



FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

**“PROYECTO DE MEJORA PARA INCREMENTAR LA
PRODUCCIÓN EN LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA
CHIMAY - CHINANGO S.A.C.”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO INDUSTRIAL**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER
ANDY CRISTHIAN FLORES MANUELO**

ASESOR
MG. ING. ROGELIO ALEXSANDER LOPEZ RODAS

LIMA – PERÚ, JULIO 2021

DEDICATORIA

Dedico este esfuerzo de estudio a mi querida hija Amy Flores y mi buena esposa Katie Alvarado, verlas felices hace que mi esfuerzo de estudio tenga sentido, de verdad que las veo y me emociono aún más, no quiero imaginarme una vida sin ellas.

Como olvidarme de mis padres Erlin y Felicita y de mis buenos hermanos Rolando y David, gracias por existir y cruzarnos en esta vida.

Soy cristiano, creo en un ser divino, alguien superior a mí, hablo de ti mi Dios, este esfuerzo también va dedicado a ti, en esta pandemia por el COVID-19, sigues protegiendo a tus hijos, y ayudando a más personas a lograr sus objetivos en esta vida transitoria.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis compañeros por cubrirme los horarios de trabajo en momentos de estudio, por compartir información técnica precisa, y a mi empresa CHINANGO por ser transparente con la información.

Agradezco a la Universidad Alas Peruanas por su gestión estudiantil y asignaciones de profesores de diversos cursos que han tenido un buen performance.

INTRODUCCIÓN

Este Trabajo de Suficiencia Profesional consiste, en un proyecto de mejoras en diversos sistemas de refrigeración asociados al proceso de generación de energía eléctrica en la Central Chimay.

El objetivo principal radica en incrementar la producción de la central hidroeléctrica Chimay, que pertenece a la empresa CHINANGO S.A.C.

RESUMEN

La central hidroeléctrica de Chimay perteneciente a la empresa CHINANGO S.A.C., entró en operación comercial en el año 2000, tiene dos unidades de generación con turbina Francis de eje vertical y vierte el caudal turbinado al río Tulumayo, en su misma forma natural y sin afectar al medio ambiente, con la máxima concentración de sólidos (calidad de agua) permitido de 2.0 g/L, declarado en el plan de calidad del proceso de generación.

En el transcurso de los años, se ha realizado diversas mejoras y construcciones que aseguren el proceso de generación, pero nunca se decidió con empeño variar la concentración de sólidos hasta 3.0 g/L o más.

Es importante para la empresa incrementar la producción de CH Chimay, y se podría lograr con el cambio de tecnología de materiales en sello turbina, un nuevo pozo de agua, mejorar los filtros de agua, entre otros. - La metodología utilizada para este trabajo es el diagrama de Ishikawa, que muestra de manera sencilla la problemática y sus causas, y el ciclo de Deming para la mejora continua.

Esta mejora en el proceso de generación permitiría aportar energía por más tiempo, durante la temporada de lluvias expuestos a grandes caudales y con la generación de huacos que es característico es nuestro territorio nacional.

ABSTRACT

The Chimay hydroelectric power station belonging to the company CHINANGO S.A.C., entered commercial operation in 2000, has two generation units with a vertical axis Francis turbine and discharges the turbine flow to the Tulumayo river, in its same natural form and without affecting the environment, with the maximum concentration of solids (water quality) allowed of 2.0 g / L, declared in the quality plan of the generation process.

Over the years, various improvements and constructions have been made to ensure the generation process, but it was never decided with great effort to vary the concentration of solids to 3.0 g / L or more.

It is important for the company to increase the production of HPP Chimay, and it could be achieved by changing the technology of materials in the turbine seal, a new water well, and improving the water filters, among others. - The methodology used for this work is the Ishikawa diagram, which shows in a simple way the problem and its causes, and the Deming cycle for continuous improvement.

This improvement in the generation process would allow us to provide energy for a longer time, during the rainy season exposed to large flows and with the generation of huacos that is characteristic of our national territory.

TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA	I
AGRADECIMIENTO	II
INTRODUCCIÓN	III
RESUMEN	IV
ABSTRACT.....	V
ÍNDICE DE GRÁFICOS	VIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XI
ÍNDICE DE ANEXOS	XII
Capítulo I.....	1
1.3.1. Misión.....	2
1.3.2. Visión	2
1.3.3. Objetivos	2
1.4.1. Organigrama de la empresa.....	2
1.5.1. Análisis del entorno general de la entidad.....	5
1.5.2. Análisis estratégico FODA.....	7
Capítulo II	9
1.10.1. Objetivo general del proyecto.....	12
1.10.2. Objetivos específicos del proyecto	13
Capítulo III.....	14
3.2.1. Antecedentes	14
3.2.2. Planificación para la calidad.....	15
3.2.3. Ejecución para la calidad	18
3.2.4. Verificación para la calidad.....	19
3.2.5. Actuar para la calidad.....	21
3.2.6. Evaluación de la mejora	22
3.2.7. Cronograma de las mejoras	24
3.2.8. Compuertas desarenadoras cámara de carga	26
3.3.1. Rediseñar compuertas desarenadoras cámara de carga.....	37
3.3.2. Los tubos de la cámara de compensación	40
3.3.3. Optimizar el sistema del tamiz de los filtros automáticos DDF	41

3.3.4. Rediseñar los intercambiadores de calor	43
3.3.5. Incrementar la confiabilidad.....	44
3.3.6. Automatizar retro lavado en intercambiadores de calor	47
3.4.1. Verificación del proyecto	48
3.4.2. Tubos de la cámara de compensación.....	49
3.4.3. Sistema del tamiz de los filtros automáticos DDF	50
3.4.4. Intercambiadores de calor aceite agua	51
3.4.5. Bomba pozo profundo de refrigeración al sello	52
3.4.6. Sistemas de retro lavado en intercambiadores de calor.....	53
3.5.1. Evaluación económica del proyecto	55
Capítulo IV.....	62
CAPÍTULO V.....	63
Capítulo VI.....	64

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 Logo de la Empresa Chinango S.A.C.	1
Gráfico 2 Renewable Energies Organization Country Perú	3
Gráfico 3 Vista Toma Tulumayo	5
Gráfico 4 Vista Central Chimay	5
Gráfico 5 Autoridades de provincia Chanchamayo	6
Gráfico 6 Ubicación de Central Chimay	7
Gráfico 7 Huaico en Toma Tulumayo (Palizada).....	9
Gráfico 8 Huaico en Toma Tulumayo (Sedimentos).....	10
Gráfico 9 Central Chimay f/s por Huaico	10
Gráfico 10 Diagrama de Ishikawa Para la Calidad del Agua	10
Gráfico 11 Salida de producción de energía – SE Chimay	12
Gráfico 12 Equipo de trabajo Chinango 2020.....	13
Gráfico 13 Cambio del Sello de una Turbina Cada 2 Años	15
Gráfico 14 Sello Turbina Sintético a Base de Teflón SXL Thordon	16
Gráfico 15 Ficha Técnica del Sello SXL Thordon.....	17
Gráfico 16 Desmontaje de Sistema Óleo Hidráulico y Acceso al Sello Turbina	18
Gráfico 17 Cambio del Nuevo Sello a la Turbina.....	18
Gráfico 18 Cambio de Sello y Trabajo de Montaje	19
Gráfico 19 Curva de Desgaste Sello Turbina G2 Chimay	20
Gráfico 20 PI Monitoreo de Parámetros en PI Visión	21
Gráfico 21 Calibración del Sensor Sello Turbina.....	21
Gráfico 22 Comparación de Medición Eléctrica Versus Mecánica	22
Gráfico 23 Curva Desgaste Sello Turbina al 2027 Proyectado	23
Gráfico 24 Cronograma de Mejoras para Incrementar Producción	25
Gráfico 25 Vista de 04 naves Desarenadores Tulumayo	26
Gráfico 26 Plano Compuerta Desarenadora	27

Gráfico 27 Tapa Turbina, zona de Tubos Compensación	28
Gráfico 28 Tubos de Compensación en Turbina Francis	29
Gráfico 29 Sistema Agua Refrigeración y DDF	30
Gráfico 30 Filtro Automático DDF Chimay.....	31
Gráfico 31 Saturación de Filtro DDF	31
Gráfico 32 Vista de Fosa Alternador Junto a Intercambiador	33
Gráfico 33 Vista de Pozo Profundo y Circuito	34
Gráfico 34 Diseño de pozo profundo y acceso a bomba.....	35
Gráfico 35 Vista de Fosa Alternador y Retro Lavado Manual.....	36
Gráfico 36 Retro Lavado Manual SAR Chimay	37
Gráfico 37 Preparativos de Mejora - DIM Perú.....	38
Gráfico 38 Ejecución de mejoras, acceso a compuerta	38
Gráfico 39 Cambio de Soporte y Guías de Vástago.....	39
Gráfico 40 Instalación de Soportes y Guías	39
Gráfico 41 Naves desarenadores con sedimentos y sin	40
Gráfico 42 Mejora en Tubos con Revestimiento de Tungsteno y Espesor.....	41
Gráfico 43 Rediseño de Canastilla DDF.....	42
Gráfico 44 Mejora en Agujero de Canastilla	42
Gráfico 45 Diseño de Nuevo Intercambiador de Calor	43
Gráfico 46 Mejora en Agujero de Intercambiador de Calor	44
Gráfico 47 Preparativos Adaptación de Nuevo Intercambiador.....	44
Gráfico 48 Diseño Bomba Profunda y Circuito	45
Gráfico 49 Preparativos Acceso a Bomba al Pozo Profundo	46
Gráfico 50 Bomba del Pozo Profundo	46
Gráfico 51 Modelo de Retro Lavado – Bernard Controls.....	47
Gráfico 52 Modelo Válvulas Automáticas Para Retro Lavado	48
Gráfico 53 Mando a Distancia de la Compuerta de Tulumayo	49

Gráfico 54 Verificación Local de la Compuerta de Tulumayo.....	49
Gráfico 55 Verificación Local en Tapa Turbina.....	50
Gráfico 56 Registro en Planilla Tubos de Compensación	50
Gráfico 57 Verificación de Funcionamiento DDF.....	51
Gráfico 58 Monitoreo de Caudales Desde SCADA	52
Gráfico 59 Sala de Mando y Monitoreo de Caudales	52
Gráfico 60 Verificación en Sitio Medidor de Caudal	53
Gráfico 61 Medidor de Caudal del Pozo.....	53
Gráfico 62 Monitoreo de Retro Lavado Desde SCADA.....	54
Gráfico 63 Seguimiento de Caudales Desde PI Visión	54
Gráfico 64 Actuación desde Sala de Control Chimay.....	55

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Planilla de Datos Parámetros Sello Turbina.....	20
Tabla 2 Desgaste sello turbina al 2027 - Proyectado.....	23
Tabla 3 Costos de Inversión de Mejoras.....	56
Tabla 4 Producción Diaria Chimay.....	56
Tabla 5 Promedio Anual de Incremento de Producción.....	57
Tabla 6 Datos del VAN y TIR Proyectados en el Tiempo	58
Tabla 7 Curva Gráfica del Análisis VAN y TIR	59

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Características Técnicas Proyecto Chimay	64
---	----

CAPÍTULO I

1.1. Antecedentes de la empresa o entidad

En el año 2000 entra en operación las centrales hidroeléctricas de Chimay y la central hidroeléctrica de Yanango, conformándose la sociedad CHINANGO S.A.C., formando parte a su vez, del sistema interconectado nacional y realizando sus operaciones conforme a lo establecido en la ley de concesiones eléctricas y de acuerdo con lo indicado por el COES-SINAC.

Además, cumple las normas aplicables a las actividades del sector eléctrico establecidas por el Ministerio de Energía y Minas (MEM) y supervisadas por Osinergmin. (Chinango, 2021)

1.2. Perfil de la empresa o entidad

Chinango, es una empresa privada de generación y comercialización de energía eléctrica, perteneciente a la compañía italiana de energías renovables ENEL Generación Perú.

Razón Social: CHINANGO S.A.C.

Dirección: Calle Cesar López Rojas 201 Urb. Maranga 7ma etapa – San Miguel - Lima

Sector al rubro nacional: Ministerio de Energía y Minas

Gráfico 1

Logo de la Empresa Chinango S.A.C.



Fuente: (Chinango, 2021)

1.3. Actividades de la empresa o entidad

1.3.1. Misión

Promover proyectos que permitan obtener energía eléctrica, que se desarrollen sin dañar el medio ambiente y que contribuyan al desarrollo social y económico en su entorno y por ende en nuestro país. Open Power, abrir la energía a las nuevas tecnologías y formas de gestionar la energía para el consumidor. (Chinango, 2021)

1.3.2. Visión

Promotores de proyectos energéticos utilizando las mejores tecnologías existentes, que permitan el desarrollo social y económico del país y del medio ambiente. Open Power para hacer frente a algunos de los mayores desafíos del mundo. (Chinango, 2021)

1.3.3. Objetivos

- ✓ Generar y comercializar la energía eléctrica.
- ✓ Ser parte del desarrollo económico del país.
- ✓ Seguir los lineamientos de la Ley de Concesiones Eléctricas.

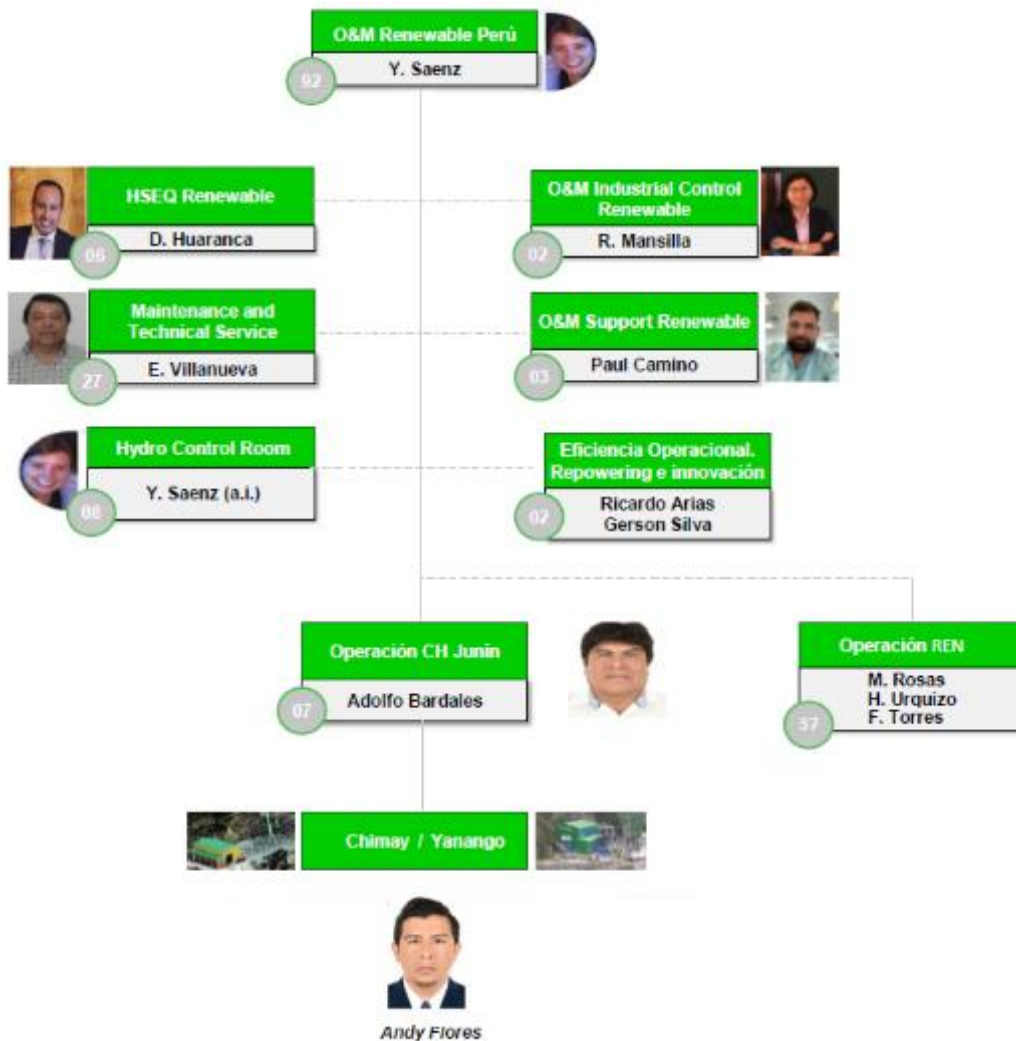
1.4. Organización actual de la empresa

Enel Generación Perú, es el principal accionista el cual tiene el 80% de las acciones de CHINANGO S.A.C., ambas empresas comparten la misma jefatura para la administración y operación de la Central Chimay.

1.4.1. Organigrama de la empresa

Actualmente me desempeño en el área O&M Renewable Perú (Operation and Maintenance), tengo el cargo de operador de centrales hidroeléctricas, destacado a la sede Junín.

Gráfico 2
Renewable Energies Organization Country Perú



Fuente: (Chinango, 2021)

1.5. Descripción del entorno de la empresa

El proyecto Chimay considera las zonas de Toma Tulumayo y casa de máquinas Chimay, y su entorno contempla comunidades pequeñas, empresas mineras, empresas hidroeléctricas, empresas de líneas de transmisión, zonas frutíferas, zonas agrícolas, exportadores de café y población rural en general.

Gráfico 3
Vista Toma Tulumayo



Fuente: (Flores Manuelo, 2020)

Gráfico 4
Vista Central Chimay



Fuente: (Flores Manuelo, 2020)

1.5.1. Análisis del entorno general de la entidad

Factores Económicos

Actualmente, la empresa apoya proyectos de mejora que maximicen la producción de energía de Central Chimay, estas ideas de innovación son ejecutados con costos de inversión.

Factores Sociales

La operación de Central Chimay cumple con realizar maniobras de descarga de caudales según los procedimientos y lineamientos de la empresa, en temporada de lluvia se presenta situaciones de huaico hacia la zona de embalse Tulumayo, teniendo que descargar de manera lenta y gradual para minimizar los impactos agua abajo. Ante estos eventos Chinango esta expuestos a diversos reclamos de las autoridades locales, gubernamentales y población en general.

Gráfico 5

Autoridades de provincia Chanchamayo



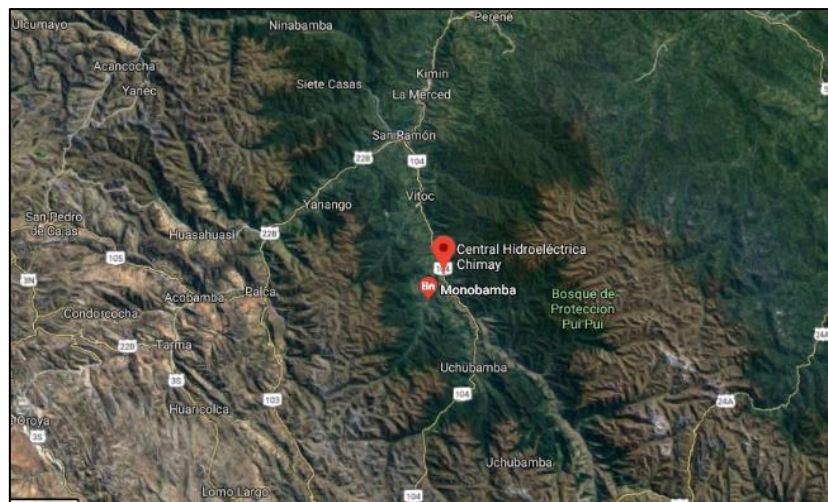
Fuente: (Selvática, 2020)

Factores Geográficos

La Central Chimay, pertenece a la empresa Chinango S.A.C., y es considerada como una central de regulación y potencia efectiva de 152.342 MW. Su rendimiento es de 1.6890 MW/m³/s.- Ésta se encuentra ubicada en la localidad Tingo, distrito de Monobamba, provincia de Jauja, departamento de Junín. La casa de máquinas se encuentra en el Km. 35 del valle Chimay desde San Ramón, a una altura de 1,110 msnm.; y la Presa Tulumayo como la cámara de carga, se encuentran sobre la central a 10 km de distancia por el valle Chimay, a una altura de 1,321 msnm.

Gráfico 6

Ubicación de Central Chimay



Fuente: (Google Maps, 2020)

1.5.2. Análisis estratégico FODA

Fortalezas

- ✓ Certificaciones ISO garantiza buen proceso de generación.
- ✓ Las áreas O&M y ST evalúan técnicamente beneficio a 3.0 g/L.
- ✓ Trabajo en equipo en propuestas de innovación.

Oportunidades

- ✓ Mayores ganancias al incrementar disponibilidad de planta.

- ✓ Beneficio de costo de oportunidad por cada MW/h y otras ganancias.
- ✓ El gobierno apoya proyectos de tecnologías renovables.

Debilidades

- ✓ Pocos proyectos con nueva “tecnología de material”.
- ✓ Presupuesto limitado para ideas innovadoras en general.
- ✓ Sensibilización a la población por deforestación es insuficiente.

Amenazas

- ✓ Variaciones grandes de caudal con calidad de agua adversa.
- ✓ TV local mal informan a la población las operaciones de caudal al río por CH Chimay.
- ✓ Deforestación por pobladores, ocasionan debilitamiento de taludes y huaicos.

CAPÍTULO II

1.6. Realidad problemática

La producción de energía en las centrales hidroeléctricas depende de la calidad de agua para no dañar la turbina y evitar colapso de los sistemas de refrigeración.

1.7. Descripción de la realidad problemática

Durante la temporada de lluvia se incrementa los caudales en el río, siendo frecuente la mala calidad de agua (huaico), ocasionando que se interrumpa el proceso de generación de energía eléctrica, por no cumplir el plan de calidad del proceso de generación declarado por Central Hidroeléctrica Chimay, concentración de sólidos máximo de 2.0 g/L.

Gráfico 7

Huaico en Toma Tulumayo (Palizada)



Fuente propia: (Flores Manuelo, 2020)

Gráfico 8*Huaico en Toma Tulumayo (Sedimentos)*

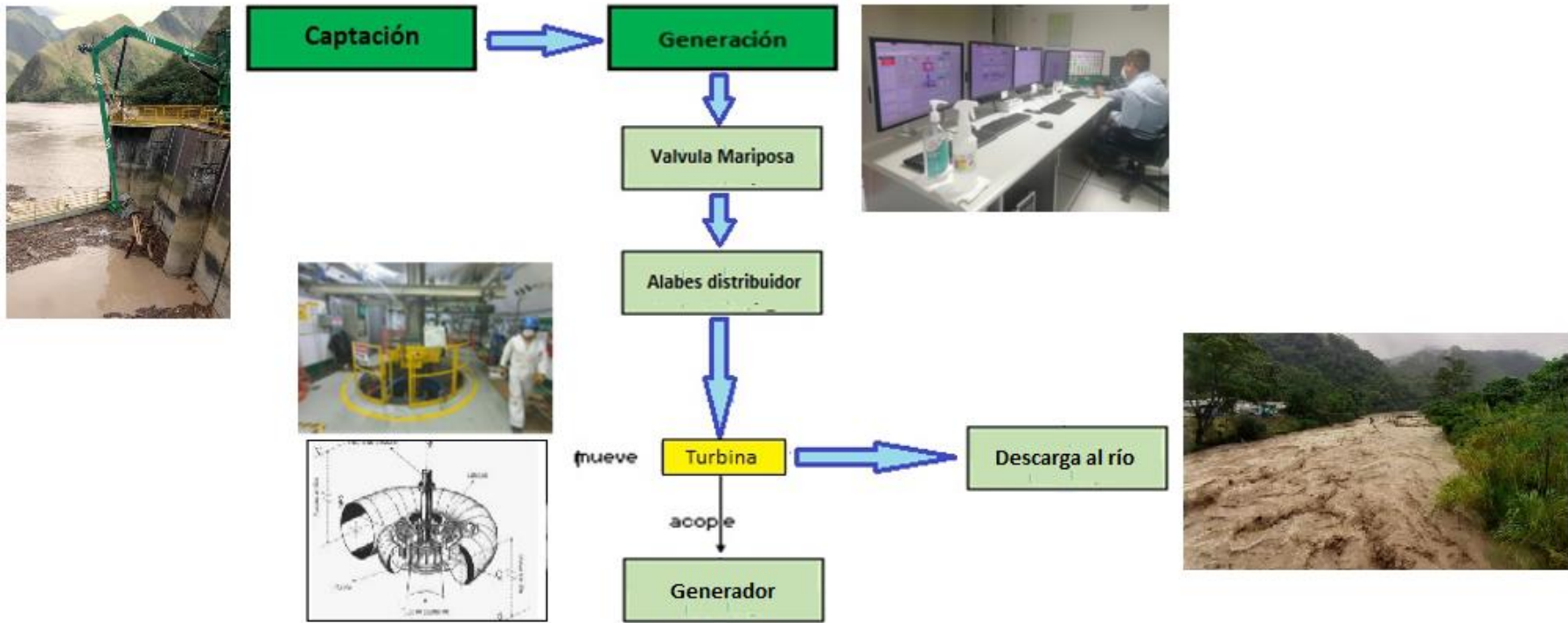
Fuente propia: (Flores Manuelo, 2020)

Ante situaciones de huaico, el material de carbón del sello turbina tiene un desgaste excesivo por abrasión del agua, y sucede cuando el agua de refrigeración al sello es turbia, igual o mayor a los 2.0 g/L. Eso quiere decir, que el agua con alta concentración de sólidos disminuye la vida útil del sello turbina, teniendo que cambiarse cada 02 años.

El otro gran inconveniente ante situaciones de huaicos, los diversos sistemas de refrigeración comienzan a colapsar, los filtros DDF y los intercambiadores de calor aceite/agua se saturan de sedimentos y palizada menor (algas) ocasionando que el proceso de generación de energía eléctrica se detenga con frecuencia de 03 veces por mes en temporada de lluvia, entre diciembre y abril.

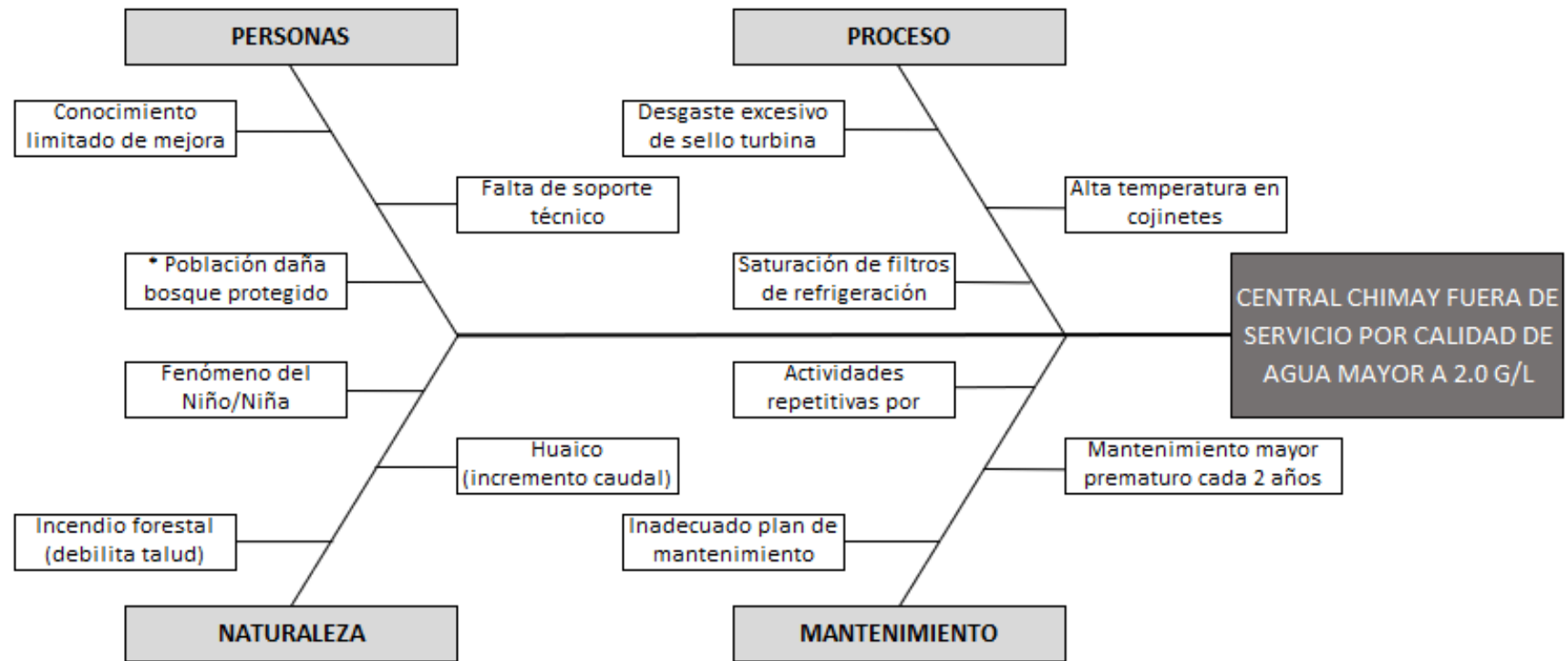
Central Chimay es tele comandado desde Lima o San Ramón, siendo importante mejoras en los sistemas expuestos a huaico, requiriendo el refuerzo de tuberías que se perforan e inundan la tapa turbina, bombas que no proporcionen el volumen de agua para refrigeración, y la automatización de maniobras frecuentes que pongan en riesgo la continuidad del proceso de generación.

Gráfico 9
Central Chimay Fuera de Servicio por Huaico



Fuente propia: (Flores Manuelo, 2020)

Gráfico 10
Diagrama de Ishikawa Para la Calidad del Agua



Fuente propia: (Flores Manuelo, 2020)

1.8. Análisis del problema

Con la aplicación de una nueva tecnología de material en sello turbina y otras mejoras asociadas al sistema de agua refrigeración: ¿Es factible incrementar la producción de la central hidroeléctrica Chimay?

Gráfico 11

Salida de producción de energía – SE Chimay



Fuente propia: (Flores Manuelo, 2020)

1.9. Formulación del problema

Con la aplicación de una nueva tecnología de material en sello turbina y otras mejoras asociadas al sistema de agua refrigeración: Es factible incrementar la producción de la central hidroeléctrica Chimay.

1.10. Objetivos del proyecto

1.10.1. Objetivo general del proyecto

Incrementar producción de CH Chimay.

1.10.2. Objetivos específicos del proyecto

- ✓ Ampliar la frecuencia de mantenimiento por cambio de sello turbina.
- ✓ Establecer parámetros operativos asociado al proyecto de mejora.
- ✓ Continuar generando con concentración de sólidos hasta 3.0 g/L.

Gráfico 12

Equipo de trabajo Chinango 2020



Fuente propia: (Flores Manuelo, 2020)

CAPÍTULO III

3.1. Desarrollo del proyecto

Se hace énfasis en el inicio de proyecto de mejora para incrementar la producción de CH Chimay, siendo necesario los antecedentes de la problemática y actividades previas que permita asegurar que el proyecto sea bueno y que los costos de inversiones se justifiquen en el tiempo.

En esta etapa inicial se tuvo que realizar una mejora relevante del proyecto, que consistía en hacer el cambio de sello turbina con nueva tecnología de material, que tenga propiedad de resistencia a la abrasión (agua con residuos sólidos no dañe excesivamente el material del sello turbina) para lograr los objetivos asociado al proyecto de mejora.

3.2. Cambio del sello de turbina en el grupo 2 central Chimay

3.2.1. Antecedentes

La calidad del sello turbina de material de carbón siempre ha tenido limitaciones de sensibilidad a la abrasión, requiere de agua muy limpia. El fabricante Andritz no ha realizado mejoras a dicho sistema, sigue utilizando carbón.

La vida útil del sello turbina en promedio ha sido cerca de 02 años, su excesivo desgaste requería de un mantenimiento mayor prematuro, que consistía en el desmontaje de la tapa turbina (retiro de eje vertical, crucetas de cojinetes, circuito oleo hidráulico, retiro de sensores y accesorios), cambio de sello turbina (segmentos de carbón) y montaje de la tapa turbina (montaje total); finalmente se realiza la prueba de giro a velocidad nominal.

Gráfico 13

Cambio del Sello de una Turbina Cada 2 Años



Fuente propia: (Flores Manuelo, 2020)

El 19 de marzo 2019, se realiza el cambio de sello turbina de carbón de fabricación nacional (Carbonwatt), después de 1.6 años (setiembre 2020) alcanzó su desgaste a 9.8 mm, siendo un riesgo crítico ya que el máximo disponible siempre ha sido de 10mm.

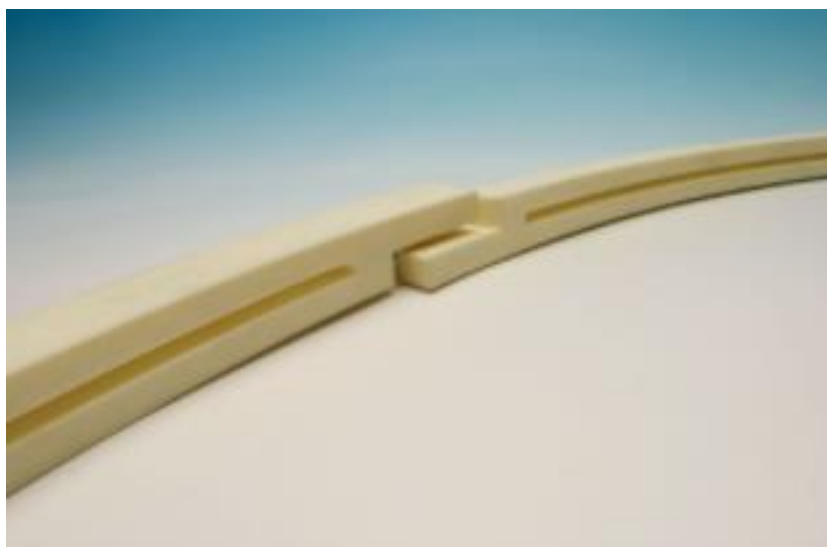
Se programa el cambio del sello turbina del grupo 2, considerando mejoras para el incremento de vida útil a 6 años.

3.2.2. Planificación para la calidad

Aumento de vida útil del sello turbina será con nuevas tecnologías, el cambio de tecnología en el material del sello turbina de carbón a sintético base de teflón SXL Thordon, incrementaría la vida útil a 3 veces más, esperado a 6 años y sería cambiado en conjunto con el sello turbina.

Gráfico 14

Sello Turbina Sintético a Base de Teflón SXL Thordon



Fuente propia: (Flores Manuelo, 2020)

Gráfico 15

Ficha Técnica del Sello SXL Thordon

THORDON


THORDON BEARINGS INC.

REPORT NUMBER:
00000025483225 Mainway, Burlington, Ontario L7M 1A6 Canada
Tel: + 1.905.335.1440 Fax: +1.905.335.4033
www.ThordonBearings.com

CUSTOMER DIMENSIONAL INSPECTION REPORT						
Customer Name:	SOS Servicios Y Suministros S.A.C.		Sales Order Number: 152915			
Part Name:	SXL AXIAL SEAL SEGMENT TG-31306		P.O. Number: 003-2019			
Part Number:	F100530006		Drawing Number: TG-31306 REV. A Rev:			
FEATURE	NOMINAL (mm)	TOLERANCE (mm)	ACTUAL DIMENSIONS (mm)			
			SO152915-1 006	SO152915-4 006	SO152915-8 006	SO152915-12 006
Arc Length	355.28	+0.00/-1	354.50	355.00	355.00	355.00
Wall Thickness	59.40	+0.3/-0.3	59.46	59.46	59.46	59.46
Length	30.00	+0.5/-0.5	30.00	30.00	30.00	30.00
Batch Number			053118A6	053118A6	053118A6	053118A6
			SO152915-16 006			
Arc Length	355.28	+0.00/-1	355.00			
Wall Thickness	59.40	+0.3/-0.3	59.36			
Length	30.00	+0.5/-0.5	30.02			
Batch Number			053118A6			

Remarks:

--

Inspected By:	Eric Baks		Agency Date Stamp:	
Inspection Date:	Wednesday, April 10, 2019		Outside Agency:	

ZERO POLLUTION | HIGH PERFORMANCE | BEARING SYSTEMS

A Thomson-Gordon Group Company

Page 1 of 1

Fuente propia: (Flores Manuelo, 2020)

3.2.3. Ejecución para la calidad

El 20 de Julio 2020, se realizó el cambio del sello turbina sintético con base de teflón, posterior al montaje y/o cambio del sello de turbina (nuevo sello) el indicador mecánico y el indicador electrónico se calibra su desgaste a 0.0 mm.

La ejecución del cambio de sello turbina se realizó en 5 días a doble turno, se priorizó los protocolos de bioseguridad COVID 19, el proyecto estuvo a cargo de empresa Confipetrol, ello incluye trabajos de mantenimiento y supervisión.

Gráfico 16

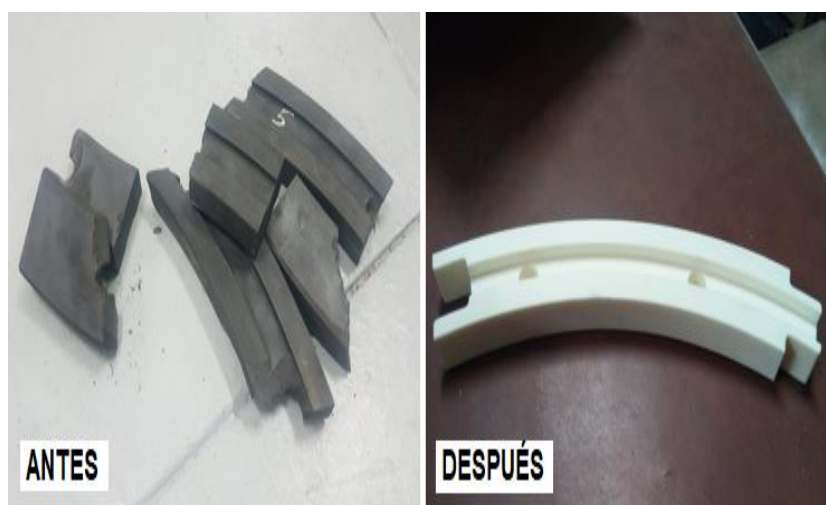
Desmontaje de Sistema Óleo Hidráulico y Acceso al Sello Turbina



Fuente propia: (Flores Manuelo, 2020)

Gráfico 17

Cambio del Nuevo Sello a la Turbina



Fuente propia: (Flores Manuelo, 2020)

Gráfico 18

Cambio de Sello y Trabajo de Montaje



Fuente propia: (Flores Manuelo, 2020)

3.2.4. Verificación para la calidad

Se realiza seguimiento continuo al desgaste del sello de la turbina del grupo 2, durante este tiempo el sello de turbina ha estado expuesto a diversos valores de concentración de sólidos cercanos a los 2.0 g/L.; e inclusive en diversas oportunidades, se tuvo situaciones de huaicos en la cual el proceso de generación se tuvo que sacar fuera de servicio.

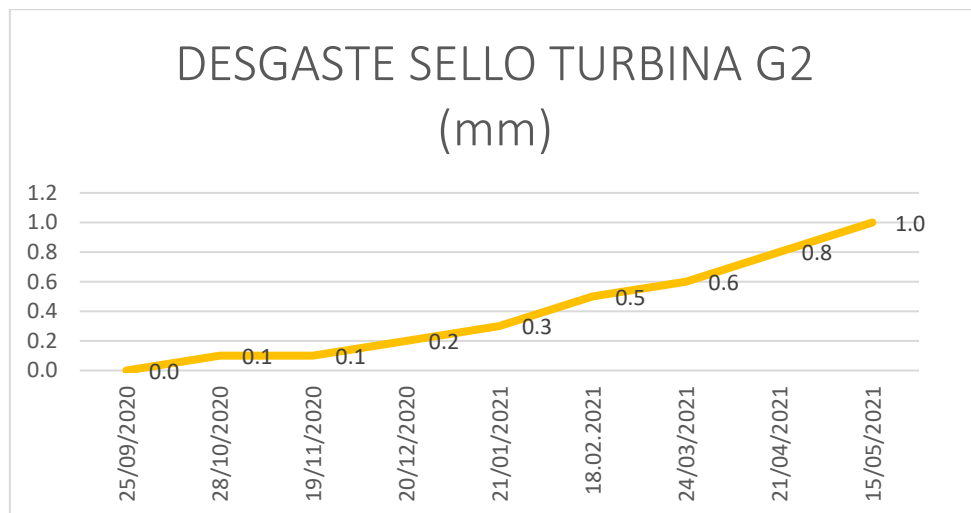
Se tiene registros de valores de los parámetros operativos, durante este tiempo, el cual se consolida la siguiente tabla:

Tabla 1
Planilla de Datos Parámetros Sello Turbina

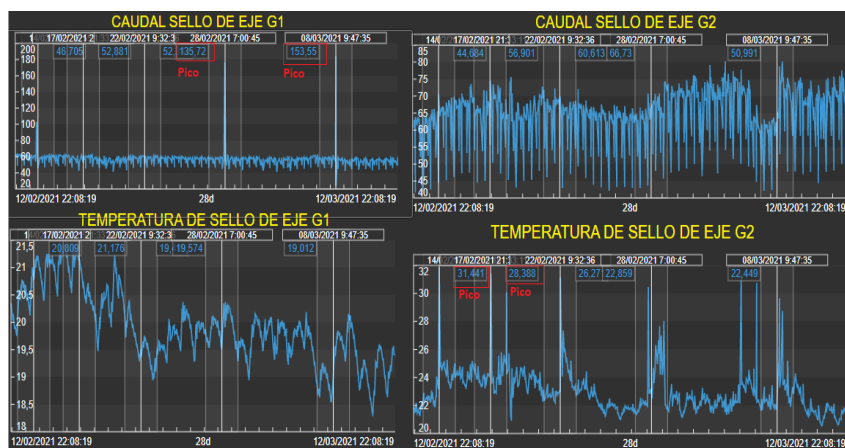
Ítem	Fecha	Caudal	Temperatura	Desgaste G2
		(L/min)	(°C)	(mm)
1	25/09/2020	60,6	25,8	0,0
2	28/10/2020	59,7	25,5	0,1
3	19/11/2020	59,4	25,1	0,1
4	20/12/2020	65,5	24,6	0,2
5	21/01/2021	65,9	24,0	0,3
6	18/02/2021	67,6	23,5	0,5
7	24/03/2021	65,5	23,4	0,6
8	21/04/2021	68,9	22,9	0,8
9	15/05/2021	67,5	23,6	1,0

Fuente: (Chinango, 2021)

Gráfico 19
Curva de Desgaste Sello Turbina G2 Chimay



Fuente: (Chinango, 2021)

Gráfico 20*PI Monitoreo de Parámetros en PI Visión*

Fuente: (Chinango, 2021)

3.2.5. Actuar para la calidad

Durante esta temporada de lluvia, se ha tenido incrementos de caudal en condiciones de huaico, donde la calidad de agua turbia cercano a los 2.0 g/L estaba expuesto al sello turbina del grupo 2, y se observaba que los parámetros operativos tenían incrementos de temperatura, por encima de los valores registrados, pero luego de revisar la ficha técnica del sello turbina de teflón estos se encontraban dentro del estándar.

Gráfico 21*Calibración del Sensor Sello Turbina*

Fuente propia: (Flores Manuelo, 2020)

Gráfico 22

Comparación de Medición Eléctrica Versus Mecánica



Fuente propia: (Flores Manuelo, 2020)

3.2.6. Evaluación de la mejora

El cambio de tecnología en el material del sello turbina sintético base de teflón SXL Thordon hasta el momento ha presentado buenos resultados que podrían lograr la expectativa de 6 años, ampliando la frecuencia de mantenimiento a 3 veces más, ahorrando en costo de al personal de mantenimiento y evitando costos por dejar de producir los 05 días que dura el mantenimiento por cambio de sello turbina.

Al concluir esta etapa inicial podemos decir que se logró determinar valores máximos del proyecto de mejora: caudal de refrigeración, temperatura y desgaste del sello turbina.

Se considera continuar con la siguiente etapa de mejora, que es realizar las otras mejoras que permita lograr el objetivo específico de ampliar la frecuencia de mantenimiento por cambio de sello turbina Chimay.

Tabla 2

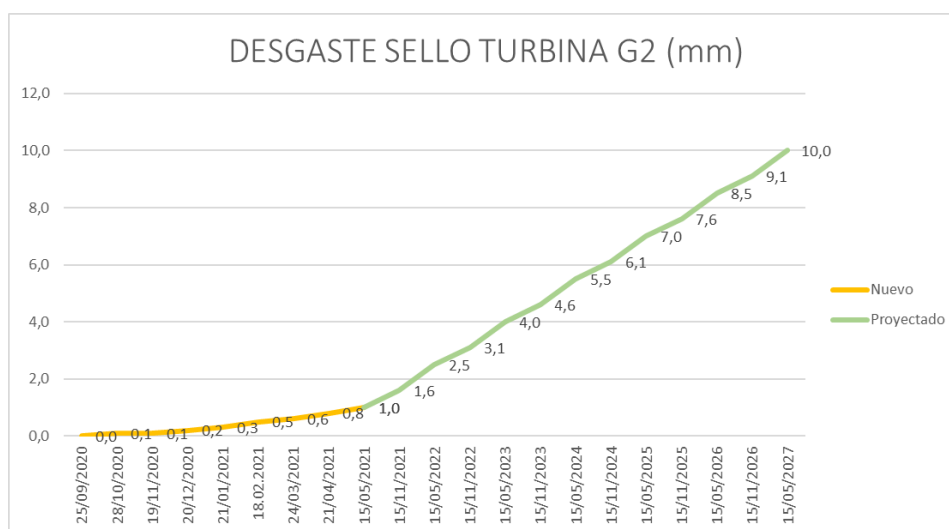
Desgaste sello turbina al 2027 - Proyectado

DESGASTE SELLO TURBINA G2	
Tiempo	Medida
25/09/2020	0,0
28/10/2020	0,1
19/11/2020	0,1
20/12/2020	0,2
21/01/2021	0,3
18.02.2021	0,5
24/03/2021	0,6
21/04/2021	0,8
15/05/2021	1,0
15/11/2021	1,6
15/05/2022	2,5
15/11/2022	3,1
15/05/2023	4,0
15/11/2023	4,6
15/05/2024	5,5
15/11/2024	6,1
15/05/2025	7,0
15/11/2025	7,6
15/05/2026	8,5
15/11/2026	9,1
15/05/2027	10,0

Fuente: (Chinango, 2021)

Gráfico 23

Curva Desgaste Sello Turbina al 2027 Proyectado

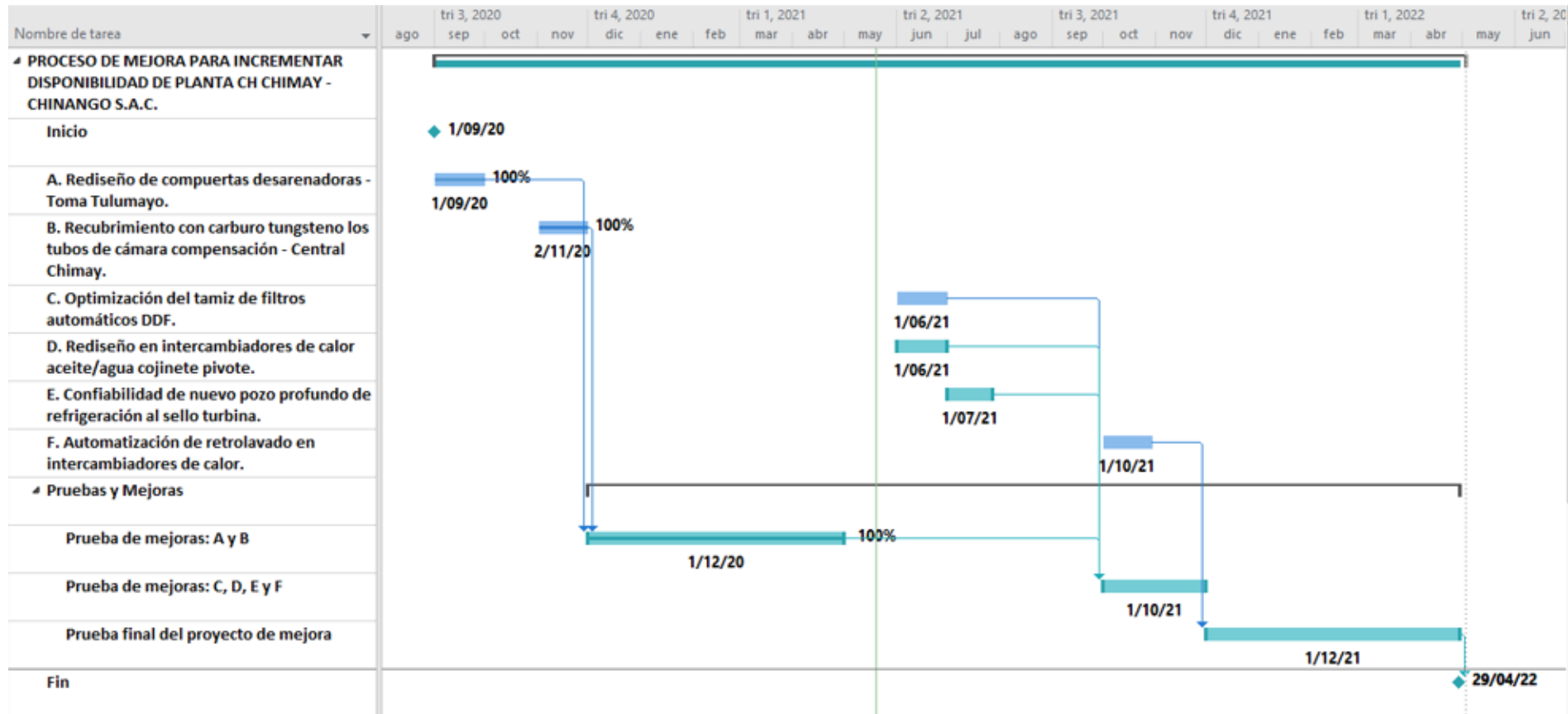


Fuente: (Chinango, 2021)

3.2.7. Cronograma de las mejoras

Es vital la planificación de mejoras de los sistemas asociados a la refrigeración realizar los preparativos que permita lograr el objetivo principal y los objetivos específicos. Ante ello, se tiene un cronograma de actividades de mejoras asociados a la refrigeración.

Gráfico 24
Cronograma de Mejoras para Incrementar Producción



Fuente propia: (Flores Manuelo, 2020)

3.2.8. Compuertas desarenadoras cámara de carga

A. Desarenadoras

La Toma Tulumayo tiene 04 naves desarenadoras por donde pasa el agua para el proceso de generación, cada nave tiene su propia compuerta desarenadora pudiendo evacuar (agua y sedimentos) hasta 12 m³/s por la galería de descarga, el volumen de cada nave es de 3800 m³ y una distancia de 75 m de longitud. Estas compuertas desarenadoras son de tipo lineal y tienen mando local y distancia. La función de las compuertas desarenadoras es permitir la evacuación de agua y sedimentos acumulados en las naves, mejorando la calidad de agua con menos residuos sólidos.

Gráfico 25

Vista de 04 naves Desarenadores Tulumayo

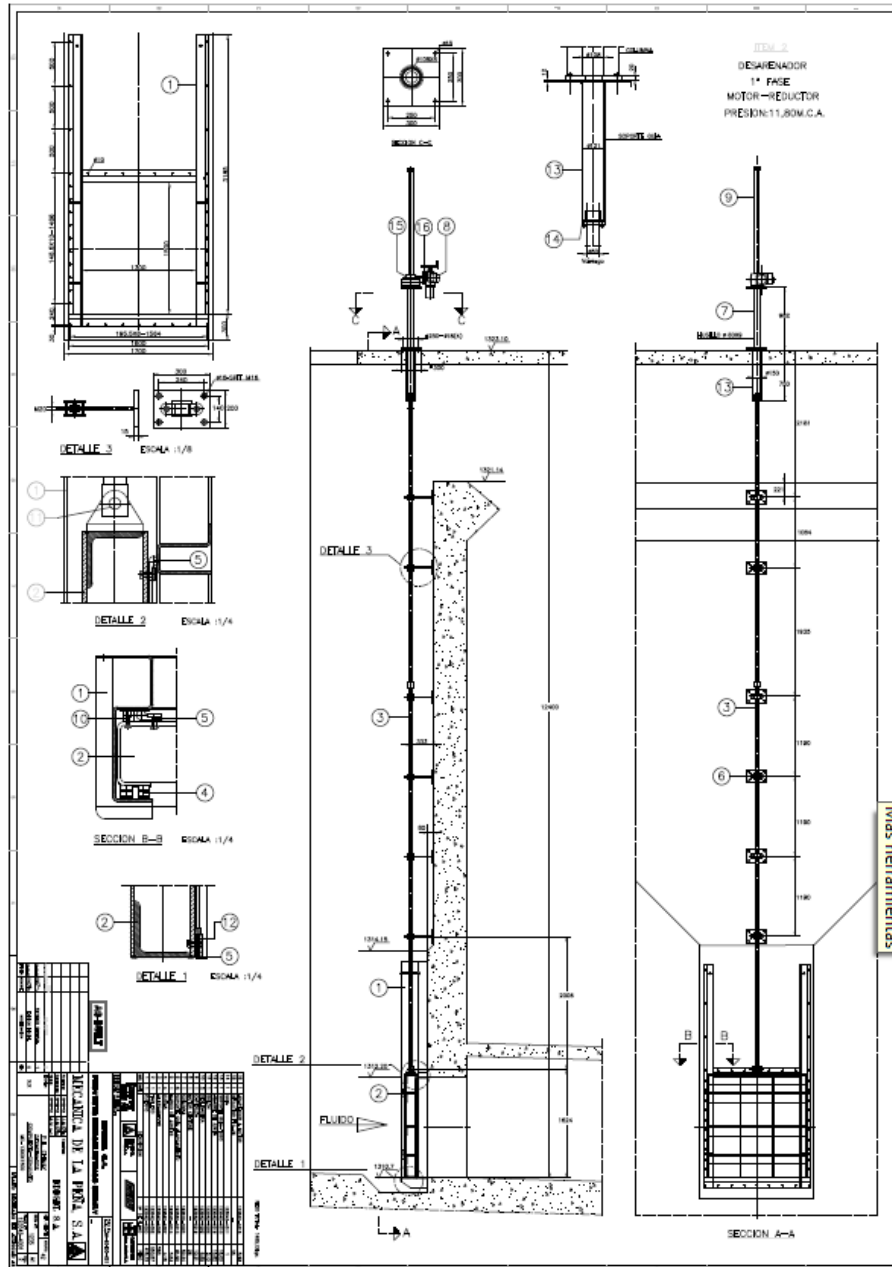


Fuente propia: (Flores Manuelo, 2020)

En temporada de lluvia (diciembre a abril) se tiene caudales elevados, normalmente con sedimentos, estos residuos sólidos se acumulan en parte inferior de las naves de manera constante y en cantidades que es necesario la realización de maniobras de apertura y cierre de compuertas desarenadoras. Sin embargo, los soportes guías de baquelita hacen dificultoso el desplazamiento de los vástagos de compuertas, además los soportes guías son anclados con espárragos simples, ocasionando que se doblen por sobreesfuerzo, y las

compuertas queden inoperativas y/o con algunas limitaciones al maniobrar en modo local y a distancia.

Gráfico 26
Plano Compuerta Desarenadora



Fuente: (Chinango, 2021)

B. Tubos de la cámara de compensación

Antecedentes: Las turbinas Francis de eje vertical de Central Chimay opera a una velocidad de giro de 400 rpm permanente y con un máximo de caudal turbinado de 40 m³/s cuando genera 75 MW el grupo 2, la

turbina tiene un sistema de compensación que consiste en 04 tuberías que aplican presión de agua sobre la turbina (hacia abajo) para compensar la presión de giro del eje (hacia arriba), tomando el agua desde el difusor (caudal turbinado). La función de sistema de compensación es inyectar presión de agua para mantener en equilibrio la presión axial del giro de la turbina.

En temporada de lluvia (diciembre a abril) se tiene caudales elevados, normalmente con residuos sólidos (sedimentos), esta mala calidad de agua (turbia) raspa como lija las superficies internas de las tuberías de compensación provocando un mayor desgaste hasta la perforación de tubería, ocasionando la inundación de la tapa turbina, teniendo que trasladarse el operador de turno desde, el puesto tele comando de San Ramón hacia la Central Chimay para realizar las maniobras.

Planificación: Dentro de la planificación se ha considerado mejoras en las 04 tuberías de compensación, aumentando el grosor del material de tubería, además tendrá un tratamiento con revestimiento (capa) de carburo de tungsteno en tuberías, codos y acoples, obteniendo propiedades resistentes a la abrasión, es decir tuberías más resistentes al agua con sedimentos, para permitir una mayor capacidad de manejo de concentración de sólidos igual o mayor a 3.0 g/L.

Gráfico 27

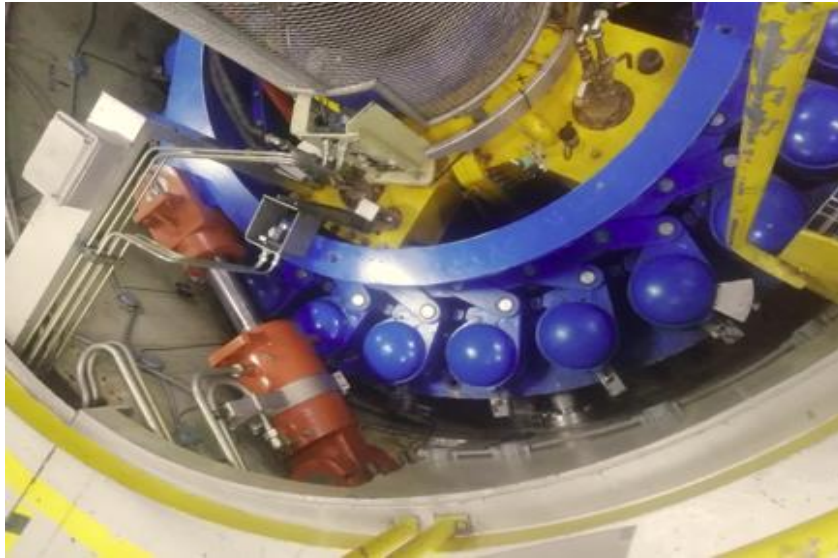
Tapa Turbina, zona de Tubos Compensación



Fuente propia: (Flores Manuelo, 2020)

Gráfico 28

Tubos de Compensación en Turbina Francis



Fuente propia: (Flores Manuelo, 2020)

C. Sistema del tamiz de los filtros automáticos DDF

Antecedente: El sistema de agua de refrigeración (SAR) tiene 01 bomba principal y 01 bomba de respaldo, cada uno tiene su propio filtro automático DDF, y dentro del filtro tiene un tamiz con agujeros 7 mm de diámetro, este sistema es de circuito abierto, es decir que agua lo extrae del canal de descarga (agua turbinada), y que a su vez está conectado al río. La función del filtro DDF es mantener los caudales, consiguiendo la captura de residuos sólidos y evacuación automáticamente por válvula de purga.

En temporada de lluvia (diciembre a abril) los incrementos de caudales son frecuentes y los huacos también, este último se presentan en 02 eventos por mes en promedio, y cuando sucede los filtros automáticos DDF se saturan (obstrucción de filtros) debido a la presencia de palizada menor y sedimentos cercanos a los 2.0 g/L, ocasionando bajo caudal de refrigeración, alta temperatura en cojinetes y alta temperatura aire estator del generador, teniendo que trasladarse el operador de turno desde, el puesto tele comando de San Ramón hacia la Central Chimay para realizar las maniobras.

Planificación: Dentro de la planificación se ha considerado mejoras en el tamiz de filtro automático DDF, aumentando a 16 mm de diámetro para permitir una mayor capacidad de manejo de concentración de sólidos igual o mayor a 3.0 g/L, las actividades de mejoras asociados a la refrigeración según el cronograma está planificado para junio 2021.

Gráfico 29

Sistema Agua Refrigeración y DDF



Fuente propia: (Flores Manuelo, 2020)

Gráfico 30
Filtro Automático DDF Chimay



Fuente propia: (Flores Manuelo, 2020)

Gráfico 31
Saturación de Filtro DDF



Fuente propia: (Flores Manuelo, 2020)

D. Intercambiadores de calor aceite/agua del cojinete pivote

Antecedentes: El sistema de agua refrigeración (SAR) tiene 01 intercambiador principal y 01 intercambiador de respaldo, ambos de 280 mm de diámetro y altura 2000 mm, dentro de cada intercambiador se tiene flujo de aceite y serpentines de conducción de agua (ases de tubos) de 8 mm de diámetro, sin mezclarse, pero en contacto ambos líquidos transfieren la temperatura fría del agua desde tubos metálicos hacia el aceite que fluye en ese momento. La función del intercambiador de calor es mantener estable la temperatura de aceite cojinete pivote del generador.

En temporada de lluvia (diciembre a abril) los incrementos de caudales son frecuentes y los huaicos también, este último se presentan en 02 eventos por mes en promedio, y cuando sucede los intercambiadores de calor se saturan debido a la presencia de palizada menor y sedimentos cercanos a los 2.0 g/L, ocasionando bajo caudal de refrigeración, alta temperatura en cojinetes y alta temperatura aire estator del generador, teniendo que trasladarse el operador de turno desde, el puesto de tele comando de San Ramón hacia la Central Chimay para realizar las maniobras.

Planificación: Dentro de la planificación se ha considerado mejoras en el serpentín del intercambiador de calor, aumentando a 14 mm de diámetro de los ases de tubos metálicos del serpentín, además el nuevo intercambiador tendrá mayor volumen de aceite; para permitir una mayor capacidad de manejo de concentración de sólidos igual o mayor a 3.0 g/L.

Gráfico 32

Vista de Fosa Alternador Junto a Intercambiador



Fuente propia: (Flores Manuelo, 2020)

E. Bomba en pozo profundo de refrigeración de sello

Antecedentes: El sistema de agua de servicios (SAS) en temporada de lluvia tiene operativo la “bomba de pozo profundo” que succiona agua de filtraciones de una profundidad de 25 m y por tuberías se conecta al tanque elevado a una altura de 200 m, este tanque tiene una capacidad de 150 m³, desde allí alimenta al agua potable de la Central y principalmente al sello turbina de los grupos.

La potencia de la bomba es de 17.5 HP y su capacidad de bombeo es de 461.70 L/min, ocasionalmente no es suficiente debido al alto consumo de agua en la Central, presentándose alarma de bajo nivel de tanque elevado, ocasionando que tenga que arrancar las “bombas de agua de servicios” (de respaldo) que succiona agua desde la descarga de la Central (agua turbinada) que es agua sin ningún tipo de filtrado, normalmente turbia.

En temporada de estiaje (mayo a noviembre) los caudales llegan a valores mínimos debido a la poca presencia de lluvia, y la “bomba de pozo profundo” queda como respaldo, debido a la poca agua de filtraciones. Durante la transición se coordina entre las áreas O&M y se traslada el operador de turno desde, el puesto de tele comando de San Ramón hacia la Central Chimay para realizar las maniobras.

Planificación: Dentro de la planificación se ha considerado mejoras en la bomba del pozo profundo, cambiando por una bomba de 25 HP siendo de mayor potencia, se proyecta que durante toda la temporada de avenida estará refrigerando el sello turbina de los grupos, con agua de filtraciones totalmente limpia.

Gráfico 33

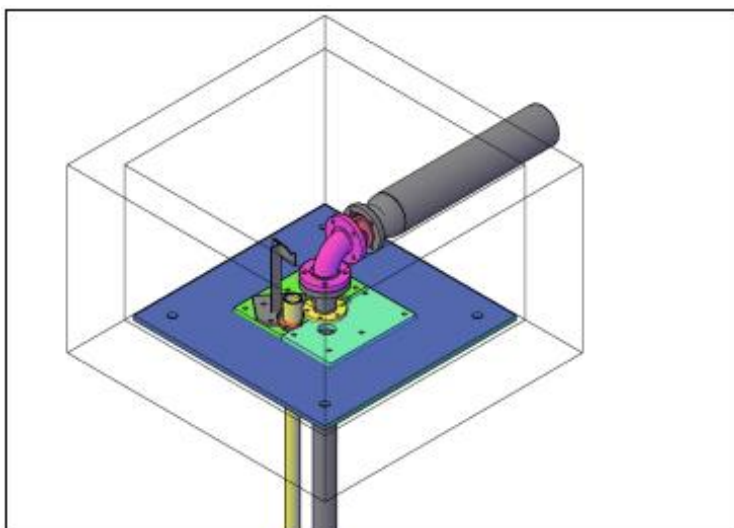
Vista de Pozo Profundo y Circuito



Fuente propia: (Flores Manuelo, 2020)

Gráfico 34

Diseño de pozo profundo y acceso a bomba



Fuente: (Chinango, 2021)

F. Sistema de retro lavado en intercambiadores de calor

Antecedentes: El sistema de agua refrigeración (SAR) tiene un sistema de retro lavado manual, y consiste en válvulas mecánicas ubicadas estratégicamente al ingreso y salida de paneles refrigerantes del estator generador y cojinetes grupo 2, para la realización de maniobras de retro lavado se cambia las posiciones de estas válvulas mecánicas para el cambio del sentido de flujo del agua, este contraflujo ocasiona la limpieza de residuos sólidos acumulados en algún extremo. La función del retro lavado es mantener los caudales, consiguiendo la estabilización de temperatura del aire estator del generador y la temperatura de aceite de cojinetes.

En temporada de lluvia (diciembre a abril) se tiene caudales elevados y diariamente se tiene saturación en paneles refrigerantes y cojinetes del generador, ocasionando bajo caudal de refrigeración, siendo urgente la realización de maniobras de retro lavado manual en válvulas mecánicas como mínimo un retro lavado por día, teniendo que trasladarse el operador de turno desde, el puesto de tele comando de San Ramón hacia la Central Chimay para realizar las maniobras.

Planificación: Dentro de la planificación se ha considerado mejoras en el tipo de válvulas de retro lavado, se cambiará por válvulas electromecánicas y se implementará un PLC para automatismo de mando remoto/local, esto permitirá hacer maniobras operativas cuando se tenga bajo caudal de refrigeración.

Gráfico 35

Vista de Fosa Alternador y Retro Lavado Manual



Fuente: (Chinango, 2021)

Gráfico 36*Retro Lavado Manual SAR Chimay*

Fuente: (Chinango, 2021)

3.3. Ejecución del proyecto

3.3.1. Rediseñar compuertas desarenadoras cámara de carga

Se ejecuta el rediseño en los soportes guías del vástago, se aumenta a 06 la cantidad de soportes con bloque de bocina de bronce para un mejor deslizamiento del vástago, el bronce es más resistente a la fricción, ampliando la vida útil de los vástagos al no doblarse durante su funcionamiento.

La mejora se ejecuta al instalar los 06 vástagos por compuerta, hay 04 compuertas desarenadoras, siendo en total 24 soportes.

Gráfico 37

Preparativos de Mejora - DIM Perú



Fuente propia: (Flores Manuelo, 2020)

Gráfico 38

Ejecución de mejoras, acceso a compuerta



Fuente propia: (Flores Manuelo, 2020)

Gráfico 39
Cambio de Soporte y Guías de Vástago



Fuente propia: (Flores Manuelo, 2020)

Gráfico 40
Instalación de Soportes y Guías



Fuente propia: (Flores Manuelo, 2020)

Gráfico 41

Naves desarenadores con sedimentos y sin



Fuente propia: (Flores Manuelo, 2020)

3.3.2. Los tubos de la cámara de compensación¹

Recubrir con carburo de tungsteno los tubos de la cámara de compensación

Se ejecuta el cambio de los 04 tubos del sistema de compensación, dichos tubos tienen recubrimiento interno de carburo de tungsteno en parte del tubo, codo y acoples, al ser resistente a la abrasión se logra minimizar su desgaste, extendiendo su vida útil.

La mejora se ejecuta al revestir con carburo de tungsteno los 04 tubos de la cámara de compensación del grupo 2, se incluye al grupo 1 siendo en total 08 tubos.

¹ En este caso se trata de recubrir con carburo de tungsteno los tubos de la cámara de compensación.

Gráfico 42

Mejora en Tubos con Revestimiento de Tungsteno y Espesor



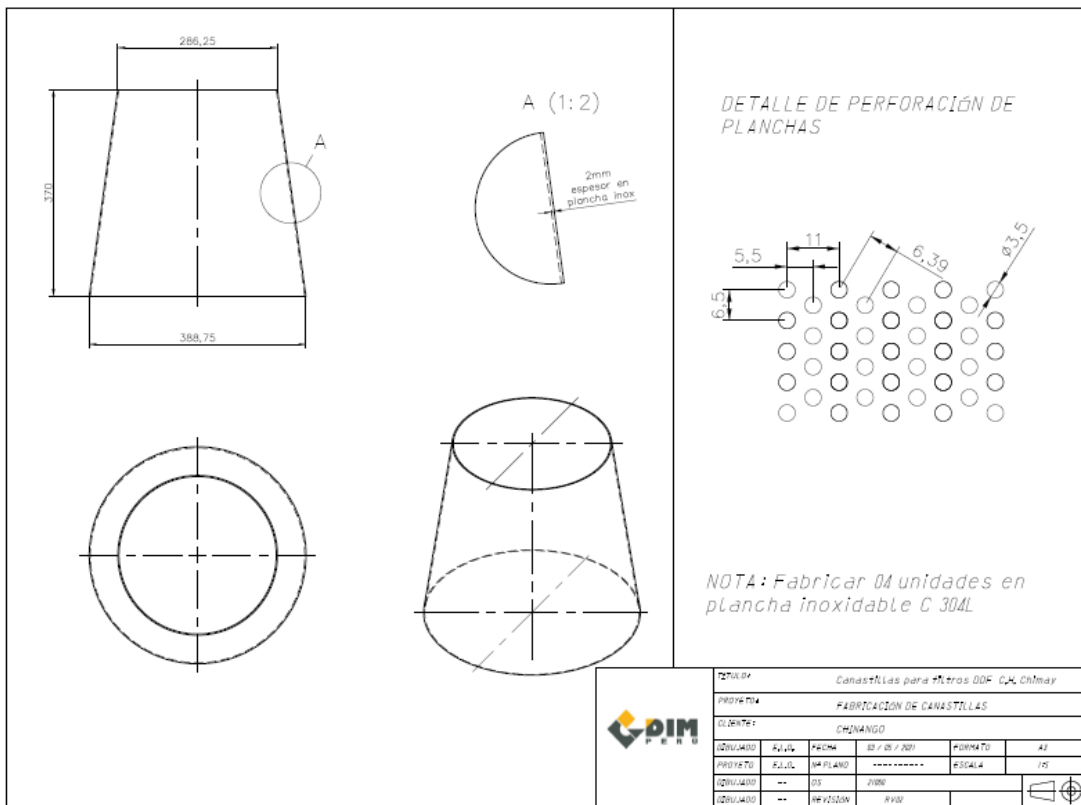
Fuente propia: (Flores Manuelo, 2020)

3.3.3. Optimizar el sistema del tamiz de los filtros automáticos DDF

Se ejecuta la modificación del tamiz (canastilla) con agujeros de 3.5 mm, es decir, que el área de paso del agua en el filtro automático DDF es más grande, para permitir una mayor capacidad de manejo de concentración de sólidos igual o mayor a 3.0 g/L, disminuyendo la capacidad de filtrado.

La mejora se ejecutará y probará en los 4 tamices de los filtros automáticos DDF en el mes de junio 2021, según lo considerado en la etapa de planificación.

Gráfico 43
Rediseño de Canastilla DDF



Fuente: (Chinango, 2021)

Gráfico 44
Mejora en Agujero de Canastilla



Fuente propia: (Flores Manuelo, 2020)

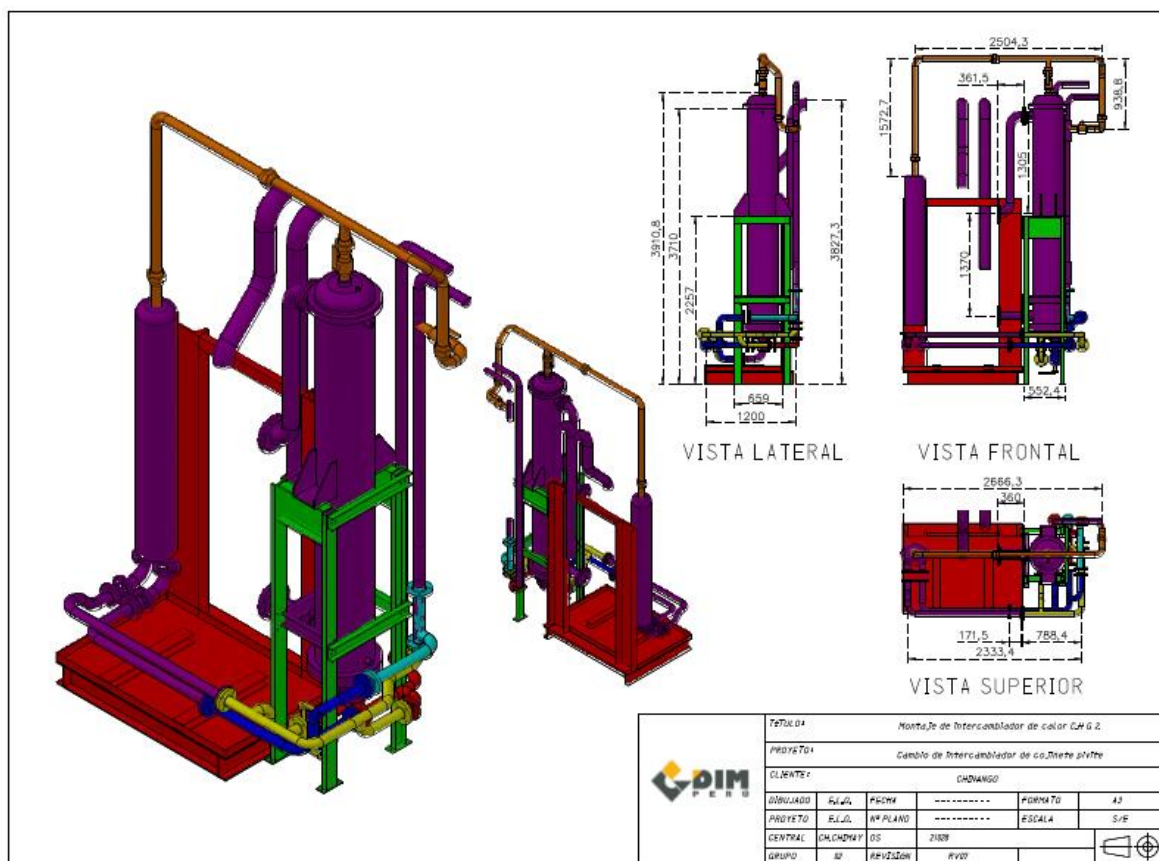
3.3.4. Rediseñar los intercambiadores de calor²

Se ejecuta el cambio de nuevos intercambiadores de calor aceite/agua del cojinete pivote, ambos de 410 mm de diámetro y altura 3300 mm, de mayor capacidad (más volumen) con rediseño en los haces de tubos ampliando su diámetro a 14 mm, y adaptando el nuevo tamaño del intercambiador con tubería existente del circuito de aceite para su correcto funcionamiento, para evitar las saturaciones de residuos sólidos (palizada menor) en los extremos de los haces del circuito de agua.

La mejora se ejecuta en los intercambiadores de calor A y B del grupo 2, según considerado en la etapa de planificación.

Gráfico 45

Diseño de Nuevo Intercambiador de Calor



Fuente: (Chinango, 2021)

² Se refiere al hecho de rediseñar los intercambiadores de calor aceite/agua del cojinete pivote.

Gráfico 46

Mejora en Agujero de Intercambiador de Calor



Fuente propia: (Flores Manuelo, 2020)

Gráfico 47

Preparativos Adaptación de Nuevo Intercambiador



Fuente propia: (Flores Manuelo, 2020)

3.3.5. Incrementar la confiabilidad³

Se ejecutará el cambio de nueva bomba de agua de mayor potencia, siendo ahora de 25 HP con una capacidad de bombeo de 250 L/min, al ser más

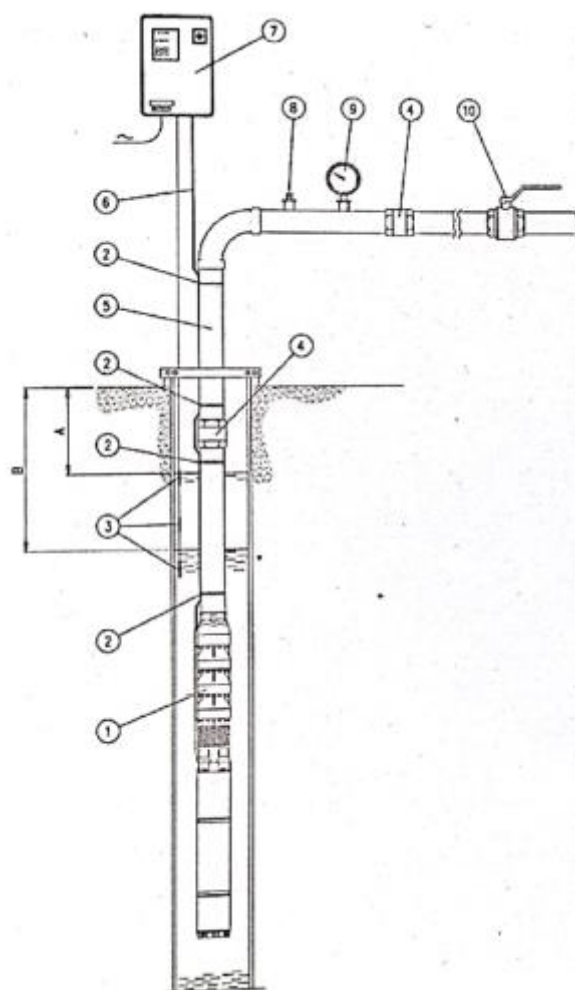
³ En este caso, se refiere a incrementar la confiabilidad del nuevo pozo de refrigeración de sello.

potente se asegura llegada del agua hasta el tanque elevado (aprox. 200 metros de altura) y con mayor volumen de agua.

La mejora se ejecuta a cambiar por nueva bomba, según lo considerado en la etapa de planificación, la antigua bomba quedaría como respaldo cuando falle la que está en servicio.

Gráfico 48

Diseño Bomba Profunda y Circuito



Fuente: (Chinango, 2021)

Gráfico 49

Preparativos Acceso a Bomba al Pozo Profundo



Fuente propia: (Flores Manuelo, 2020)

Gráfico 50

Bomba del Pozo Profundo



Fuente propia: (Flores Manuelo, 2020)

3.3.6. Automatizar retro lavado en intercambiadores de calor

Se ejecuta la automatización del retro lavado en sistema de agua refrigeración (SAR), se instala electroválvulas y panel de control con PLC teniendo control local y remoto desde el SCADA, el retro lavado (contraflujo de agua) se aplica en cojinete guía inferior, cojinete guía turbina, intercambiadores de calor de cojinete superior y paneles del alternador, para asegurar que los caudales de refrigeración estén dentro de los rangos operativos haciendo maniobras de retro lavado cuando se requiera.

La mejora se ejecuta en la automatización de electroválvulas del grupo 2, según considerado en la etapa de planificación.

Gráfico 51

Modelo de Retro Lavado – Bernard Controls



Fuente propia: (Flores Manuelo, 2020)

Gráfico 52

Modelo Válvulas Automáticas Para Retro Lavado



BERNARD CONTROLS

Fuente propia: (Flores Manuelo, 2020)

3.4. Antecedentes de la investigación

3.4.1. Verificación del proyecto

Compuertas desarenadoras cámara de carga: Se pone en funcionamiento las compuertas desarenadoras haciendo maniobras de apertura y cierre, se inspecciona en sitio el deslizamiento lineal de los vástagos y el estado de fijación de los soportes, se verifica que no hay ruido anormal, ni síntomas de falla; para verificar la efectividad de la mejora se hace el llenado de naves desarenadoras para inspeccionar la calidad si se hermetizarían (cerrado) de la compuerta y no se detectó agua en galería de descarga.

Gráfico 53*Mando a Distancia de la Compuerta de Tulumayo*

Fuente propia: (Flores Manuelo, 2020)

Gráfico 54*Verificación Local de la Compuerta de Tulumayo*

Fuente propia: (Flores Manuelo, 2020)

3.4.2. Tubos de la cámara de compensación

Se pone en funcionamiento los tubos con revestimiento de carburo de tungsteno de la cámara de compensación, realizando el giro de la turbina a velocidad nominal (giro en vacío a 400 rpm), se inspecciona en sitio y no se detecta fuga de agua, ni ruido anormal, ni síntomas de falla; para verificar la

efectividad de la mejora se inspeccionará su desgaste interno de cada 6 meses o cuando haya paradas por mantenimiento.

Gráfico 55

Verificación Local en Tapa Turbina



Fuente propia: (Flores Manuelo, 2020)

Gráfico 56

Registro en Planilla Tubos de Compensación



Fuente propia: (Flores Manuelo, 2020)

3.4.3. Sistema del tamiz de los filtros automáticos DDF

Se pone en funcionamiento los filtros automáticos DDF con los agujeros del tamiz modificado, se monitorea a tiempo real los caudales del sistema agua

de refrigeración (SAR) desde el SCADA, además se verifica los parámetros operativos asociados al SAR y se registra en el formato de control.

Gráfico 57

Verificación de Funcionamiento DDF



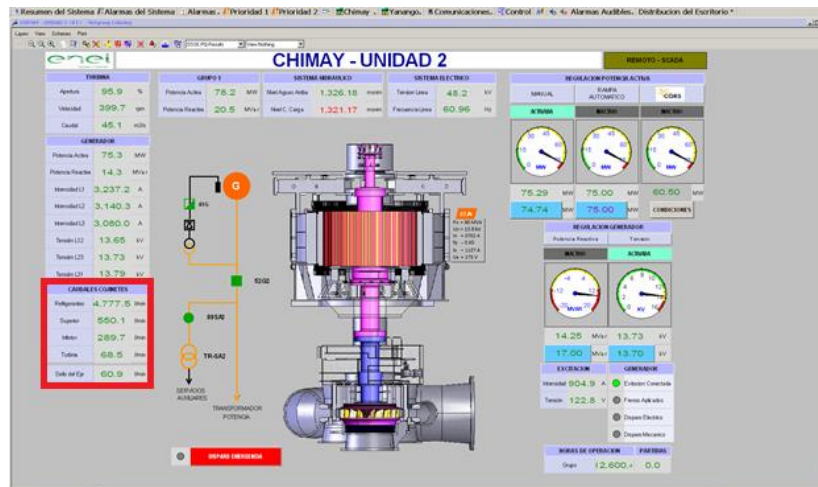
Fuente propia: (Flores Manuelo, 2020)

3.4.4. Intercambiadores de calor aceite agua⁴

Se pone en funcionamiento el intercambiador de calor A (principal) del cojinete guía superior, luego se pone en funcionamiento el intercambiador de calor B (de respaldo), se monitorea a tiempo real los caudales del sistema agua de refrigeración (SAR) desde el SCADA, además se verifica los parámetros operativos asociados al SAR y se registra en el formato de control.

⁴ En este caso, se indica sobre los intercambiadores de calor aceite/agua del cojinete guía superior.

Gráfico 58
Monitoreo de Caudales Desde SCADA



Fuente: (Chinango, 2021)

Gráfico 59
Sala de Mando y Monitoreo de Caudales



Fuente: (Chinango, 2021)

3.4.5. Bomba pozo profundo de refrigeración al sello

Se pone en funcionamiento nueva bomba de 25 HP del pozo profundo, realizando diversos arranques de la bomba se verifica que su capacidad de bombeo es de 600 L/min, se inspecciona en sitio y no se detecta fuga de agua, ni ruido anormal, ni síntomas de falla; para verificar la efectividad de la mejora se inspecciona el llenado de tanque elevado.

Gráfico 60

Verificación en Sitio Medidor de Caudal



Fuente propia: (Flores Manuelo, 2020)

Gráfico 61

Medidor de Caudal del Pozo

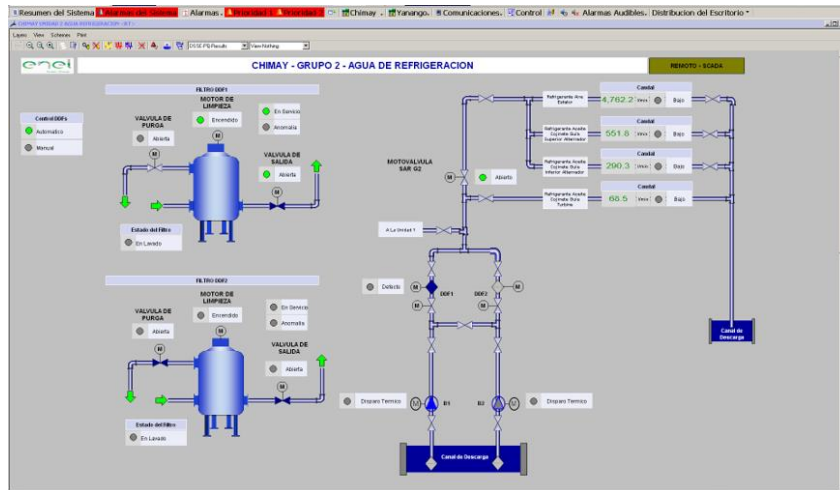


Fuente: (Chinango, 2021)

3.4.6. Sistemas de retro lavado en intercambiadores de calor

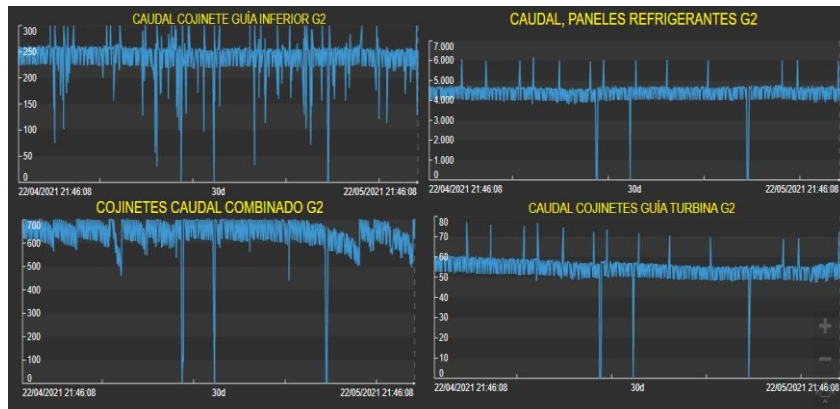
Se pone en funcionamiento el automatismo de las electroválvulas del retro lavado, configurado en 10 minutos, siendo el tiempo total de duración de retro lavado, se monitorea a tiempo real los caudales del sistema agua de refrigeración (SAR) desde el SCADA además se verifica los parámetros operativos asociados al SAR y se registra en el formato de control.

Gráfico 62
Monitoreo de Retro Lavado Desde SCADA



Fuente: (Chinango, 2021)

Gráfico 63
Seguimiento de Caudales Desde PI Visión



Fuente: (Chinango, 2021)

3.5. Actuación y cierre de proyecto

Se hace seguimiento a las diversas mejoras del proyecto para incrementar disponibilidad de planta Chimay, se revisa el estado actual de funcionamiento de compuertas desarenadoras, tubos de cámara compensación, filtros automáticos DDF, intercambiador de calor, pozo profundo y sistema de retro lavado automático, y hasta el momento tiene un buen performance cada mejora.

Se evalúa el funcionamiento en corto plazo y se tiene una importante observación al finalizar la temporada de estiaje en el sistema de pozo profundo, la bomba queda de respaldo debido a que el agua de filtraciones no es suficiente

(pocos días de lluvia) y las bombas del sistema de agua de servicio quedan en prioridad, siendo la nueva consigna operativa.

Al cierre el proyecto se analiza que cada mejora aportara optimización de mantenimiento (frecuencia), eficiencia de equipos (tiempo) y confiabilidad de los sistemas (respaldo), con ello se consigue que el grupo 2 este en servicio aportando energía eléctrica (MW/h) al sistema, al tener condiciones adversas de calidad de agua cuando se incremente los caudales.

Gráfico 64

Actuación desde Sala de Control Chimay



Fuente propia: (Flores Manuelo, 2020)

3.5.1. Evaluación económica del proyecto

En el transcurso del 2020 y 2021 se realizó diversas mejoras que permita incrementar la producción de energía eléctrica en Central Hidroeléctrica Chimay, en el siguiente cuadro se presenta los costos de inversión (CAPEX).

Tabla 3
Costos de Inversión de Mejoras

INVERSIÓN		
ITEM	MEJORAS PARA INCREMENTAR DISPONIBILIDAD DE PLANTA CHIMAY	MONTO (USD)
A.	Rediseñar compuertas desarenadores cámara de carga	100000,00
B.	Recubrir con carburo de tungsteno los tubos de la cámara de compensación	25000,00
C.	Optimizar el sistema del tamiz de los filtros automáticos DDF	15000,00
D.	Rediseñar los intercambiadores de calor aceite/agua del cojinete Pivote	65000,00
E.	Incrementar confiabilidad de nuevo pozo de refrigeración de sello	15000,00
F.	Automatizar los sistemas de retrolavados de intercambiadores de calor y otros	40000,00
TOTAL		260000,00

Fuente propia: (Flores Manuelo, 2020)

Como referencia, cabe indicar que en temporada de lluvias la central hidroeléctrica de Chimay está produciendo a máxima generación los 152 MW durante las 24 horas, obteniendo la siguiente información.

Tabla 4
Producción Diaria Chimay

PRODUCCIÓN DIARIA CHIMAY	
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
Potencia generada (MW)	152,00
Tiempo día completo (h)	24,00
Producción diaria (GWh)	3,65

Fuente propia: (Flores Manuelo, 2020)

Según el Anexo N° 3, se tiene la data completa de horas fuera de servicio de la central hidroeléctrica de Chimay, por huaico en Tulumayo, desde el año 2019 en adelante. En la siguiente tabla se expone los datos históricos desde el año 2010.

Tabla 5*Promedio Anual de Incremento de Producción*

INCREMENTO DE PRODUCCIÓN POR PASAR DE 2 A 3 G/L	
Año	GWh
2010	12,78
2011	7,56
2012	8,30
2013	12,90
2014	4,84
2015	9,06
2016	17,55
2017	5,80
2018	9,43
2019	22,41
Promedio	11,06
Factor	60%
Produccion	6,64

Fuente propia: (Flores Manuelo, 2020)

En el análisis VAN – TIR del proyecto de mejoras para incrementar la producción de CH Chimay, con una inversión de 260000 USD se tiene una TIR cerca del 40%.

Tabla 6
Datos del VAN y TIR Proyectados en el Tiempo

Incremento producción eficiencia	GWh		6,64	6,64	6,64	6,64	6,64	6,64	6,64	6,64	6,64	6,64
Costo marginal	USD		14,23	14,86	27,19	28,52	29,78	32,36	33,31	34,20	35,27	36,35
Flujo de Caja Económico		2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
	AÑO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos	USD	0,00	94.465	98.650	180.528	189.323	197.709	214.847	221.106	227.025	234.170	241.291
OyM (5500 USD)	USD		0,00	0,00	0,00	5.923	0,00	0,00	0,00	6.538	0,00	0,00
EBITDA	USD	-	94.465	98.650	180.528	183.400	197.709	214.847	221.106	220.487	234.170	241.291
Depreciación Tributaria (10%)	USD		26.000	26.000	26.000	26.000	26.000	26.000	26.000	26.000	26.000	26.000
Utilidad antes de impuestos	USD	0,00	68.465	72.650	154.528	157.400	171.709	188.847	195.106	194.487	208.170	215.291
Impuestos (33%)	USD		22.594	23.974	50.994	51.942	56.664	62.320	64.385	64.181	68.696	71.046
Inversiones	USD	260.000										
Flujo de Caja Económico		-260.000	71.872	74.675	129.534	131.458	141.045	152.528	156.721	156.306	165.474	170.245
VAN (USD)		494.409										
WACC		10,6%										
TIR		39,5%										

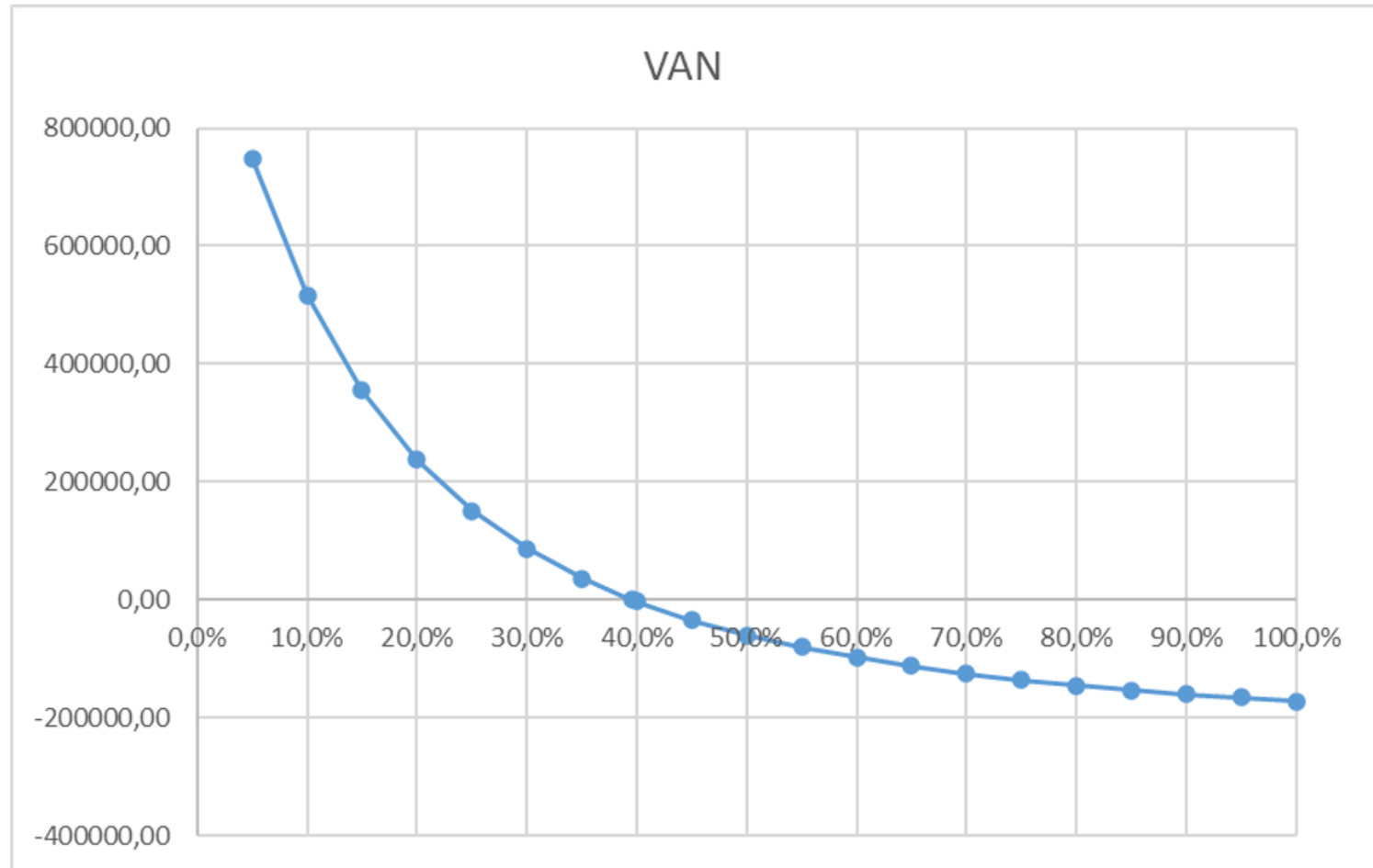
Fuente propia: (Flores Manuelo, 2020)

En el análisis VAN – TIR del proyecto de mejoras para incrementar la producción de la central hidroeléctrica de Chimay, con una inversión de 260,000.00 USD se tiene una TIR de 39.5 %, y es mayor a la tasa mínima de rentabilidad que exige la inversión. (VAN TIR, 2018)

Siendo el VAN positivo de 494.409 UDS quiere decir que la inversión va a producir ganancias superiores a la rentabilidad exigida.

Tabla 7
Curva Gráfica del Análisis VAN y TIR

TASA	VAN
5,0%	748914,72
10,0%	516991,88
15,0%	354494,96
20,0%	237528,17
25,0%	151238,16
30,0%	86137,73
35,0%	36012,97
39,5%	18,09
40,0%	-3301,85
45,0%	-34660,28
50,0%	-60056,50
55,0%	-80910,33
60,0%	-98250,26
65,0%	-112833,40
70,0%	-125225,46
75,0%	-135855,14
80,0%	-145051,49
85,0%	-153070,16
90,0%	-160112,06
95,0%	-166336,72
100,0%	-171872,07



Fuente propia: (Flores Manuelo, 2020)

3.6. Conclusiones

- ✓ El cambio de tecnología de material del sello turbina resistente a la abrasión permite ampliar la frecuencia de mantenimiento a cada 06 años.
- ✓ La mejora en compuerta desarenadora Tulumayo tuvo el costo de inversión más elevado. Sin embargo, garantiza una mejor calidad de agua en los sistemas de refrigeración de Central Chimay.
- ✓ Los sedimentos en suspensión durante la presencia de huaicos se decantan y quedan en la zona inferior para ser evacuado al río de forma lenta y gradual por las compuertas desarenadoras.
- ✓ La mejora ejecutada en tubos de cámaras de compensación ha tenido buenos resultados en pruebas de medición de espesores, asegurando que puede trabajar con 3.0 g/L.
- ✓ Las mejoras en los sistemas de refrigeración de central hidroeléctrica de Chimay como los filtros DDF e intercambiadores de calor, con avances al 50% y tiene buen diseño evaluado por área técnica, asegurando que puede trabajar con 3.0 g/L.
- ✓ La mejora con bomba de 25 HP en pozo profundo de Central Chimay asegurará un buen volumen de agua exclusivo para la refrigeración del sello turbina, con agua de mejor calidad.
- ✓ En próxima temporada de avenida, se realizará la operación de Central Chimay con 3.0 g/L, poniendo a prueba el proyecto de mejora en conjunto.

3.7. Recomendaciones

- ✓ Se tiene que hacer seguimiento del desgaste de sello turbina, calibrando con frecuencia la medición mecánica y medición

eléctrica, así como caudales de refrigeración y temperatura, dentro del estándar.

- ✓ En temporada de lluvia, es necesario alternar la apertura permanente de compuertas desarenadoras para asegurar la descarga de sedimentos, evitando que la acumulación de sedimentos bloquee la compuerta.
- ✓ Posterior a temporada de lluvia, será importante la medición de espesores en tubos del sistema de compensación, para verificar su resistencia.
- ✓ Se hará seguimiento a las mejoras que están en proceso de ejecución de los sistemas de refrigeración, se deben implementar en el transcurso de estos meses según lo panificado, y asegurar que Chimay opere con 3.0 g/L antes del inicio de temporada de lluvia.
- ✓ Se coordinará los preparativos con el área de soporte técnico, mantenimiento y operación, para producir energía con 3.0 g/L en los primeros eventos de huaicos.
- ✓ Es necesario realizar un plan de contingencia que permite actuar durante eventos de huaico, en caso de falla en equipos e instalaciones de Central Chimay.

CAPÍTULO IV

4.1. Referencias bibliográficas

Chinango. (2021). Empresa Chinango S.A.C. Medios electrónicos y otros documentos de uso administrativo. Lima, Perú.

Flores Manuelo, A. (2020). Trabajo de Suficiencia Profesional de la EPII - Para obtener el título de Ingeniero Industrial. Junin, Perú.

Google Maps. (2020). *www.google.com*. Obtenido de <https://www.google.com/maps/>

Selvática, T. (2020). Comisión para inspección a Chimay de la empresa ENEL. *Selvática Tv selva central*.

CAPÍTULO V

5.1. Glosario de términos


CHINANGO	:	Sociedad entre Enel Generación Perú y Perene
COES	:	Comité de Operación económica del Sistema
MEM	:	Ministerio de Energía y Minas
OSINERGMIN	:	Organismo supervisor de la inversión en Energía y Minería
F/S	:	Fuera de servicio, de la instalación o unidades de generación
CS	:	Concentración de sólidos,
O&M	:	Operation and Maintenance
Parámetros Operativos	:	Valores de señales en unidades de generación
DDF	:	Dango & Dienthal Filter

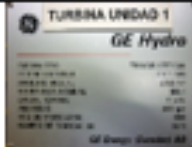
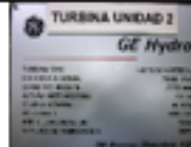
CAPÍTULO VI



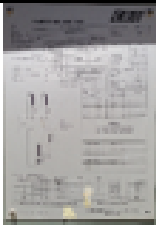



6.1. Anexos

Anexo 1

Características Técnicas Proyecto Chimay

EMPRESA CHINANGO S.A.C. CENTRAL HIDROELECTRICA CHIMAY		
		
Embalse Tulumayo		
Presa Tulumayo	Ubicación	Confluencia de rios Uchubamba y Comas en la Provincia de Jauja
Tulumayo	Cota Máxima del embalse (descarga)	1,329.00 msnm (2'103,000 m ³)
	Cota Mínimo del embalse	1,323.00 msnm (600,000 m ³)
	Compuertas Radiales de Fondo	3 (8 x 4.5 m)
	Caudal	350 m ³ /s
	Cota Solera (compuerta de fondo)	1,313.82 msnm
	Compuertas Clapetas	2 (5.4 x 2 m)
	Caudal	11.9 m ³ /s
	Cota Solera (compuerta clapeta)	1,329.00 msnm
	Compuertas Radiales de Superficie	3 (8 x 6.75 m)
	Caudal	240 m ³ /s
	Cota Solera (compuerta superficie)	1,323.00 msnm
	Compuertas de Toma	2 (5 x 4.5 m)
	Caudal	41 m ³ /s
	Cota Solera (compuerta de toma)	1,306.80 msnm
	Compuertas Desgravadoras	2 (1.4 x 1.8 m)
	Cota Solera (toma canal)	1,318.50 msnm
	Nivel del cuenco amortiguador aguas debajo de presa	1,310.30 msnm
Altura de Presa	15.18 m	
Longitud de la Corona	62 m	
Canal de Enlace	Sección media del canal de enlace	6.5 x 5.2 m
	Longitud del canal de enlace	240.955 m
Naves Desarenadoras	Dimensiones de Naves Desarenadoras	4 x 75 m de longitud
	Dimensiones de Atagula en Desarenadores	2.5 x 4.7 m
	Nivel de Rebose de Naves Desarenadoras	1,321.14 msnm
	Sección de salida de Atagula para canal de purga	1.60 x 1.90 m
	Nivel de solera del canal de purga de desarenador	1,370.70 msnm
	Nivel del vertedero hacia cámara de carga	1,321.14 msnm
Cámara de Carga	Nivel Vertedero Sobreelevación Cámara de carga	1,321.00 msnm
	Longitud Total del Vertedero de Cámara de carga	46.8 m
	Capacidad Útil en Cámara de Carga	15,000 m ³
	Nivel Máximo Extraordinario en Cámara de Carga	1,321.10 msnm -alarma alto nivel
	Nivel Máximo en Cámara de Carga	1,321.00 msnm
	Nivel de Operación Normal en Cámara de Carga	1,320.70 ± 0.2 msnm
Nivel Mínimo en Cámara de Carga	1,319.50 msnm	
Servicios Auxiliares de la Toma Tulumayo	Transformador de Potencia (Potencia Aparente)	50 KVA
	Alimentación al Transformador de Potencia	Línea 13.8 KV desde la Central
	Grupo Diesel (Potencia Aparente)	50 KVA (respaldo)
	Banco de Baterías (Ni Cd) (tensión)	125 Vcc (equipos de control)

Túnel de Aducción	Cota del Nivel de Ingreso	1,305.51 msnm.
	Tipo Bóveda Circular de Radio	3.5 m
	Ancho	7 m
	Altura Máxima Aproximada	6.15 m
	Longitud	9.1 Km
Chimenea de Equilibrio	Diámetro Interior	8.5 m.
	Diámetro de Entrada con Túnel de Baja Presión	4 m
	Cota	1,250.00 msnm
Tubería Forzada	Es de tipo excavada con 2 tramos (un tramo con un codo de conexión en donde se realiza un pique vertical y el tramo horizontal blindado)	
Salto Netos	Salto Bruto Mínimo	215.50 m
	Salto Bruto Normal	220.70 m
	Salto Bruto Máximo	222.00 m
	Salto Neto Nominal	192.00 m
	Salto Neto Máximo de Operación	220.00 m
	Salto Neto Mínimo de Operación	184.00 m
Casa de Máquinas Chlmay		
Datos Generales	Nº de Unidades	2
	Potencia Instalada	90 MVA c/u
	Potencia Garantizada	84 MVA c/u
	Caudal Máximo Utilizable	41 m³/s c/u
	Altitud piso Montaje	1,108.00 msnm
	Salto Util	192.00 m
Válvula Principal	Cota	1,092.30 msnm
	Tipo de Válvula	Mariposa
	Diámetro	2.5 m
	Presión Nominal de Diseño	30 bar
	Caudal Nominal	41 m³/s
	Caudal Máximo	44 m³/s
	Cota de Eje de Válvula	1,095.00 msnm
Turbina		
Unidad Generadora	Grupo 1	Grupo 2
Marca	GE ENERGY HYDRO	GE ENERGY HYDRO
Cota	1,092.30 msnm	1,092.30 msnm
Tipo de Turbina	Francis eje vertical	Francis eje vertical
Nº de fabricación	3073	3074
Salto Neto Nominal	192.00 mca	192.00 mca
Salto Neto Máximo	220.00 mca	220.00 mca
Caudal Nominal	41 m³/s	41 m³/s
Año de Puesta en Servicio	29/10/2000	29/10/2000
Nº de Turbinas por Grupo	1	1
Potencia Nominal / Rodete	72,030 KW	72,030 KW
Velocidad Nominal (Vn)	400 rpm	400 rpm
Velocidad d Embalamiento	725 rpm	725 rpm
Capacidad para turbinar	12 a 44 m³/s	12 a 44 m³/s
Datos Gráficos de Placa de la Turbina		
Regulador de Velocidad	Tipo	Electro - hidráulico
	Modo de Operación	Manual o Automático
	Tipo de Regulador	Digital con funciones PID
	Modelo	Reivax
Sistema de Agotamiento	Cota	1,086.20 msnm
	3 Bombas Sumergibles Caudal (c/u)	3,600 l/min
Alternador		
Marca - Fabricante	ELIN	ELIN
Cota	1,101.20 msnm	1,101.20 msnm
Tipo	Ssv 425/18-200	Ssv 425/18-200

N° de fabricación	1,659.383	1,659.383
Modelo	Síncrono Trifásico, Polos salientes	Síncrono Trifásico, Polos salientes
Año de Fabricación	2000	2000
Potencia Nominal Aparente	84,000 KVA	90,000 KVA
Potencia Nominal	75,000 KW	75,000 KW
Factor de Potencia (cos ϕ)	0.85 inductivo	0.85 inductivo
Tensión Nominal (V)	13,800 \pm 5%	13,800 \pm 5%
Corriente Nominal (A)	3,765	3,765
RPM (rev/min)	400	400
RPM embalamiento (rpm)	725	725
Número de Polos	18	18
Frecuencia (Hz)	60	60
Tipo Aislamiento Estator	Clase F	Clase F
Tipo Aislamiento Rotor	Clase F	Clase F
Refrigeración Bobinado	Transferencia Agua vs. Aire	Transferencia Agua vs. Aire
PD ² Mínimo	265 m ²	265 m ²
Excitación	Estática	Estática
Bobinado Estator	Tipo ROEBEL	Tipo ROEBEL
Datos Gráficos de Placa del Generador		
Cojinetes		
Tipos en cada Turbina	Cojinete Guia Turbina	
Tipos en cada Alternador	Cojinete Empuje Guia superior, y Cojinete Guia Inferior	
N° de Cojinetes	Tres/grupo	Tres/grupo
Transformador de Potencia		
Marca	EDG	
N° de Unidades	3 + 1 Reserva	
Aislamiento	Aceite	
Tipo	Monofásico	
Banco	Tres por Central	
Año de Puesta en Servicio	2000	
Potencia por Unidad (KVA)	168,000	
Tensión Primaria (KV)	220 \pm 2 x 2.5 %	
Tensión Secundaria (KV)	13.8	
Frecuencia (Hz)	60	
Grupo de Conexión	YNd5d5	
Enfriamiento	ONAN/ONAF	
Calentamiento medio cobre	65 °C	
Peso de Aceite	14.6 TN x c / Transformador	
Datos Gráficos de Placa del Transformador (Fase R)		
Datos Gráficos de Placa del Transformador (Fase S)		

Fuente propia: (Flores Manuelo, 2020)