (septiembre, 2011). Factores relacionados con el éxito del mantenimiento productivo total. *Red de revistas científicas de América latina, el caribe, España y Portugal*, 60(1), 129-140. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43021583012>

14. Juárez, J. (1992). *Centrales hidroeléctricas*. Azcapotzalco, México: Universidad Autónoma Metropolitana. Recuperado de [http://zaloamati.azc.uam.mx/bitstream/handle/11191/1821/Centrales\\_hidroelectricas\\_BAJO\\_Azcapotzalco.pdf?sequence=1](http://zaloamati.azc.uam.mx/bitstream/handle/11191/1821/Centrales_hidroelectricas_BAJO_Azcapotzalco.pdf?sequence=1)
15. Madrazo, A., y Balbas, J., (2010). *Centrales eléctricas I*. Santander, España: Escuela técnica superior de ingenieros de caminos, canales y puertos de Santander. Recuperado de <https://xdoc.mx/preview/centrales-hidroelectricas-sistemas-electricos-de-potencia-60878ea490509>
16. Martínez, I. (2009). *Diseño de un modelo para aplicar el mantenimiento productivo total a los servicios de bienes y servicios* (Tesis de maestría). Instituto Politécnico nacional, México. Recuperado de <https://tesis.ipn.mx/xmlui/bitstream/handle/123456789/5992/1447.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
17. Matos, R. (diciembre, 2012). Desarrollo de un programa de mantenimiento productivo total (MPT) en el área de mezclas especiales de una empresa molinera. *Revista ingeniería UC*, 19(3), 66-76. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/707/70732639008.pdf>
18. Morales, S., Corredor, L., Paba, J. y Pacheco, L. (abril, 2014). Etapas de desarrollo de un proyecto de pequeñas centrales hidroeléctricas: contexto y criterios básicos de implementación. *Red de revistas científicas de América latina, el caribe, España y Portugal*, 81(184),

- 178-185. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/496/49630405025.pdf>
19. Mojicar, C. y Reyes, C. (abril, 2009). Estimación de la confiabilidad en sistemas de generación distribuida de electricidad. *Ciencia en su PC*, 2, 77-86. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/1813/181321580007.pdf>
  20. Olartec, C., Botero, A., Paba, J. y Cañon, B. (abril, 2010). Importancia del mantenimiento industrial dentro de los procesos de producción. *Scientia Et Technica*, XVI(44), 354-356. recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/849/84917316066.pdf>
  21. Schallenberg J., Piernavieja G., Hernández C., Unamunzaga P., García R., Díaz M., Cabrera D., Martel G. Pardilla J. y Subiela V., (2008). *Energías renovables y eficiencia energética*. Canarias, España: Instituto tecnológico de canarias. Recuperado de <https://www.cienciacanaria.es/files/Libro-de-energias-renovables-y-eficiencia-energetica.pdf>
  22. Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia (2010). *Plan de desarrollo Escuintla, Escuintla*. Guatemala: Autor. Recuperado de <https://www.segeplan.gob.gt/nportal/index.php/departamento-de-escuintla>
  23. Socola, L. y Medina, M. y Guerrero, O. (septiembre, 2020). Herramienta innovadora para mejorar la productividad las 5´S. *Revista*

*metropolitana de ciencia aplicadas*, 3(3), 41-47. Recuperado de <https://remca.umet.edu.ec/index.php/REMCA/article/view/307/332>

24. Tavares, L. (2000). *Administración moderna de mantenimiento*. Brasil: Novo Polo publicaciones. Recuperado de <https://soportec.files.wordpress.com/2010/06/administracion-moderna-de-mantenimiento.pdf>
  
25. Tuarez, C. (2013) *Diseño de un sistema de mejora continua en una embotelladora y comercializadora de bebidas gaseosas de la ciudad de Guayaquil por medio de la aplicación del TPM* (Tesis de maestría). Escuela superior politécnica del litoral, Ecuador. Recuperado de <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/24859/1/TE%20SIS%20DE%20GRADO%20IMPLEMENTACION%20DE%20TPM%20EN%20EMBOTELLADORA%20DE%20BEBIDAS%20GASEOSAS.pdf>
  
26. Venkatesh J. (2007) *Introducción al mantenimiento productivo total*. India: Engineering Research & Development centre. Recuperado de [https://www.academia.edu/36412225/An\\_Introduction\\_to\\_Total\\_Productive\\_Maintenance\\_TPM](https://www.academia.edu/36412225/An_Introduction_to_Total_Productive_Maintenance_TPM)
  
27. Villegas, J. (2014) *Aproximación en el uso del mantenimiento productivo total-TPM en empresas que ya lo practican* (Tesis de maestría). Universidad EAFIT, Colombia. Recuperado de [https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/5122/JuanVillegasL%20c3%20b3pez\\_2014.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/5122/JuanVillegasL%20c3%20b3pez_2014.pdf?sequence=2&isAllowed=y)

## 14. APÉNDICE

### Apéndice 1. Matriz de consistencia

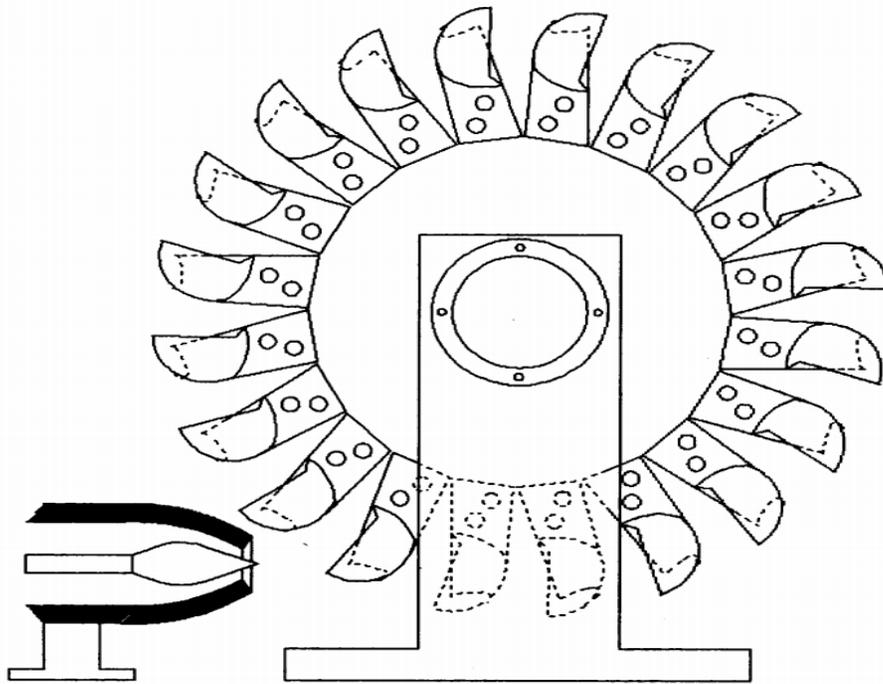
<b>PROBLEMA</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN</b>	
<b>PROBLEMA PRINCIPAL</b>	<b>GENERAL</b>	<b>PREGUNTA GENERAL</b>	<b>METODOLOGIA</b>
Falta de conocimiento de cuáles son las metodologías de mantenimiento productivo total para aumentar la confiabilidad y disponibilidad de una hidroeléctrica con generador distribuido renovable con turbina Pelton en Guatemala.	Enumerar cuáles son las metodologías de mantenimiento productivo total para aumentar la confiabilidad y disponibilidad de una hidroeléctrica con generador distribuido renovable con turbina Pelton en Guatemala	¿Cuáles son las metodologías de mantenimiento productivo total para aumentar la confiabilidad y disponibilidad de una hidroeléctrica con generador distribuido renovable con turbina Pelton en Guatemala?	
<b>PROBLEMA SECUNDARIO</b>	<b>ESPECIFICO</b>	<b>PREGUNTAS ESPECIFICAS</b>	
Desconocimiento de cuáles son las metodologías de mantenimiento productivo total aplicable para aumentar la confiabilidad y disponibilidad de una hidroeléctrica con generador distribuido renovable con turbina Pelton en Guatemala.	Determinar las principales metodologías de mantenimiento productivo total aplicables para aumentar la confiabilidad y disponibilidad de una Hidroeléctrica con Generador Distribuido Renovable con Turbina Pelton en Guatemala.	¿Cuáles son las principales metodologías de mantenimiento productivo total aplicable para aumentar la confiabilidad y disponibilidad de una Hidroeléctrica con Generador Distribuido Renovable con turbina Pelton en Guatemala?	Se utilizará como metodología un diseño de investigación no experimental de tipo descriptiva Correlacional.
No se han definido las causas que afectan la confiabilidad y disponibilidad de una hidroeléctrica con generador distribuido renovable con turbina Pelton en Guatemala	Definir las causas que afectan la confiabilidad y disponibilidad de una hidroeléctrica con generador distribuido renovable con turbina Pelton en Guatemala.	¿Cuáles son las causas que afectan la confiabilidad y disponibilidad de una hidroeléctrica con generador distribuido renovable con turbina Pelton en Guatemala?	
¿No se conocen las fallas críticas o moderadas que afectan la disponibilidad de una hidroeléctrica con generador distribuido renovable con turbina Pelton en Guatemala?	Determinar fallas críticas o moderadas que afectan la disponibilidad de una hidroeléctrica con generador distribuido renovable con turbina Pelton en Guatemala.	¿Cuál son fallas críticas o moderadas que afectan la DISPONIBILIDAD DE UNA HIDROELÉCTRICA CON GENERADOR DISTRIBUIDO RENOVABLE con turbina Pelton en Guatemala?	

Fuente: elaboración propia.



## 15. ANEXO

### Anexo 1. Rueda Pelton



Fuente: Knobelsdorf y Lucuara (1994). *Diseño y construcción de una turbina Pelton.*

