

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Mecánica

Tesis

**Propuesta técnica de mantenimiento preventivo
de inyectores de simple efecto en turbinas Pelton
para la Central Hidroeléctrica Santiago Antúnez
de Mayolo - 2023**

Jose Antonio Meza Aliaga

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Mecánico

Huancayo, 2023

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TESIS

A : Felipe Néstor Gutarra Meza
Decano de la Facultad de Ingeniería

DE : Morales Santivañez Wilfredo Víctor
Asesor de tesis

ASUNTO : Remito resultado de evaluación de originalidad de tesis

FECHA : 21 de Octubre de 2023

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para saludarlo y en vista de haber sido designado asesor de la tesis titulada: "PROPUESTA TÉCNICA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE INYECTORES DE SIMPLE EFECTO EN TURBINAS PELTON PARA LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO - 2023", perteneciente al/la/los/las estudiante(s) Jose Antonio Meza Aliaga, de la E.A.P. de Ingeniería Mecánica; se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 11 % de similitud (informe adjunto) sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- Filtro de exclusión de bibliografía SI NO
- Filtro de exclusión de grupos de palabras menores (Nº de palabras excluidas:) SI NO
- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante SI NO

En consecuencia, se determina que la tesis constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad.

Recae toda responsabilidad del contenido de la tesis sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios de legalidad, presunción de veracidad y simplicidad, expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales – RENATI y en la Directiva 003-2016-R/UC.

Esperando la atención a la presente, me despido sin otro particular y sea propicia la ocasión para renovar las muestras de mi especial consideración.

Atentamente,



Wilfredo Víctor Morales Santivañez
DNI 19800318

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD

Yo, Meza Aliaga Jose Antonio, identificado(a) con Documento Nacional de Identidad No. 72364709, de la E.A.P. de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería la Universidad Continental, declaro bajo juramento lo siguiente:

1. La tesis titulada: "PROPUESTA TÉCNICA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE INYECTORES DE SIMPLE EFECTO EN TURBINAS PELTON PARA LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO - 2023", es de mi autoría, la misma que presento para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico.
2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas, por lo que no atenta contra derechos de terceros.
3. La tesis es original e inédita, y no ha sido realizado, desarrollado o publicado, parcial ni totalmente, por terceras personas naturales o jurídicas. No incurre en autoplagio; es decir, no fue publicado ni presentado de manera previa para conseguir algún grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados son reales, pues no son falsos, duplicados, ni copiados, por consiguiente, constituyen un aporte significativo para la realidad estudiada.

De identificarse fraude, falsificación de datos, plagio, información sin cita de autores, uso ilegal de información ajena, asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a las acciones legales pertinentes.

21 de Octubre de 2023.



Jose Antonio Meza Aliaga

DNI. No. 72364709

PROPUESTA TÉCNICA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE INYECTORES DE SIMPLE EFECTO EN TURBINAS PELTON PARA LA CENTRAL HIDROELECTRICA SANTIAGO ANTUNEZ DE MAYOLO - 2023

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Continental Trabajo del estudiante	3%
2	Submitted to Universidad Politecnica Salesiana del Ecuado Trabajo del estudiante	1%
3	Submitted to Corporación Universitaria Minuto de Dios, UNIMINUTO Trabajo del estudiante	1%
4	Submitted to Universidad Nacional del Centro del Peru Trabajo del estudiante	1%
5	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	1%
6	Submitted to University of Illinois at Urbana-Champaign Trabajo del estudiante	<1%

7	Submitted to Universidad Tecnologica del Peru Trabajo del estudiante	<1 %
8	Submitted to Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas Trabajo del estudiante	<1 %
9	Submitted to Universidad Politecnica Salesiana del Ecuador Trabajo del estudiante	<1 %
10	Submitted to University of Wales central institutions Trabajo del estudiante	<1 %
11	Submitted to BENEMERITA UNIVERSIDAD AUTONOMA DE PUEBLA BIBLIOTECA Trabajo del estudiante	<1 %
12	Submitted to Jose Maria Vargas University Trabajo del estudiante	<1 %
13	Submitted to Universidad Anahuac México Sur Trabajo del estudiante	<1 %
14	Submitted to Universidad Católica San Pablo Trabajo del estudiante	<1 %
15	Submitted to Universidad Militar Nueva Granada Trabajo del estudiante	<1 %

16	Submitted to Universidad Tecnológica Centroamericana UNITEC	<1 %
	Trabajo del estudiante	
17	Submitted to Universidad San Marcos	<1 %
	Trabajo del estudiante	
18	Submitted to Universidad Catolica Los Angeles de Chimbote	<1 %
	Trabajo del estudiante	
19	Submitted to INACAP	<1 %
	Trabajo del estudiante	
20	Submitted to Universidad Técnica Nacional de Costa Rica	<1 %
	Trabajo del estudiante	
21	Submitted to Universidad Privada del Norte	<1 %
	Trabajo del estudiante	
22	Submitted to Escuela Politecnica Nacional	<1 %
	Trabajo del estudiante	
23	Submitted to Instituto Superior de Artes, Ciencias y Comunicación IACC	<1 %
	Trabajo del estudiante	
24	Submitted to Universidad San Ignacio de Loyola	<1 %
	Trabajo del estudiante	
25	Submitted to uniminuto	<1 %
	Trabajo del estudiante	

26	Submitted to Instituto de Educación Superior Tecnológico Privado de la Construcción CAPECO S.A.C. Trabajo del estudiante	<1 %
27	Submitted to Universitat Jaume I de Castelló Trabajo del estudiante	<1 %
28	Submitted to Universidad Pontificia Bolivariana Trabajo del estudiante	<1 %
29	Submitted to University of Leeds Trabajo del estudiante	<1 %
30	Submitted to University of Lincoln Trabajo del estudiante	<1 %
31	Submitted to Brampton Centennial Secondary School Trabajo del estudiante	<1 %
32	Submitted to Pontificia Universidad Católica del Perú Trabajo del estudiante	<1 %
33	Submitted to University College London Trabajo del estudiante	<1 %
34	Submitted to Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo Trabajo del estudiante	<1 %

ASESOR:

Mg. Wilfredo Víctor MORALES SANTIVAÑEZ

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradecer a Dios por darnos fortaleza, salud, perseverancia; seguidamente agradezco a mis padres y hermanos que día tras día estuvieron apoyándome emocionalmente y en todo momento en los semestres de la Universidad y gracias a ello poder lograr mis objetivos; en segundo lugar, a mi prima, amigos, amigas, colegas de trabajo y Profesores que me apoyaron en cada duda en cada momento en la elaboración de la Tesis, también por los consejos dados; agradezco a la Universidad Continental por formarme como profesional de excelencia y seguir logrando mis metas y triunfar en la vida profesional y personal; finalmente, mi agradecimiento a mi asesor que me apoyó de manera constante.

DEDICATORIA

A toda mi familia hermosa ya que me apoyaron incondicionalmente día a día, a mis amigos que siempre me daban aliento de seguir adelante, a los colegas que siempre me explicaron en el trabajo y a mi asesor que siempre estuvo solventando mis dudas y teniéndome paciencia.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	II
ÍNDICE GENERAL.....	IV
ÍNDICE DE TABLAS	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
RESUMEN.....	X
ABSTRACT.....	XI
INTRODUCCIÓN	12
CAPITULO I.....	14
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	14
1.1. Planteamiento y formulación del problema.....	14
1.1.1. Planteamiento del problema	14
1.1.2. Formulación del problema	16
1.2. Objetivos	17
1.2.1. Objetivo General	17
1.2.2. Objetivos específicos.....	17
1.3. Justificación e importancia	17
1.4. Hipótesis y Descripción de Variables.....	18
1.4.1. Hipótesis de Investigación (Hi).....	18
1.4.2. Hipótesis Nula (Ho)	18
1.4.3. Hipótesis Alternativa (Ha).....	18
1.4.4. Descripción de Variables	19
CAPITULO II	21
MARCO TEÓRICO.....	21
2.1. Antecedentes Internacionales (estado de arte).....	21
2.2. Bases Teóricas.....	28
2.2.1. Central Hidroeléctrica	28
2.2.2. Represa.....	29
2.2.3. Válvula Esférica	29
2.2.4. Inyector de Central Hidroeléctrica.....	30
2.2.5. Turbina.....	33
2.2.6. Mantenimiento	37
2.3. Definición de Términos Básicos.....	40
2.3.1. Mantenimiento	40
2.3.2. Mantenimiento Preventivo	40

2.3.3. Mantenimiento Correctivo	40
2.3.4. Inspección.....	40
2.3.5. Reparación.....	40
2.3.6. Inyector de Turbina Pelton	40
2.3.7. Servomotor	41
2.3.8. Deflector.....	41
2.3.9. Turbina.....	41
CAPITULO III.....	42
METODOLOGÍA	42
3.1. Método y alcances de la investigación	42
3.1.1. Método de Investigación.....	42
3.1.2. Tipo de Investigación	42
3.1.3. Nivel de Investigación	43
3.2. Diseño de Investigación	43
3.3. Población y Muestra	43
3.3.1. Población.....	43
3.3.2. Muestra	43
3.4. Técnicas e Instrumentos de Recolección de datos.....	44
3.4.1. Técnica de Recolección de datos.....	44
3.4.2. Instrumento de recolección de dato	44
CAPITULO IV.....	45
Resultados y Discusiones	45
4.1. Resultados.....	45
4.1.1. Considerar los aspectos técnicos para la elaboración de la propuesta técnica de mantenimiento preventivo de un inyector de simple efecto en turbinas Pelton en la central hidroeléctrica.	45
4.1.2. Determinar los parámetros a considerar para diagnosticar la falla del Inyector de Simple efecto en turbinas Pelton para la Central Santiago Antúnez de Mayolo.	72
4.1.3. Determinar el tiempo de para realizar el mantenimiento preventivo de un inyector de simple efecto en turbinas Pelton para la central hidroeléctrica Santiago Antúnez de Mayolo -2023.....	74
4.2. Discusiones	78
CONCLUSIONES	79
RECOMENDACIONES	81
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA	82
ANEXOS.....	85
ANEXO 01.-INYECTOR DE SIMPLE EFECTO.....	85

ANEXO 02.-VÁLVULA AGUJA DEL INYECTOR DE SIMPLE EFECTO.....	86
ANEXO03.- PERA DEL INYECTOR DE SIMPLE EFECTO.....	87
ANEXO 04.- BOQUILLA DEL INYECTOR DE SIMPLE EFECTO.....	88
ANEXO 05.- DIAGRAMA DE OPERACIONES.....	89

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1:	Tipos de Variables.....	19
Tabla 2:	Técnicas e Instrumentos de recolección de datos.....	44
Tabla 3:	Criterios de Aceptación Clase I.....	52
Tabla 4:	Criterios de Aceptación clase II.....	52
Tabla 5:	Criterios de Aceptación clase III.....	53
Tabla 6:	Criterios de Aceptación clase IV.....	54
Tabla 7:	Criterios de Aceptación clase V.....	54
Tabla 8:	Toma de datos del nervio central.....	59
Tabla 9:	Datos de turbina Pelton.....	61
Tabla 10:	Cuadro de Acciones.....	71
Tabla 11:	Cuadro económico de propuesta de mantenimiento preventivo.....	71

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1:	Complejo Hidroenergético del Mantaro.....	15
Figura 2:	Inyector de Simple Efecto.....	16
Figura 3:	Central Hidroeléctrica.....	29
Figura 4:	Represa de Tablachaca.....	29
Figura 5:	Válvula Esférica SAM.....	30
Figura 6:	Inyector SAM.....	31
Figura 7:	Tobera de Inyector.....	31
Figura 8:	Válvula Aguja.....	32
Figura 9:	Deflector de Inyector.....	32
Figura 10:	Servomotor de Inyector.....	33
Figura 11:	Turbina Pelton eje vertical.....	34
Figura 12:	Turbina Pelton S.A.M.....	35
Figura 13:	Tipos de Turbinas de acuerdo al caudal y altura.....	35
Figura 14:	Curvas de rendimiento con respecto al caudal.....	36
Figura 15:	Mantenimiento siglo XX.....	37
Figura 16:	Mantenimiento Preventivo.....	39
Figura 17:	Diagrama de Operaciones de Proceso.....	46
Figura 18:	Movimiento de la turbina Pelton.....	47
Figura 19:	Inspección Visual de la Turbina Pelton.....	48
Figura 20:	Ruptura de un segmento de la cuchara 9.....	48
Figura 21:	Fractura de la cuchara 15 lado inferior.....	49
Figura 22:	Muestras de fracturas 1 dm2	52
Figura 23:	Muestras de fracturas 1 dm2	53
Figura 24:	Muestras de fracturas 1 dm2	53
Figura 25:	Muestras de fracturas 1 dm2	54
Figura 26:	Superficie de referencia 1 dm2	55
Figura 27:	Definición de indicaciones.....	55
Figura 28:	Revelación de tinte penetrante.....	55
Figura 29:	Revelación de tinte penetrante cuchara superior 1.....	56
Figura 30:	Cuchara número 9 superior.....	56
Figura 31:	Cuchara número 9 Inferior.....	57
Figura 32:	Cuchara número 9 nervio central.....	57

Figura 33:	Desgaste del perfil del nervio central.....	58
Figura 34:	Uso de la plantilla de desgaste del perfil del nervio central.....	58
Figura 35:	Uso de la plantilla de Espesor de copa.....	59
Figura 36:	Espesor de Copa (S).....	60
Figura 37:	Toma de datos del espesor de Copa (S).....	60
Figura 38:	Diámetro de incidencia del chorro.....	61
Figura 39:	Montaje de disco.....	62
Figura 40:	Izaje de disco.....	62
Figura 41:	Posicionamiento y fijación de disco.....	63
Figura 42:	Posicionamiento de dispositivo de forma perpendicular.....	63
Figura 43:	Datos de medida según plano.....	63
Figura 44:	Medición horizontal y vertical.....	64
Figura 45:	Primera medición.....	64
Figura 46:	Válvula Aguja.....	65
Figura 47:	Válvula Aguja.....	66
Figura 48:	Inyección del chorro de agua.....	66
Figura 49:	Toma de medidas de la aguja.....	67
Figura 50:	Toma de medidas de la pera.....	67
Figura 51:	Toma de la Boquilla.....	68
Figura 52:	Apertura de aguja de Inyector.....	69
Figura 53:	Cierre de aguja de Inyector.....	70
Figura 54:	Ficha de datos de Inspección Visual.....	75
Figura 55:	Ficha de datos Tintes Penetrantes.....	76

RESUMEN

La presente investigación tiene como problema principal las fallas o averías que presenta el inyector de simple efecto de la Central Hidroeléctrica Santiago Antúnez de Mayolo, estas fallas hacen que el grupo generador se detenga, esto para poder solucionar las fallas que haya, lo cual generan pérdida de tiempo, costos en la reparación, venta de energía y el menor suministro de energía al Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN); por este motivo, el objetivo general es elaborar una propuesta técnica de mantenimiento preventivo de inyectores de simple efecto para poder analizar y proponer mejoras en el mantenimiento preventivo.

El método de la investigación es el descriptivo, ya que es un procedimiento que se orienta en la recolección de información ya que se centra en la solvencia acerca del problema planteado. El tipo de investigación es básico ya que tiene el propósito de ampliación del conocimiento a partir de la observación del funcionamiento de fenómenos que se suscitan en la realidad. El nivel de investigación es descriptivo. El diseño de investigación es no experimental ya que el objetivo es entender fenómenos ya dados y se encarga de indagar las causas que originan, sin intentar manipular alguna variable.

La técnica de recolección de datos es la observación del inyector de simple efecto y el instrumento es la guía de observación ya sea en fotos, informes, fichas de datos, etc.

Siguiendo un diagrama de operaciones se obtuvo los aspectos técnicos, parámetro de falla con ello el tiempo a considerar en la elaboración de la propuesta de mantenimiento técnico de inyectores de simple efecto, con ello el orden y secuencia al momento de su ejecución.

Palabras Clave: Inyector de simple efecto, central hidroeléctrica, grupo generador, SEIN.

ABSTRACT

The main problem of this research is the failures or breakdowns of the single-acting injector of the Santiago Antúnez de Mayolo Hydroelectric Power Plant, these failures cause the generator group to stop, this in order to solve the failures, which generate loss of time, costs in the repair, sale of energy and the lower supply of energy to the National Interconnected Electric System (SEIN); for this reason, the general objective is to develop a technical proposal for preventive maintenance of single-acting injectors in order to analyze and propose improvements in preventive maintenance.

The research method is descriptive, since it is a procedure oriented to the collection of information, since it is focused on the solvency of the problem posed. The type of research is basic since it has the purpose of expanding knowledge from the observation of the operation of phenomena that occur in reality. The research level is descriptive. The research design is non-experimental since the objective is to understand phenomena already given and it is in charge of investigating the causes that originate them, without trying to manipulate any variable.

The data collection technique is the observation of the single-acting injector and the instrument is the observation guide, whether in photos, reports, data sheets, etc.

Following a diagram of operations, the technical aspects were obtained, failure parameter with it the time to consider in the elaboration of the proposal of technical maintenance of single acting injectors, with it the order and sequence at the moment of its execution.

Key words: Single acting injector, hydroelectric power plant, generator set, SEIN.

INTRODUCCIÓN

Hoy en día el mundo industrializado, las comunicaciones, el transporte, oficinas y las grandes fábricas e industrias dependen de un suministro de energía eléctrica, donde la mayor parte de energía que utilizamos en nuestra vida diaria es la energía eléctrica; en nuestro país se utiliza principalmente el potencial hídrico de los ríos, lagos y lagunas cuyo proceso se desarrolla en las centrales hidroeléctricas, es por ello que se plantea la presente Investigación cuyo título es “Propuesta técnica de mantenimiento preventivo de inyectores de simple efecto en turbina Pelton para la central hidroeléctrica Santiago Antúnez de Mayolo – 2023”, el problema que se suscita en la central es con los inyectores ya que estos pueden desgastarse el cilindro o la aguja, este problema es muy crítico ya que el inyector pese a que se encuentre totalmente cerrado va a tener fugas internas y externas, esta falla va dificultar a la válvula esférica, en el momento de abrir, el no equilibrar la presión tanto de aguas arriba como aguas abajo de la válvula esférica y no va a proceder a arrancar el grupo generador; otro inconveniente es que al momento de fallar el inyector, al momento de la apertura y cierre de la aguja del inyector, este demora, más al abrir y cerrar, por lo cual el setpoint se bloquea generando un bloqueo de emergencia en los inyectores y estos a su vez cierran el deflector del inyector para que ya no forme el chorro de agua e inyecte a la rueda Pelton.

El trabajo de investigación se muestra por capítulos, el primer capítulo se encuentra el Planteamiento del problema conjuntamente con los objetivos seguidamente la justificación y las Hipótesis con las variables.

Como Segundo capítulo se desarrolla el Marco teórico, el cual nos ayudó a tener antecedentes del problema, las bases teóricas que ayudarán a reforzar el tema y por último la definición de términos básicos.

El tercer capítulo abarca la Metodología que consta del método, tipo y nivel de Investigación conjuntamente de la Población y Muestra para así proceder con la Técnica e Instrumentos de Recolección de datos.

Cuarto capítulo contiene los resultados y discusiones, estos resultados nos ayudan a tener la propuesta de mantenimiento más clara y concisa.

Por último, se tendrá las conclusiones obtenidas acerca de la Investigación lo cual satisfacen los objetivos planteados.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Planteamiento y formulación del problema

1.1.1. Planteamiento del problema

En nuestro planeta, hoy en día, la energía hidráulica es una de las energías renovables más usadas, ya que este tipo de energía no produce desechos contaminantes y se le conoce como energía limpia. En el Perú según el Ministerio de Energía y Minas brinda información acerca de la energía producida mediante diferentes fuentes resaltando la energía hidráulica con un 70% en la producción de energía eléctrica, este dato da a conocer que las centrales hidroeléctricas son importantes para la energía en el Perú (1).

El proceso de producción de energía eléctrica en la mayoría de centrales hidroeléctricas se inician con las represas que almacenan y regulan el paso de agua, el agua almacenado de la represa es derivada mediante un túnel de abducción, así se aprovecha la caída de 748 m y la energía potencial gravitatoria que posee la masa de agua, para después pasar por la válvula esférica, seguidamente a los inyectores que ayudarán a impulsar a las turbinas Pelton mediante el chorro de agua, esta turbina hará girar al rotor del generador donde se transformará la energía mecánica en

energía eléctrica. Mediante este proceso inciden demasiados factores uno de ellos es el desgaste de los equipos mecánicos (2).

Figura 1: Complejo Hidroenergético del Mantaro.



Fuente: Recopilado de la web ELECTROPERÚ.

Uno de los componentes más indispensables son los inyectores de las centrales hidroeléctricas, estos cumplen la función de regular la velocidad; en el grupo generador, las turbinas de generación eléctrica requieren siempre mantener la velocidad constante para que la frecuencia de la energía de los 60 Hz se mantenga constante; también existen problemas en los inyectores que pueden ser los desgastes del cilindro o la aguja, este problema es muy crítico ya que el inyector pese a que este totalmente cerrado va a tener fugas internas y externas, esta falla va dificultar cuando la válvula esférica, en el momento de abrir, no va equilibrar la presión tanto de aguas arriba como aguas abajo de la válvula esférica y no va a proceder a arrancar el grupo generador; otro inconveniente es que al momento de fallar el inyector, al momento de la apertura y cierre de la aguja del inyector, este demora más al abrir y cerrar, por lo cual el setpoint se bloquea generando un bloqueo de emergencia en los inyectores y estos a su vez cierran el deflector del inyector para que ya no forme el chorro de agua e inyecte a la rueda Pelton.

Figura 2: Inyector de Simple Efecto.



Fuente: Propia.

La tesis abarca acerca de la Propuesta Técnica de Mantenimiento Preventivo de Inyectores de Simple Efecto en Turbinas Pelton para la Central Hidroeléctrica Santiago Antúnez de Mayolo, ya que este componente indispensable está continuamente sometidos a desgastes y trabajos a alta presión.

1.1.2. Formulación del problema

1.1.2.1. Problema general

¿Qué beneficio tendrá la elaboración de la Propuesta Técnica de Mantenimiento Preventivo de Inyectores de Simple Efecto en Turbinas Pelton para la Central Hidroeléctrica Santiago Antúnez de Mayolo - 2023?

1.1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuáles serán los aspectos técnicos a considerar para la elaboración de la Propuesta Técnica de Mantenimiento Preventivo de Inyectores de Simple Efecto en Turbinas Pelton en la Central Hidroeléctrica Santiago Antúnez de Mayolo - 2023?
- ¿Qué parámetros se debe de considerar para diagnosticar la falla del inyector de simple efecto en turbinas Pelton para la Central Hidroeléctrica Santiago Antúnez de Mayolo - 2023?
- ¿Qué tiempo se estima para realizar el mantenimiento preventivo de un inyector de simple efecto en turbinas Pelton para la Central Hidroeléctrica Santiago Antúnez de Mayolo - 2023?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Elaborar la Propuesta Técnica de Mantenimiento Preventivo de Inyectores de Simple Efecto en Turbinas Pelton para la Central Hidroeléctrica Santiago Antúnez de Mayolo–2023.

1.2.2. Objetivos específicos

- Considerar los aspectos técnicos para la elaboración de la propuesta técnica de mantenimiento preventivo de un inyector de simple efecto en turbinas Pelton en la Central Hidroeléctrica Santiago Antúnez de Mayolo-2023.
- Determinar los parámetros a considerar para diagnosticar la falla del inyector de simple efecto en turbinas Pelton para la Central Hidroeléctrica Santiago Antúnez de Mayolo – 2023.
- Determinar el tiempo para realizar el mantenimiento preventivo de un inyector de simple efecto en turbinas Pelton para la Central Hidroeléctrica Santiago Antúnez de Mayolo – 2023.

1.3. Justificación e importancia

1.3.1. Justificación Teórica

La elaboración del proyecto engloba los conocimientos de turbo máquinas, diseño, hidráulica, estos conocimientos se incluye en la elaboración de la propuesta técnica de mantenimiento preventivo en inyectores de simple efecto de turbinas Pelton en la Central Hidroeléctrica Santiago Antúnez de Mayolo (SAM) - 2023.

Para ello emplearemos la teoría para explicar mejor el proceso de la propuesta técnica del mantenimiento preventivo en inyectores de simple efecto.

1.3.2. Justificación Práctica

El desarrollo del proyecto permitirá optimizar el tiempo del mantenimiento preventivo ya que, al tener una propuesta técnica de mantenimiento ayudará a que el trabajador sea capacitado con los procedimientos que se emplea en dicho mantenimiento, también cabe resaltar que el mantenimiento preventivo ayudará en mejorar la economía para la empresa.

1.3.3. Justificación Metodológica

El presente trabajo de tesis ayudará a tener una buena planificación al momento de realizar el mantenimiento ya que tendrá consecuencias positivas como la calidad y por otra parte no tener interrupciones ni retrasos en el trabajo, también beneficiará

a la empresa y trabajadores, proporcionándole una propuesta para el incremento en la productividad, el mantenimiento de inyectores para que estén en óptimas condiciones y siendo eficaces mediante una planificación efectiva.

1.3.4. Justificación Ambiental

La investigación actual, pretende coadyuvar a cuidado del medio ambiente, por medio de la propuesta técnica de mantenimiento preventivo en inyectores de simple efecto de turbinas Pelton en la Central Hidroeléctrica SAM, ya que sin un mantenimiento preventivo a estos inyectores trastornan la calidad del agua, suelo y estos hacen variar el ecosistema.

1.4. Hipótesis y Descripción de Variables

1.4.1. Hipótesis de Investigación (Hi)

La propuesta técnica de mantenimiento preventivo de inyectores de simple efecto en turbinas Pelton empleado en la Central Hidroeléctrica Santiago Antúnez de Mayolo mejora la gestión de mantenimiento en tiempo y costo.

1.4.2. Hipótesis Nula (Ho)

La propuesta técnica de mantenimiento preventivo de inyectores de simple efecto en turbinas Pelton empleado en la central hidroeléctrica Santiago Antúnez de Mayolo no mejora la gestión de mantenimiento en tiempo y costo.

1.4.3. Hipótesis Alterna (Ha)

La propuesta técnica de mantenimiento preventivo de inyectores de simple efecto en turbinas Pelton empleado en la central hidroeléctrica Santiago Antúnez de Mayolo mejora el comportamiento del tiempo de apertura y cierre del inyector.

1.4.4. Descripción de Variables

Tabla 1: Tipos de Variables.

Tipo de Variable		Dimensiones	Definición conceptual	Tipo de Variable	Escala de Medición
Variable Independiente	Propuesta Técnica de Mantenimiento Preventivo.	Mantenimiento Preventivo	Se encarga de ejecutar en intervalos de tiempos establecidos de acuerdo a discernimientos ya prescritos para estipular frecuencia de la probabilidad de falla, revisiones, vida útil, cuyo objetivo es la reducción y prevención de fallas y evitar efectos negativos para la producción (3).	Cualitativa Ordinal	Razón
		Mantenimiento Correctivo	Es el mantenimiento que se da una vez que ya se haya originado la falla cuyo objetivo es reponer dispositivos, equipo y sistemas llevándolas a buenas condiciones para que puedan desempeñarse en la función establecida (4).	Cualitativa Ordinal	Razón
		Registro de Parámetros	Es el seguimiento a los inyectores durante la ejecución del trabajo que desempeña cuyo objeto es llevar un control por si se presenta una anomalía en el rendimiento o en la producción de dicha máquina (3).	Cualitativa Ordinal	Razón
Variable Dependiente			Es la avería que se presenta generando una disminución de productividad, estas fallas se pueden dar ya sea habiendo fugas		Razón

	Inyectores de Simple efecto en turbinas Pelton	Fallas internas y externas	internas o externas debido a la presión con la que se trabaja u otras averías (4).	Cualitativa Ordinal	
		Programación del trabajo	Es el orden de los procedimientos a seguir tomando como objetivo llegar a que las máquinas funcionen con eficiencia y estén en los plazos establecidos (5).	Cualitativa Ordinal	Razón

Fuente: Elaboración propia.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes Internacionales (estado de arte)

Johnny Cajilima, en su Tesis de obtención de Magister en Gestión del Mantenimiento: “*Gestión de Riesgos en Mantenimiento mecánico de Centrales hidroeléctricas tipo Pelton, basado en los requerimientos de la PAS 55*”, Se utilizó la metodología PAS 55-1-2008, que se basa en el principio de gestión de activos fijos, la tesis nos da a conocer que el componente indispensable para transformar la energía mecánica a energía eléctrica es la Turbina ya que transforman en rotación la energía cinética de traslación que se capta desde el embalse, donde la turbina más usada es del tipo Pelton, las cuales tienen eje horizontal y vertical. En lugares donde el agua se presenta sucia, contaminada, se estima emplear el de eje vertical, el dato relevante al emplear de eje vertical es la eficiencia que es un promedio del 91,50%; por otro parte del eje horizontal su eficiencia es un promedio del 90%.

Un componente muy importante son los inyectores múltiples en las unidades cuyos ejes son verticales, ya que estos hacen la reducción de pérdidas debido al juego o la tolerancia que se le da al rodete. El funcionamiento del rodete se basa en que el inyector orienta el chorro a alta velocidad disparado hacia los álabes y así poder impulsar al rodete y hacerlo girar, seguidamente el agua se descarga en la caja turbina.

Uno de los elementos más importantes es el inyector, puesto que se encarga de formar e inyectar el chorro de agua que regula el caudal al momento de variar la

carrera de la aguja que impactará sobre el rodete, este componente posee perfil hidrodinámico por lo tanto el chorro a su salida tiene que ser lo más perfecto y estable, pero si en caso posee deformación este incidirá provocando desgaste por medio de cavitación en las cucharas del rodete, por ello se concluye que se debe hacer un buen mantenimiento preventivo al inyector para no dañar a la rueda y no haya pérdidas de efectividad al momento de inyectar el chorro de agua, se concluye que la metodología es pertinente para empezar a desarrollar en la tesis, debido a que consta de la ISO 31000 la cual es de suma importancia para desarrollar la Gestión de Riesgos de los activos físicos (6).

En la tesis de Geovanny G. y Gino M. para la obtención del título profesional de Ingeniero Eléctrico titulada “*Propuesta para la Gestión de mantenimiento de la Central Hidroeléctrica Ocaña*”, utilizando la metodología RCM (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad), brinda la información acerca del Mantenimiento, cuya definición arriba que es el conjunto de acciones necesarias para conservar o restablecer un sistema en un estado que permita garantizar su funcionamiento a un costo mínimo.

El mantenimiento de las unidades y componentes industriales ya sean mecánicos, electrónicos y eléctricos, es necesario optimizar el rendimiento de estas unidades puesto que todas las máquinas sufren fallas, imperfecciones incluso se degradan con el transcurso del tiempo, en caso que no se elimine o se evite estos fenómenos, donde la vida útil de la máquina o equipo se reduce y por lo tanto el rendimiento disminuye perjudicando a otros componentes.

El mantenimiento correctivo se define a la acción de reparar una vez que ya se ha ocasionado el fallo y el paro temporal de la instalación o de la máquina averiada. Uno de las fallas que más repercuten es en el inyector ya que es un elemento fundamental que forma el chorro de agua que va a presión hacia las cucharas de la rueda, este chorro a su salida tiene que ser lo más perfecto y estable ya que si no cumplen estas condiciones esta incidirá en los alabes de la rueda Pelton produciendo desgaste por cavitación, lo cual nos hace referencia que el inyector está fallando y es necesario hacerle un mantenimiento correctivo. Concluye que al aplicar el mantenimiento preventivo a los equipos de la C.H. Ocaña se visualiza en los plazos mediano y largo, va manifestar beneficios tanto monetarios como operacionales,

esto de acuerdo al costo de mantenimiento sea periódico y no se exceda el costo-beneficio de equipos, máquinas o por otra parte sea más económico la compra de una nueva máquina (5).

En el trabajo de Investigación de Palomino Melquisedec para optar el grado de Bachiller, lleva por nombre *“Propuesta de Plan de Mantenimiento para los Inyectores de efecto simple de la Turbina Hidráulica tipo Pelton de las Centrales Hidroeléctricas Ángel I, II y III de la empresa Generadora de Energía del Perú S.A, Arequipa – Perú, 2021”*, nos da a conocer la definición de mantenimiento que se basa al procedimiento en la cual se trata un bien de tal manera que este no se vea dañado con el transcurso del tiempo, dado esto como herramienta el mantenimiento es esencial para un buen funcionamiento de la entidad generadora de electricidad, asumiendo que esto trascienda en la productividad.

Para obtener las respuestas, se basó en la metodología del trabajo, conteniendo líneas de trabajo, teniendo en consideración las técnicas e instrumentos para la recolección de datos utilizados, la investigación plantea una forma de planificación efectiva para mejorar el rendimiento de los inyectores de simple efecto para la turbina hidráulica de clase Pelton de la “Central Hidroeléctrica Ángel I, II y III”. Partiendo de la premisa el objetivo primordial enmarcado en la tesis es implantar la planificación de mantenimiento estableciendo un esquema de trabajo para hacer una mejora en la vida útil de los inyectores de simple efecto. También se desea saber hasta que instancia el personal está involucrado con el inyector de simple efecto y por otro lado se procederá a difundir el procedimiento conciso y claro en las actividades de mantenimiento de inyectores de simple efecto cuyo objetivo es la de su integridad y seguridad en el trabajo; se concluye que se estableció la planificación de mantenimiento constituyendo un programa de trabajo para la mejora de la vida útil de los inyectores de simple efecto es factible realizar teniendo en cuenta las variaciones que ya existen de las cantidades de fallas presentes en el transcurso de su ciclo de vida, tanto determinando las fallas prematuras y desgaste (3).

En la tesis de Rincón Olmos Daniel y Suarez Hernández Jhoan que lleva por nombre *“Diseño de un prototipo de Inyector Hidráulico para una Picoturbina tipo Pelton para el laboratorio de Hidráulica de la Universidad Libre”* trabajo de grado para

optar el título de Ingeniería Mecánica, utilizó la metodología de elaboración del prototipo de un inyector y también herramientas computacionales CFD, nos da a conocer que en la generación de energía las centrales hidroeléctricas son de suma importancia, empezando de las represas, donde el rodete Peltón es esencial es por eso que se necesita una eficiencia apropiada para el desarrollo óptimo hidroeléctrico. El rodete o turbina Pelton son diseñados para hacer girar el rotor, también es necesario contar con tuberías que abastezcan hacia la entrada del inyector, este componente a la entrada consta con una tubería, boquilla, escudo, válvula reguladora de caudal, estos componentes son indispensables ya que aumentan la velocidad del flujo de agua lo cual harán una incidencia en las cucharas del rodete, uno de los puntos a destacar es la calidad del flujo que inyecta a la turbina lo cual nos dice que el inyector es de suma importancia para la turbina Pelton.

El inyector se encarga de regular el caudal de agua que será mediante un chorro, este componente tiene elementos como la aguja, donde la carrera de este elemento determinará el grado en la que se abrirá y poder afirmar el cierre, un dato relevante es que su diámetro mayor de esta aguja tiene que estar superior al de la salida del chorro de agua, se concluye que para aplicar las herramientas de simulación CFD el enmallado tiene que estar bien establecido, ya que sin el enmallado correcto la simulación no será precisa y comparando con el prototipo no se podrá comparar y saldrá el resultado erróneo (7).

En el trabajo de Titulación de David Pone y Alexis Vásquez que lleva por nombre *“Análisis y Simulación del comportamiento de una turbina Pelton para generación Eléctrica en la región sierra del Ecuador mediante Fluent de Ansys”* que tuvo como objetivo diseñar y simular como es el comportamiento de una turbina Pelton mediante a metodología Fluent ANSYS, se obtuvo una experimentación de 1,13 GPS, una potencia de 0,75 KW, también se hizo la simulación del eje con el análisis de Fatiga de Von Misses.

Por otra parte, define a la energía hidroeléctrica es aquella que se alcanza mediante el aprovechamiento del embalse de las aguas para poder convertirla en energía potencial y después en primer instante en la energía mecánica mediante la rotación que tendrá la turbina Peltón y posterior a eso transferir la energía cinética al generador eléctrico.

Necesariamente para la generación de energía una de los elementos clave es la turbina y a su vez es la selección de esta, ya que tendrá influencia en la demografía y en el caudal almacenado en las represas.

Para comprender el funcionamiento de las turbinas hidráulicas, es de suma necesidad saber que son máquinas hidráulicas; estas son elementos mecánicos de los cuales el líquido no se altera en su densidad ya sea en su paso por los componentes; ya teniendo una definición podemos decir que las turbinas hidráulicas son turbo máquinas que están formadas por rodets o ruedas que son provistas por álabes que estos a su vez están adheridos a un eje de rotación de tal motivo su objetivo primordial es la transformación de energía cinética más la energía potencial del fluido en energía eléctrica por medio de la acción del generador.

Se concluye, de acuerdo con los datos experimentales obtenidos y ecuaciones, que se ejecutó el diseño apropiado de rueda Pelton de los cuales se obtiene un eje de 1 in, un diámetro de 0,3766 m, el ancho del alabe de 0,042 m, de altura 0,036 m, la tobera de 0,015 m (8).

En el proyecto de Fin de Grado de Luz Fernández, cuyo nombre es “*Desarrollo de un plan de mantenimiento para la central hidroeléctrica de Alcalá del Río, aplicando criterios de confiabilidad (RCM)*”. El presente trabajo tiene por objetivo emplear el método de mantenimiento basándose en Confiabilidad ya sea a los equipos críticos que tiene una central hidroeléctrica, este método tiene el fin hacer una mejora en el plan de mantenimiento actual, la mejora es el aumento de la fiabilidad operacional de los equipos. Es importante saber que es el Mantenimiento basado en confiabilidad se define como un activo que tiene que estar mantenido, conservado, preservar, y de poco a poco modificar.

Otro objetivo que se resalta es la programación de periodos ya sea cortos o largos de las tareas y también realizar las instrucciones o las hojas de ruta como se conoce técnicamente.

Empleando el plan de mantenimiento basado en confiabilidad se tienen las conclusiones que son favorables. Una de las conclusiones, es la ampliación de vida útil tanto de equipos como máquinas que posee una central hidroeléctrica, ya que

es factible actuar rápidamente minimizando el riesgo y así no afecten el funcionamiento de las mismas. Cabe resaltar que los mantenimientos tenían como objetivos esenciales conservar la producción y garantizar el funcionamiento de las mismas, pero una vez empleado el RCM, da un plus que es la seguridad del personal, de las instalaciones y ecosistema.

Los mantenimientos en las centrales hidroeléctricas hoy en día son de suma importancia ya que al no hacer el mantenimiento podemos exponer a la indisponibilidad de los grupos generadores, la seguridad, la eficiencia y eficacia, esto trae consigo pérdidas económicas como también pérdidas de tiempo ya que los componentes, equipos, máquinas averiados tendrán mayor demanda en el paro para su reparación o el mantenimiento (9).

En el proyecto para la obtención del título de Ingeniero Electrónico de Edwin Méndez *“Estudio para la optimización de la operación del proyecto Hidroeléctrico Coca Codo Sinclair mediante el control individual de inyectores de la turbina Pelton”* nos da a conocer un estudio que es factible para optimizar la operatividad de la turbina Pelton, empleando la metodología del control individual de inyector, En el proyecto de tesis la central Coca Codo considera el análisis y la comprobación de los 6 inyectores funcionen de manera eficiente cuando se tiene en consideración un control estricto de la operatividad individual de inyectores.

Este estudio se compone en el balance de la inspección estricta de los inyectores mediante un control individual pero siempre teniendo en cuenta el funcionamiento óptimo, para el análisis individual se tiene que determinar la cantidad de energía. El dato relevante de la central hidroeléctrica está diseñado para poder generar una potencia total de 1500 MW ya que presenta 6 inyectores con caudal máximo de $278,5 \frac{m^3}{s}$. Para ello es necesariamente optimizar la utilización del caudal de embalse y tener el máximo aprovechamiento de la energía potencial, para lograr la efectividad de potencia generada en la central Coca Codo se debe controlar el funcionamiento de los inyectores, pero sin descuidar una eficiencia alta. Se concluye que las turbinas Pelton de la C.H. Coca Codo Sinclair con una carga parcial se puede operar un número y simétrico de inyectores esto influenciará en la energía producida y la eficiencia, esto a su vez tendrá un control de velocidad específico (10).

En la tesis de Ulises Quispe titulada “*Análisis de fallas funcionales del sistema Turbina – Generador del grupo 01 en la central Hidroeléctrica Baños II – Huaral*” cuya tesis es para optar el título profesional de Ingeniero Mecánico, se empleó la metodología deductiva ya que se hizo análisis del sistema generador-turbina.

La tesis surge debido a que existe variaciones y pérdidas de potencia en el grupo uno de la central Baños II. Estas fallas son originadas por fallas del generador síncrono, donde la turbina Pelton, el grupo 01, consta con dos inyectores y es de eje horizontal.

El dato más relevante de la tesis, nos da a conocer, entender y analiza las fallas en el generador y turbina seguidamente se planteó las acciones correctivas para que el grupo uno trabaje con mínimas variaciones, pero siempre que esté constante. Por otra parte, aportó en la mejora del mantenimiento y operación ya sea en los procedimientos, visibilidad en el historial del mantenimiento, realizando la evaluación AMEF del sistema generador-turbina, lo cual resultó que el sistema de la turbina Pelton contuvo un 39,73%, el regulador de velocidad es el equipo más crítico, cuyo criterio es de “importante riesgo” y en el generador síncrono un 31,72%, “se concluye que las fallas de rotura en las cucharas del rodete Pelton se obtuvo un NPR de 224 con una detección (D) alta de 8 esto quiere decir que no se tiene plan de control y que no se cumple el plan de mantenimiento actual (11).

En la tesis de Jhon Gómez para optar el título Profesional de Ingeniero Mecánico Electricista cuyo título “*Análisis de ciclo de vida al hidrohård, material implementado para el diseño y fabricación de los asientos de las toberas de la central hidroeléctrica Cañón del Pato*”; la tesis nos da a conocer un estudio económico y técnico al establecer los asientos de los introductores que son fabricados con el material Hidrohård, este material es una aleación nueva que se hizo para oponerse a los problemas constantes y tienen una gravedad alta, estos problemas son el demasiado desgaste en la turbina, los componentes más afectados son el rodete, aguja y asientos del inyector a causa de abrasión ya que están sometidos por la demasía presencia de solidos que hay en el río Santa.

El inyector tiene como funcionamiento principal direccionar y controlar el fluido hacia la turbina Pelton, este fluido acciona sobre las paletas en forma de cucharas y así intercambian energía con la turbina en “virtud de su cambio de cantidad de

movimiento”, que llega aproximadamente a los 180°, el inyector bota el chorro de agua impactando al medio de las cucharas de la turbina para que se divida en dos, estos dos chorros salen de la cuchara en sentido casi opuesto al que ingreso, un dato relevante es que el chorro de agua no debe salir en dirección de 180°, esto debido a que el chorro de agua golpearía a las cucharas sucesivamente y así frenaría el impulso de la turbina. El inyector está compuesto de tobera y una válvula de aguja, esta carrera nos da a conocer la apertura. Para cerrar, el diámetro mayor de la aguja es mayor a la salida del fluido o chorro (12).

2.2. Bases Teóricas

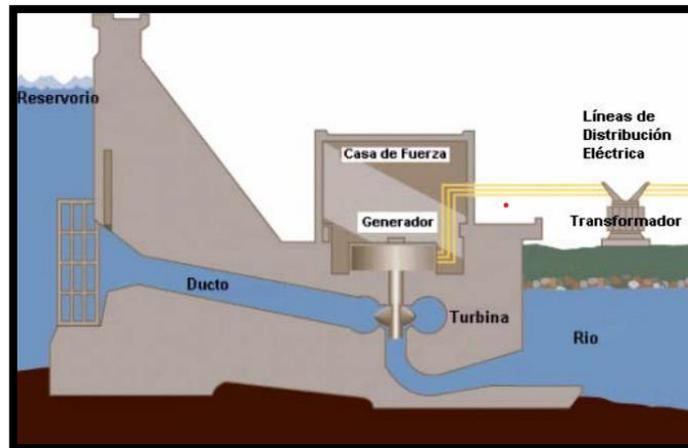
2.2.1. Central Hidroeléctrica

Es una instalación que aprovecha el caudal proveniente de la represa para así aprovechar la fuerza que será convertida en energía potencial mediante una caída y posteriormente en la disminución de altura se convertirá en energía cinética ya que aumentará su velocidad y así poder ejercer una presión para mover el eje que está pegado al rotor de un generador y producir energía eléctrica (9).

Luis Jiménez menciona que “Una central hidroeléctrica es aquella que genera electricidad mediante el aprovechamiento de la energía potencial del agua embalsada en una presa situada a un nivel más alto que la central. El agua es conducida mediante una tubería de presión a la sala de máquinas de la central, donde mediante turbinas hidráulicas se produce la generación de energía eléctrica en alternadores” (13).

Edwin Méndez señala que una central hidroeléctrica, convierte la energía del agua en movimiento en energía eléctrica mediante una turbina hidráulica acoplada a un generador síncrono. Para esto aprovecha el salto o caída del agua (10).

Figura 3: Central Hidroeléctrica.



Fuente: Fernández Bravo Luz (2015).

2.2.2. Represa

Es la construcción que se hace sobre un río, tiene la finalidad de almacenar agua en el cauce del río para elevar su nivel con el objetivo de reducir la rapidez media de la corriente y a su vez las pérdidas, también permite regular el flujo de caudal en lo que va del año, esto para que la central funcione con la mayor capacidad posible para después conducirla a casa máquinas y abastecer a de agua a las turbinas Pelton (10). Kattia Juárez define represa como la edificación que se realiza sobre la superficie del río perpendicularmente a su trayectoria, puesto que permitirá el almacenamiento de caudal o permitir derivarlo (14).

Figura 4: Represa de Tablachaca.



Fuente: Recopilado de la web ELECTROPERÚ.

2.2.3. Válvula Esférica

Es un órgano giratorio que presenta un sello de revisión y la función principal, es la apertura y cierre del paso de agua mediante una señal. Esta válvula

cumple otro rol importante que es equilibrar presiones aguas arriba con relación aguas abajo en las que están los inyectores (6).

Figura 5: Válvula Esférica SAM.



Fuente: Recopilado de la web ELECTROPERÚ.

2.2.4. Inyector de Central Hidroeléctrica

Es un elemento mecánico que se encarga de crear, dirigir y regular el chorro de agua que incidirá en los alabes de la turbina Pelton. Posee un deflector este componente tiene la función de desviar el chorro de agua por si hubiese fallas, esto evita que ocasione una sobre velocidad y el deflector está accionado mediante un servomotor (3).

“Alejandro Ponce en su tesis define al inyector como el componente que aumenta la energía cinética del fluido esto se da con la disminución de la sección del paso del caudal, está compuesta por una válvula de aguja que permite la regulación del caudal, también es para evitar los golpes de ariete en la tubería debido a los cambios bruscos de caudal, además de estar conformados por un deflector, para realizar cambios de manera gradual y cubre parcialmente al chorro” (8) Ejemplo el inyector de la central SAM.

Figura 6: Inyector SAM.



Fuente: Propia.

a. Tobera

Este elemento está encargado de reducir la sección del flujo de agua, esto para acelerar y alcance mayor velocidad y a su vez pueda contribuir con la mayor parte de energía cinética a la transmisión de energía para el rotor. Este elemento puede ser diseñado de distintas geometrías y formas, y esto a su vez nos dará distintos coeficientes de contracción y velocidad, tenemos toberas cónicas y redondeadas entre las más conocidas (15).

Figura 7: Tobera de Inyector.

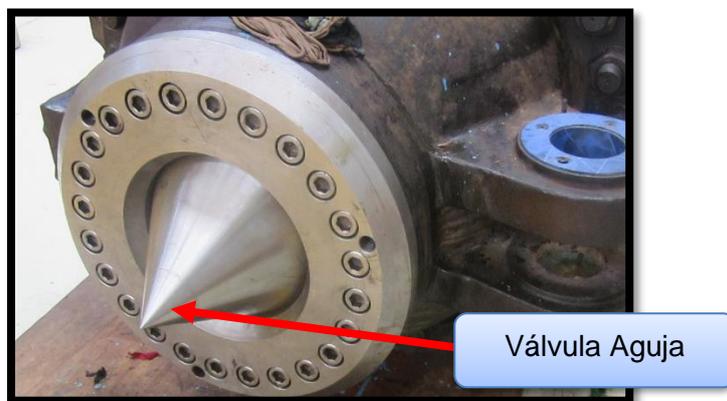


Fuente: Propia.

b. Válvula Aguja

Este componente tiene un movimiento axial, cuya finalidad es la regulación del flujo de agua. La característica de la aguja es que posee una alta eficiencia para regular el caudal, este componente mantiene una eficiencia del 96% con caudales que tienen un rango desde 25% hasta el 100% del caudal de diseño. Estas agujas deben estar diseñadas con el objetivo de minimizar las pérdidas y conservar el caudal adecuado y constante (15).

Figura 8: Válvula Aguja.



Fuente: Propia.

c. Deflector

“Se trata de un dispositivo mecánico que tiene forma de pala, este deflector puede ser intercalar con mayor o menor incidencia en la trayectoria del chorro de agua entre la tobera y la turbina, este deflector nos sirve para evitar el golpe de ariete y el embalamiento” (16).

Figura 9: Deflector de Inyector.



Fuente: Propia.

d. Servomotor

Es un elemento mecánico electrónico que cumple la función de un control puntual ya sea en términos de velocidad, posición angular y aceleración (15).

Figura 10: Servomotor de Inyector.



Fuente: Propia.

2.2.5. Turbina

Es el conjunto de hélices que están distribuidas proporcionalmente alrededor de una circunferencia que están inclinadas con un ángulo para poder utilizar el fluido ya que este fluido servirá para provocar movimiento o la rotación, que se transfiere al eje, para poder girar el grupo generador (10).

Ponce (8), define “como una turbina de acción que transforma la energía potencial del fluido en energía cinética; mediante la rotación del rodete se transmite la energía cinética hacia un generador que es el encargado de transformarla en energía eléctrica”.

i. Turbina Pelton

Para el investigador Marchiegiani “es una turbina de acción que convierte la energía potencial del fluido en energía cinética hacia un generador que se encarga de transformar en energía eléctrica; por otra parte, Egusquiza nos da el concepto de que las turbinas Pelton son parte de los equipos de generación hidroeléctrica más utilizados, en el año 1880 fue patentado por Allan Pelton como turbina de impulso que trabajan a grandes saltos de altura, para generación se comprobó que pueden trabajar hasta con 500 metros de altura entre el nivel de agua y el nivel de turbina.

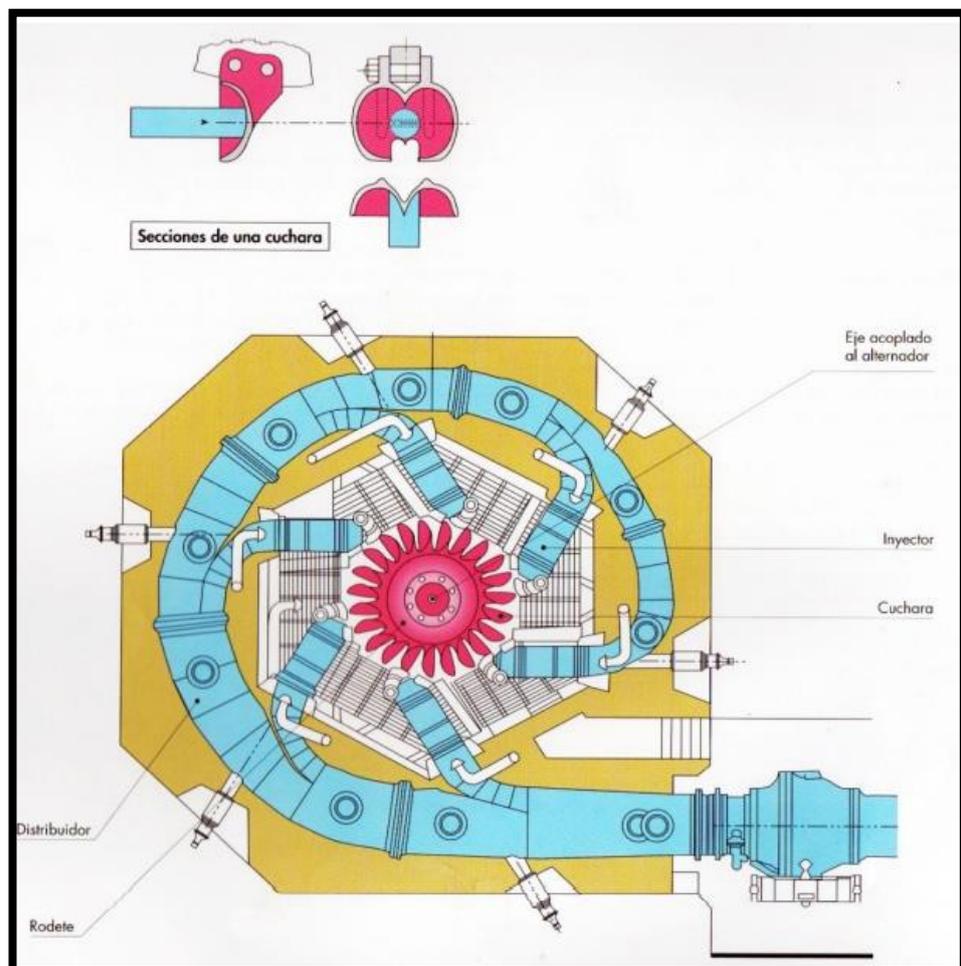
Otra definición de Turbina Pelton según Cuadro y Restrepo, se basa en el funcionamiento ya que es enviada a través de una tubería a presión de manera tangencial a través de inyectores y en el choque del fluido en los álabes o cucharas y que esto permite la rotación de la turbina” (8).

Este tipo de turbinas Pelton también se clasifican según el eje unos tienen eje horizontal y otros de eje vertical.

Se utiliza la turbina Pelton de eje vertical donde el agua no es pura, esto tiene una eficiencia del 91,50%, las utilizations de inyectores múltiples reducen las pérdidas debido al juego que presenta el rodete.

Por otro lado, las turbinas Pelton de eje horizontal la eficiencia es del 90% (6).

Figura 11: Turbina Pelton eje vertical.



Fuente: "Centrales hidroeléctricas en España".

Figura 12: Turbina Pelton S.A.M.

Turbina Pelton S.A.M.			
Capacidad Instalada	798 MW	Velocidad de flujo	$15,78 \frac{m^3}{s}$
N° Turbinas	7	Caudal	$25.55 \frac{m^3}{s}$
Potencia	114 MW	N° de Inyectores	5
Altura de caída	748 m	Capacidad de la Represa Tablachaca	8 millones de m^3

Fuente: Propia.

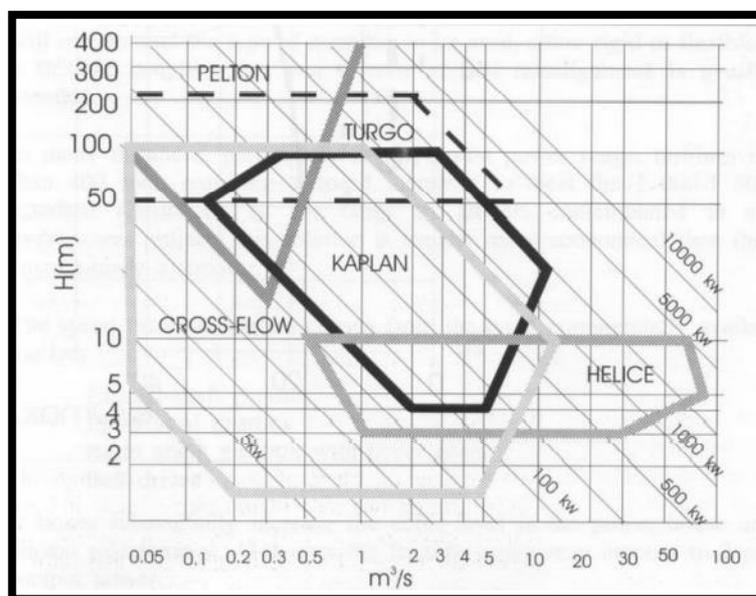
2.2.5.1. Utilización de turbinas

Según Ludin A. la utilización se debe a las alturas netas y los clasifica de la siguiente manera:

- ↪ Pequeña altura $H_n \leq 14,99 \text{ m}$
- ↪ Mediana altura $15 \leq H_n \leq 49,99 \text{ m}$
- ↪ Gran altura $H_n \leq 50 \text{ m}$

En la figura 16, podemos ver el tipo de turbina cuya grafica es de caudal vs la altura.

Figura 13: Tipos de Turbinas de acuerdo al caudal y altura.



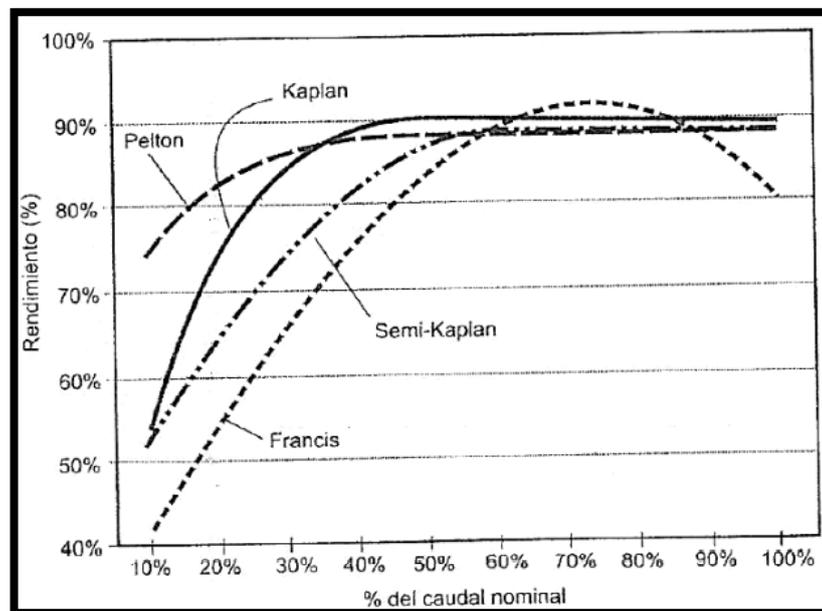
Fuente: Tomado de la tesis “Estudio para la optimización de la operación del proyecto hidroeléctrico Coca Codo Sinclair mediante el control individual de inyectores de la turbina Pelton”.

En la figura 13, se muestra los tipos de turbinas que hay, la turbina Pelton se muestra en un rango mayor a 50 m por lo que se dice que es el indicado para grandes saltos, pero independiente de la variación del

caudal, mientras que la turbina Kaplan está adecuadamente para saltos pequeños y su caudal es variable, pero por otro lado para los saltos más elevados y con menor variación de su caudal se seleccionaría una turbina Francis.

Por otra parte, visualizamos la figura 17 que trata de la gráfica del de caudal vs el rendimiento.

Figura 14: Curvas de rendimiento con respecto al caudal.



Fuente: Tomado de la tesis “Estudio para la optimización de la operación del proyecto hidroeléctrico Coca Codo Sinclair mediante el control individual de inyectores de la turbina Pelton”.

Se muestra en la figura 14, donde tenemos las curvas de rendimiento con respecto al caudal. El rendimiento hace referencia al cociente entre la potencia mecánica transmitida al eje de la rueda Pelton y también a la potencia hidráulica proporcionada al caudal y salto de agua.

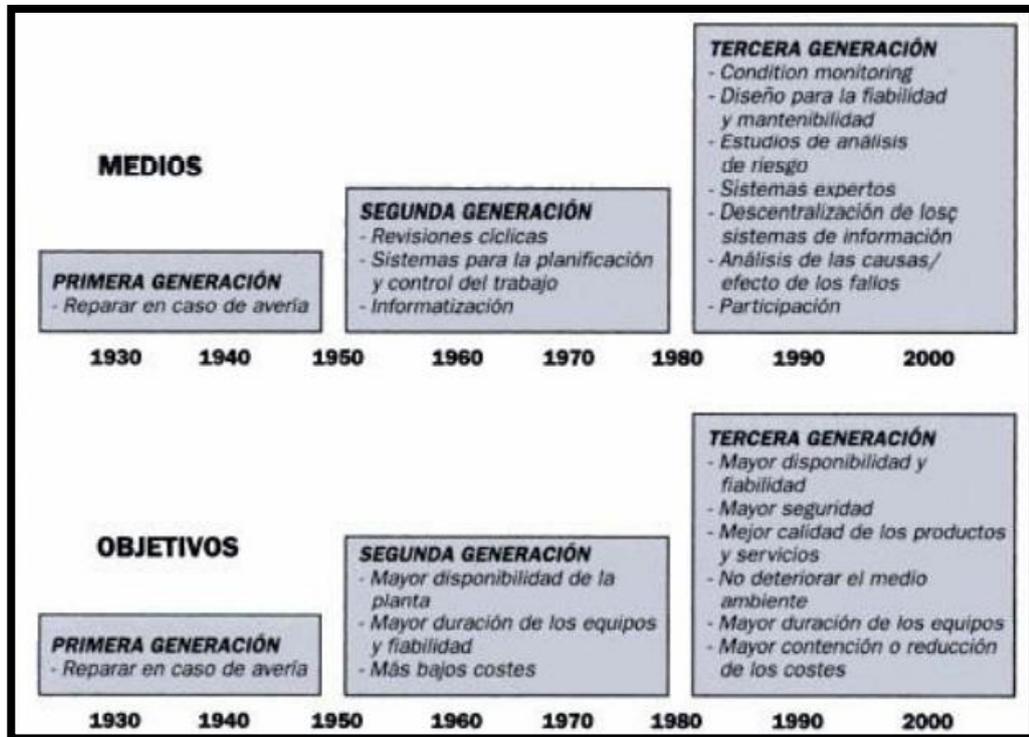
La curva de la turbina Pelton nos muestra que a un caudal de 20% del nominal el rendimiento estará a un 80%. La turbina Francis nos dice que el rendimiento con el porcentaje del caudal es directamente proporcional, esto quiere decir mientras aumentamos el porcentaje del caudal nominal, el rendimiento también aumenta por ejemplo a un 60% del caudal nominal el rendimiento es de 90%. Esto nos quiere decir que la turbina Francis está dependiendo del porcentaje de caudal.

2.2.6. Mantenimiento

2.2.6.1. Teoría del Mantenimiento

En la siguiente figura 15, se visualiza la historia del mantenimiento.

Figura 15: Mantenimiento siglo XX.



Fuente: Toma de la tesis “Diseño de plan de reducción de costos en el área de mantenimiento de una empresa de concretos ubicada en la ciudad de Arequipa 2019”.

“Se define habitualmente mantenimiento como el conjunto de técnicas destinado a conservar equipos e instalaciones industriales en servicio durante el mayor tiempo posible (buscando la más alta disponibilidad) y con el máximo rendimiento” (3), “también se define el mantenimiento es el conjunto de acciones necesarias para conservar o restablecer un sistema en un estado que permita garantizar su funcionamiento a un coste mínimo”

Estos altos niveles se trasladan directamente a la capacidad de producción, productividad y así a los beneficios de la empresa. Para mantener un elevado nivel de contribución a los beneficios de la empresa, la organización de Mantenimiento debe practicar alto nivel de preparación en las áreas siguientes:

I. Mecanismos de asistencia a la gestión del Mantenimiento.

- II. Gestionar Fallas de la Organización.
- III. Los resultados de la Organización de Mantenimiento.
- IV. Mantener el nivel correcto de Tecnología.
- V. Mantener Experiencia.
- VI. Adecuado diseño del ambiente de Mantenimiento.
- VII. Elevado nivel de desarrollo del personal de Mantenimiento.

Las tareas del mantenimiento son las siguientes:

- ↳ Inspección:
 - Sensorial.
 - Instrumental.
- ↳ Conservación:
 - Limpieza.
 - Lubricación.
 - Ajuste.
- ↳ Reparación:
 - Planificada.
 - No Planificada.

Existen tipos de mantenimientos estos son:

I. Mantenimiento Preventivo

Se encarga de la conservación de las instalaciones, equipos y máquinas ya sea mediante la reparación y revisión que avalen la fiabilidad y funcionamiento. El objetivo es prevenir, despejar o evitar las incidencias antes de que acontezca una falla mucho mayor. Estas tareas de mantenimiento preventivo contienen las acciones como cambios de aceites, cambios de sellos, cambios de piezas desgastadas, etc. (3). Las actividades del mantenimiento preventivo están separadas de acuerdo:

- ↳ Overhaul.
- ↳ Global.
- ↳ De rutina.

El mantenimiento Preventivo tiene objetivos los cuales son:

- ↳ La Confiabilidad: Se basa en la probabilidad en que el equipo o máquina este operativo en todo instante en el que necesite el trabajador.
- ↳ Incrementar: Su Confiabilidad y Disponibilidad ya sea de equipos o máquinas teniendo en cuenta un mantenimiento planificado.
- ↳ La Disponibilidad: Se define a la probabilidad que un equipo o máquina sea capaz de trabajar siempre que se le requiera.

Figura 16: Mantenimiento Preventivo.



Fuente: Toma de la tesis “Diseño de plan de reducción de costos en el área de mantenimiento de una empresa de concretos ubicada en la ciudad de Arequipa 2019”.

II. Mantenimiento Predictivo

“Está apoyado en decisión del estado en la que se encuentra el equipo, máquina que está en operación, este tipo de mantenimiento hace que antes de que falle la máquina dará una señal para posteriormente tomar acciones. Se hacen unos ensayos no destructivos ya sea a las ruedas Pelton, también análisis de desgaste de componentes, fracturas, etc.” (13).

2.3. Definición de Términos Básicos

2.3.1. Mantenimiento

Se refiere a medidas para conservar el estado nominal, es decir previsiones para hacer tan pequeñas como sea posible a través de medidas adecuadas, la reducción de la denominada reserva de desgaste durante la vida útil (6).

2.3.2. Mantenimiento Preventivo

Trabajos que requieren una ejecución periódica y por tiempo prolongado. Se encarga de prevenir las fallas antes de que se presente una falla de mucha mayor gravedad (12).

2.3.3. Mantenimiento Correctivo

Son trabajos que significan realizar una corrección para evitar las fallas o la indisponibilidad forzada de la unidad o central cuya ejecución requiere indisponibilidad prolongada de la unidad o central (11).

2.3.4. Inspección

Son medidas para el reconocimiento del correspondiente estado real, esto quiere decir reconocer como y por qué avanza la reducción de la reducción de desgaste (13).

2.3.5. Reparación

Medidas para reponer el estado nominal, se tiene que compensar la reducción de potencia, reponer la reserva de desgaste, ya sea el aumento de juego del embolo y agujeros, desgaste de elementos de dinámicos de cierre (9).

2.3.6. Inyector de Turbina Pelton

Es un componente de la caja turbina que convierte la energía potencial en energía cinética, la función primordial es la regulación del chorro de agua, el inyector tiene subcomponentes que son la tobera que es de sección circular, una aguja que regula axialmente el flujo de agua y así poder variar la sección del flujo o chorro de agua (16).

2.3.7. Servomotor

Es el mecanismo hidráulico que acciona el deflector (5).

2.3.8. Deflector

Es el mecanismo que desvía el chorro de agua para evitar la sobre velocidad, de manera que el inyector cierre o abra lentamente y evitar el golpe de ariete (15).

2.3.9. Turbina

Es el equipo que transforma la energía potencial a energía cinética y energía mecánica (13).

CAPITULO III METODOLOGÍA

3.1. Método y alcances de la investigación

3.1.1. Método de Investigación

La investigación se ha basado en el método Descriptivo, ya que es un procedimiento que se orienta en la recolección de información, se centra en la solvencia acerca del problema planteado, su esencia y su relación con uno o varios efectos; el objetivo es alcanzar el conocimiento de los fenómenos y poder predecir otros, demostrando su veracidad con métodos o técnicas; y, nos sirve para explicar y obtener información confiable, veraz, imparcial y relevante, respecto a un fenómeno y permite ser ordenado analítico y reflexivo para el investigador (17).

3.1.2. Tipo de Investigación

La presente investigación es de tipo aplicada ya que, “la investigación aplicada tiene como propósito solucionar problemas, estos a su vez se basa en las soluciones que se plantea en los objetivos con el propósito de llegar a solucionar y abastecer la necesidad del investigador” (19).

3.1.3. Nivel de Investigación

El nivel es Descriptivo, ya que “estos estudios tienen como principal función especificar las propiedades, características, perfiles, de grupos, comunidades, objeto o cualquier fenómeno, donde se recolectan datos de la variable de estudio y se miden” (18).

3.2. Diseño de Investigación

La tesis es no experimental ya que “es un diseño que busca entender fenómenos a partir de lo ya dado, se encarga de buscar las causas que originan dichos hechos, sin intentar manipular alguna variable, la observación es la técnica” (18).

3.3. Población y Muestra

3.3.1. Población

Para Arias la población, “es un conjunto finito o infinito de elementos con características comunes para los cuales serán extensivas las conclusiones de la investigación. Ésta queda delimitada por el problema y por los objetivos del estudio” (20).

La población del presente trabajo de investigación está comprendido a los 7 grupos generadores de los cuales cada grupo generador presenta 5 inyectores por esta razón la población es de 35 inyectores de la Central Hidroeléctrica Santiago Antúnez de Mayolo.

3.3.2. Muestra

Sampieri nos define que “una muestra es un subgrupo de la población o universo de interés, sobre la cual se recolectarán los datos pertinentes, y deberá ser representativa de dicha población” (17).

El tipo de muestreo es no probabilístico, ya que la muestra consta de 1 inyector ya que todos los inyectores son de igual geometría e igual funcionamiento es por ello que con solo un inyector se hará la propuesta técnica de mantenimiento preventivo.

3.4. Técnicas e Instrumentos de Recolección de datos

3.4.1. Técnica de Recolección de datos

Se utilizó la técnica de Observación para la recolección de datos.

“La observación es una técnica de recolección de datos que permite acumular y sistematizar información sobre el objeto de investigación que tiene relación con el problema de investigación, la observación permite obtener la muestra de datos próximos a cómo está funcionando el objeto de investigación en el presente” (19).

3.4.2. Instrumento de recolección de dato

“Los instrumentos utilizados son diversos, fichas de observación, formularios, guías de observación, hojas de cotejo, listas de verificación, hojas de registro, cámaras fotográficas y filmadoras, microscopios, scanner, analizador de gases, opacímetro, micrómetros, etc.” (19).

El instrumento de recolección de dato que se empleo es la guía de Observación, ya que se tiene imágenes tomadas del informe de mantenimientos anteriores de la Central Hidroeléctrica del Mantaro.

Tabla 2: Técnicas e Instrumentos de recolección de datos.

Técnica	Instrumento	Objetivo
Observación directa.	Guía de Observación.	Determinar los Parámetros para diagnosticar la falla del Inyector de Simple efecto.
Análisis de documentos.	Ficha de Análisis de documentos.	Determinar los costos por mantenimiento Preventivo y correctivo.

Fuente: Elaboración propia.

CAPITULO IV

Resultados y Discusiones

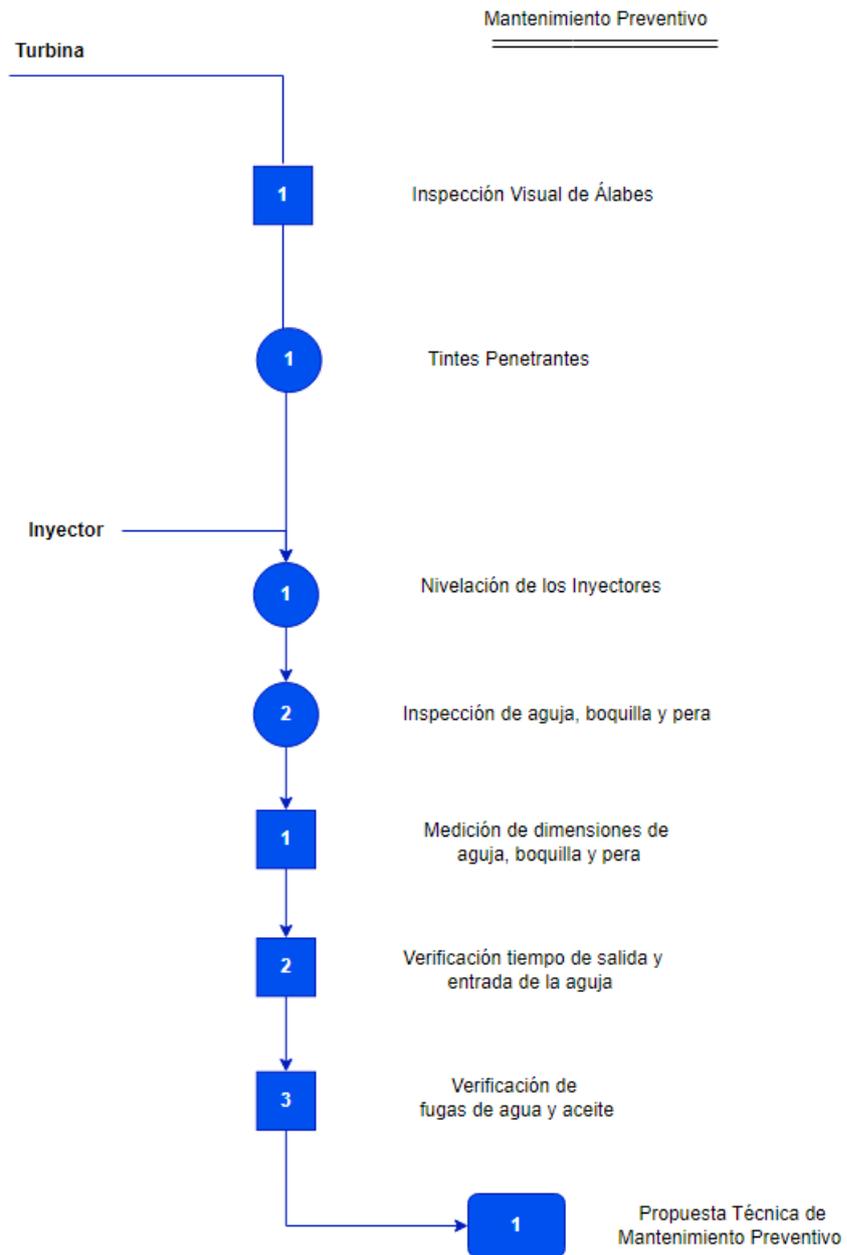
4.1. Resultados

4.1.1. Considerar los aspectos técnicos para la elaboración de la propuesta técnica de mantenimiento preventivo de un inyector de simple efecto en turbinas Pelton en la central hidroeléctrica.

Los inyectores de la Central Hidroeléctrica SAM gobierna el funcionamiento de turbina con los inyectores regulando la velocidad para poder mantener la frecuencia de 60 Hz, en cada grupo generador existen 5 inyectores que trabajan de manera independiente.

Inicialmente, se toma como estudio a la turbina Pelton ya que el inyector de simple efecto es parte de ello, para detectar que está fallando ya sea por la nivelación, falla de boquilla, pera y la aguja harán que el chorro de agua se inyecte de manera ineficiente lo cual generará fallas en la turbina, para seguir un orden se realizó un diagrama de Operaciones de Proceso.

Figura 17: Diagrama de Operaciones de Proceso.



Fuente: Elaboración Propia.

I. Turbina Pelton

A. Inspección Visual de Álabes

Primero se hace una inspección visual a la turbina Pelton revisando todos los alabes para tener en cuenta en qué estado se encuentran los álabes, teniendo esto, se procede a verificar la turbina Pelton.

Tenemos los datos siguientes:

Figura 18: Movimiento de la turbina Pelton.

AÑO	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
RODETE 90677	E/S 28 de enero. F/S 14 de noviembre. E/S 21 de noviembre.		E/S 01 de enero UG1. F/S 28 de setiembre UG1. 29 Setiembre desmontaje para reparación. E/S 13 Octubre UG1.	F/S 21 de setiembre UG1 (reemplazo).			23 febrero traslado a Lima para reparación Integral. E/S 30 de julio UG1.	F/S 30 de abril UG1 (reemplazo).

	HORAS DE OPERACIÓN DEL RODETE POR AÑO									TOTAL DE HORAS
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	
RODETE 90677	43.00	5,804.35	6,928.59	7,127.02	5,219.02	0.00	0.00	1,930.68	2,807.43	29,860.09

Fuente: Elaboración Propia.

De los datos mostrados se puede visualizar que en el año 2010 en el mes de enero entra en servicio la turbina de los cuales esta turbina falla un 14 de noviembre para lo cual hacen un mantenimiento de turbina y para posterior ponerlo en servicio, pasado 2 años empieza a fallar dicha turbina, pero ahora es de carácter muy urgente por lo que decidieron hacer el desmontaje para la reparación de la turbina Pelton. Pasado 1 año vuelve a fallar, pero ahora es más grave la falla que decidieron el reemplazo, después de su reemplazo tomaron la decisión de realizar una reparación integral para que pueda entrar en servicio, pero una vez que se le hizo la reparación integral ya no es como nuevo la turbina, por tanto, al año siguiente deciden reemplazarlo.

Se toma como conclusión que para no tener éstas paras o retrasos se estima hacer una propuesta de mantenimiento preventivo cada 6 meses, ya que al momento de estar fallando y reparando la turbina hace que se pierda producción y dinero de la venta de energía.

Figura 19: Inspección Visual de la Turbina Pelton.



Fuente: Propia.

De la figura 19, se procede a visualizar los álabes minuciosamente para tener en cuenta como está actualmente la turbina y ver si presenta anomalías, se concluye que cada inspección visual de cada cuchara se debe tomar una fotografía para tomar como referencia y hacer un informe sobre lo suscitado.

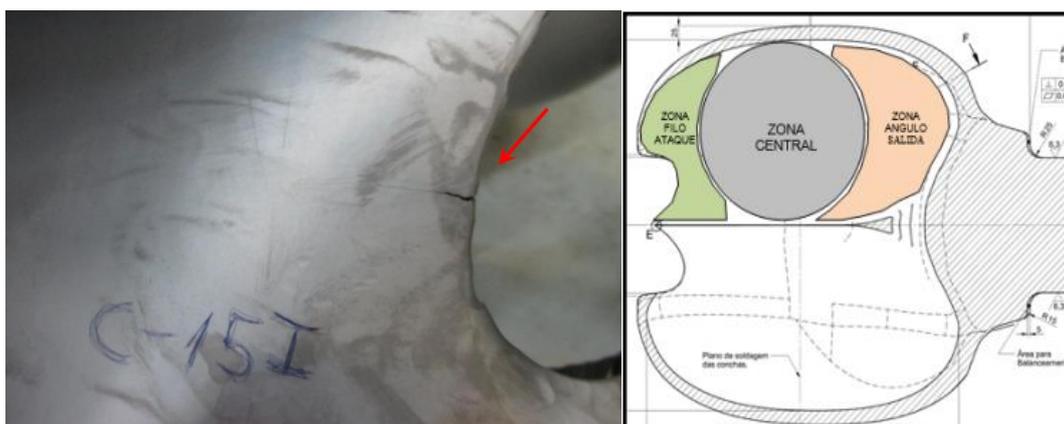
Figura 20: Ruptura de un segmento de la cuchara 9.



Fuente: Propia.

Teniendo la figura 20, se puede observar el daño causado en la cuchara número 9 del lado superior, donde se visualiza la ruptura de un segmento de la cuchara.

Figura 21: Fractura de la cuchara 15 lado inferior.



Fuente: Propia.

En la figura 21, se muestra la cuchara 15 el lado inferior posee una fisura en la zona del filo de ataque, esta fisura al no ser reparada se tendrá consecuencias como la ruptura del filo de ataque lo que demandará mayor costo de reparación y pérdida de productividad.

Posterior a la inspección visual se visualizó fisuras, rupturas de las cucharas, donde hubo cucharas que estaban erosionadas y otras que presentaban cavitación por lo que se concluye que se debe hacer un mantenimiento preventivo a la turbina Pelton y al Inyector ya que estos componentes son de suma importancia al momento de la generación de energía, sin estos componentes funcionando correctamente no se alcanza la efectividad, por lo contrario, se pierde productividad, tiempo y costo.

B. Verificación de la turbina Pelton con ensayos no destructivos con tintes penetrantes

Para proceder a realizar la verificación de la turbina Pelton nos basamos en los ensayos no destructivos especialmente en la aplicación de líquidos penetrantes a las cucharas o álabes de la turbina Pelton, este procedimiento forma parte del mantenimiento preventivo, para lo cual tomaremos el proceso del informe de la empresa VOITH SIEMENS.

“Las técnicas de ensayos no destructivos permiten detectar, caracterizar y evaluar discontinuidades, analizar estructuras, componentes y piezas sin modificar las condiciones de uso y su actitud para el servicio. Se puede definir como la técnica de inspección que no provoca daños en el material y que no perjudica e interfiere con el uso futuro de las piezas que son inspeccionadas” (21).

a) Requisitos del Personal

El personal que realiza el examen de penetración de tintes, se calificará y certificará de acuerdo con un procedimiento escrito que conforme a END 473 con una certificación de nivel 1, estándar que es aceptable tanto para el comprador como para el proveedor y para la evaluación de los resultados de la prueba será realizada por la persona calificada al menos como un nivel 2 (21).

b) Requisitos de calidad de la Superficie

En general para hacer los ensayos de tintes penetrantes las superficies inspeccionadas deben estar secas y libres de cualquier suciedad, aceite, grasa, recubrimientos u otras irregularidades que podrían enmarcar indicaciones o influir en la sensibilidad al examen, las superficies deben ser revueltas, molidas o mecanizadas a la rugosidad de la superficie.

Un dato relevante es que, si se pretende la inspección de partículas magnéticas con tinta líquida, se recomienda realizar líquido inspección de penetrantes primero (21).

c) Procedimiento

↳ Tipo de Penetrante

En general, se utilizará un penetrante de líquido estándar, de color y lavable, visible en la luz normal, para temperaturas de 10 °C a 40 °C. Las propiedades del penetrante líquido deben estar de acuerdo con los requisitos de EN 571-2 u otros estándares adecuados.

Cualquier otro método puede aplicarse después de un acuerdo anterior (21).

↳ Aplicación del tinte Penetrante

El penetrante se puede aplicar sumergiendo, cepillando o rociando, el tiempo mínimo de penetración es de 10 minutos, pero pueden ser necesarios tiempos más largos en superficies pulidas o a una temperatura inferior a 15 °C, durante el tiempo de penetración, debe asegurarse que la superficie se mantiene húmeda (21).

↳ Exceso de extracción del líquido Penetrante

Después del tiempo de penetración requerido, el exceso de penetrante se elimina mediante tela húmeda o una esponja y por agua.

El uso de pistolas de rociado de agua está permitido, pero con una presión máxima de agua de 0,35 MPa (3,5 bar) y temperatura entre 15 - 40 °C, el chorro de agua debe estar al menos a 30 cm de la superficie.

Nota se debe prevenir el lavado excesivo ya que no se hará efectivo ensayo (21).

↳ **Secado**

Después del lavado, la pieza se secará inmediatamente con un trapo o papel seco, limpio y sin pelusa. El secado puede acelerarse mediante el uso de aire comprimido no aceitoso seco a una presión inferior a 0,2 MPa (2 bar) (21).

↳ **Desarrollo del proceso**

El desarrollador o revelador debe aplicarse inmediatamente después de que la pieza este con el líquido, el desarrollador se aplicará en una película delgada e incluso en la superficie examinada, el secado del desarrollador se produce por evaporación natural, el tiempo de desarrollo será entre 10 y 20 min (21).

↳ **Inspección**

La superficie examinada se observará todo el tiempo desde la aplicación del desarrollador, la interpretación de las indicaciones se realizará después del tiempo de desarrollo, pero no más tarde que después de los 20 minutos y bajo luz suficiente, más de 500 lux.

↳ **Limpieza**

Después de la inspección de penetrantes, la superficie de la parte bajo examen se limpiará a fondo de cualquier penetrante o desarrollador permanece.

Después de la limpieza se dará unos criterios para la aceptación según las clases tenemos 5, cada una tiene criterios de aceptación.

Se da a conocer el procedimiento siguiente debido a que las turbinas e inyectores son de procedencia de la empresa VOITH SIEMENS, es el caso de que se requiere de dicho procedimiento para llegar a los datos precisos y seguir con orden los pasos ya que si se obvia un pequeño detalle se estaría realizando mal el procedimiento y no se detectaría las grietas y/o fisuras de las muestras tomadas en los álabes de la turbina Pelton.

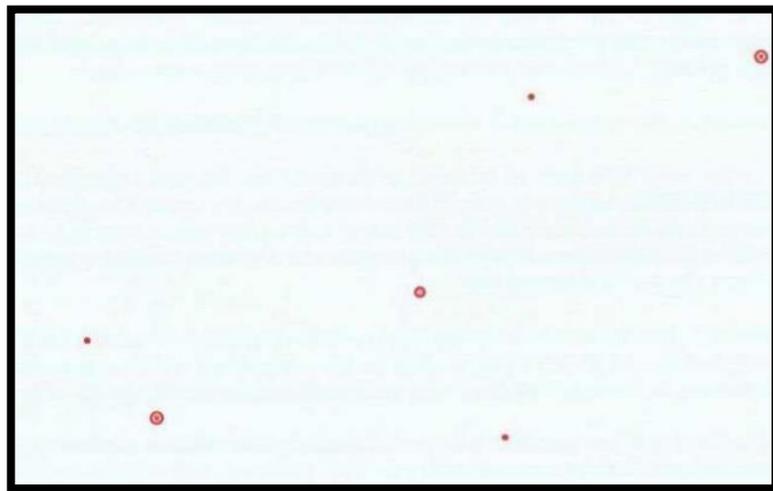
A. Clase I

Tabla 3: Criterios de Aceptación Clase I.

Nº	Criterios de Aceptación
1	Umbral de responsabilidad: $A = 0,5 \text{ mm}$
2	No hay indicación redondeada con una dimensión de $A > 2 \text{ mm}$
3	Sin indicación lineal
4	Sin indicación alineada
5	Superficie total de la indicación en el rango de $6 - 7 \text{ mm}^2$

Fuente: VOITH SIEMENS.

Figura 22: Muestras de fracturas 1 dm^2 .



Fuente: VOITH SIEMENS.

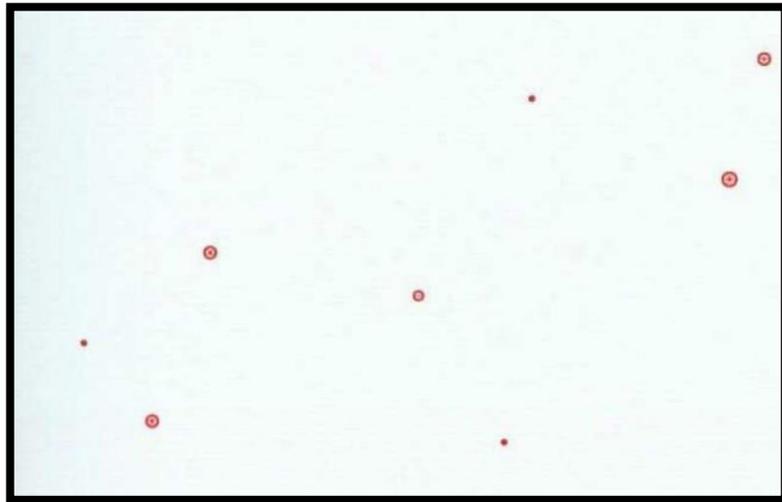
B. Clase II

Tabla 4: Criterios de Aceptación clase II.

Nº	Criterios de Aceptación
1	Umbral de responsabilidad: $A = 1 \text{ mm}$
2	No hay indicación redondeada con una dimensión de $A > 3 \text{ mm}$
3	Sin indicación lineal
4	Sin indicación alineada
5	Superficie total de la indicación en el rango de 16 mm^2

Fuente: VOITH SIEMENS.

Figura 23: Muestras de fracturas 1 dm².



Fuente: VOITH SIEMENS.

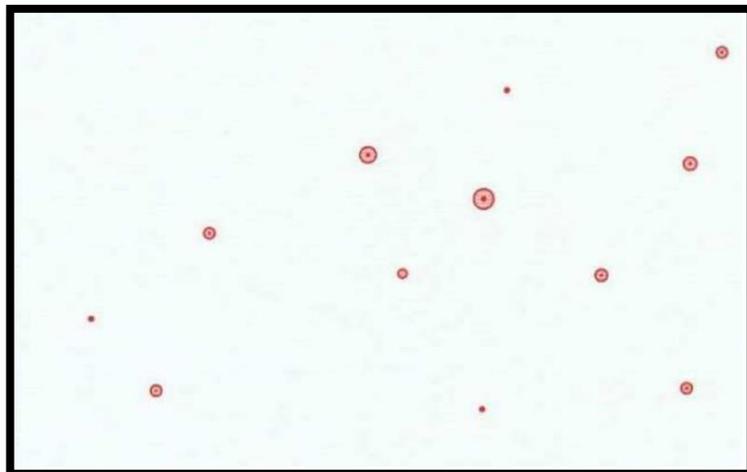
C. Clase III

Tabla 5: Criterios de Aceptación clase III.

N°	Criterios de Aceptación
1	Umbral de responsabilidad: A = 1,5 mm
2	No hay indicación redondeada con una dimensión de A > 4 mm
3	Sin indicación lineal
4	Sin indicación alineada
5	Superficie total de la indicación en el rango de 40 mm ²

Fuente: VOITH SIEMENS.

Figura 24: Muestras de fracturas 1 dm².



Fuente: VOITH SIEMENS.

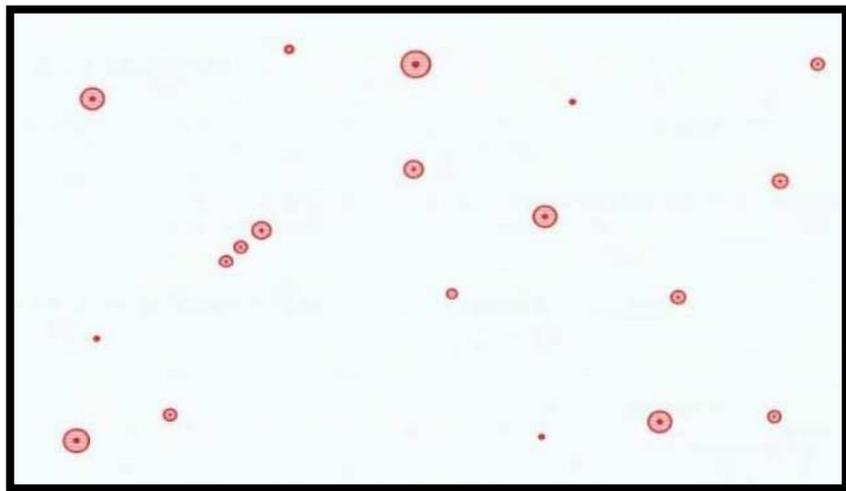
D. Clase IV

Tabla 6: Criterios de Aceptación clase IV.

N°	Criterios de Aceptación
1	Umbral de responsabilidad: $A = 1,5 \text{ mm}$ a 2 mm
2	No hay indicación redondeada con una dimensión de $A > 6 \text{ mm}$
3	Sin indicación lineal
4	Sin indicación alineada $l > 10 \text{ mm}$
5	Superficie total de la indicación en el rango de 100 mm^2

Fuente: VOITH SIEMENS.

Figura 25: Muestras de fracturas 1 dm^2 .



Fuente: VOITH SIEMENS.

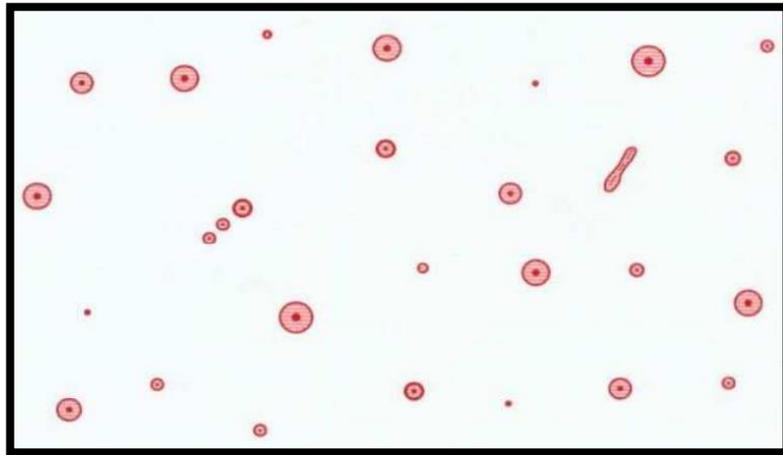
E. Clase V

Tabla 7: Criterios de Aceptación clase V.

N°	Criterios de Aceptación
1	Umbral de responsabilidad: $A = 2 \text{ mm}$
2	No hay indicación redondeada con una dimensión de $A > 8 \text{ mm}$
3	Sin indicación lineal $a > 7 \text{ mm}$
4	Sin indicación alineada $l > 16 \text{ mm}$
5	Superficie total de la indicación en el rango de 250 mm^2

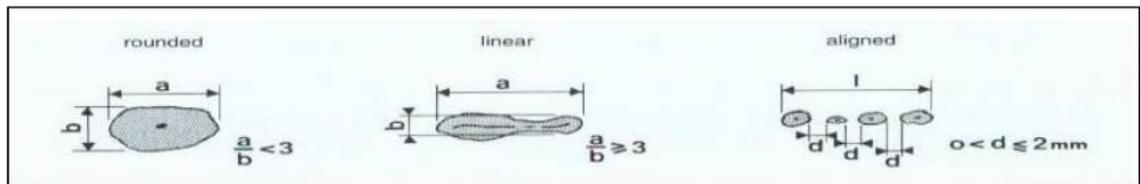
Fuente: VOITH SIEMENS.

Figura 26: Superficie de referencia 1 dm².



Fuente: VOITH SIEMENS.

Figura 27: Definición de indicaciones.



Fuente: VOITH SIEMENS.

Se procedió a la inspección mediante tintes penetrantes a la turbina Pelton para detectar si hay rajaduras o grietas que no se pueden ver a simple vista es por ello que se aplica los ensayos no destructivos especialmente la de líquidos penetrantes.

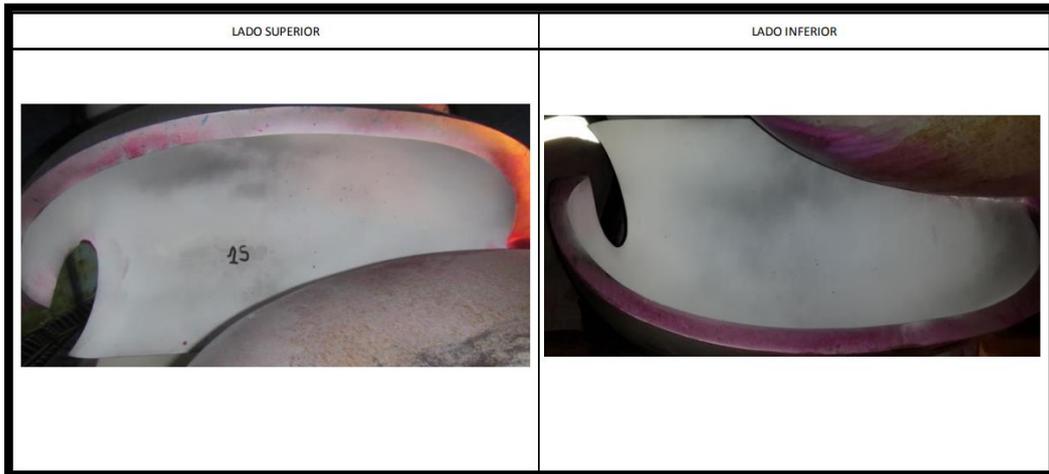
Figura 28: Revelación de tinte penetrante.



Fuente: Propia.

Después de la revelación del líquido penetrante se hace la revelación con el líquido revelador, se espera un promedio de 15 minutos para proceder a sacar conclusiones en la figura 28, se visualiza una clase I, lo cual indica que hay porosidad en la cuchara de la turbina, lo cual se está iniciando una erosión.

Figura 29: Revelación de tinte penetrante cuchara superior 1,

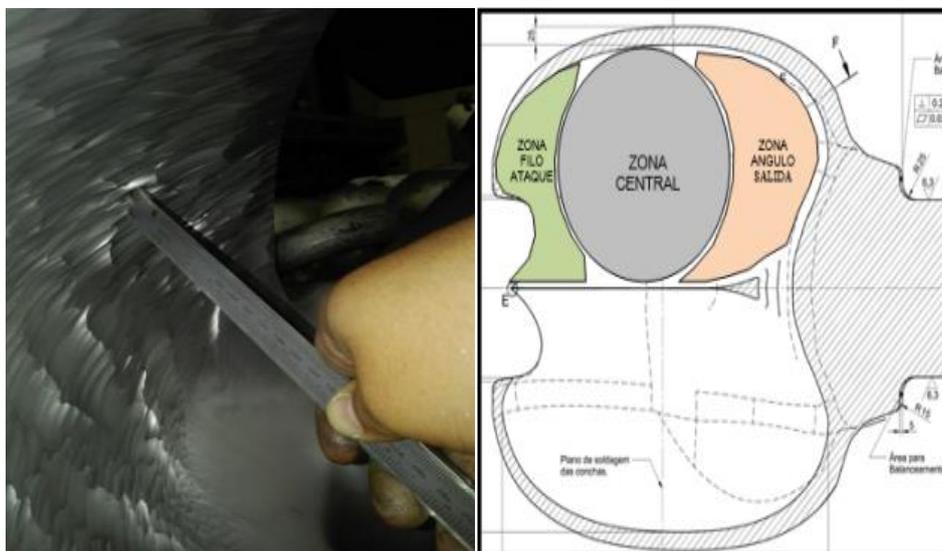


Fuente: Propia.

Se visualiza la figura 29, lo cual indica que la cuchara 1 lado superior se empieza a dar la clase 2, ya que se presenta en la cazoleta y en el cuello de la cuchara haciendo que se tome una decisión de pulido.

Se procedió de igual manera en las demás cucharas por lo que se encontraron porosidad e incluso erosionadas para ello se tomaron medidas de la profundidad de la erosión para ello se utilizó un vernier analógico.

Figura 30: Cuchara número 9 superior.



Fuente: Fotografía Propia.

La figura 30, se presenta una erosión con 7 mm de profundidad en la zona de ángulo de salida de la cuchara, por lo que se deduce que el inyector no este nivelado o que un componente del inyector este fallando ya sea la válvula aguja, boquilla o la pera lo cual hace que el chorro de agua este saliendo en diferentes tiempos o este inyectando en el lugar equivocado.

Ahora se verificará en el lado inferior lo cual nos ratifica también hay erosión veamos la siguiente figura:

Figura 31: Cuchara número 9 Inferior.



Fuente: Fotografía Propia.

Se visualiza que en este caso la erosión tiene una profundidad de 7,45 mm lo cual se procede a realizar la medición del nervio central de la cuchara para saber cuánto es el ancho que posee.

Figura 32: Cuchara número 9 nervio central.



Fuente: Fotografía Propia.

Se visualiza la medición del nervio central de la cuchara 9, lo cual es 8 mm de ancho, por este motivo se va a proceder a pasar plantilla en las cucharas para saber cuál es el espesor y desgaste mínimo y máximo que tienen las cucharas o álabes.

Figura 33: Desgaste del perfil del nervio central



Fuente: Fotografía Propia.

Con esta plantilla se obtiene el desgaste del perfil del nervio central, se utiliza apoyando la plantilla en los bordes de la guía de aluminio, sujetando en los perfiles angulares de la guía, medir con el gauge las luces existentes en el perfil del nervio central con relación a la plantilla, para ello se miden en 5 puntos para sacar los datos y comparar con el manual.

Figura 34: Uso de la plantilla de desgaste del perfil del nervio central.



Fuente: Fotografía Propia.

Se tomaron 5 puntos para tomar los datos de desgaste del perfil del nervio central los cuales se muestra en la tabla:

Tabla 8: Toma de datos del nervio central.

N° de Álabes	Plantilla de desgaste de nervio central				
	Cuchilla Central				
	A (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)	E (mm)
9	2,50	10,50	10,70	7,40	3,00
10	1,60	8,00	9,00	7,50	3,10
11	2,70	8,60	10,00	10,20	3,00
12	2,40	7,80	9,20	9,00	4,00
13	2,50	8,30	9,50	9,30	3,40
14	2,20	7,70	10,00	9,00	3,00
15	2,80	8,70	10,50	9,00	3,50

Desgaste Mínimo	Desgaste Máximo
2,50	10,70
1,60	9,00
2,70	10,20
2,40	9,20
2,50	9,50
2,20	10,00
2,80	10,50

Fuente: VOITH SIEMENS.

En las tablas se puede notar que el desgaste de nervio central en los álabes que se muestran son de consideración para tomar decisiones antes de que se produzca una ruptura de una de las cucharas.

Para poder medir el espesor utilizaremos la plantilla de copa lo cual nos indica qué espesor tiene el lado derecho e izquierdo de las cucharas de la turbina Pelton.

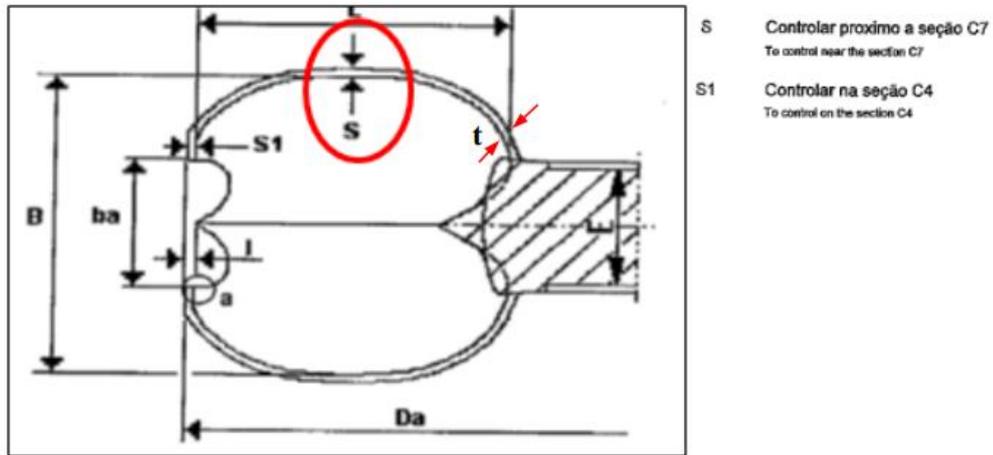
Figura 35: Uso de la plantilla de Espesor de copa.



Fuente: Fotografía Propia.

Se visualiza la plantilla de espesor de copa que se colocará en la turbina para saber cuánto de espesor tiene para tomar decisiones en cuanto al espesor que tiene.

Figura 36: Espesor de Copa (S).



Concha	Tc*		T		S		S1	
Nr.	138.5		211.5		25.0		17.3	
Bucket	±	1.3	±	3.3	+	2.5	+	1.7
	E (L)	D (R)						

Fuente: VOITH SIEMENS.

Con respecto a la técnica de la empresa VOITH SIEMENS se procederá a la toma de datos del espesor de Copa.

Figura 37: Toma de datos del espesor de Copa (S).

N° DE ALABE	ANCHO (mm)			N° DE ALABE	% DESGASTE MÁXIMO	
	C4	C7	C9		S1	S
	S1	S	t			
1	18.70	19.80	29.50	1	1.58%	28.00%
20	17.80	20.30	29.40	20	6.32%	26.18%
Espesor Nominal (mm)	17.30	25.00				
	+1.7	+2.5				

Fuente: VOITH SIEMENS.

Se visualiza que el espesor de las cucharas 1 y 20, se puede decir que el rodete presenta un desgaste aproximado del 28% del espesor de copa.

II. Inyector de Simple Efecto

A. Verificación del alineamiento del inyector

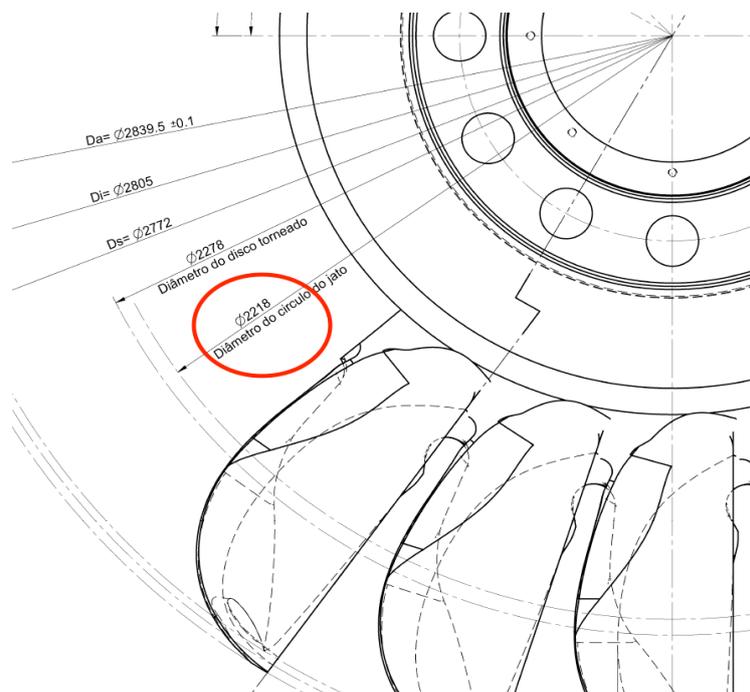
Para proceder al alineamiento del inyector se tomó la metodología de la empresa VOITH SIEMENS que tiene como objetivo la medición de holguras (horizontal y vertical), respetando el procedimiento establecido para posterior análisis de alineamiento de inyector.

i. Se debe considerar los datos siguientes:

Tabla 9: Datos de turbina Pelton

Diámetro de incidencia del chorro	Elevación del rodete
2218 mm	898,5 mm

Figura 38: Diámetro de incidencia del chorro.

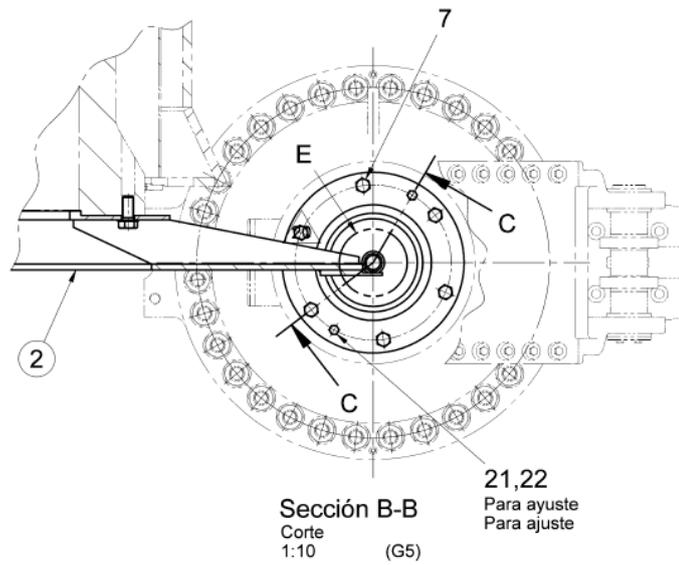


Fuente: VOITH SIEMENS.

ii. Secuencia de montaje

Se procede a montar el dispositivo de posicionamiento (disco de pruebas) en el eje.

Figura 39: Montaje de disco.



Fuente: VOITH SIEMENS.

Figura 40: Izaje de disco.



Fuente: Propia.

Con una eslinga de 3 toneladas por 20 metros se procede a realizar el izaje del disco siempre indicando la posición que tienen con respecto a los inyectores para proceder a fijarlo.

Figura 41: Posicionamiento y fijación de disco.



Fuente: Propia.

Se procede a montar el dispositivo de alineamiento en cada uno de los 05 inyectores de forma perpendicular al disco.

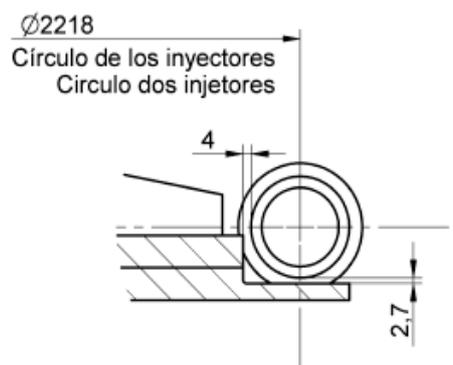
Figura 42: Posicionamiento de dispositivo de forma perpendicular.



Fuente: Propia.

Una vez que ambos dispositivos se encuentren perpendicularmente en cada uno de los inyectores, se procede a realizar la toma las holguras (horizontal y vertical).

Figura 43: Datos de medida según plano.



Fuente: VOITH SIEMENS.

Se procede hacer la medición Horizontal y Vertical como se muestra en la figura 42.

Figura 44: Medición horizontal y vertical.



Fuente: Propia.

La figura 44, se tomó la medición de la nivelación en las 5 pestañas tanto horizontal como vertical para luego apuntar y poner en la tabla para evaluar si realmente los inyectores están nivelados o faltan nivelar.

Figura 45: Primera medición.

1ra Medición		Medida Teórica	Tolerancia	Medición tomada Pestaña 1	Medida Real	Diferencia	Medición tomada Pestaña 2	Medida Real	Diferencia	Medición tomada Pestaña 3	Medida Real	Diferencia	Medición tomada Pestaña 4	Medida Real	Diferencia	Medición tomada Pestaña 5	Medida Real
Inyector 1	Vertical	2.70	+/- 1.65	52.29	2.29	0.41	52.34	2.34	0.36	52.70	2.70	0.00	52.94	2.94	-0.24	52.86	2.86
	Horizontal	4.00		52.30	2.30	1.70	51.80	1.80	2.20	51.72	1.72	2.28	51.96	1.96	2.04	51.84	1.84
Inyector 2	Vertical	2.70	+/- 1.65	55.13	5.13	-2.43	54.48	4.48	-1.78	55.16	5.16	-2.46	55.49	5.49	-2.79	55.28	5.28
	Horizontal	4.00		51.74	1.74	2.26	52.26	2.26	1.74	52.06	2.06	1.94	51.83	1.83	2.17	51.38	1.38
Inyector 3	Vertical	2.70	+/- 1.65	55.61	5.61	-2.91	55.14	5.14	-2.44	55.73	5.73	-3.03	55.66	5.66	-2.96	55.78	5.78
	Horizontal	4.00		52.25	2.25	1.75	51.80	1.80	2.20	51.93	1.93	2.07	51.60	1.60	2.40	51.27	1.27
Inyector 4	Vertical	2.70	+/- 1.65	54.70	4.70	-2.00	54.94	4.94	-2.24	55.19	5.19	-2.49	55.28	5.28	-2.58	55.27	5.27
	Horizontal	4.00		51.63	1.63	2.37	51.78	1.78	2.22	51.40	1.40	2.60	51.46	1.46	2.54	51.54	1.54
Inyector 5	Vertical	2.70	+/- 1.65	56.42	6.42	-3.72	56.08	6.08	-3.38	56.65	6.65	-3.95	56.44	6.44	-3.74	55.45	5.45
	Horizontal	4.00		51.84	1.84	2.16	52.06	2.06	1.94	51.72	1.72	2.28	51.89	1.89	2.11	52.42	2.42

Fuente: VOITH SIEMENS.

Seguidamente se analiza los datos y los resultados, lo cual se concluye que los inyectores están desnivelados debido a que, la tolerancia aceptable es de +/- 1.65 mm (VOITH SIEMENS) y en la tabla se observa que los datos sobrepasan la desnivelación de los inyectores es por ello que el chorro de agua este inyectando al nervio central y no a las cucharas directamente (22).

Se beneficiará sabiendo que el inyector esta desnivelado y se procederá a realizar el mantenimiento preventivo para que la inyección sea la correcta en los álabes.

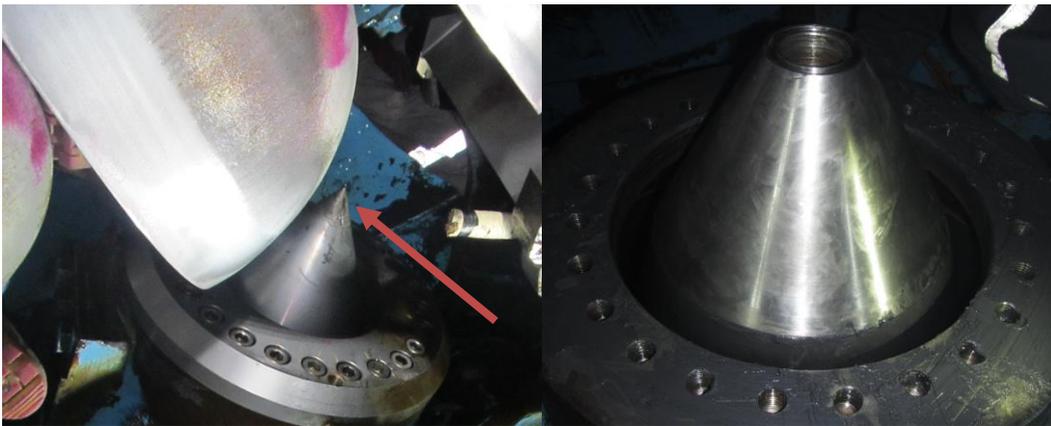
La empresa VOITH SIEMENS se rige a la normativa NTP 577 que se basa en el “Sistema de gestión Preventiva: revisiones de seguridad y mantenimiento de equipos”.

Para ello se procederá a revisar los inyectores y sus componentes.

B. Inspección de Válvula aguja, boquilla y Pera

Para realizar la inspección se procede a la conexión de luminarias para visualizar los daños que se produjo en los componentes del inyector de simple efecto, puesto que la caja turbina es una zona donde hay poca iluminación y se dificulta esta inspección. Seguidamente se arma un andamio para poder tener mayor acceso a los inyectores y poder ver las posibles fallas.

Figura 46: Válvula Aguja.



Fuente: VOITH SIEMENS.

Haciendo la inspección se observó que la aguja del inyector esta erosionada, “La corrosión por erosión es una aceleración en la velocidad de corrosión de un metal debido al movimiento relativo de un fluido corrosivo y la superficie de un metal” (23).

Las agujas del inyector son de uso esencial ya que dirigen el flujo de agua hacia los álabes de la turbina Pelton ya que si estos están erosionados tienden a dirigir a otro lugar el chorro de agua, generando así cavitación en los álabes de la turbina, este acontecimiento hace que se retire la aguja, sea cambiada y pueda trabajar en óptimas condiciones.

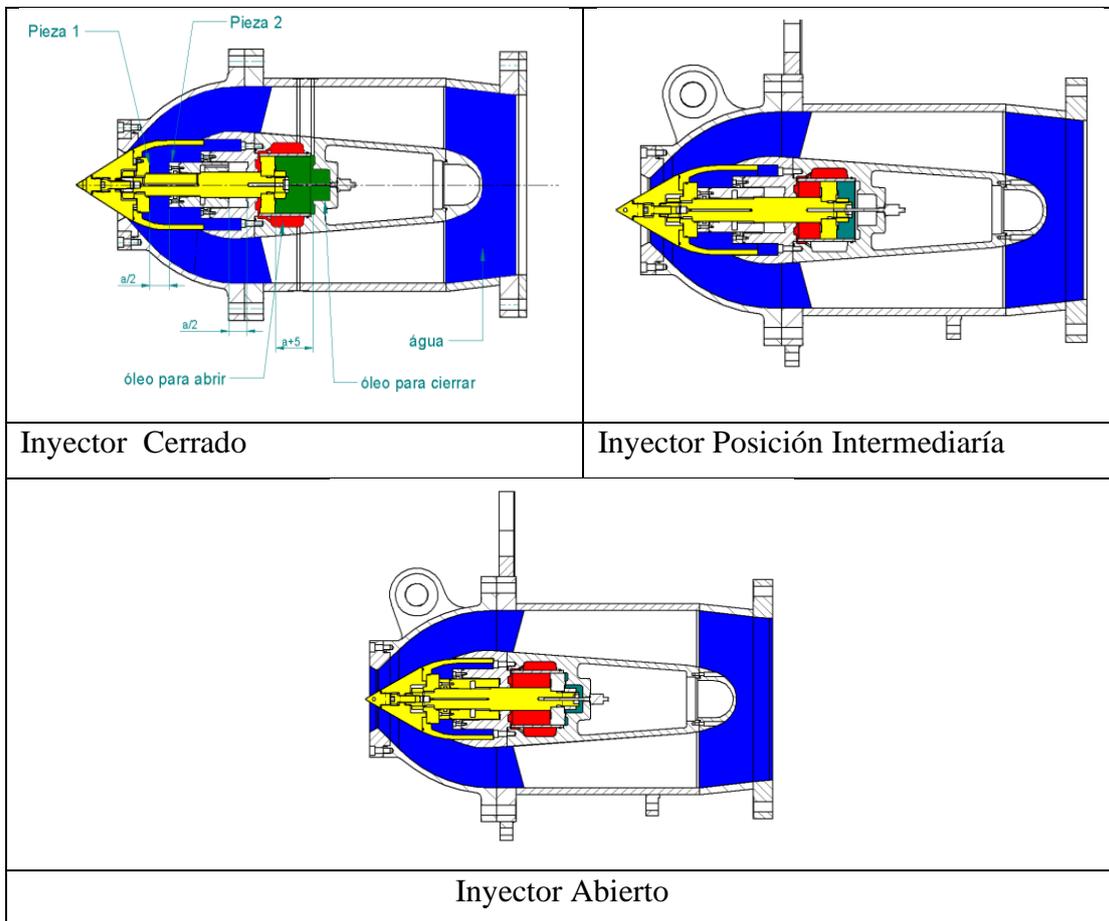
Para retirar la aguja debemos aplicar una capa de adhesivo Loctite L638 en la pieza, fijar la herramienta, el tiempo de cura del adhesivo es 6 horas, luego de este tiempo de curado, con una llave aplicar en la herramienta especial un torque 7 kN-m para soltar la punta de aguja en la parte frontal, una vez sacado se verificará el o-ring y se procederá a cambiar la aguja.

Figura 47: Válvula Aguja.



Fuente: Propia.

Figura 48: Inyección del chorro de agua.



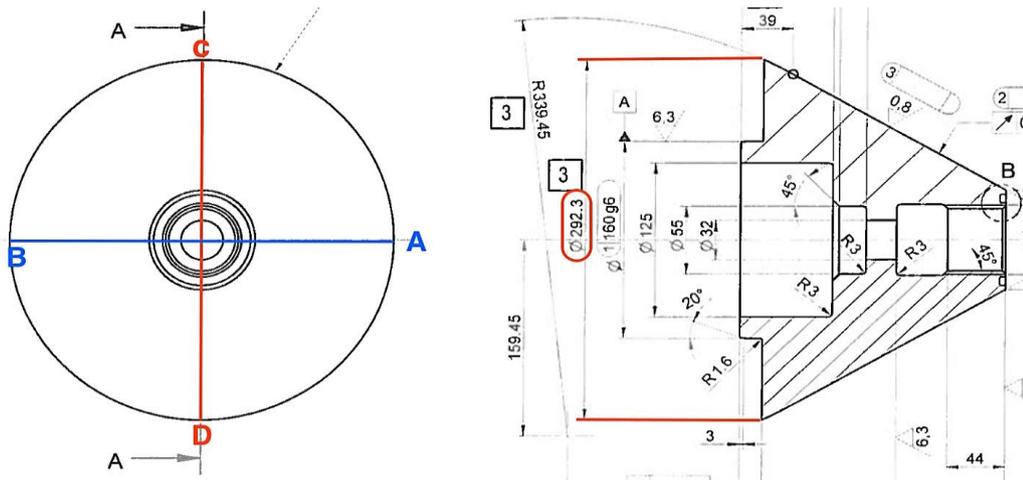
Fuente: VOITH SIEMENS.

Debido a este comportamiento de la erosión del inyector se procede a cambiar la aguja e inspeccionar las dimensiones de la aguja, boquilla y pera ya que estos componentes son los que abren el paso al chorro de agua y una mínima abertura en la boquilla hará que se haga pasar más el flujo de agua y hará erosionar la nueva aguja.

❖ Medición de la aguja y Pera

Tomando la metodología de la empresa VOITH SIEMENS, primeramente se toma el plano como referencia para saber cuáles son las medidas iniciales, seguidamente se hace una cruz poniendo los valores de “AB”, “BC”, “CD” y se procede a la medición con el Vernier, para mayor detalle se adjunta la figura 44 el método de cruz y los datos obtenidos.

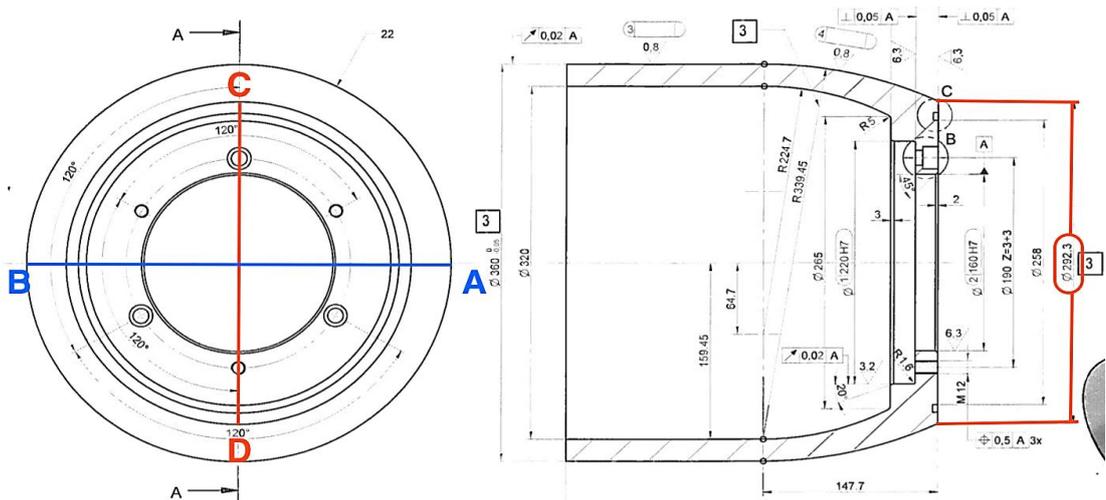
Figura 49: Toma de medidas de la aguja,



Fuente: VOITH SIEMENS.

De igual forma se toman los datos de la Pera con la misma metodología.

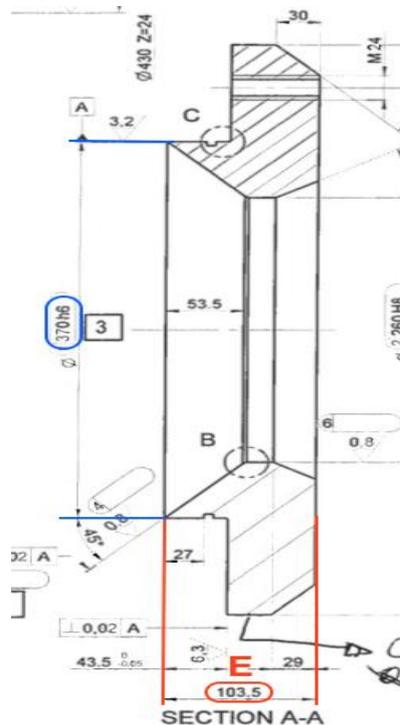
Figura 50: Toma de medidas de la Pera



MEDICIONES EN UNIAD Nº2							
Nº DE INYECTOR	COMPONENTE	DIAMETRO MEDIDO (REAL)			DIAMETRO NOMINAL	DESGASTE (mm)	DESGASTE DE PERA RESPECTO A LA AGUJA (mm)
		AB (mm)	CD (mm)	PROMEDIO (mm)			
1	AGUJA	291.00	291.00	291.00	292.30	0.65	0.25
	PERA	290.50	290.50	290.50	292.30	0.90	
2	AGUJA	290.00	290.00	290.00	292.30	1.15	0.50
	PERA	289.00	289.00	289.00	292.30	1.65	
3	AGUJA	290.00	289.00	289.50	292.30	1.40	0.38
	PERA	289.70	287.80	288.75	292.30	1.78	
4	AGUJA	289.00	289.00	289.00	292.30	1.65	0.07
	PERA	288.90	288.80	288.85	292.30	1.72	
5	AGUJA	289.90	289.90	289.90	292.30	1.20	0.55
	PERA	288.80	288.80	288.80	292.30	1.75	

Fuente: VOITH SIEMENS.

Figura 51: Toma de la Boquilla.



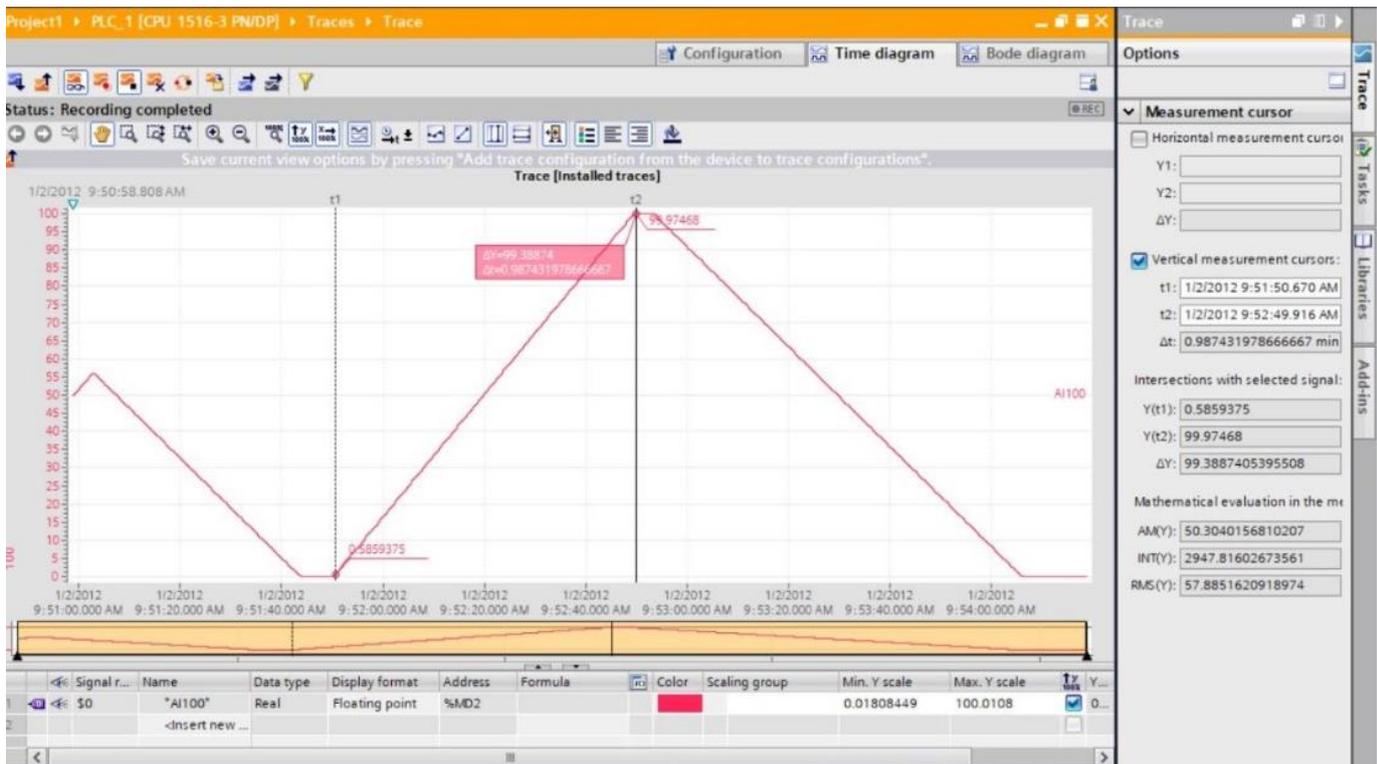
Nº DE INYECTOR	COMPONENTE	OBSERVACIONES
1	AGUJA	Presenta erosión de 1mm x 50mm
	BOQUILLA	Pequeña erosión en la unión boquilla-tobera en ángulo 225°
	TOBERA	
2	AGUJA	Ninguna
	BOQUILLA	Presenta erosiones en las uniones entre la boquilla y tobera en diferentes tramos de 135° y 315°, requiere remplazo de boquilla
	TOBERA	
3	AGUJA	Ninguna
	BOQUILLA	Ninguna
	TOBERA	Ninguna
4	AGUJA	Ninguna
	BOQUILLA	Presenta erosión en la unión con tobera en ángulo de 315°
	TOBERA	Presenta erosión en ángulo de 135° de profundidad 5mm
5	AGUJA	Ninguna
	BOQUILLA	Presenta erosión en todo el perímetro, requiere remplazo de boquilla
	TOBERA	Ninguna

Fuente: VOITH SIEMENS.

El desgaste de la aguja va incrementando empezando de un 0,65 mm de desgaste en el inyector 1 y el caso más crítico es del inyector 4 que el desgaste es del 1,65 mm. En el caso de la pera también se presencia el desgaste con un promedio de 0,55 mm para ello se debe realizar un análisis de todo el inyector.

- ❖ Constar el tiempo de apertura (entrada) y cierre (salida) de la aguja del inyector. Este análisis se hace para constatar si el inyector este aperturando en el momento justo o tiene algún retraso ya que si hay algún retraso en la apertura hará que el setpoint comunique a los demás inyectores y bloquee los demás inyectores y esto hará que se accione el sistema de seguridad de los inyectores y éstos se cierren automáticamente y harán desviar el flujo de agua con los deflectores, veamos los datos en la imagen (22).

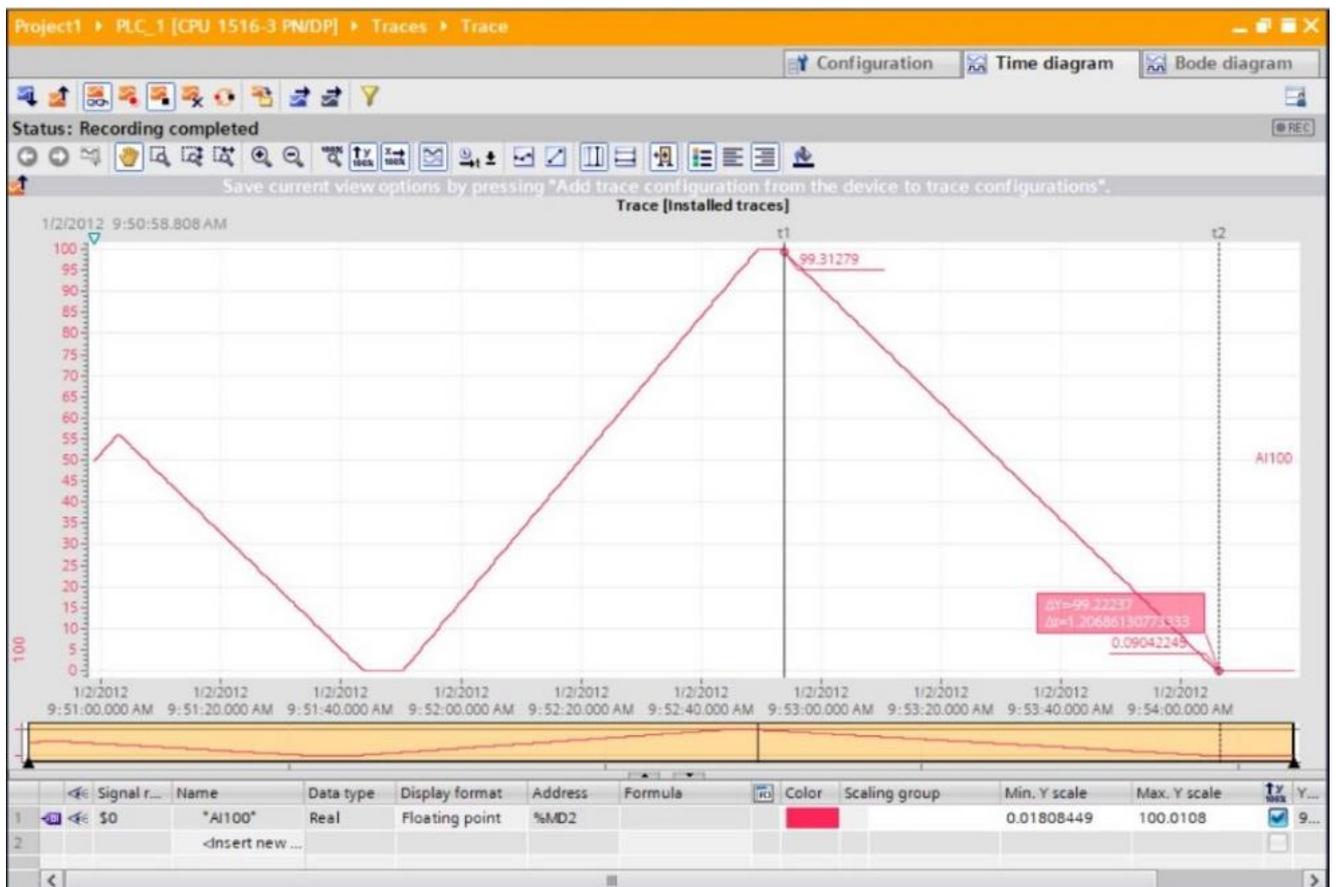
Figura 52: Apertura de aguja de Inyector.



Fuente: VOITH SIEMENS.

El tiempo de apertura del inyector de simple efecto se dará en 0,98 segundos lo cual nos indica que está en el rango de apertura 100 segundos que está programado el setpoint.

Figura 53: Cierre de aguja de inyector.



Fuente: VOITH SIEMENS.

C. Verificación de fugas de agua y aceite del inyector

- ✚ La verificación de la fuga de agua se realiza por sus respectivas tuberías de drenaje.
- ✚ Evaluar el comportamiento de la cantidad de agua que sale por las tuberías de drenaje de los inyectores de la turbina Pelton de la unidad generadora.
- ✚ Analizar el comportamiento de la cantidad de agua que sale por las tuberías de drenaje de los inyectores de la turbina Pelton de la unidad generadora, en las diferentes pruebas realizadas.
- ✚ Un antecedente fue que en el año 2016 la fuga de agua por la tubería de drenaje de los inyectores de la UG2 llegó alcanzar los 20 litros cada hora, en aquel entonces se procedió a realizar pruebas con subida y bajada de carga, luego del análisis respectivo el 29 de mayo 2016 se procede a realizar el reemplazo del inyector N° 3 por uno nuevo (el que se encontraba en stand by), posterior al cambio no se tuvo fuga considerable de agua hasta el 24 junio del 2017 que se tuvo un máximo 600 ml.

D. Propuesta Técnica de Mantenimiento Preventivo

En este apartado de la tesis se muestra la propuesta de perfil de procedimientos, que lleva por nombre propuesta técnica de mantenimiento preventivo para el inyector de simple efecto de turbina Pelton.

Tabla 10: Cuadro de Acciones.

Ítem	CUADRO DE ACCIONES DE MANTENIMIENTO PARA INYECTORES	
	ACCIONES	PERIODICIDAD
1	Inspección de los álabes de turbina Pelton.	Cada 2 meses.
2	Inspección de los álabes y mantenimiento preventivo de la Turbina Pelton.	Cada 2 meses mediante los ensayos no destructivos.
3	Inspección y nivelación de Inyectores	Cada 2 meses de acuerdo a la inspección de funcionamiento
4	Inspección de aguja, boquilla y pera.	Cada 2 meses mediante los ensayos de apertura y cierre de aguja
5	Verificación de salida y entrada de aguja	Cada 2 meses de acuerdo a la inspección y el funcionamiento
6	Verificación de fugas de agua y aceite	Cada mes de acuerdo al funcionamiento y fugas que haya.

Fuente: Propia.

De acuerdo con la empresa ELECTROPERÚ nos dan un dato que se tienen establecidos los mantenimientos de corto y mediano plazo, para ello nos regimos que cada 2 meses se realiza un mantenimiento preventivo lo cual nos basamos en este tiempo para implementar la propuesta Técnica del Mantenimiento Preventivo y así poder ejecutar sin que el grupo generador este más tiempo paralizado y se aproveche hacer los mantenimientos respectivos e implementando la propuesta técnica.

Tabla 11: Cuadro económico de propuesta de mantenimiento preventivo.

Propuesta de Mantenimiento Preventivo de Inyector						
Ítem	Cantidad	Categoría/ Estado	Días	costo		Total
Supervisor Mecánico	1	M1	3	S/	250.00	S/ 750.00
Técnicos Mecánicos	10	M2	3	S/	200.00	S/ 6,000.00
Ayudantes	3	M4	3	S/	150.00	S/ 1,350.00
Soldadores	1	3G	3	S/	220.00	S/ 660.00
EPPs	15	Nuevo	3	S/	450.00	S/ 20,250.00
Materiales e insumos	15	Nuevo	3	S/	500.00	S/ 22,500.00
Herramientas	Varios	Nuevo	3	S/	20,000.00	S/ 60,000.00
Seguro de Accidentes	15	MAPFRE	3	S/	200.00	S/ 9,000.00
Capacitación	15	Enel	3	S/	250.00	S/ 11,250.00
						S/ 131,760.00

Fuente: Elaboración propia.

Dado el cuadro económico se detalla que el monto por la propuesta de mantenimiento preventivo es de 131,760 soles, esto nos indica que la propuesta de mantenimiento es económica y se realiza en menor tiempo, según el SEACE, para realizar este mantenimiento preventivo a los inyectores se estima un plazo de 7 días lo cual demanda de un presupuesto de 302,080.00 soles lo que hace que se incrementa el presupuesto y el tiempo, por tanto se concluye que la propuesta de mantenimiento preventivo beneficiará en el costo y tiempo.

4.1.2. Determinar los parámetros a considerar para diagnosticar la falla del Inyector de Simple efecto en turbinas Pelton para la Central Santiago Antúnez de Mayolo.

Las centrales hidroeléctricas, requieren que todos sus componentes estén en condiciones óptimas para su buen funcionamiento, el inyector y turbina Pelton es una de las principales partes con más supervisión en cuanto a mantenimiento se refiere, por tanto, es necesario determinar parámetros a considerar para diagnosticar la falla del Inyector de Simple efecto de fallas, desgastes o daños a los que está expuestos, con el fin de elaborar la propuesta Técnica de mantenimiento Preventivo (4).

- a) Cavitación en álabes de la Turbina Pelton: Las turbinas Pelton es el más caro de los componentes de caja turbina, ya que es pieza fundamental para la generación de energía y está sometido a altas presiones, el funcionamiento de la turbina está establecido en la inyección del chorro (el chorro de agua debe ser uniforme y perfecto esto debido a que si presenta una deformación, hará un desgaste en los álabes de la turbina por efecto de la cavitación) de agua por medio del inyector ya que este componente orienta el chorro de agua el cual incide con los álabes, esto para darles el primer impulso que ayudará a girar y termina en la descarga como agua turbinada (5).
- b) Tintes Penetrantes: La realización de los ensayos no destructivos en especial mediante tintes penetrantes se realiza en casos donde no se puede visualizar la fractura, porosidad, etc., a simple vista es por ello que se usa este ensayo para poder visualizar las anomalías que presentará la rueda Pelton y diagnosticar en qué estado se encuentra y poder tomar decisiones.

- c) Nivelación de los Inyectores: La estrategia técnica de la nivelación de inyectores se realiza para saber el ángulo de incidencia que tiene el inyector y que no esté en desnivel ya que esto hará que el chorro de agua que está siendo inyectado a las cucharas este impactando directamente en la zona central y no en el cuello o filo de ataque ya que esto hará que la turbina Pelton se desequilibre y pierda eficiencia al girar y esto perjudicaría a toda la unidad de generación, generando un paro de emergencia perdiendo tiempo, dinero y producción.
- d) Inspección de aguja, boquilla y pera: La inspección de los componentes del inyector como la válvula aguja, boquilla y pera se realiza visualmente para ver en qué estado se encuentran estos componentes, si se visualiza una imperfección se procede a apuntar o fotografiar la anomalía que presentan y mediante un reporte informar al supervisor a cargo.
- e) Medición de la aguja, boquilla y pera: Este parámetro se toma en cuenta para tener en consideración con exactitud en qué estado se encuentran estos componentes ya que la válvula aguja si presenta erosión en la punta es una falla letal ya que tiene como funciones regular y dirigir el chorro de agua que incidirá en los álabes y si presenta erosión estas funciones no serán eficientes. El otro componente es la boquilla, se hace la medición ya que si este posee un desgaste hará que la pera al momento de abrirse o cerrarse se pasará del tiempo de recorrido y el setpoint se bloquee generando un cierre de los deflectores y haciendo desviar el chorro de agua y así dejar de funcionar la rueda Pelton. En la pera se hace el control dimensional para tomar en cuenta si por medio de fricción se desgastó y la luz de visión sea más abierto lo cual hará que ingrese aceite a la cámara de aceite y así generar fallas en otros componentes.
- f) Verificación en el tiempo de salida y entrada de la aguja: este proceso es esencial ya que la aguja tiene que salir en 70 segundos (este tiempo se da cuando trabaja el aceite solo en las cámaras, mientras que cuando está en funcionamiento el caudal que ingresa al inyector hace que se apresure 10 segundos más y se iguale al tiempo de entrada para que el punto de entrada y salida tenga el mismo tiempo y no se bloquee el setpoint) mientras que en la entrada tiene que darse en 60 segundos esto debido a que el aceite

hace que los muelles se compriman y hace que el retorno tenga una diferencia de 10 segundos.

- g) Verificación de las fugas de agua y aceite: Este parámetro es esencial ya que al verificar por las tuberías de drenaje de agua de cada inyector se puede diagnosticar que el inyector posee una falla o presenta fuga, es decir un elemento puede estar en mal estado por ello se da la fuga de agua y esto hace que el inyector sea ineficiente en su función por lo que si hay fuga de agua también se presentara fuga de aceite esto debido a que un o-ring o sello mecánico está fallando y hace que se entrevere el agua y aceite, y estos se comportan como grasa y obstaculizan el movimiento del eje generando fallas, desgastes hasta fracturas es por ello que se visualiza las fugas de agua en las tuberías de drenaje.

4.1.3. Determinar el tiempo de para realizar el mantenimiento preventivo de un inyector de simple efecto en turbinas Pelton para la central hidroeléctrica Santiago Antúnez de Mayolo -2023.

La propuesta Técnica de Mantenimiento Preventivo de un inyector de simple efecto en turbinas Pelton se desarrollará a doble turno por el tiempo de 3 días programadas según el permiso que se realice al SEIN, esta propuesta técnica se desarrollará conforme a la orden de trabajo que se programará y para ello se tiene unos objetivos:

- Optimizar la disponibilidad del Inyector.
- Disminución de los costos de Mantenimiento.
- Reducir, evitar y reparar las fallas.
- Disminuir la gravedad de la falla.
- Evitar accidentes e incidentes cumpliendo la ley 29783.

Esta a su vez se conforma por una orden de procesos con distintas actividades y procedimientos lo cual permitirá una implementación eficaz y fácil; a continuación, se presenta el diagrama de procesos que se desarrollaran en la propuesta técnica figura 19.

- 4.1.3.1. Inspección Visual:** Se rellenará en un cuadro de Excel las anomalías que se encuentra en los álabes para posteriormente hacer un informe de

la inspección visual, esto para tener antecedentes de qué cucharas o álabes están presentando fallas o averías.

Figura 54: Ficha de datos de Inspección Visual.

FECHA	Hora	Tipo de Inspección	Área	Nombre	Observaciones

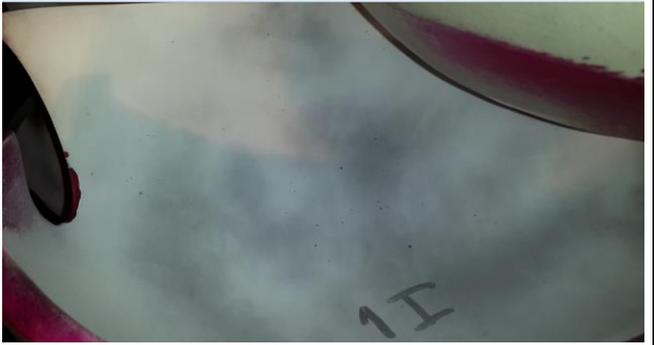
Fuente: Elaboración propia.

Conjuntamente el personal a cargo del mantenimiento tendrá otras documentaciones que contienen relación con la turbina Pelton ya sea el manual, catálogos, medidas preventivas en la seguridad sobre personas y material.

4.1.3.2. Tintes Penetrantes: Una vez que la turbina Pelton esta seca y libre de todas las impurezas ya sea agua, aceite, grasa, etc., se procederá a rosear el tinte penetrante en los álabes de la turbina para después dejarlo por un tiempo de 15 minutos y estar tomando los datos obtenidos. Se diseñará un formato Técnico para rellenar los datos obtenidos en los álabes para rellenar.

Figura 55: Ficha de datos Tintes Penetrantes.

		MONITOREO DE CONDICIÓN				HOJA		01 de 01		
		REGISTRO DE INSPECCIÓN POR TINTES PENETRANTES NRO. 001				FECHA				
						REV.				
DATOS TÉCNICOS										
EMPRESA:					INSTALACIÓN:		CASA DE MÁQUINAS			
PROYECTO:					FECHA DE INSPECCIÓN:		NORMA(S) APLICADAS:		ASTM E165/E1417 y CCH 70-3	
EQUIPO EVALUADO:					INSPECTOR(ES)		PROCESO DE SOLDEO:			
ELEMENTO EVALUADO:		CUCHARA 1	DIMENSION(ES):		MATERIAL BASE:		ASTM A743 Gr CA 6 NM		MATERIAL DE APORTE:	
DESCRIPCIÓN DE LA INSPECCIÓN VISUAL										
TIPO Y MÉTODO A EMPLEAR		Tipo Método	II A	TIEMPOS		Tiempo de Penetrante		15 minutos	Tiempo de Penetrante	15 minutos
						EQUIPO / MARCA:		MAGNAFLUX		
						FAMILIA		Penetrante Coloreado Visible húmedo y Revelador Húmedo Acuoso		
RESULTADO DE INSPECCIÓN										
ITEM	IDENTIFICACIÓN DE ZONA A INSPECCIONAR		DISCONTINUIDAD(ES)		EVALUACIÓN		OBSERVACIONES:			
	EQUIPO	COMPONENTE	TIPO DE DISCONTINUIDAD	DIMENSIONES DE LONGITUD (mm)	ACEPTADA	RECHAZADA				
1	RODETE	CUCHARA 1	-	-	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				

LADO SUPERIOR	LADO INFERIOR
	
Se observa poros en la cazoleta y en el cuello de la cuchara.	Se observa poros en la cazoleta de la cuchara.

P	Poros	<input checked="" type="checkbox"/>	ENC	Encalaminado	<input type="checkbox"/>	E	Escoria	<input type="checkbox"/>	SP	Surcos Profundos	<input type="checkbox"/>
IR	Indicación Redondeada	<input type="checkbox"/>	HL	High - Low	<input type="checkbox"/>	RS	Refuerzo de Soldadura	<input type="checkbox"/>	F	Fisura	<input type="checkbox"/>
IL	Indicación Lineal	<input type="checkbox"/>	FP	Falta de Penetración	<input type="checkbox"/>	LA	Laminación	<input type="checkbox"/>	V	Valles	<input type="checkbox"/>
IA	Indicación Alargada	<input type="checkbox"/>	FF	Falta de Fusión	<input type="checkbox"/>	S	Socavación	<input type="checkbox"/>	SAL	Salpicaduras	<input type="checkbox"/>
FM	Falta Material de Aporte	<input type="checkbox"/>	G	Grietas	<input type="checkbox"/>	AS	Ancho de Soldadura	<input type="checkbox"/>	CR	Cráter	<input type="checkbox"/>

EVIDENCIA:	Se observa poros distribuidos en la cazoleta y en el cuello en el lado superior e inferior.
ACCIONES:	Se deberá mejorar el pulido de la cazoleta y del cuello de la cuchara para eliminar los poros. Continuar con el monitoreo.

EXAMINADO				REVISADO				APROBACIÓN FINAL			
Nombre				Nombre				Nombre			
Cargo				Cargo				Cargo			
Firma		Fecha		Firma		Fecha		Firma		Fecha	

Fuente: Elaboración propia.

4.1.3.3. Nivelación de Inyectores: El procedimiento de la nivelación de Inyectores surge por la necesidad de los desgastes que se da en los álabes de la turbina. Se debe seguir el procedimiento que se explicó en la nivelación de inyectores, posterior a eso se procederá a usar la plomada que esta como requisito para la nivelación, seguidamente se procede a anotar los datos, para posterior a eso se comparen con la nivelación anterior y con lo que está establecido en el manual.

4.1.3.4. Inspección de aguja, boquilla y pera: En la inspección de estos 3 componentes se visualizará anomalías que se encuentra en dichos componentes, para posteriormente hacer un informe de la inspección visual, esto para tener antecedentes de que componentes están presentando fallas o averías.

4.1.3.5. Medición de dimensiones de aguja, boquilla y pera: Se toma las dimensiones para tener como referencia en qué estado se encuentran estos componentes y a su vez tener los datos en una hoja Excel que se pueda visualizar mejor para realizar un informe con respecto a las dimensiones encontradas y comparar con el plano, al final sacar conclusiones sobre lo acontecido, para más detalle ver anexos.

4.1.3.6. Verificación de tiempo de salida y entrada de la aguja: Se toma los datos del tiempo de salida y tiempo de entrada para saber si están en coordinación los inyectores, a su vez tener una referencia de qué inyector es el que esta defectuoso o está en demora tanto en apertura y cierre de la aguja, es por ello se verifica y se anota los tiempos de cada inyector para comparar y tener una conclusión ver anexo.

4.1.3.7. Verificación de fuga de agua y aceite: Este es el último proceso del mantenimiento ya que al verificar los niveles de agua y aceite se sabrá en qué estado se encuentra los inyectores y si hay fuga, rápidamente se verá en el drenaje de agua, para ello se tendrá que coordinar con el operador de central y proporcionar los datos y corroborar si hubo una fuga tanto de aceite o agua.

4.2. Discusiones

- ❖ La central hidroeléctrica Santiago Antúnez de Mayolo presenta paradas de planta por mantenimiento correctivo ya sea por el caso de que la aguja este erosionada, los o-rings y sellos mecánicos estén fallando o inclusive por la ruptura de un segmento del álabe de turbina Pelton, esto debido a que no se tiene un mantenimiento preventivo bimestral adecuado a los componentes que están en caja turbina (turbina Pelton, inyector) ya que para el diagnóstico de las fallas el personal lo hace de acuerdo a su experiencia y a su criterio, debido a este acontecimiento se propone un mantenimiento preventivo que ayudará a realizar ordenadamente y con eficacia dicho proceso. Comparando con otras centrales hidroeléctricas de entidad privada, dichas centrales si respetan ordenadamente el proceso y ejecución de su mantenimiento preventivo esto a su vez para tener los componentes en constante monitoreo y evitar un daño mayor lo que demandará de mayor tiempo y dinero.
- ❖ La propuesta técnica de mantenimiento preventivo ayudará a tener una secuencia de procesos para que el personal sea capaz de realizar este mantenimiento de manera ordenada y eficaz, además de eso se identificará con mayor certeza las fallas que hay dentro de caja turbina.
- ❖ En la propuesta técnica se diagnostica las fallas más recurrentes que hay en los inyectores y cuáles son los parámetros a tomar para identificar las fallas o el funcionamiento poco eficiente; la central SAM es una de las primeras en Perú, es por ello que presenta tecnología poco avanzada a comparación de la central Cerro del Aguila que es más moderna, esto se debe a que no se tiene una buena planificación del mantenimiento.

CONCLUSIONES

Las conclusiones que se han arribado en el desarrollo de la tesis “Propuesta Técnica de Mantenimiento Preventivo de Inyectores de Simple Efecto en Turbinas Pelton para la Central Hidroeléctrica Santiago Antúnez de Mayolo – 2023” son las siguientes:

1. Se elaboró la propuesta técnica de mantenimiento preventivo de inyectores de simple efecto en turbinas Pelton en la Central Hidroeléctrica Santiago Antúnez de Mayolo que consistió en el análisis del problema de las fallas que presentan los inyectores, se consiguió el objetivo puesto que al no establecer un mantenimiento preventivo periódico las fallas de los inyectores eran recurrentes y estos a su vez dañan otro componente como es la turbina Pelton.
2. Se consideró los aspectos técnicos descritos en el ítem 4.1.1 que nos ayudaron en la elaboración de la propuesta técnica de mantenimiento preventivo que van a coadyuvar a mejorar en el mantenimiento preventivo lo cual se siguió un diagrama de operaciones lo cual comienza con una inspección visual de los álabes para posteriormente seguir con el inyector de simple efecto cuyas operaciones son: nivelación del inyector, inspección de los componentes es el caso de aguja, boquilla y la pera, seguidamente se toma las dimensiones de estos componentes para proceder a tomar el tiempo de apertura y cierre de la aguja y saber que los tiempos están adecuados para culminar se hace una inspección de las fugas de aceite y agua.

3. Se determinó el tiempo de 3 días y en horas sería 72 horas el que demandará realizar el mantenimiento preventivo del inyector de simple efecto siguiendo las operaciones en el orden adecuado, esto para que se prevenga una falla o avería de mayor envergadura y haga que se paralice todo un grupo generador, lo que significa que demandaría de mayor tiempo en el mantenimiento correctivo, dinero y el fuera de servicio de dicha unidad generadora.

RECOMENDACIONES

- 1.** Se recomienda tener la propuesta técnica de mantenimiento Preventivo de inyectores de simple efecto en Turbinas Pelton para la central hidroeléctrica Santiago Antúnez de Mayolo para poder tener un mantenimiento preventivo periódico para que las fallas o averías más recurrentes sean en menor escala o se solucionen con mayor factibilidad y así no dañando otros componentes.
- 2.** Tener presente los aspectos técnicos a considerar para el mantenimiento preventivo de inyectores de simple efecto, puesto que sin estos aspectos técnicos se dificultará las fallas ocasionadas en el inyector de simple efecto.
- 3.** Se recomienda tener el plazo establecido para el mantenimiento preventivo del inyector de simple efecto ya que si se tardara más del tiempo proyectado se estaría perdiendo horas de producción, tiempo y pérdidas económicas para la empresa.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

1. MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS. *Principales Indicadores del Sector Eléctrico a nivel Nacional*. Online. 2021. [Accessed 21 March 2022]. Available from: http://www.minem.gob.pe/archivos/1_Cifras_preliminares_del_Sector_Electrico_-_Enero_2021-Rev2-zzzj88353rz0zzy5.pdf
2. OSINERGMIN. *Generación Eléctrica con Recursos Energéticos Renovables No Convencionales en el Perú* Online. Interpretativo. Perú : OSINERGMIN, 2014. [Accessed 1 July 2022]. Available from: https://www.osinergmin.gob.pe/newweb/pages/Publico/cop20/uploads/Oct_2014_Generacion_Electrica_RER_No_Convencionales_Peru.pdf
3. PALOMINO CONDORI, Melquisedec. *Propuesta de Plan de Mantenimiento para los Inyectores de efecto simple de la turbina hidráulica tipo Pelton de las Centrales Hidroeléctricas Ángel I, II Y III de la empresa generadora de energía del Perú S.A, Arequipa – Perú, 2021*. Online. Perú, Arequipa : Universidad Autónoma San Francisco, 2021. Available from: <http://hdl.handle.net/20.500.14179/444>
4. ROMERO GUARÍN, Angie and SOLER RODRÍGUEZ, Laura. *Diseño de un plan de mantenimiento predictivo para los generadores eléctricos de una central hidroeléctrica*. Online. Bogota : Universidad Católica de Colombia, 2017. [Accessed 2 March 2023]. Available from: <https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/d10375c8-56ab-450d-a107-97be2a3f927b/content>
5. GÓMEZ MUÑOZ, Geovanny and MÉNDEZ PEÑALOZA, Gino. *Propuesta para la gestión de mantenimiento de la Central Hidroeléctrica Ocaña*. Online. Ecuador, Cuenca : Universidad Politecnica Salesiana, 2011. [Accessed 24 January 2023]. Available from: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/1099> Accepted: 2012-01-20T22:26:13Z
6. CAJILIMA PORTILLA, Johnny. *Gestión de riesgos en mantenimiento mecánico de centrales hidroeléctricas tipo pelton, basado en los requerimientos de la PAS 55*.

Online. Ecuador : Universidad del Azuay, 2016. [Accessed 24 January 2023]. Available from: <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/5600>Accepted: 2016-05-12T23:48:17Z

7. RINCON OLMOS, Daniel Felipe and SUÁREZ HERNÁNDEZ, Jhoan Sebastián. *Diseño de un prototipo de inyector hidráulico para una picoturbina tipo pelton para el laboratorio de hidráulica de la Universidad Libre*. Online. 2020. [Accessed 16 February 2023]. Available from: <http://repository.unilibre.edu.co/handle/10901/19357>Accepted: 2021-07-07T23:26:15Z

8. PONCE PASQUEL, David and VÁSQUEZ TOBAR, Alexis. *Análisis y simulación del comportamiento de una turbina Pelton para generación eléctrica en la región sierra del Ecuador mediante Fluent de Ansys*. Online. Ecuador, Quito : Universidad Politecnica Quito, 2019. [Accessed 1 July 2022]. Available from: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/17030/1/UPS-ST004030.pdf>

9. FERNANDEZ BRAVO, Luz María Fernández. *Desarrollo de un plan de mantenimiento para la central hidroeléctrica de Alcalá del Río aplicando criterios de confiabilidad (RCM)*. Online. Sevilla : Universidad de Sevilla, 2015. Available from: biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/90479

10. MENDEZ ANANGONÓ, Edwin. *Estudio para la optimización de la operación del proyecto hidroeléctrico Coca Codo Sinclair mediante el control individual de inyectores de la turbina Pelton*. Online. Quito : Escuela Politécnica Nacional, 2014. Available from: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/8755>

11. QUISPE YALE, Ulises. *Análisis de fallas funcionales del sistema turbina-generador del grupo 01 en la central hidroeléctrica Baños II - Huaral*. Online. Huancayo : Universidad Nacional del Centro del Perú, 2009. Available from: <http://hdl.handle.net/20.500.12894/6130>

12. GOMEZ VILCHERREZ, Jhon. *Análisis de ciclo de vida al hidrophard, material implementado para el diseño y fabricación de los asientos de las toberas de la central hidroeléctrica cañón del pato*. Online. Lambayeque : Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, 2019. Available from: <https://hdl.handle.net/20.500.12893/8656>

13. JIMENEZ RUIDIAS, Luis. *Optimización del mantenimiento preventivo de las turbinas Pelton de la central hidroeléctrica Juan Carosio-Moyopampa*. Online. Lima : Universidad Nacional de Ingeniería, 2006. Available from: <http://hdl.handle.net/20.500.14076/881>

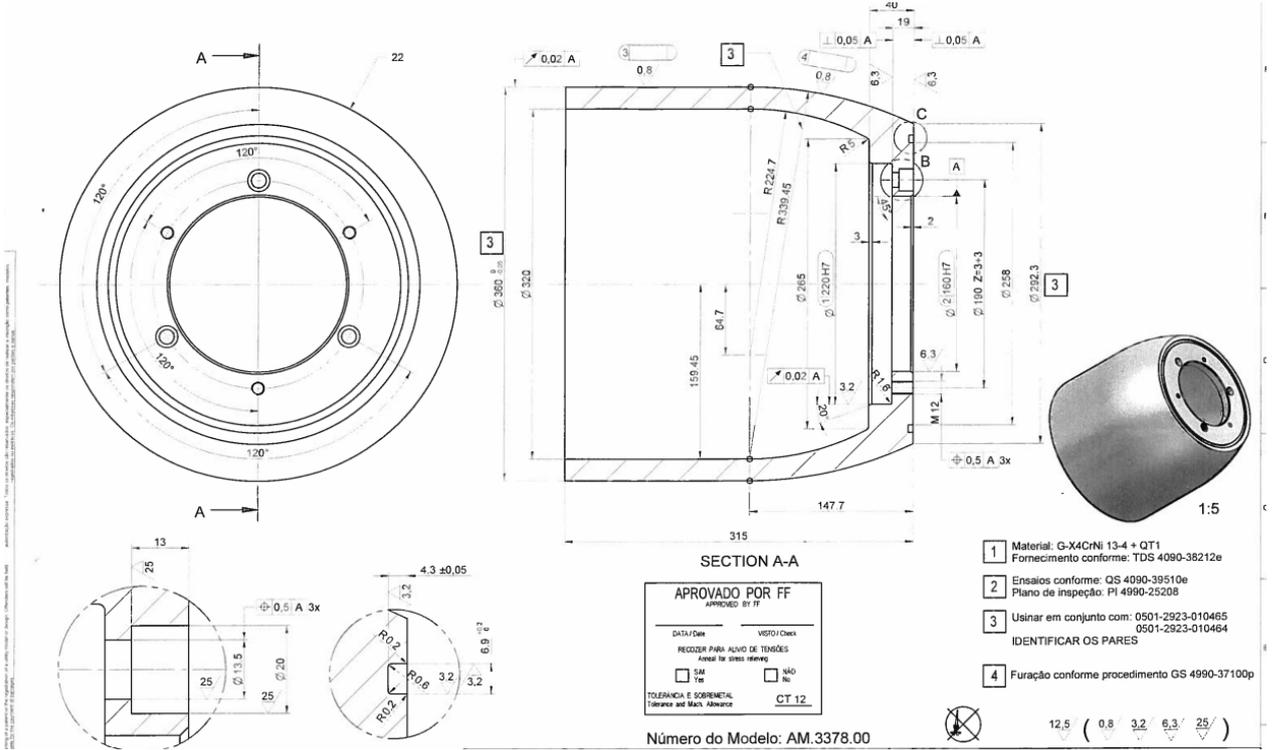
14. JUÁREZ-BAYONA, Kattia. *Integración del riesgo en procedimientos de operación-mantenimiento en central hidroeléctrica Curumuy*. Online. Piura, 2016. Available from: <https://hdl.handle.net/11042/2592>

15. CALERO ANAYA, Sebastián. *Metodología para la obtención de la configuración de mínimas pérdidas tobera-inyector de una turbina Pelton para 33 l/s mediante simulación CFD*. Online. Lima : Pontificia Universidad Católica del Perú, 2020. Available from: <http://hdl.handle.net/20.500.12404/18757>

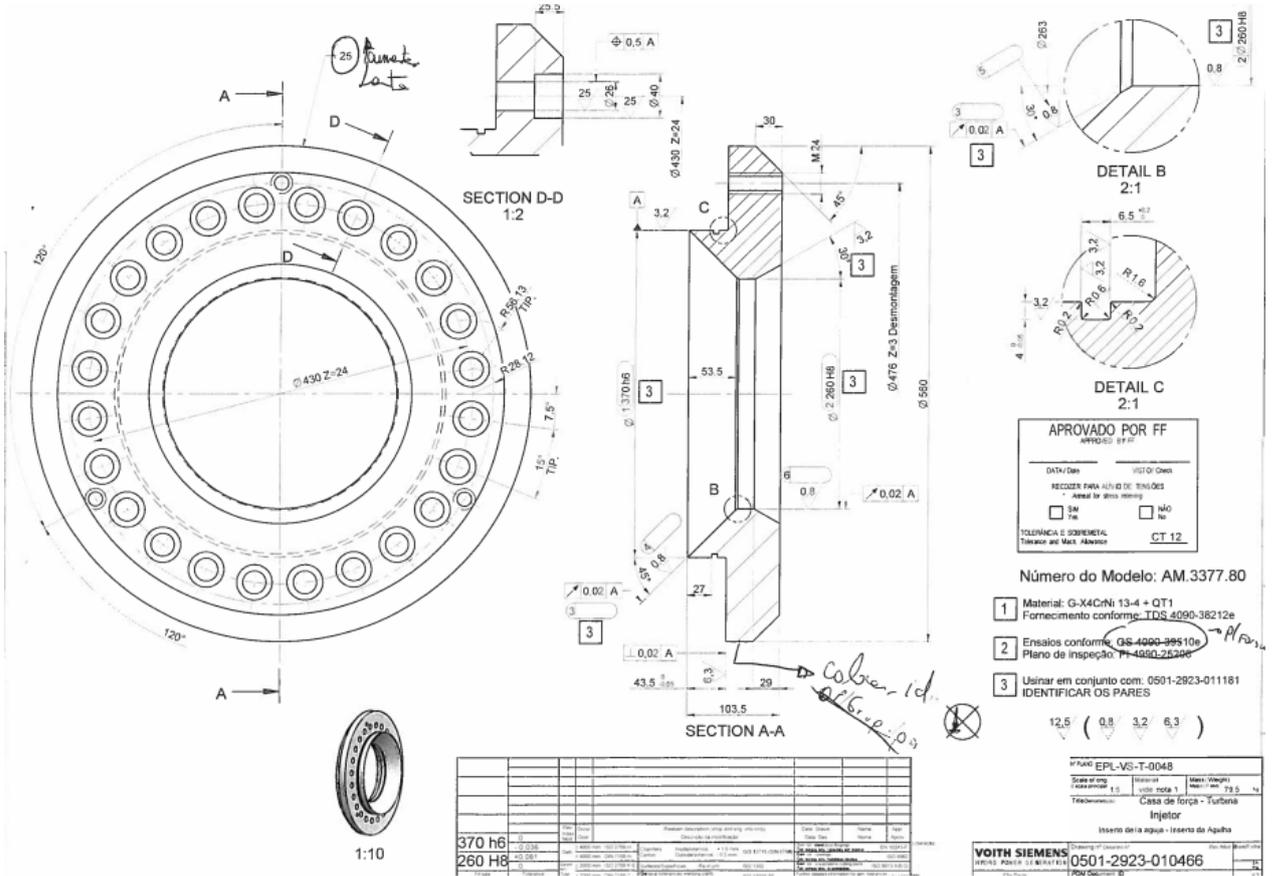
16. HANCO CRUZ, Ruben. *Análisis de la repotenciación de una turbina tipo Pelton*. Online. Arequipa : Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, 2019. Available from: <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/9411>

17. HERNÁNDEZ SAMPIERI, Roberto and MENDOZA TORRES, Christian Paulina. *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta.* . First edition. México : McGraw-Hill Education, 2018. ISBN 978-1-4562-6096-5.
18. HADI, Mohamed, MARTEL, Christian, HUAYTA, Freddy, ROJAS, Rómulo and ARIAS, José. *Metodología de la investigación: Guía para el proyecto de tesis.* Online. 1. Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú, 2023. [Accessed 26 February 2023]. ISBN 978-612-50-6963-4.
19. ESPINOZA MONTES, Ciro. *Metodología de investigación tecnológica.* Online. Primera Edición. Huancayo : Grafica SAC, 2010. ISBN 978-612-00-0222-3. Available from: <https://ciroespinoza.files.wordpress.com/2012/01/metodologc3ada-de-investigac3b3n-tecnolc3b3gica.pdf>
20. ARIAS, Fidas. *El proyecto de Investigación.* Online. 6. Caracas, 2012. [Accessed 26 February 2023]. ISBN 980-07-8529-9. Available from: <https://abacoenred.com/wp-content/uploads/2019/02/El-proyecto-de-investigaci%C3%B3n-F.G.-Arias-2012-pdf-1.pdf>
21. VOITH SIEMENS. 1: *Procedimiento para aplicación de tintes penetrantes.* Brasil : Hydro Power Generation, 2003.
22. OCHOA, Pedro. *Apertura y cierre de Inyector.* [oral]. 2021.
23. APERADOR, Willian, MEJÍA, Aura S. and CAICEDO, Julio. Comportamiento de corrosión-erosión en recubrimientos de TiN/zrN depositados sobre acero aisi 4140. *Información tecnológica.* 2014. Vol. 25, no. 1, p. 23–32. DOI 10.4067/S0718-07642014000100004.

ANEXO03.- PERA DEL INYECTOR DE SIMPLE EFECTO



ANEXO 04.- BOQUILLA DEL INYECTOR DE SIMPLE EFECTO



ANEXO 05.- DIAGRAMA DE OPERACIONES

