



**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

**“PROPUESTA DE AUTOMATIZACIÓN DE CONTROLES EN LAS
COMPUERTAS I Y II PARA REGULAR EL CAUDAL DE ENLACE,
REPRESA TULUMAYO, CENTRAL HIDROELÉCTRICA CHIMAY”**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO INDUSTRIAL

**PRESENTADO POR:
ROGER HUGO GARCÍA MAGUIÑA**

**ASESOR
MG. ING. ROGELIO ALEXSANDER LOPEZ RODAS**

LIMA – PERÚ, SETIEMBRE 2021

DEDICATORIA

El presente trabajo que me permite cerrar una segunda etapa a nivel académico, se lo dedico principalmente a Dios que siempre me acompaña.

A mi madre y a mi padre que han sido un soporte durante toda esta travesía,
A mis hermanos Ronald y Karina con quienes vengo trabajando en forjar nuestro camino.

A mis amigos Rodolfo, Luis, Lizzet y Eder quienes me acompañaron y apoyaron en la realización de muchos de cursos impartidos en la carrera.

Gracias a todos por su comprensión y apoyo.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a la Universidad Alas Peruanas, por brindarme la oportunidad de continuar mis estudios universitarios a través de la plataforma virtual, permitiendo las facilidades de integración a nivel nacional y recibir una educación de calidad.

Agradezco a la empresa ENEL, la comprensión durante el periodo de estudios de la jefatura y mis compañeros de trabajo, además del apoyo incondicional de la Jefatura de Operaciones; como también la oportunidad de desempeñarme en las coordinaciones operativas con la jefatura donde actualmente laboro.

INTRODUCCIÓN

La Generación de Energía Eléctrica desde una Central Hidroeléctrica es una propuesta planteada en el siglo pasado, como fuente de energía renovable, y actualmente abastece alrededor del 20% de la demanda global.

Enel Generación Perú S.A.A. a través de su subsidiaría Chinango, tiene alrededor del 12% de la generación de energía eléctrica de todo el Grupo Enel Perú; generados desde la Central Chimay y Yanango, entre estas dos, la central de Chimay el mayor porcentaje, además que, si lo comparamos con las otras centrales presentes en el Perú, se ubica en un puesto intermedio porque genera 157.83 Mw.

Ciertamente, la Generación de energía desde la C.H. Chimay es importante, sin embargo, durante los 20 años desde la puesta en servicio, han ocurrido eventos no favorables para la operación, principalmente en las épocas de estiaje y avenida del río Tulumayo, disminuyendo la cámara de carga, y dejando sin fluido al canal de enlace, provocando así interrupciones.

El sistema posee un sistema de control de regulación a través de las compuertas 1 y 2, precisamente para que los eventos naturales no afecten la operación, lamentablemente, este sistema de control es operado manualmente, trayendo consigo errores humanos y un inadecuado control, es por ello, que el presente Trabajo de Suficiencia Profesional, plantea una automatización de las compuertas de regulación con el fin de eliminar en lo posible las fallas y evitar los cortes e interrupciones de generación.

RESUMEN

El trabajo de Suficiencia Profesional, se desarrolla en la empresa Enel Generación S.A.A., con el fin de poder dar solución a las fallas ocurridas, por error humano, en las compuertas de regulación 1 y 2 de la Represa Tulumayo, de la Central Hidroeléctrica Chimay durante sus 20 años de operación, las cuales, en eventos más catastróficos podrían terminar en el desmoronamiento del túnel, debido al golpe de ariete.

Es por eso, que se propone automatizar el sistema basándonos en dos propuestas de solución, por nivel de cámara de carga y en base al caudal del canal de enlace. Ambas soluciones descritas y evaluadas en la matriz de pruebas de funcionamiento, donde se ha identificado el comportamiento por la apertura de las compuertas 1 y 2. Estas soluciones, no son precisamente estructuradas según una metodología preestablecida, sino que se usa la experiencia del Operador y Controlador, aterrizados en una filosofía de control y protección de la toma. La propuesta comprende que la lógica del funcionamiento sea insertada al sistema automático, generando así una automatización, monitoreada por los actores involucrados en el control.

Se concluye que el proyecto es viable desde varias perspectivas, pues disminuye costos en el tiempo y evita colapsos que afecten el proceso interno y al entorno, asimismo, es preciso mencionar que no se puede prescindir del todo del personal, pues sigue siendo una pieza importante, porque actuaría como medio de contingencia, en caso de fallas eventuales.

Palabras Clave: Automatización, presa, compuertas, canal de enlace.

ABSTRACT

The work of Professional Sufficiency, is developed in the company Enel Generation SA.A., in order to be able to give solution to the failures occurred, by human error, in the gates of regulation 1 and 2 of the Tulumayo Dam, of the Chimay Hydroelectric Power Plant during its 20 years of operation, which, in more catastrophic events could end in the collapse of the tunnel, due to the battering ram.

That is why it is proposed to automate the system based on two solution proposals, by load chamber level and based on the flow of the link channel. Both solutions described and evaluated in the matrix of tests of operation, where the behavior by the opening of the gates 1 and 2 has been identified. These solutions are not precisely structured on the basis of a pre-established methodology, but use the experience of the Operator and Controller, grounded in a philosophy of control and protection of the socket. The proposal includes that the logic of the operation be inserted into the automatic system, thus generating an automation, monitored by the actors involved in the control.

It is concluded that the project is viable from several perspectives, since it reduces costs over time and avoids collapses that affect the internal process and the environment, it is also necessary to mention that it cannot be completely without the staff, as it remains an important piece, because it would act as a contingency in the event of eventual failures.

Keywords: Automation, dam, gates, link channel.

ÍNDICE

| | |
|---|-------------|
| DEDICATORIA | I |
| AGRADECIMIENTO | II |
| INTRODUCCIÓN | III |
| RESUMEN | IV |
| ABSTRACT | V |
| ÍNDICE DE GRÁFICOS | VIII |
| ÍNDICE DE TABLAS..... | IX |
| ÍNDICE DE IMÁGENES | X |
| CAPÍTULO I GENERALIDADES DE LA EMPRESA | 11 |
| 1.1. Antecedentes de la empresa | 11 |
| 1.2. Perfil de la empresa..... | 12 |
| 1.3. Actividades de la Empresa | 13 |
| 1.3.1. Misión..... | 13 |
| 1.3.2. Visión | 14 |
| 1.3.3. Objetivo | 14 |
| 1.4. Organización actual de la empresa..... | 15 |
| 1.5. Descripción del entorno de la empresa..... | 17 |
| CAPÍTULO II REALIDAD PROBLEMÁTICA | 19 |
| 2.1. Descripción de la realidad problemática | 19 |
| 2.2. Análisis del problema..... | 21 |
| 2.3. Formulación del problema | 21 |
| 2.4. Objetivo del proyecto | 21 |
| 2.4.1. Objetivo General | 21 |
| 2.4.2. Objetivos Específicos | 21 |
| CAPÍTULO III DESARROLLO DEL PROYECTO | 22 |
| 3.1. Descripción y desarrollo del proceso a desarrollar | 22 |

| | |
|---|-----------|
| 3.1.1. Antecedentes de la Investigación | 32 |
| 3.1.2. Bases Teóricas..... | 35 |
| 3.1.3. Bases Legales | 45 |
| 3.1.4. Diseño del Proceso de Automatización | 46 |
| 3.3. Conclusiones | 73 |
| 3.5. Recomendaciones | 74 |
| CAPÍTULO IV: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 75 |
| CAPÍTULO V: GLOSARIO DE TÉRMINOS | 76 |
| ANEXOS..... | 77 |

ÍNDICE DE GRÁFICOS

| | |
|---|----|
| Gráfico 1 Composición del Grupo Económico | 13 |
| Gráfico 2 Estructura Organizacional de Enel Generación Perú S.A.A. | 16 |
| Gráfico 3 Diagrama Ishikawa de Enel Generación - Toma Tulumayo..... | 18 |
| Gráfico 4 Primer Proceso de la Generación de Energía Eléctrica..... | 22 |
| Gráfico 5 Segundo Proceso de la Generación de Energía Eléctrica..... | 25 |
| Gráfico 6 Línea de Generación de Energía Eléctrica en la Presa Tulumayo | 26 |
| Gráfico 7 Visión de Planta de la Presa y de la Central Chimay | 27 |
| Gráfico 8 Funcionamiento Actual de las Compuertas de Regulación | 29 |
| Gráfico 9 Operación de las Compuertas de la Presa Tulumayo | 30 |
| Gráfico 10 Compuertas de Represamiento de la Represa Tulumayo | 31 |
| Gráfico 11 Sistema Dinámico | 36 |
| Gráfico 12 Representación Gráfica de las Compuertas Radiales de Superficie | 37 |
| Gráfico 13 Representación Gráfica de las Compuertas Radiales de Fondo | 38 |
| Gráfico 14 Representación Gráfica del Nivel de Embalce | 43 |
| Gráfico 15 Representación Gráfica de la Cámara de Carga..... | 44 |
| Gráfico 16 Representación Gráfica del Canal de Enlace | 45 |
| Gráfico 17 Generación de Energía Eléctrica por Represamiento de Agua | 50 |
| Gráfico 18 Diseño de Procesos (DOP) | 51 |
| Gráfico 19 Funcionamiento de CR por Nivel Cámara Carga (Nivel C.C.) | 53 |
| Gráfico 20 Control De Nivel LIC-01 PLC Tulumayo | 56 |
| Gráfico 21 Funcionamiento de CR por Caudal del Canal de Enlace..... | 59 |
| Gráfico 22 Control de Caudal FIC-01 PLC Tulumayo | 62 |
| Gráfico 23 Componentes de Implementación de Automatización Consolidada | 63 |
| Gráfico 24 Lazo de Control Entre Toma Tulumayo y Central Chimay..... | 64 |
| Gráfico 25 Curva S..... | 72 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1 Estructura Operacional de Enel Generación Perú S.A.A..... | 15 |
| Tabla 2 Componentes del Sistema de Control..... | 24 |
| Tabla 3 Datos para el Funcionamiento Actual de las Compuertas..... | 28 |
| Tabla 4 Especificaciones Técnicas de Operación de la CRS..... | 38 |
| Tabla 5 Especificaciones Técnicas de Operación de la CRF..... | 39 |
| Tabla 6 Especificaciones Técnicas de Operación de la CR..... | 39 |
| Tabla 7 Componentes del Sistema Oleohidráulico 2..... | 40 |
| Tabla 8 Especificaciones Técnicas de Operación de las Clapetas..... | 42 |
| Tabla 9 Matriz de Pruebas de Funcionamiento..... | 65 |
| Tabla 10 Cronograma del Proyecto..... | 66 |
| Tabla 11 Cantidad de Interrupciones Durante un Año en Chimay..... | 69 |
| Tabla 12 Cantidad de Interrupciones por Desconexión de Grupos Generadores..... | 69 |
| Tabla 13 Evaluación Económica..... | 70 |
| Tabla 14 Riesgos Cuantificados..... | 72 |

ÍNDICE DE IMÁGENES

| | |
|--|----|
| Ilustración 1 Presa de la Toma Tulumayo..... | 23 |
| Ilustración 2 Presa Tulumayo, Aguas Abajo | 23 |

CAPÍTULO I

GENERALIDADES DE LA EMPRESA

1.1. Antecedentes de la empresa

Desde mayo de 1886, fecha en que se realiza la inauguración del alumbrado público eléctrico por vez primera en la Plaza de Armas de Lima, se inician acciones de generación de energía eléctrica de varias empresas y sociedades, tales como: la Empresa Transmisora de Fuerza Eléctrica, la Sociedad Industrial Santa Catalina, entre otras.

Las iniciativas de las empresas involucradas en el sector eléctrico, dieron frutos progresivos considerables, pues ya en el año 1902 estaba cubierta la demanda del servicio público de 115 mil ha de la ciudad capital; y un año después se inauguró la primera Central Hidroeléctrica con 4 mil h.p. de potencia. Sin embargo, estos logros aún no eran suficientes para abastecer la demanda eléctrica de la ciudad de Lima, y menos del Perú, es por eso que en el año 1906 se realiza la fusión de empresas de la industria eléctrica, y conforman la empresa privada denominada Empresas Eléctricas Asociadas, la misma que se encargaría de la generación, transmisión y distribución de la energía eléctrica.

Al establecerse el gobierno militar de Juan Velasco Alvarado, se crea el Decreto Ley 19521, y con este decreto la empresa privada Empresas Eléctricas Asociadas, se estatiza, y pasa a ser Electrolima. Posteriormente, al promulgarse la Ley de Concesiones Eléctricas en 1992, se abre espacio a la privatización; y dos años más tarde, Electrolima se fragmenta en 5 empresas: Edegel, Edelnor, Enesur, EdeChancay y EdeCañete; las mismas que en el tiempo sufrieron modificaciones y absorción de EdeChancay.

Por su parte, Generación Eléctrica Lima S.A. (Edegel), quien es la empresa de interés para el presente proyecto, pasa a dueños del consorcio Generandes en el año 1995. Y a partir del siguiente año, esta empresa constituye diversas modificaciones respecto a su tipo de sociedad y denominación, posicionándolo como líder en el sector energético, con el objeto de generar y comercializar energía y potencia eléctrica, así como menciona (PCR, 2021):

En agosto de 1996, se constituye como sociedad anónima y posteriormente en 1998 modifica su estatuto social para adaptarse a una sociedad anónima abierta. En junio de 2006, se fusiona con Etevensa con el fin de integrar la producción termoeléctrica a su giro de negocio, consolidándose así, como el líder del sector energético. En octubre de 2016, mediante Junta General de Accionistas (JGA), se aprobó el cambio de denominación social de Edegel S.A.A. a Enel Generación Perú S.A.A. (p.6).

1.2. Perfil de la empresa

Enel Generación Perú S.A.A. es una empresa privada líder en generación de energía eléctrica en el país, operando a través de 11 centrales (hidroeléctricas y termoeléctricas) localizadas en los departamentos de Lima y Junín; con una potencia efectiva a noviembre del 2020, incorporada su Subsidiaria Chinango, de 1,678.1 MW. Ellos a la vez afirman: “Formamos parte del Grupo Enel (Enel S.p.A.), multinacional de energía y operador integrado global en el sector energía y gas. Presente en 32 países en los 5 continentes, generando energía a través de una capacidad instalada de más de 87 GW” (ENEL, 2021, pág. 9).

Cabe destacar, que, al tratarse de una empresa multinacional, compone un grupo económico bastante amplio y complejo, las cuales son integradas por diversas empresas a nivel nacional e internacional, tal como se podrá evidenciar en el Gráfico 1, que nos muestra un organigrama actualizado al año 2017, cuando se hizo la última modificación más relevante.

Finalmente, podemos acotar también, que, bajo esta mirada económica, de acuerdo a (ENEL, 2021):

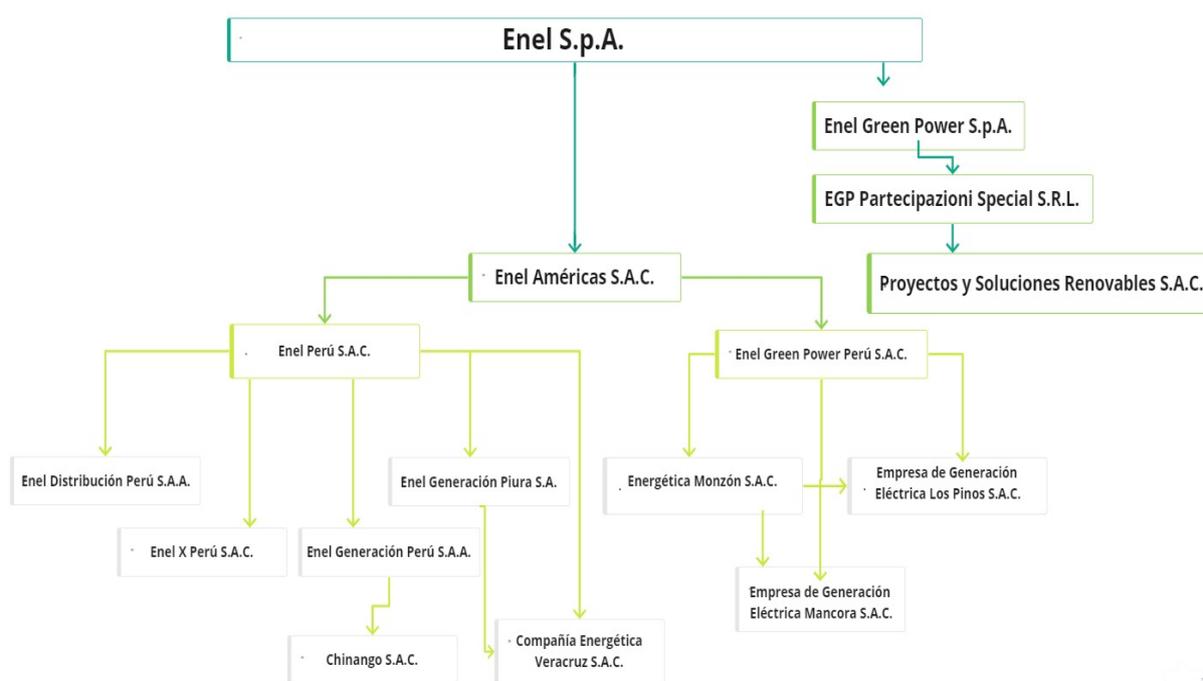
Enel Generación Perú S.A.A. está estructurada en líneas de negocio y sus principales responsabilidades son:

- Gestionar la operación y el mantenimiento de la flota de generación de acuerdo con las políticas y regulaciones de seguridad, salud,

calidad y medio ambiente, maximizando la eficiencia operativa y las normas técnicas de desempeño.

- Llevar a cabo las actividades de acuerdo con las políticas y regulaciones de seguridad, salud, medio ambiente y eficiencia energética alcanzar los objetivos de calidad, desempeño, costos y plazos asignados a cada proyecto (p.20).

Gráfico 1
Composición del Grupo Económico



Fuente: (PCR, 2021) / Elaboración: (García Maguiña, 2021)

1.3. Actividades de la Empresa

1.3.1. Misión

(ENEL, 2021), tiene por misión:

- **Abrir el acceso a la energía a un mayor número de personas.**
Ampliamos nuestras dimensiones para alcanzar y conectar un mayor número de personas a una energía segura y sostenible, especialmente en Sudamérica y África.

- **Abrir el mundo de la energía a nuevas tecnologías.**

Dirigimos el desarrollo y la aplicación de nuevas tecnologías para generar y distribuir la energía de forma más sostenible, sobre todo a través de fuentes renovables y de redes inteligentes.

- **Abrirnos a nuevos métodos de gestionar la energía para las personas.**

Desarrollamos nuevos métodos que se ajustan a las necesidades efectivas de las personas, para ayudarlas a utilizar y gestionar la energía de manera más eficiente, sobre todo recurriendo a los contadores inteligentes y a la digitalización.

- **Abrirnos a la posibilidad de nuevos usos de la energía.**

Desarrollamos nuevos servicios que emplean la energía para hacer frente a desafíos de carácter mundial dedicando una atención especial a la conectividad y a la movilidad eléctrica.

- **Abrirnos a nuevas alianzas.**

Nos unimos a una red de colaboradores en la investigación, en la tecnología y en el diseño de nuevos productos para desarrollar nuevas soluciones de forma conjunta. (p.10)

1.3.2. Visión

“Garantizar nuestros servicios a cada vez más personas en un gran número de países, impulsando las economías locales y ampliando el acceso a la energía. Con una estrategia basada en la apertura como elemento clave del enfoque estratégico y operativo” (ENEL, 2021, pág. 10).

1.3.3. Objetivo

“Gestionar nuestro negocio bajo un enfoque “data driven” (digitalización y uso eficiente de los datos que generan nuestros colaboradores y equipos), para lograr una toma de decisiones oportuna y ágil” (ENEL, 2021, pág. 62)

1.4. Organización actual de la empresa

Conforme a (Chiavenato, 2004) “la estructura organizacional se caracteriza por tener una jerarquía, es decir, una línea de autoridad que articula las posiciones de la organización y especifica quien está subordinado a quien. La jerarquía se fundamenta en el principio de unidad de mando” (p.74). Esta estructura es diseñada en cualquier empresa con el fin de cumplir las metas y objetivos trazados, en este caso, el de la generación de energía eléctrica.

En el Gráfico 2, se visualiza la estructura organizacional operativa de la empresa en estudio, la misma que está sujeta a cambios, por decisiones de la Junta de Accionistas. El área de interés (remarcada en cuadro rojo) será la subgerencia técnica, en el área de telecontrol, donde existen operadores y controladores, realizando actividades para una adecuada generación de energía eléctrica, a través de centrales hidroeléctricas o termoeléctricas.

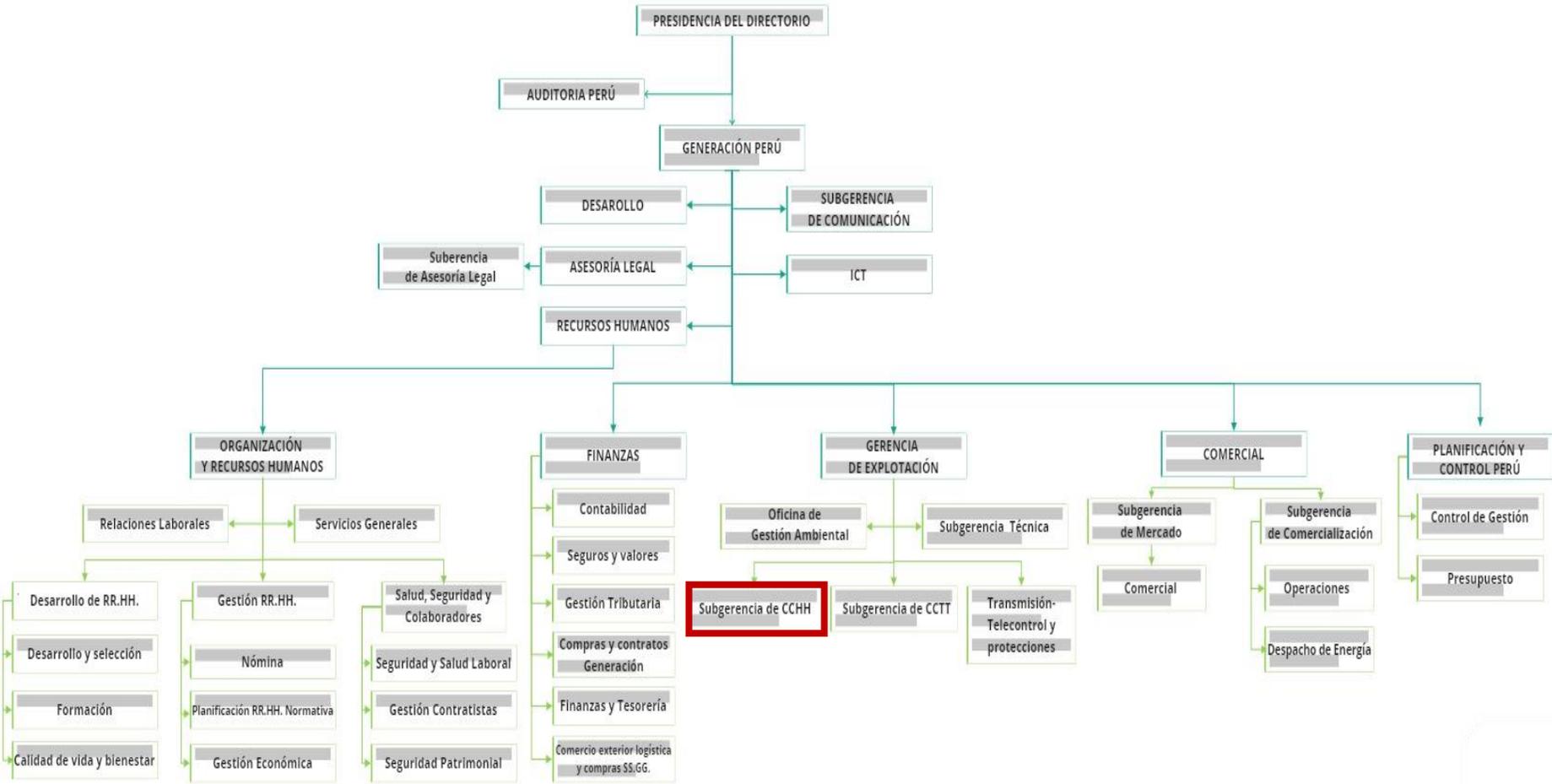
Por otro lado, la Memoria Anual del 2020 de Enel Generación S.A.A., nos muestra una estructura operacional (véase la Tabla 1); la cual se conforma por ocho centrales hidroeléctricas, seis ubicadas en Lima y dos en Junín. Las centrales de Junín se denominan Yanango que aprovecha aguas del río Tarma y Chimay que aprovecha las aguas del río Tulumayo. (ENEL, 2021, pág. 50)

Tabla 1
Estructura Operacional de Enel Generación Perú S.A.A.

| Tipo | Empresa | Central | Potencia Efectiva Mw | Participación (%) |
|--------------|----------------------|--------------|----------------------|-------------------|
| Hidráulica | Enel Generación Perú | Huinco | 277.9 | 36% |
| | | Matucana | 137.0 | |
| | | Callahuanca | 84.4 | |
| | | Moyopampa | 69.1 | |
| | | Huampani | 30.9 | |
| | | HER 1 | 0.7 | |
| | Chinango | Yanango | 43.1 | 12% |
| | Chimay | 152.3 | | |
| Térmica | Enel Generación Perú | Santa Rosa | 226.2 | 53% |
| | | Santa Rosa 2 | 187.8 | |
| | | Ventanilla | 469.4 | |
| TOTAL | | | | 100% |

Fuente: (ENEL, 2021)

Gráfico 2
Estructura Organizacional de Enel Generación Perú S.A.A.



Fuente: (Enel Generación, 2021) / **Elaboración:** (García Maguiña, 2021)

Así como se indica en el título del presente TSP, delimitamos nuestro estudio en la Central Hidroeléctrica Chimay, y dentro de la estructura operacional mostrada en la Tabla 1, se ve también la importancia, pues a pesar que la participación unida a la Central Yanango es de tan solo 12%, al hacer la comparación de la potencia efectiva entre las centrales, se puede destacar que Chimay se encuentra en intermedio de capacidad, entre todas las centrales.

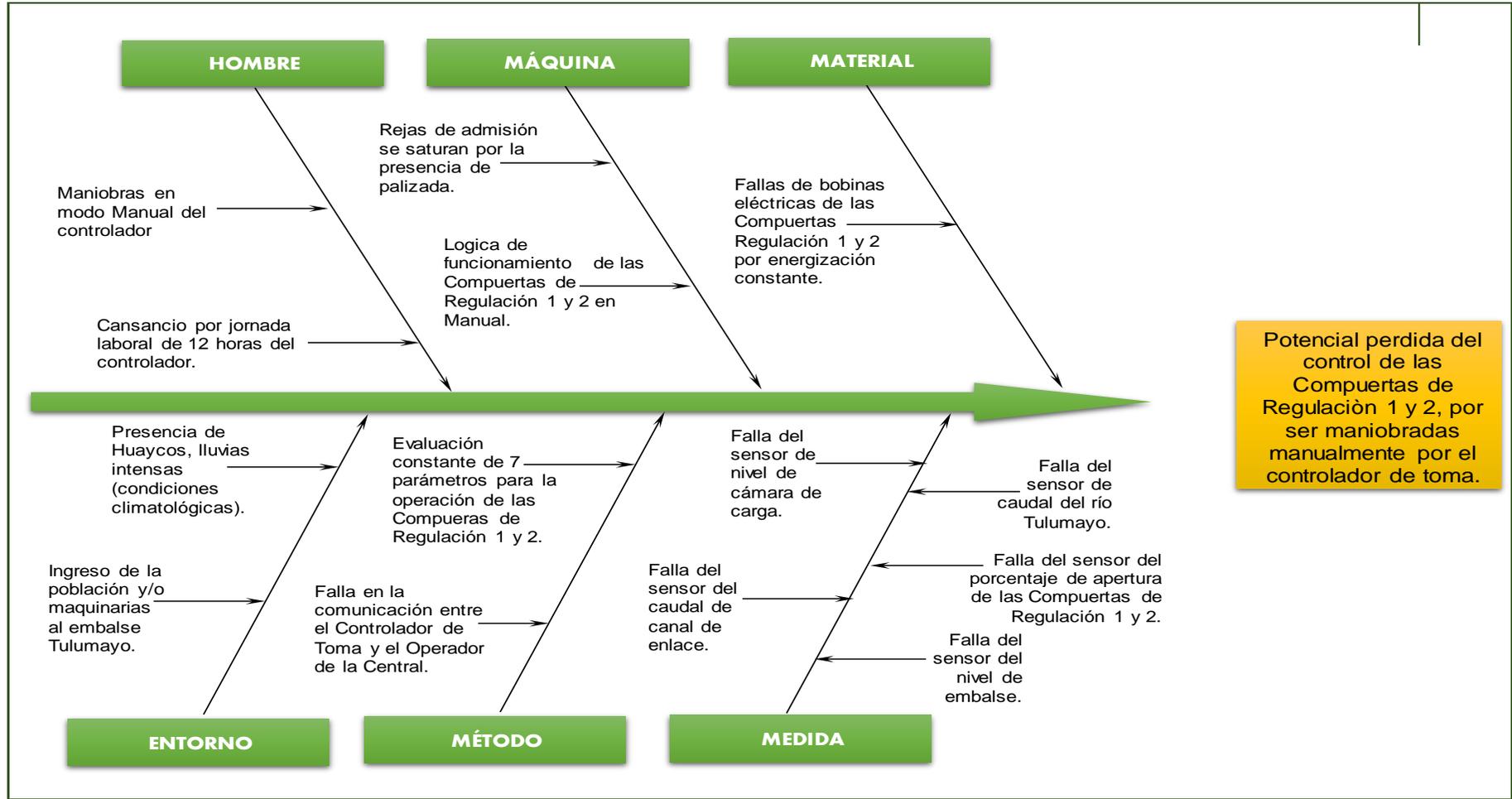
Además, se debe tomar en cuenta que la potencia que se usará durante los siguientes capítulos tendrá una leve variación, debido a que la potencia extraída para la Memoria, fue en una fecha distinta a la extraída para fines del TSP.

1.5. Descripción del entorno de la empresa

Describiremos los puntos más relevantes del entorno de la empresa, tanto de manera interna, como externa, con el uso del diagrama de Ishikawa, y alineados al problema general del presente estudio.

En el Gráfico 3, se ha considerado seis aspectos en los que van alineados las causas de un problema mayor, que en este caso sería, la potencial pérdida del control de las compuertas de regulación 1 y 2, por el hecho de ser maniobradas manualmente, por el que cumple la función de controlador de toma.

Gráfico 3
Diagrama Ishikawa de Enel Generación - Toma Tulumayo



Fuente: (García Maguiña, 2021)

CAPÍTULO II REALIDAD PROBLEMÁTICA

2.1. Descripción de la realidad problemática

La Central Hidroeléctrica Chimay genera 157.83 Mw. El grupo 1 genera 80.38 Mw y el grupo 2 genera 77.45 Mw. necesitando un caudal para la generación de 84 m³/s (a través del canal de enlace). Este caudal de generación necesario es regulado en la Represa Tulumayo que recibe el caudal de las vertientes del río Marancocha, Uchubamba y Comas, este caudal es variable de acuerdo a la época, ya sea de estiaje o avenida. De acuerdo a la cantidad de energía eléctrica a generar es que se realiza la apertura de las dos (02) compuertas de regulación, considerando que en condiciones normales para generar 157.83 Mw es necesario tener una apertura de esas dos (02) compuertas de regulación en 22%, para así tener un caudal en el canal de enlace de 84 m³/s.

La función de la Represa Tulumayo en época de estiaje es embalsar agua; en época de estiaje, entre abril a octubre, se presenta escasez de lluvias en la zona y la disminución de caudal del río de las vertientes (caudal aprox. entre 35 a 65 m³/s). Esto provoca que la Central Hidroeléctrica Chimay genere energía de forma intermitente de acuerdo al programa de despacho de carga (realizado por el Área Comercial), embalsando en horas de baja demanda y operando la Central Hidroeléctrica Chimay a plena carga (157.83 Mw con 84 m³/s) en las horas puntas o de más demanda provocando el desembalse de la Represa Tulumayo.

Así también, la función de la Represa Tulumayo en época de avenida es mantener un nivel bajo de la represa (nivel estandarizado), con el fin de que, ante un aumento súbito del caudal del río de las vertientes, producto de las intensas lluvias en la zona, se pueda evacuar gradualmente por las compuertas de la represa el caudal excedente (por la vertiente o cauce del río Tulumayo), para no perjudicar a la instalación ni a las poblaciones aledañas aguas abajo de la represa. El caudal aproximado en esta época es entre 130 m³/s a 280 m³/s. La época de avenida es entre los meses de noviembre a marzo.

Entre la época de estiaje y la de avenida se presenta la etapa de transición, son fechas críticas (entre octubre y noviembre), debido a la variación del caudal del río de las vertientes, en estas fechas se presentan incrementos súbitos de caudal que si no es manejado adecuadamente en la represa podría generar situaciones indeseables tanto en la operación del proceso de captación y embalse, como en el proceso de generación de energía eléctrica.

Durante todas estas épocas se debe controlar y regular el caudal de agua para la generación de energía eléctrica, esta regulación se realiza a través de las compuertas de regulación 1 y 2, que permite el ingreso de caudal en el canal de enlace que oscila entre 0 a 84 m³/s para una generación de energía eléctrica de 0 Mw a 157.83 MW.

Producto de las dificultades de la operación manual en la regulación del agua para ser usada en el proceso de generación de energía eléctrica en la Central Hidroeléctrica Chimay, es que se propone automatizar este sistema para un mejor control a distancia y se haga de forma automática el control manual que realiza una persona en la actualidad.

La apertura en las compuertas de regulación 1 y 2 permiten conducir un caudal de agua a través del canal de enlace que desemboca en una cámara de carga, que es un pequeño reservorio de agua donde se conduce el agua a través de un túnel que va directamente a la turbina.

La regulación manual de compuertas de regulación 1 y 2 comprometen directamente la generación de energía eléctrica en caso que falté la cantidad de agua necesaria, por algún evento fortuito, eventos que han ocurrido durante los 20 años desde la puesta en servicio de la Central Hidroeléctrica Chimay.

Tomando en cuenta las descripciones anteriores, se vuelve, una necesidad imperante, eliminar el riesgo de error humano en la operación de las compuertas de regulación que provocan la disminución del caudal del canal de enlace y en consecuencia la abrupta disminución del nivel de cámara de carga, que en el nivel más bajo ocasiona la paralización del servicio de los dos (02) grupos generadores y el peor escenario sería que en túnel de conducción quede vacío

provocando un golpe de ariete y por tanto posteriormente el desmoronamiento del túnel.

2.2. Análisis del problema

La propuesta de automatización de controles en las compuertas I y II para regular el caudal de enlace en la represa Tulumayo de la central hidroeléctrica Chimay. ¿Eliminará las interrupciones al proceso de generación de energía eléctrica?

2.3. Formulación del problema

La propuesta de automatización de controles en las compuertas I y II para regular el caudal de enlace en la represa Tulumayo de la central hidroeléctrica Chimay, eliminará las interrupciones al proceso de generación de energía eléctrica.

2.4. Objetivo del proyecto

2.4.1. Objetivo General

Automatizar los controles en las compuertas I y II para regular el caudal de enlace de la represa Tulumayo de la central hidroeléctrica Chimay.

2.4.2. Objetivos Específicos

- Recomendar acciones para la adecuada implementación de la Automatización, basándonos en las pruebas.
- Realizar las pruebas del lazo de control de las compuertas de regulación 1 y 2.
- Evaluar el lazo de control de las compuertas de regulación por nivel de cámara de carga o caudal de canal de enlace.

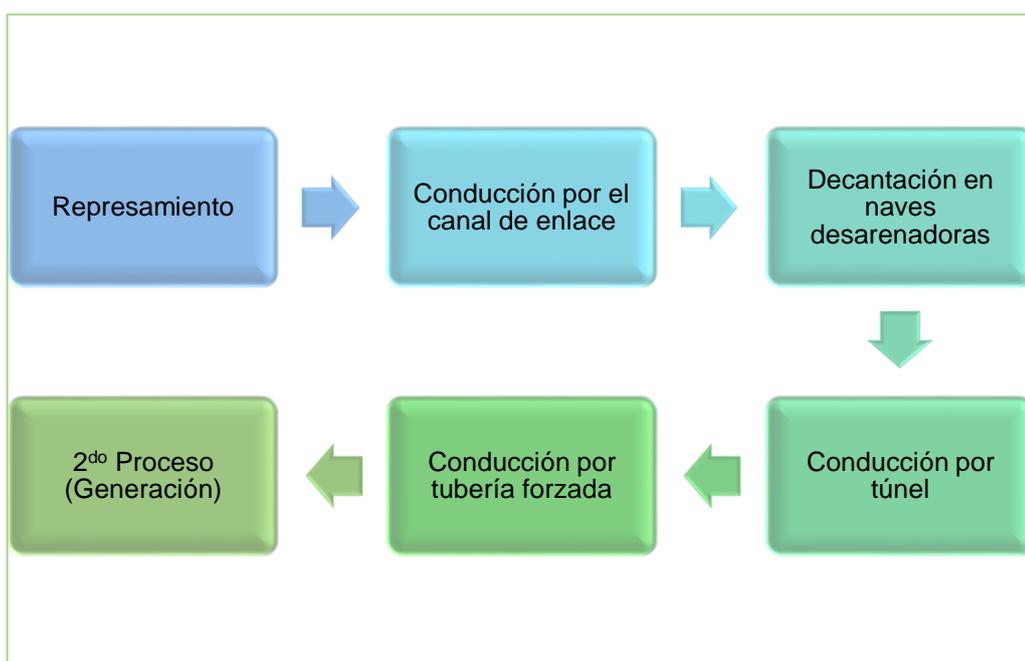
CAPÍTULO III DESARROLLO DEL PROYECTO

3.1. Descripción y desarrollo del proceso a desarrollar

Para desarrollar este proyecto, describiremos como primer paso, los procesos para la obtención de energía eléctrica, desde la central hidroeléctrica Chimay, en la represa Tulumayo.

Represamiento y Conducción de Agua (1^{er} proceso): Este primer proceso conforma las etapas del recorrido del agua desde el represamiento hasta antes de llegar a las turbinas generadoras, donde se inicia el 2^{do} proceso, así como se muestra en el Gráfico 4.

Gráfico 4
Primer Proceso de la Generación de Energía Eléctrica



Fuente: (García Maguiña, 2021)

Para el represamiento, se usa una presa de tipo regulación diaria, la cual se aprecia en la Ilustración 1, atendiendo al caudal del río se establecerá una consigna de operación en la presa, capta la confluencia de los ríos Marancocha, Comas y Uchubamba que conforma el río Tulumayo. Esta presa almacena: 2500000 m³ de volumen bruto, 1453000 m³ de volumen útil y 650000 m³ de volumen muerto.

Ilustración 1
Presa de la Toma Tulumayo

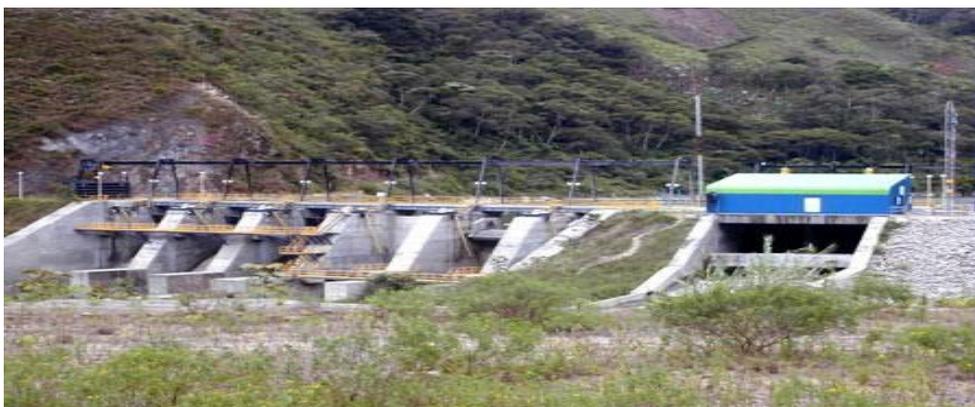


Fuente: (García Maguiña, 2021)

El cuerpo de la Presa está conformado por 6 vanos, tal como se muestra en la Ilustración 2, y donde están ubicadas las compuertas de aliviadero que están conformadas por:

- Compuerta Radial de Fondo 1 (CRF 1)
- Compuerta Radial de Fondo 2 (CRF 2)
- Compuerta Radial de Fondo 3 (CRF 3)
- Compuerta Radial de Superficie 1 (CRS 1)
- Compuerta Radial de Superficie 2 (CRS 2)
- Compuerta Radial de Superficie 3 (CRS 3)
- Clapeta 1 (CLP 1)
- Clapeta 2 (CLP 2)

Ilustración 2
Presa Tulumayo, Aguas Abajo



Fuente: (García Maguiña, 2021)

Todas las compuertas y clapetas, realizan las operaciones de alivio de la presa Tulumayo, mediante los vertidos al río en función de las aportaciones de caudal. El nivel del embalse variará desde la cota 1324.00 msnm hasta la cota 1328.90 msnm en la que se produce el vertido a través de las clapetas y es entre estos niveles en la que se realiza el proceso de generación.

Para el proceso de generación se utilizan las compuertas de regulación donde se aprovecha un caudal de 84 m³/s para obtener los 157.83 MW. Y el sistema de control de las compuertas en la toma Tulumayo se tiene varios niveles de mando: local manual (desde las electroválvulas en el sistema Oleodinámico), local centralizado (con pulsadores del tablero de mando convencional), local Automático (desde el panel del PLC) y remoto (desde la Casa de máquinas).

Asimismo, posee diversos componentes, detalladas en la tabla siguiente:

Tabla 2
Componentes del Sistema de Control

| N° | COMPONENTES |
|----|--|
| 1 | Compuertas radiales de fondo, superficie y clapetas. |
| 2 | Mandos de las compuertas radiales y clapetas. |
| 3 | Sistema oleohidráulico. (Operación de compuertas) |
| 4 | Compuertas de regulación. |
| 5 | Sistema oleohidráulico. (Operación de compuertas) |
| 6 | Ataguía aliviadero (para las comp. Radiales) |
| 7 | Ataguía toma canal (para las comp. de toma) |
| 8 | Ataguía desarenadora. |
| 9 | Ataguía toma de conducción. (Ubicado en cámara de carga) |
| 10 | Ataguía tubo de aspiración. (Ubicado en descarga) |
| 11 | Compuerta desgravadora. |
| 12 | Compuerta desarenadora. |
| 13 | Compuerta cámara de carga. (Compuerta Manual) |
| 14 | Equipo de medida de nivel de embalse y de cámara de carga. |
| 15 | Sistema de alimentación a toma. |
| 16 | Grupo Diesel. |
| 17 | Equipo rectificador y baterías. |
| 18 | Sistema de video. |
| 19 | Equipo detector de incendios. |
| 20 | Enlace de comunicación. |
| 21 | Operación óptima de la Toma. |

Fuente: (García Maguiña, 2021)

Generación energía eléctrica del grupo (2^{do} proceso): Este proceso conforma la secuencia de pasos para la generación de energía en la máquina o grupo (generador). El generador necesita de una fuerza mecánica capaz de dar movimiento en el grupo y una energía eléctrica en DC al bobinado del rotor del grupo; con estos dos factores se produce en el bobinado estático del grupo la generación de tensión en AC (13.8 KV) y al acoplarse en paralelo (ingresar) a la red interconectada se produce la entrega de energía en forma de potencia, tal como se describe en el Gráfico 5.

Gráfico 5
Segundo Proceso de la Generación de Energía Eléctrica

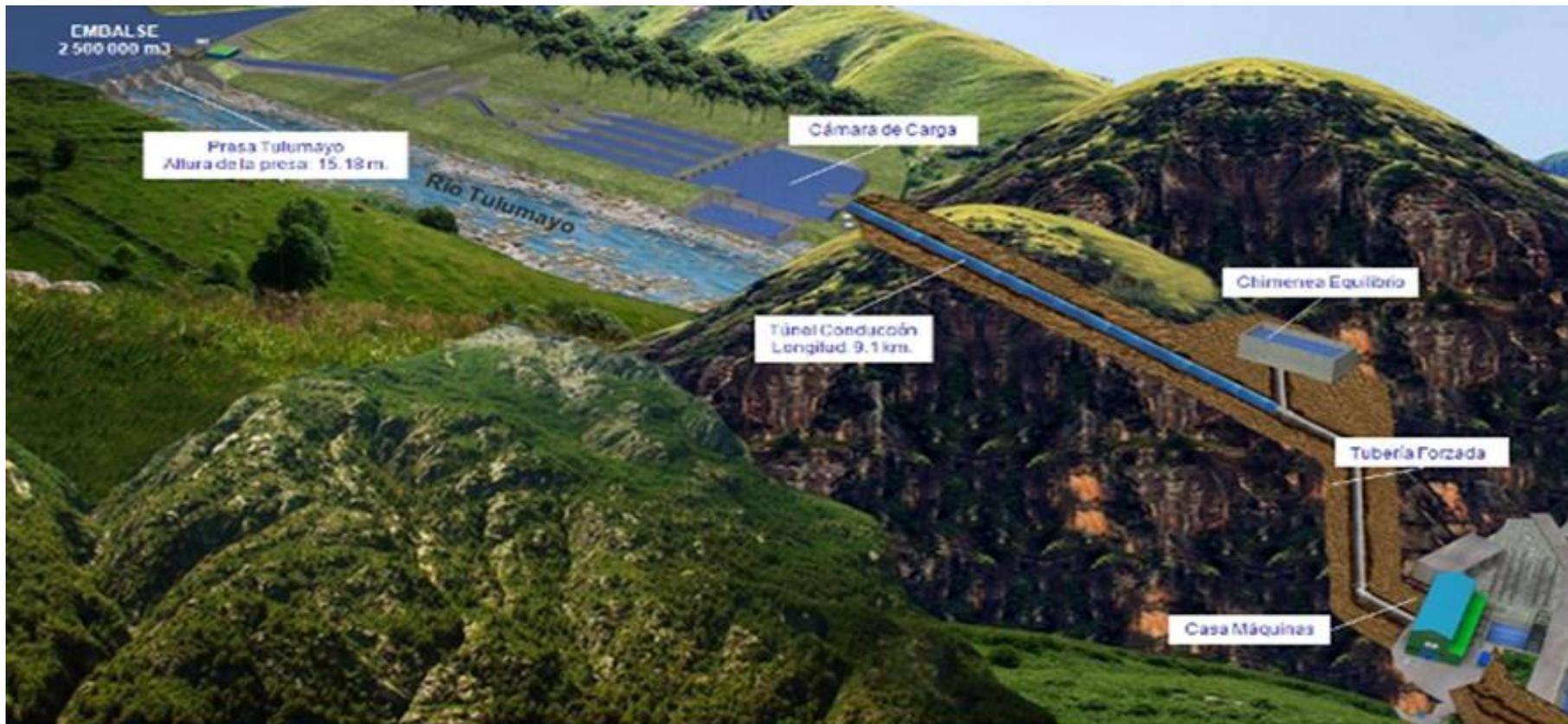


Fuente: (García Maguiña, 2021)

Así también, se muestra la línea de generación de energía eléctrica, en el Gráfico 6 y 7, pero ya no de forma descrita, sino de manera gráfica y visual, a manera de que se pueda tener una mayor comprensión de los procesos y de la ubicación de los componentes

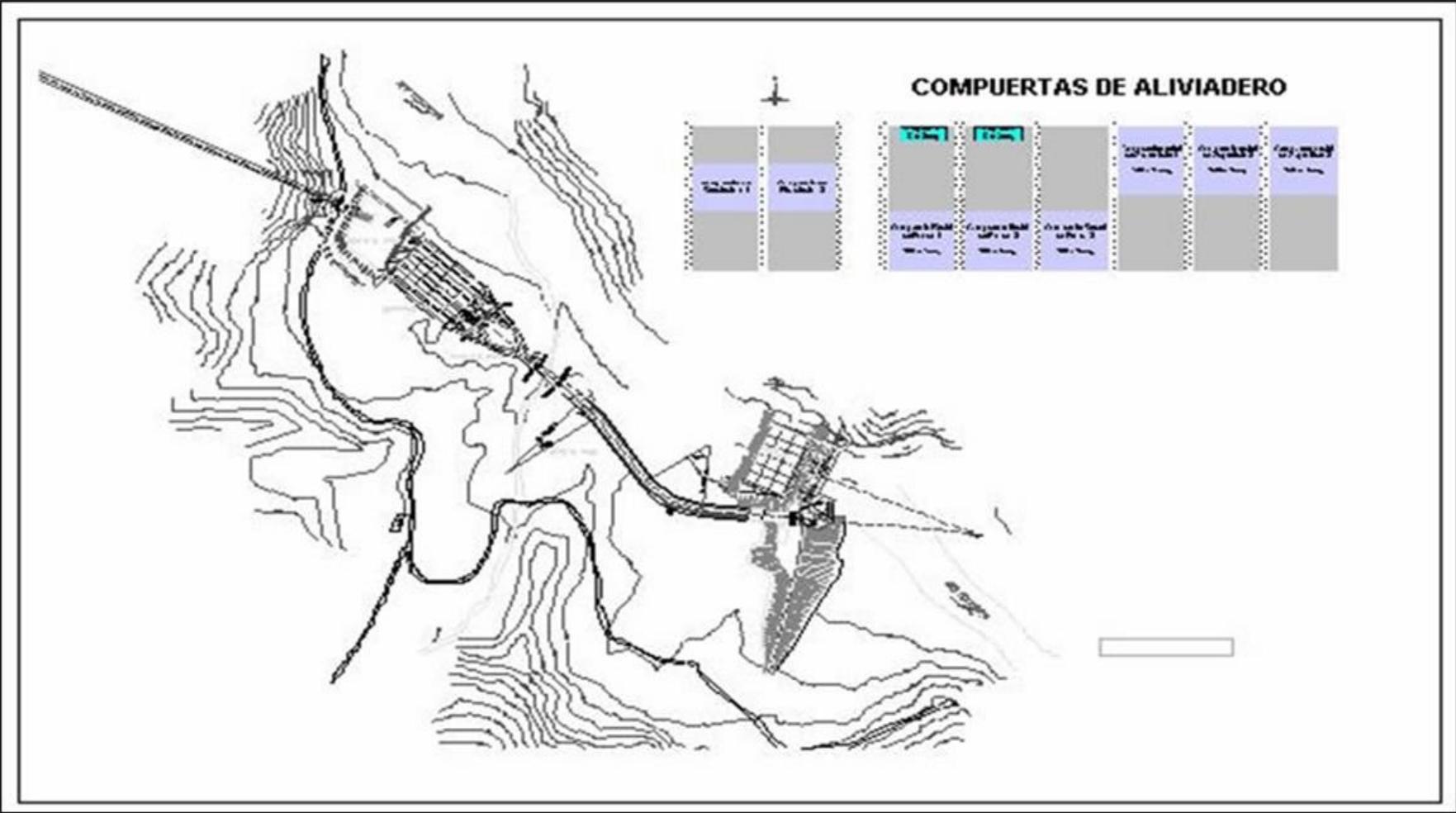
Gráfico 6

Línea de Generación de Energía Eléctrica en la Presa Tulumayo



Fuente: (García Maguiña, 2021)

Gráfico 7
Visión de Planta de la Presa y de la Central Chimay



Fuente: (García Maguiña, 2021)

Después de conocer los procesos de generación de energía eléctrica, también consideraremos como conocimiento previo, el funcionamiento actual de las compuertas (Gráfico 8, 9 y 10), y que es operado con coordinaciones y maniobras, descritas a continuación:

Coordinaciones y Maniobras para Arranque del Grupo: El mando de las Compuertas de Regulación está en forma manual. Por tanto, el Tomero debe mantener el nivel de cámara de carga (nivel de C.C.) en 1320.5 msnm., realizando la apertura o cierre de las Compuertas de Regulación (C.R.) 1 y 2. Estas maniobras son contrastadas con el caudal del canal de enlace (Q enlace) necesario para la potencia solicitada.

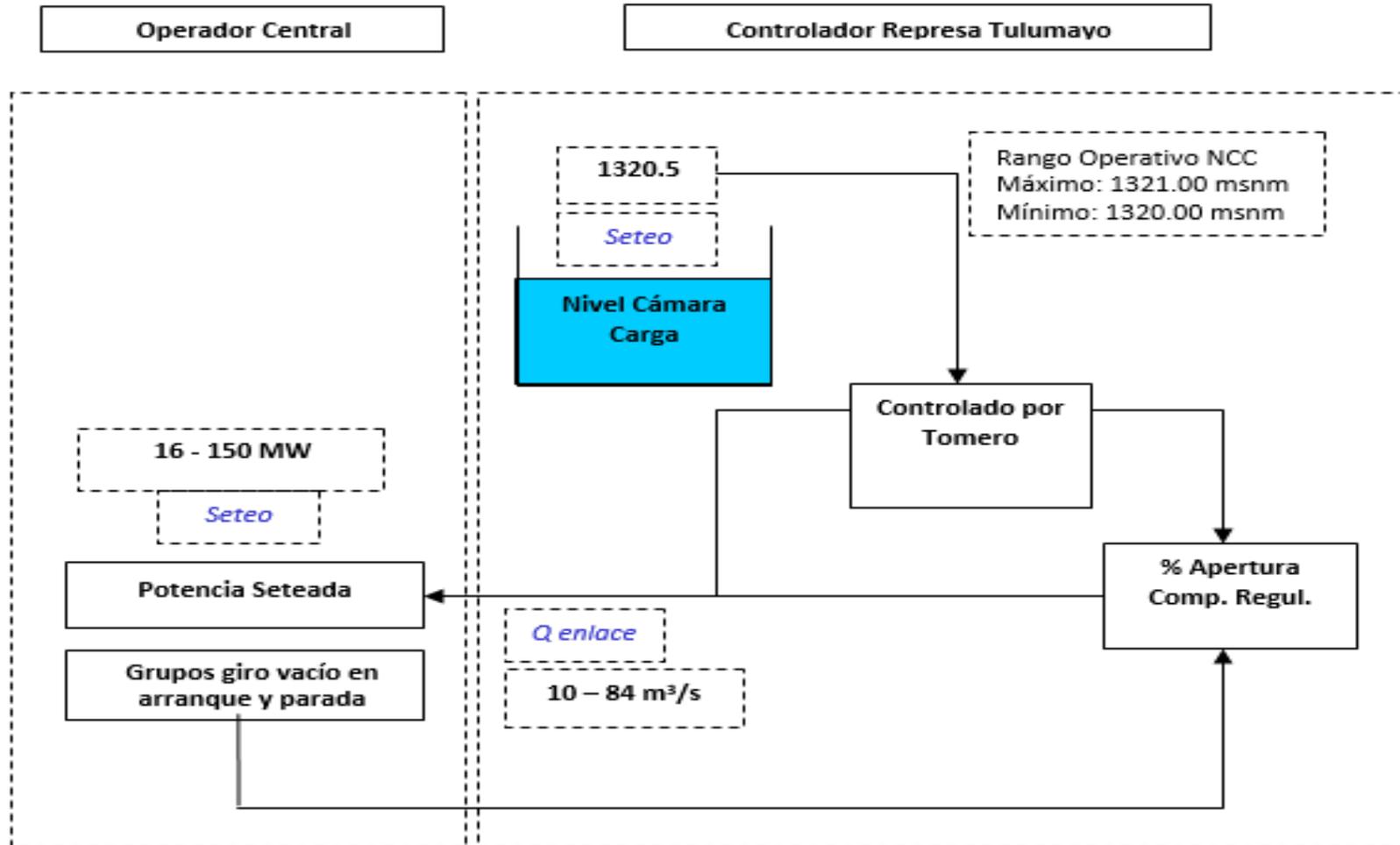
Desde el arranque hasta la sincronización, el grupo gira en vacío (sin carga), por tanto, consumen un Q enlace mínimo que pueda hacer girar la velocidad nominal. El Operador de Central antes de iniciar el arranque del grupo informa al Tomero la potencia solicitada (por centro de control). El Tomero de acuerdo al valor de potencia determina el arranque de 1 o 2 grupos y realiza la apertura de las C.R.1 y/o 2 para mantener el nivel de C.C. por el consumo de Q enlace del grupo en vacío. Para realizar las acciones antes descritas, es preciso que los actores involucrados posean los datos detallados en la Tabla 2.

Tabla 3
Datos para el Funcionamiento Actual de las Compuertas

| DATOS | DESCRIPCIÓN |
|--------------------------|---|
| Datos Requeridos | Un grupo en vacío, CR1 o CR2 en 3% (una CR abierta); Q enlace 10 m ³ /s. Dos grupos en vacío, CR1 y CR2 en 3% (ambas CR abiertas); Q enlace 20 m ³ /s. Cuando el grupo entra en servicio (sincronizó con la red), se inicia a subir la carga hasta la potencia solicitada. El operador setea la potencia de forma lenta y progresiva, forma escalonada, hasta llegar a la potencia solicitada. El Tomero verifica que el nivel de C.C. empieza a bajar, entiende que el grupo entro en servicio, por ende, empieza a realizar la apertura de las CR1 y CR2 hasta el valor de la potencia solicitada (Tabla de Apertura de C.R.) para mantener el nivel de C.C. Esta maniobra lo contrasta con el valor Q enlace que es necesario para la potencia solicitada. |
| Datos Importantes | En el Scada, el seteo de la potencia tiene como valor mínimo de 16 MW por cada grupo. Si el grupo 1 y 2 entran en servicio a la vez, se tendría que considerar que el valor mínimo de generación es de 32 MW. Desde el Scada se puede setear la potencia desde 16 hasta 76 MW por cada grupo (total por central de 152 MW). La potencia generada está ligada inversamente a la frecuencia, mejor dicho, si la frecuencia es baja la potencia a generar sube rápidamente y si la frecuencia es alta la potencia a generar sube lentamente. Cuando cada grupo está generando a su plena carga (150 MW), y existe la condición de baja frecuencia, la Central puede llegar a generar hasta 159 MW. |
| Datos Técnicos | Debido a problemas de vibración en la Central se han detectado potencias críticas en las que no se debe trabajar y se han establecido 5 potencias a generar: 45 MW (1 ^{er} grupo), 75 MW (1 ^{er} grupo), 90 MW (2 ^{do} grupo), 120 MW (2 ^{do} grupo) y 150 MW (2 ^{do} grupo). Las potencias que se dan en subida o bajada de carga en el 1 ^{er} grupo entre 32 MW a 38 MW y 2 ^{do} entre 62 MW a 68 MW. |

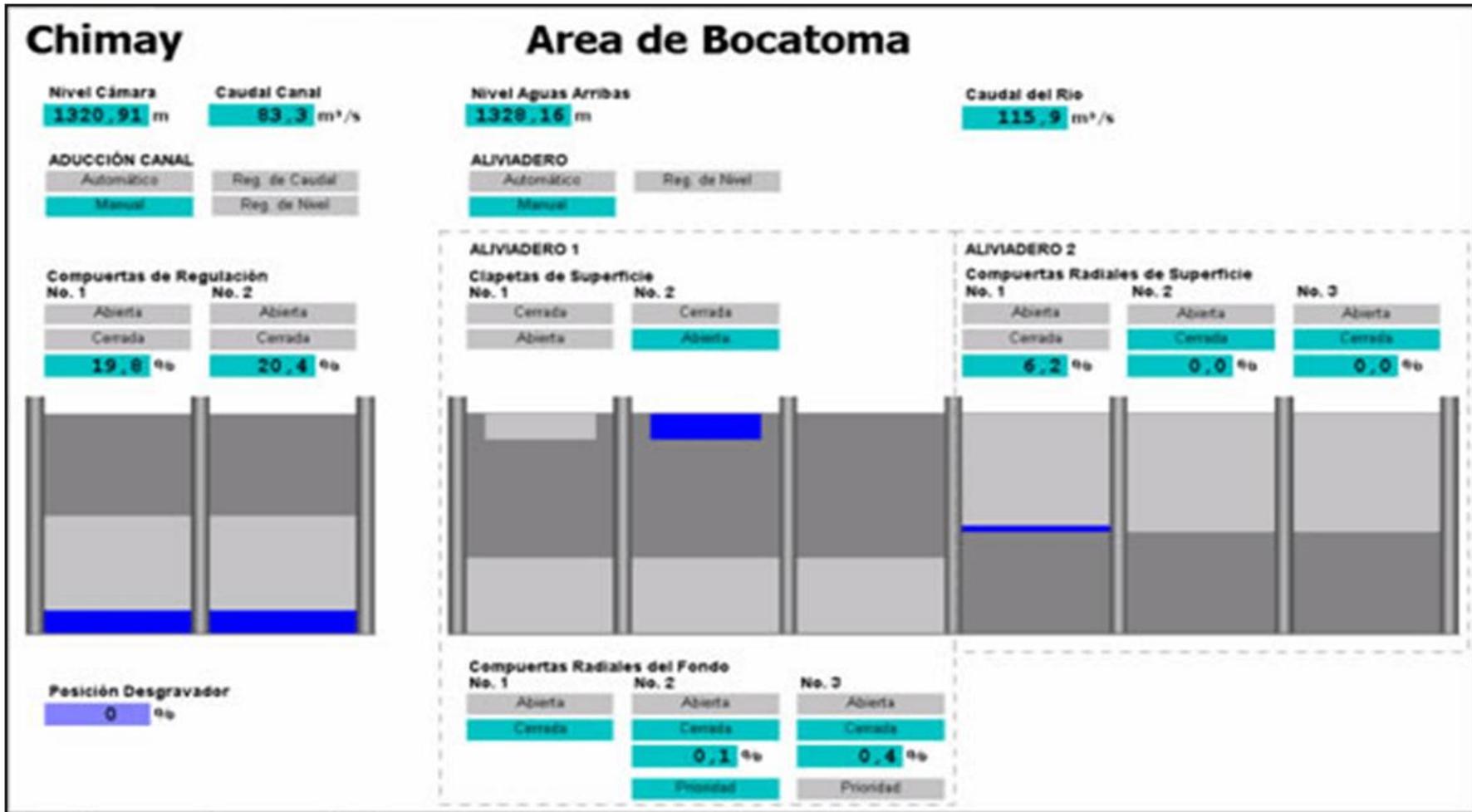
Fuente: (García Maguiña, 2021)

Gráfico 8
 Funcionamiento Actual de las Compuertas de Regulación



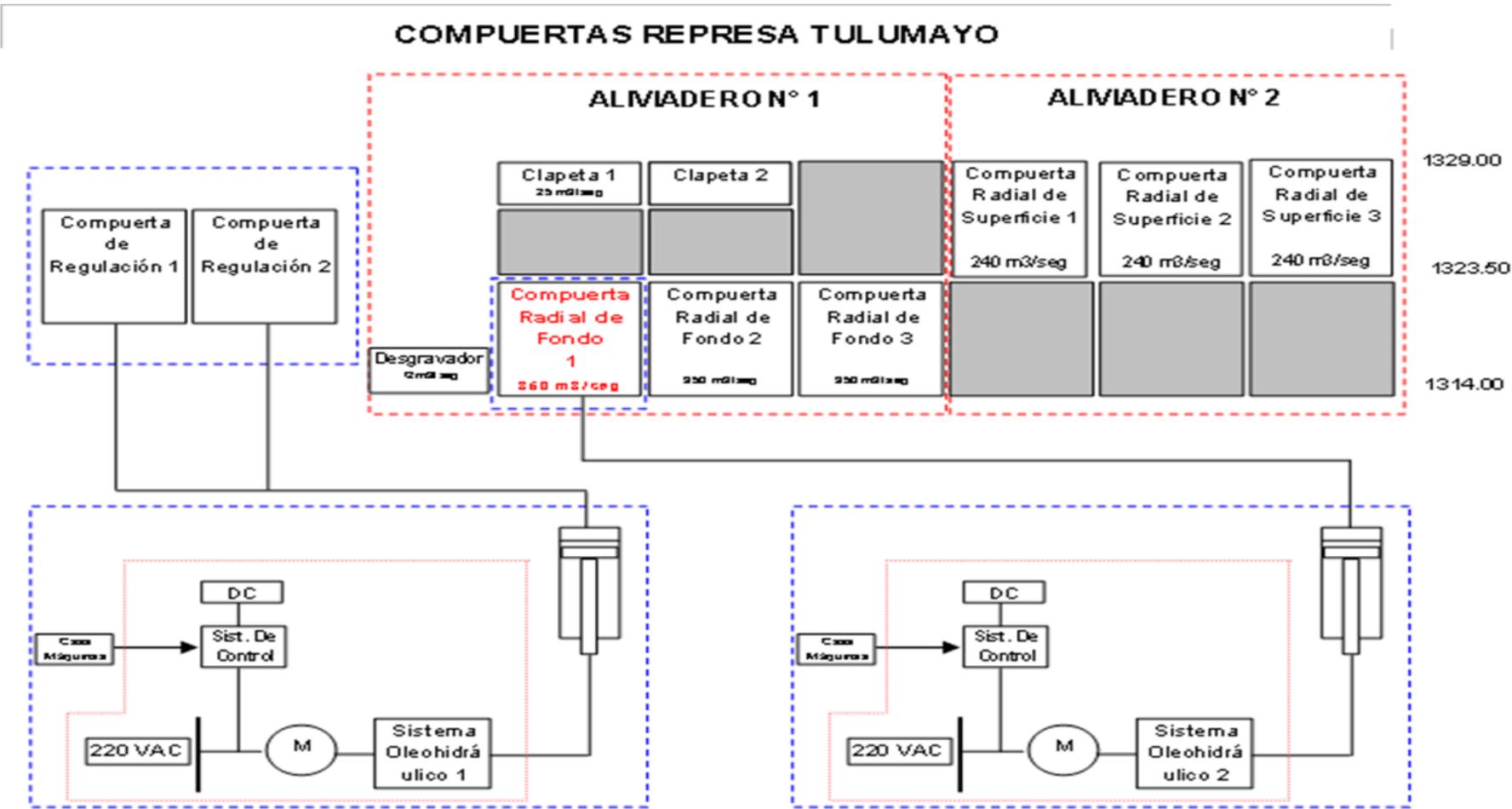
Fuente: (García Maguiña, 2021)

Gráfico 9
Operación de las Compuertas de la Presa Tulumayo



Fuente: (ENEL, Datos Electrónicos SCADA, 2021)

Gráfico 10
Compuertas de Represamiento de la Represa Tulumayo



Fuente: (García Maguiña, 2021)

3.1.1. Antecedentes de la Investigación

Se ha visto por conveniente, solo considerar como antecedente las eventualidades ocurridas en el área delimitada, a fin de mostrar la importancia de incorporar la automatización a las compuertas de regulación.

De acuerdo a la investigación realizada en la represa, el promedio de flujos de superficies en el río Tulumayo para un periodo de 37 años oscilan entre los 53.5 m³/s y los 98.4 m³/s, siendo: el flujo mensual mínimo de 23 m³/s, y el caudal máximo estimado para un periodo de 10 años es de 550 m³/s.

Como punto de referencia, podemos mencionar el año 2001, año en el que el caudal mayor se registró el 11 de marzo con 485 m³/s, y el caudal más bajo se registró 01 de septiembre del 2001 con 20 m³/s.

A continuación, mencionaremos de forma detallada y con datos técnicos, hechos históricos no favorables para las operaciones de generación, y que asumieron algunas fallas y cortes eléctricos:

El 27 de marzo de 2004 la central Chimay generaba 157.83 Mw, pero con la presencia inesperada del Huayco, se estima que el caudal mayor alcanzó los 800 m³/s. Así también, las condiciones climatológicas fueron desfavorables durante toda la noche, y desde las horas 22:30 se presentaron tormentas eléctricas en la Toma Tulumayo, lo que ocasionó que la línea 13.8 KV salga fuera de servicio (hasta en dos oportunidades) por descargas atmosféricas (22:52 h y 23:15 h). Luego:

- Desde las 24:00 horas se presentó incremento del caudal de río a 187 m³/s y la concentración subió hasta 0.5 gr/l (con tendencia a seguir subiendo).
- A las 02:30 horas el caudal incrementó hasta 450 m³/s y la concentración subió a 1.8 gr/l (con tendencia a seguir subiendo). Ante este hecho, se coordina con centro de control para sacar la central fuera de servicio.

- A las 03:00 horas la central sale fuera de servicio por alta concentración de sólidos (2 gr/l), y se produce parada normal en ambos grupos, mientras que el caudal seguía incrementándose.
1. El 10 de enero de 2006 la central hidroeléctrica Chimay generaba 157.83 Mw, y se presentaron las siguientes fallas:

FALLA 1:

Al quedarse **sin alimentación de energía eléctrica de los servicios auxiliares en la toma Tulumayo**. Por mantenimiento se ocasionó la desconexión de la línea 13.8 kV hacia la toma Tulumayo. Luego el equipo de emergencia falla, entonces el grupo Diesel de la toma queda inoperativa. Finalmente el último respaldo de energía en caso de emergencia a través de las baterías de corriente continua también falla, por ende se pierden todas las señales (nivel de cámara de carga, PLC, panel de membrana, alimentación a bobinas de electroválvulas de compuertas, protecciones, comunicaciones) y se cierran intempestivamente las compuertas de regulación 1 y 2 (desde ese momento no hay ingreso de caudal para el proceso de generación), por lo que se tuvo que bajar carga de 152 Mw a 45 Mw, por ende se saca fuera de servicio el grupo 2 con el fin de reducir el consumo de caudal de ingreso al proceso de generación y reducir la velocidad de que baje el nivel de cámara de carga.

- A las 18:48 h se realiza apertura del interruptor 52BOC de la Línea 13.8 KV. que alimenta energía eléctrica de la central hidroeléctrica Chimay a la toma Tulumayo para atención de la anomalía 10030006 “Falla de transferencia automática de línea a grupo Diesel” por parte de personal de mantenimiento control.
- A las 18:50 h se procede a bajar carga de 152 Mw a 90 Mw debido a que la transferencia no se realiza, y se cierran intempestivamente las compuertas de regulación 1 y 2, por pérdida de la corriente continua.

- A las 19:07 h se procede a sacar fuera de servicio el grupo 2 debido a que nivel de la cámara de carga continúa en descenso debido a problemas en el arranque en forma manual del grupo Diesel. La central queda con una generación de 45 Mw.
- A las 19:10 h se encuentra el borne de baterías sulfatado, y 1 cable del terminal seccionado, se procede a restablecer las baterías y con ello el sistema de continua, para luego restablecer la línea de 13.8 Kv.
- A las 19:17 h el grupo 2 vuelve a ponerse en servicio, con la central generando 152 Mw luego de normalizar el nivel de la cámara de carga.

FALLA 2:

El **Diesel presenta problemas** para asumir las cargas de los servicios auxiliares por presencia de la alarma “barra voltaje 138vac” y presentando un ruido extraño.

- A las 23:24 h abre intempestivamente el interruptor (52BOC) de la línea 13.8 KV hacia la toma Tulumayo por actuación del relé de falla a tierra (64), como el sistema de corriente continua no alimenta a las electroválvulas de las compuertas de regulación 1 y 2, estas se cierran intempestivamente, por lo que se tuvo que bajar carga de 152 a 90 Mw
 - Inmediatamente se vuelve a cerrar interruptor (52BOC) de la línea 13.8 KV. y se logra abrir las compuertas de regulación 1 y 2.
 - A las 23:30 h se normaliza la generación de la central a 152 MW.
2. El 25 de diciembre de 2006 la central Chimay se presentaba generando 90 Mw, cuando se presentó el cierre intempestivo de la **compuerta regulación N° 1**.
- A las 10:39 h comienza a cerrar intempestivamente la compuerta de regulación N° 1, entonces el Controlador de Toma al percatarse que la compuerta de regulación N° 1 disminuyó su apertura de 11%

a 8%, decide dar orden de abrir la compuerta de regulación N°1, no respondiendo a la orden de apertura, por ende se bloquea el circuito oleo hidráulico, manteniéndose la compuerta de regulación N° 1 en 5%, por lo que se procede a abrir la compuerta de regulación N° 2 de 11% a 23%, y así mantener el nivel de cámara de carga.

- Cuando se empezó a cerrar la compuerta de regulación N°1, por seguridad se bajó carga del grupo 1 y 2 a 40 Mw cada uno, por el tiempo de 2 minutos aproximadamente, el nivel de cámara de carga se recupera y llega a 1320.70 msnm (valor de nivel dentro del estándar)
- Una vez controlada la contingencia se bloquea el cierre de la compuerta de regulación N° 2, cerrando las válvulas 38.2/V2 y 64.2/V3.

3.1.2. Bases Teóricas

3.1.2.1. Control Automático: Tratándose de un proyecto de automatización, es preciso saber que involucra un control automático, para esto consideraremos las definiciones de (Aracil & Gómez-Estern, 2021), descritas en su documento titulado: *“Apuntes de Regulación Automática”*.

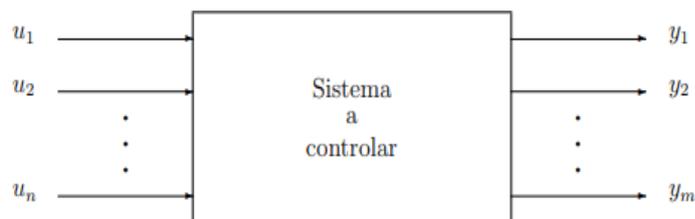
Ellos mencionan, que el control automático se concibe de manera intuitiva, como la rama de la técnica que tiene por objeto concebir ingenios que funcionen autónomamente. Esta noción intuitiva requiere unas ciertas matizaciones, pero es válida como punto de partida.

Si consideramos que todo proceso industrial interviene por una parte la información (órdenes) y por otra la potencia, cabe considerar el funcionamiento de un proceso como la adopción de las acciones necesarias frente al mismo (señales de mando o control) para la conveniente dosificación de la energía en los distintos puntos del proceso para que el funcionamiento del conjunto sea el conveniente.

A la vez afirman, que, en todo proceso, sea la fabricación de un producto, se realizan una serie de acciones que presuponen la dosificación de la aplicación de energía en determinados puntos, bien bajo la acción de unas órdenes que se suministran al mismo o de una manera aleatoria por parte del medio en el que se halla inmerso.

En el Gráfico 11 se representa un sistema por medio de un bloque, o rectángulo. A la izquierda de este bloque se han representado unas flechas que se han denotado por $\mu_1, \mu_2 \dots$ y que representan las distintas señales de control, mando, o entrada. A la derecha del bloque se han representado otras flechas, como saliendo del mismo, que se han denotado por $\gamma_1, \gamma_2, \dots$ y que representan los productos que produce el proceso. Tanto las acciones sobre el sistema como los productos del mismo generalmente varían con el tiempo, por lo que se hablará de secuencias temporales, o más formalmente de señales.

Gráfico 11
Sistema Dinámico



Fuente: (Aracil & Gómez-Estern, 2021)

Al observar este esquema, al nivel que se ha desarrollado hasta ahora, tiene una amplia aplicación. Por ejemplo, la conducción de un automóvil por una carretera puede considerarse como un proceso sistema representado con un diagrama similar al de la Gráfico 11 siendo μ_1 la posición del volante; μ_2 la dirección del viento respecto a la del automóvil, etc., y siendo γ_1 la velocidad del automóvil; γ_2 la separación del mismo de la cuneta, etc. De una manera intuitiva se entiende que un proceso está automatizado cuando funciona solo, es decir, sin intervención del

ser humano. Aunque este ejemplo trivial pueda asociarse al dominio de la ciencia ficción, recientes avances en disciplinas como la visión artificial y el aprendizaje automático, auguran su inminente viabilidad técnica.

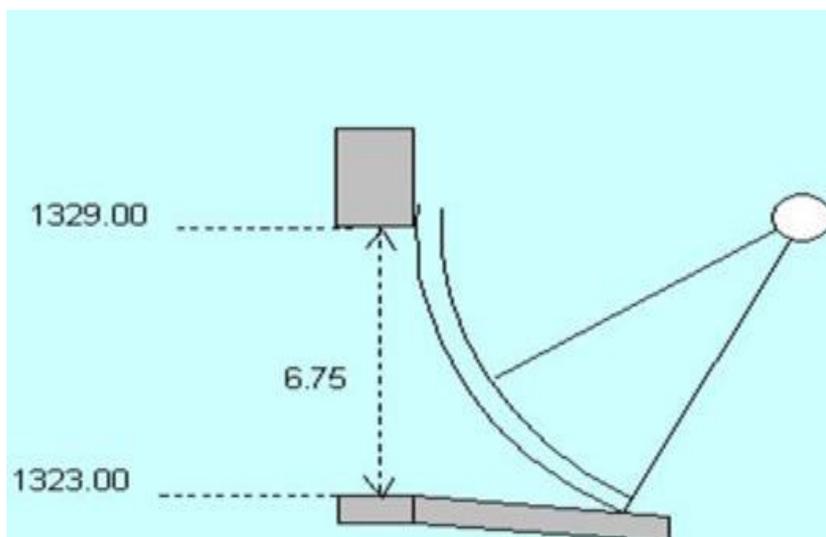
3.1.2.2. Compuertas de la Represa Tulumayo: Las compuertas están diseñadas para regular caudales generalmente, pero la forma en que realizan la regulación es muy variada, pues los distintos tipos de compuertas manejan especificaciones variables, tanto en componentes como en el modo en que operan, a continuación, describiremos las compuertas que se ubican en la Presa Tulumayo:

COMPUERTAS RADIALES DE SUPERFICIE (CRS)

Son 03 y están alojadas contiguamente a las CRF y su función es regular los vertidos al río para conservar un nivel de embalse, también tiene la función de desalojar grandes cantidades de cuerpos flotantes sólidos (palizada) que se sientan en el deflector, para ello se apertura la CRS1 por un tiempo, así como se representa gráficamente en el Gráfico 12.

Gráfico 12

Representación Gráfica de las Compuertas Radiales de Superficie



Fuente: (García Maguiña, 2021)

Así también, las especificaciones técnicas de las condiciones en el que opera, se pueden apreciar en la Tabla 4.

Tabla 4
Especificaciones Técnicas de Operación de la CRS

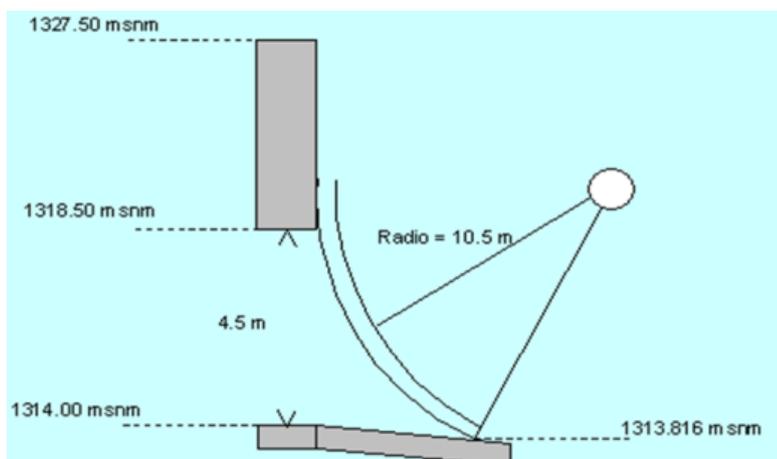
| COMPONENTE | MEDIDA |
|-----------------------------|--|
| Dimensiones hueco | 8 x 6.75 m. |
| Caudal vertido | 240 m ³ /s (cota 1329) |
| Velocidad subida (Apertura) | 0.235m/min |
| Tiempo Apertura | 15.2 min |
| Velocidad bajada (Cierre) | 0.235m/min |
| Tiempo Cierre | 15.2 min |
| Peso parte móvil | Aprox 18 Tn compuerta (excluyendo los cilindros) |

Fuente: (García Maguiña, 2021)

COMPUERTAS RADIALES DE FONDO (CRF)

Son 03 y están alojadas en los tres primeros vanos situados al lado de la sala de mando de toma y su función es regular los vertidos al río en función a las aportaciones de caudal, a la vez que con su apertura se produce una limpieza de los sedimentos acumulados en el fondo de la presa, así como muestra su representación gráfica (Gráfico 13).

Gráfico 13
Representación Gráfica de las Compuertas Radiales de Fondo



Fuente: (García Maguiña, 2021)

Así también, las especificaciones técnicas de las condiciones en el que opera, se pueden apreciar en la Tabla 5.

Tabla 5
Especificaciones Técnicas de Operación de la CRF

| COMPONENTE | MEDIDA |
|-----------------------------|---|
| Dimensiones hueco | 8 x 4.5 m. |
| Caudal vertido | 350 m ³ /s (cota 1329) |
| Velocidad subida (Apertura) | 0.31m/min |
| Tiempo Apertura | 16.6 min |
| Velocidad bajada (Cierre) | 0.31m/min |
| Tiempo Cierre | 16.6 min |
| Peso parte móvil | Aprox 30 Tn compuerta (excluyendo los cilindros) |

Fuente: (García Maguiña, 2021)

COMPUERTAS DE REGULACIÓN

Son 02 y cumple la función de regular el caudal de agua aportado por el río hacia la cámara de carga. Cada compuerta es accionada por un servomotor. Las maniobras de apertura se realizan con la motobomba operando, la de cierre se realiza por gravedad. En las UMS-A y UMS-B estará disponible un nivel de mando y supervisión de la toma.

Las especificaciones técnicas de las condiciones en el que opera, se pueden apreciar en la Tabla 6.

Tabla 6
Especificaciones Técnicas de Operación de la CR

| COMPONENTE | MEDIDA |
|-----------------------------|------------------------|
| Dimensiones hueco | 5 x 4.5 m. |
| Velocidad subida (Apertura) | 0.27 m/min |
| Tiempo Apertura | 17.7 min |
| Velocidad bajada (Cierre) | 2.4 m/min |
| Tiempo Cierre | 2.0 min |
| Presión Alta | 170 bar |
| Presión Baja | 20 bar |
| Presión trabajo | 98 bar |
| Limitador Presión | 228 bar |
| P. arranque | 105 bar (cota 1329.00) |
| Presión bomba | 220 bar |
| Caudal bomba | 18.8 l/min |
| Peso parte móvil | 1.0 Tn Compuerta |

Fuente: (García Maguiña, 2021)

3.1.2.3. Sistema Oleohidráulico: Es un sistema, ubicada en la sala de control, y transmite energía para accionar las compuertas. En la Represa Tulumayo, tenemos 2 sistemas.

SISTEMA OLEOHIDRAÚLICO 1

Se encuentra ubicada en la sala de control de compuertas en el interior de la caseta de toma. Tiene una potencia necesaria para accionar las compuertas provenientes de 2 electrobombas de 8.6 Kw. cada una. Así como una bomba de accionamiento manual, a utilizar en el caso de falta de suministro eléctrico.

Consta de un tanque de almacenamiento de aceite (800 litros) sobre el cual se encuentra un panel donde están alojadas las electroválvulas y demás elementos para controlar las maniobras de las compuertas.

SISTEMA OLEOHIDRAÚLICO 2

La energía para el accionamiento de las compuertas aliviaderos proviene de un grupo oleohidráulico, alojadas en el interior de la sala de control de toma. El grupo oleohidráulico está provisto por 14 componentes, descritos en la Tabla 7:

Tabla 7
Componentes del Sistema Oleohidráulico 2

| N° | COMPONENTE | DETALLES |
|-----------|--------------------------------|--|
| 1 | Electrobombas (Bomba 1 y 2) | 4.6 Kw 230V 14.43A. |
| | | Tipo 4/3 con centro cerrado |
| 2 | Electroválvulas | Tensión de bobinas 230 V Pulsador de emergencia oculto, máxima presión de trabajo 210 bar. |
| | | Pulsador de emergencia oculto, máximo caudal de trabajo. 38 l/min |
| 3 | Presostatos | Temperatura de fluido -30 a +80 °C Rango presión de ajuste 40 a 210 bar Máxima presión admisible 350 bar |

| | | | |
|----|--|-----------------------------|--|
| | | Carga en contactos alterna | hasta 250 V/ 5 A |
| | | Carga en contactos continua | 250 V / 0.02 A |
| | | Tipo | Encoder lineal |
| | | Alimentación | 24 VDC |
| | | Señal de salida | 4 – 20 mA 4 mA = Compuerta abierta 20 mA = Compuerta cerrada |
| 4 | Sensores de posición de compuertas | Rango de medición | 50 – 3750 mm |
| | | Tipo | Inductivos 24 VDC (con protección contra polaridad inversa) |
| 5 | Detectores de proximidad inductivos | Tensión | 130 mA |
| | | Corriente | SIEMENS |
| | | Marca | 12KENCL |
| 6 | Final de carrera | Tipo | 230V |
| | | Tensión | fibra de papel Grado de filtración: 3 um |
| 7 | Filtro aireación y llenado de depósito | Material del filtro | |
| 8 | Presión Alta | 205 bar | |
| 9 | Presión Baja | 20 bar | |
| 10 | Presión trabajo | 170 bar | |
| 11 | Limitador de Presión | 238 bar | |
| | Presión de arranque (cota 1329.00) | CRS | 175 bar |
| 12 | | CRF | 215 bar |
| 13 | Presión bomba | 220 bar | |
| 14 | Caudal bomba | 6.7 l/min | |

Fuente: (García Maguiña, 2021)

3.1.2.4. Clapetas (CLP): Son 02 y estas alojadas en los dos primeros vanos situados al lado de la sala mando de toma y sobre las CRF1 y CFR2, cuya función es la de desalojar pequeños caudales vertidos, a la vez se eliminan los cuerpos flotantes sólidos. Las especificaciones técnicas de las condiciones en el que opera, se pueden apreciar en la Tabla 8.

Tabla 8
Especificaciones Técnicas de Operación de las Clapetas

| COMPONENTE | MEDIDA |
|-----------------------------|------------------------------------|
| Dimensiones hueco | 5.4 x 2 m. |
| Caudal vertido | 11.9 m ³ /s (cota 1329) |
| Velocidad subida (Apertura) | 0.43 m/min |
| Tiempo Apertura | 2.7 min |
| Velocidad bajada (Cierre) | 0.43 m/min |
| Tiempo Cierre | 2.7 min |
| Peso parte móvil | 18 Tn Compuerta |

Fuente: (García Maguiña, 2021)

3.1.2.5. Medida Caudal de Enlace, Nivel de Embalse y Cámara de Carga

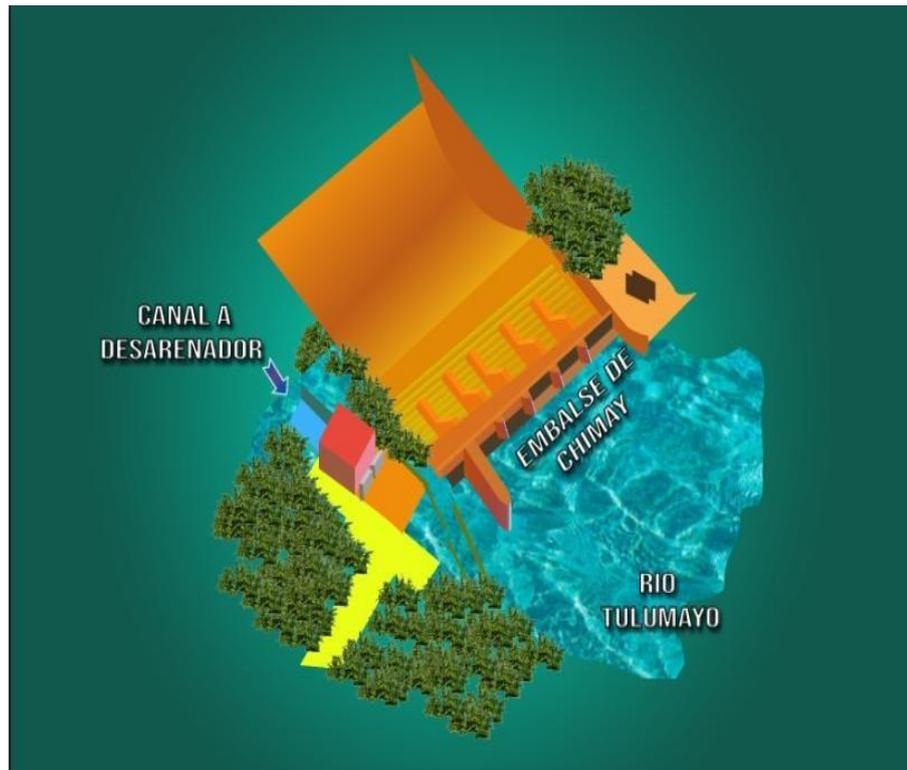
MEDIDA NIVEL DE EMBALSE

Teniendo en cuenta que se trata de una medida fundamental para la explotación de la central e imprescindible para la regulación automática del nivel de la presa, se tenía un sistema de medida fiable y preciso basado en un transmisor de presión hidrostática que proporciona una señal analógica proporcional al nivel, actualmente es un sensor de ultrasonido que cumple la misma función.

- **Nivel de rebose** : 1329.00 msnm
- **Nivel máximo de embalse** : 1328.70 msnm
- **Nivel mínimo de embalse** : 1324.00 msnm
- **Nivel de solera** : 1328.50 msnm

El gráfico 14, muestra de manera gráfica, como se visualiza el nivel de embalse, y cómo se ubica respecto a los demás componentes de la central Chimay.

Gráfico 14
Representación Gráfica del Nivel de Embalse



Fuente: (García Maguiña, 2021)

MEDIDA NIVEL CÁMARA DE CARGA

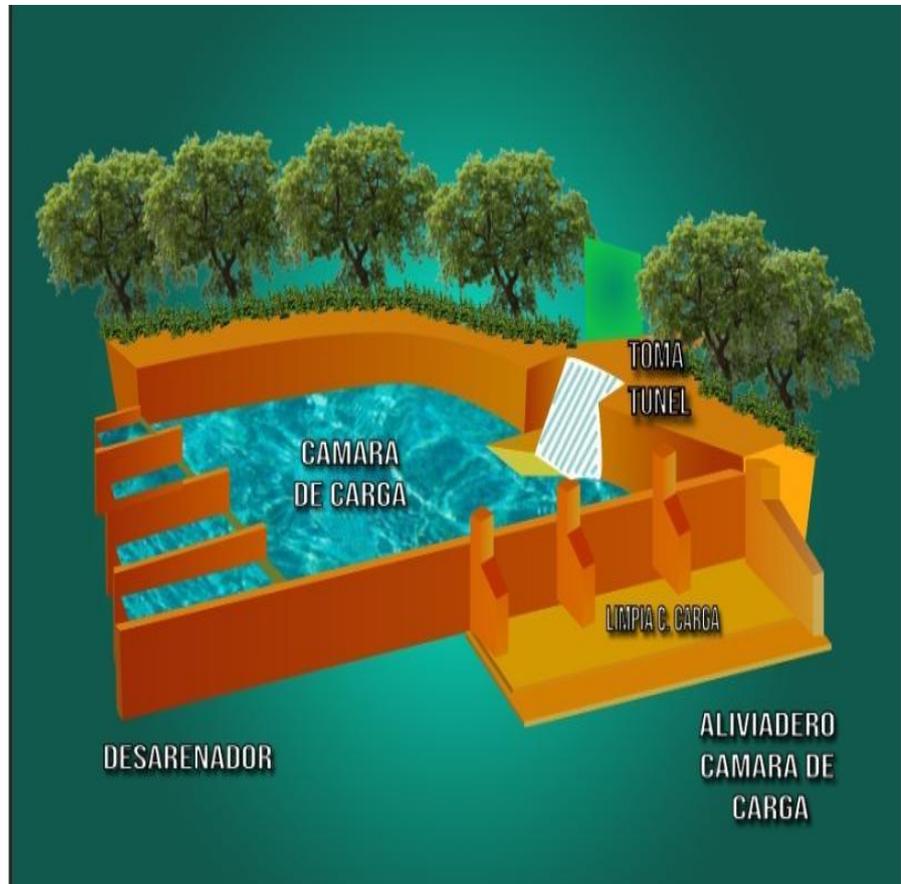
Esta medida está basada en un transmisor de presión hidrostática, que proporciona una señal analógica proporcional al nivel. También se tiene de modo local (hacia la toma) un sensor de ultrasonido. Adicionalmente tiene boyas con contactos.

En la representación gráfica de la cámara de carga, mostrada en el Gráfico 15, consideremos los siguientes detalles:

- **Nivel alto** : 1321.5 msnm - Alarma por rebose excesivo.
- **Nivel bajo** : 1319.5 msnm - Alarma por nivel bajo.
- **Volumen bruto:** 15000 m³.
- **Volumen útil** : 9000 m³.
- **Volumen muerto:** 6000 m³.

- **Nivel muy bajo:** 1318.7 msnm - Transmitido como teledisparo a la central provocando disparo mecánico de los grupos.

Gráfico 15
Representación Gráfica de la Cámara de Carga



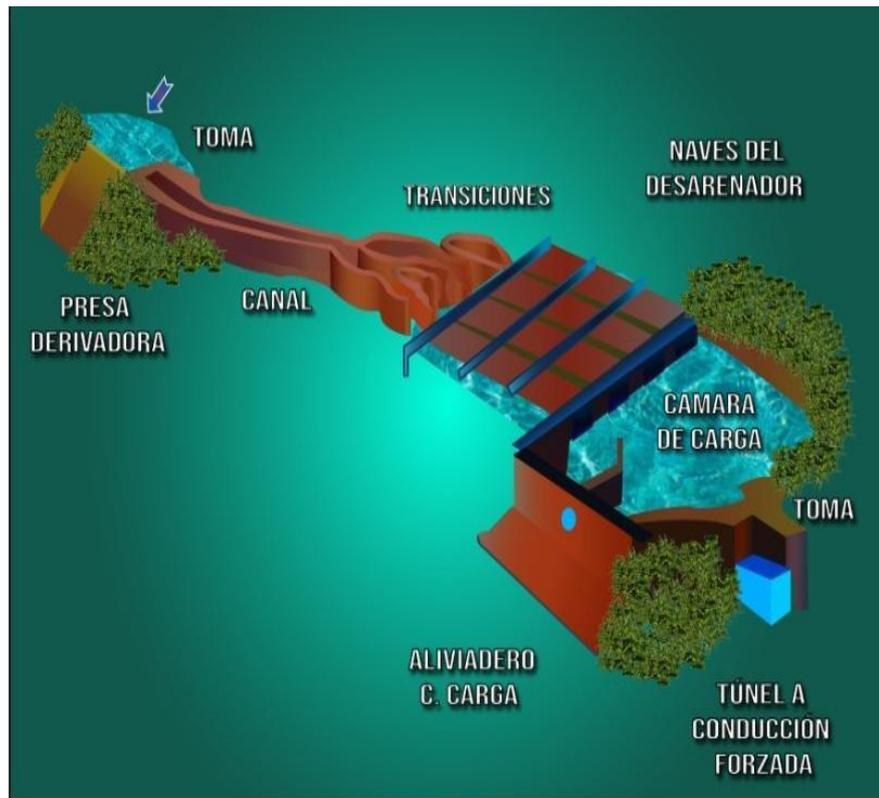
Fuente: (García Maguiña, 2021)

MEDIDA CAUDAL CANAL DE ENLACE

Debido a la importancia de esta medida para la regulación del caudal en el canal de la cámara de carga, se tiene un sistema de medida fiable y preciso basado en la medida de nivel y la velocidad del agua en él, a partir de los cuales y aplicando un algoritmo calculará el caudal de enlace.

Este sistema se puede visualizar en el Gráfico 16, y se ve claramente como es el traslado del agua, desde la toma, hasta la cámara de carga.

Gráfico 16
Representación Gráfica del Canal de Enlace



Fuente: (García Maguiña, 2021)

3.1.3. Bases Legales

3.1.3.1. Ley de Concesiones Eléctricas (Decreto Ley N° 25844) y su reglamento: Establece la división de actividades (Generación, transmisión y distribución) y mecanismos de regulación. Es la norma madre del sector eléctrico y considerable en el presente TSP, para actuar conforme a los mecanismos establecidos en la norma.

3.1.3.2. R.S. N° 032-2009-EM del 24 de mayo de 2009 y propiedad del Inmueble de Lima (R.S. N° 080-2012-EM del 11 de julio de 2012): Ambas resoluciones supremas, dan los permisos como concesión, para que la Central Hidroeléctrica Chimay pueda operar.

3.1.3.3. Reglamento para la Protección Ambiental en las Actividades Eléctricas (Decreto Supremo N° 014-2019-EM): Las actividades que se realiza en la empresa a pesar de que cubran las necesidades de millones de personas, no deben comprometer el espacio y bienestar de generaciones futuras, o lo que llamamos realización de actividades sostenibles. Es por eso que es indispensable considerar los artículos de la presente ley, para promover y regular la gestión ambiental en la actividad de generación, con la finalidad de prevenir, minimizar, rehabilitar y/o compensar los impactos ambientales negativos.

Después de haber descrito el proceso en el que se desarrolla la generación de energía eléctrica, desde la Central Hidroeléctrica Chimay, seguido de conocer cuál es el funcionamiento actual de las compuertas de regulación. También pudimos identificar en el área de antecedentes, episodios desfavorables dentro de la operación de generación, a la vez conocimos algunas definiciones teóricas de importancia y también conocimos de forma descrita y técnica, cuál es la función y cómo operan los componentes involucrados en este sistema de automatización. Finalmente, tomamos en cuenta algunas normas prioritarias para el presente estudio y que servirán para regular las actividades cuando se implemente el sistema propuesto.

Con las bases sólidas y el entendimiento de los procesos, en los siguientes ítems se desarrollará la propuesta de Automatización, cuánto tiempo involucró su desarrollo y el análisis económico que conlleva el presente TSP y su implementación.

3.1.4. Diseño del Proceso de Automatización

FILOSOFÍA DE CONTROL Y PROTECCIÓN DE LA TOMA

La filosofía de control debe de contemplar 02 temas, el Control y la Protección de la Toma Tulumayo, debiendo tener carácter mandatorio el tema de la protección.

Lo que se debe de mantener es un nivel constante en la cámara de carga y por cualquier motivo debe de evitarse lo siguiente:

- No se debe dejar rebosar agua en la cámara de carga y que esta agua se vaya al río.
- Igualmente, no se debe dejar que el nivel del agua en la cámara de carga caiga por debajo del nivel de disparo de la Central.
- La Protección de la Toma Tulumayo debe de funcionar en todos los modos de control (Automático / Manual) y en todos los modos de operación (Local / Remoto).

La Lógica de Protección de la Toma Tulumayo debe contemplar como mínimo lo siguiente:

- Ante un disparo del G1 en la Central se debe de iniciar el cierre de la compuerta de regulación 01 en la Toma Tulumayo hasta un 3% de apertura, luego de llegar al 3% arrancar la regulación por nivel de y colocaría la compuerta en la posición adecuada para conservar el nivel en el valor de consigna.
Además, debe de encenderse la lámpara G1 disparó, esto en la Toma. Para que salga la orden de Cierre hasta 3% de apertura en la compuerta 01 se debe de tener señal de disparo de G1 y la medida de potencia de G1 en valor cero Mw.
- Ante un disparo del G2 en la Central se debe iniciar el cierre de la compuerta de regulación 02 en la Toma Tulumayo hasta un 3% de apertura. Luego de llegar al 3% arrancar la regulación por nivel y colocaría la compuerta en la posición adecuada para conservar el nivel en el valor de consigna.
Además, debe de encenderse la lámpara del grupo 2 disparó, esto en la Toma. Para que salga la orden de Cierre hasta 3% de apertura en la compuerta 02 se debe de tener señal de disparo de grupo 2 y la medida de potencia de grupo 2 en valor cero Mw.
- Ante una señal de disparo de ambos grupos 1 y 2 se deben de cerrar ambas compuertas de regulación 01 y 02 hasta un 2% de apertura en cada una, que es el valor de giro en vacío. Luego, cerrar completamente las compuertas de regulación cuando la Válvula Mariposa 1 y la Válvula Mariposa 2 se encuentren completamente cerradas.

Para que salga la orden de Cierre de compuertas 01 y 02 en la Toma, se debe de tener activadas la señal de disparo de grupo 1 y grupo 2 y las medidas de potencia de grupo 1 y grupo 2 en valor cero Mw.

- Ante un cierre intempestivo de las 02 compuertas de regulación por falla en el circuito de control, se debe de avisar a la central y alertar al operador con una alarma sonora y luminosa.
- Finalmente se adicionará al existente, un disparo por bajo nivel de cámara de carga, si y solo si las 02 medidas de nivel de cámara de carga en la Toma Tulumayo, están por debajo del ajuste de nivel de disparo.

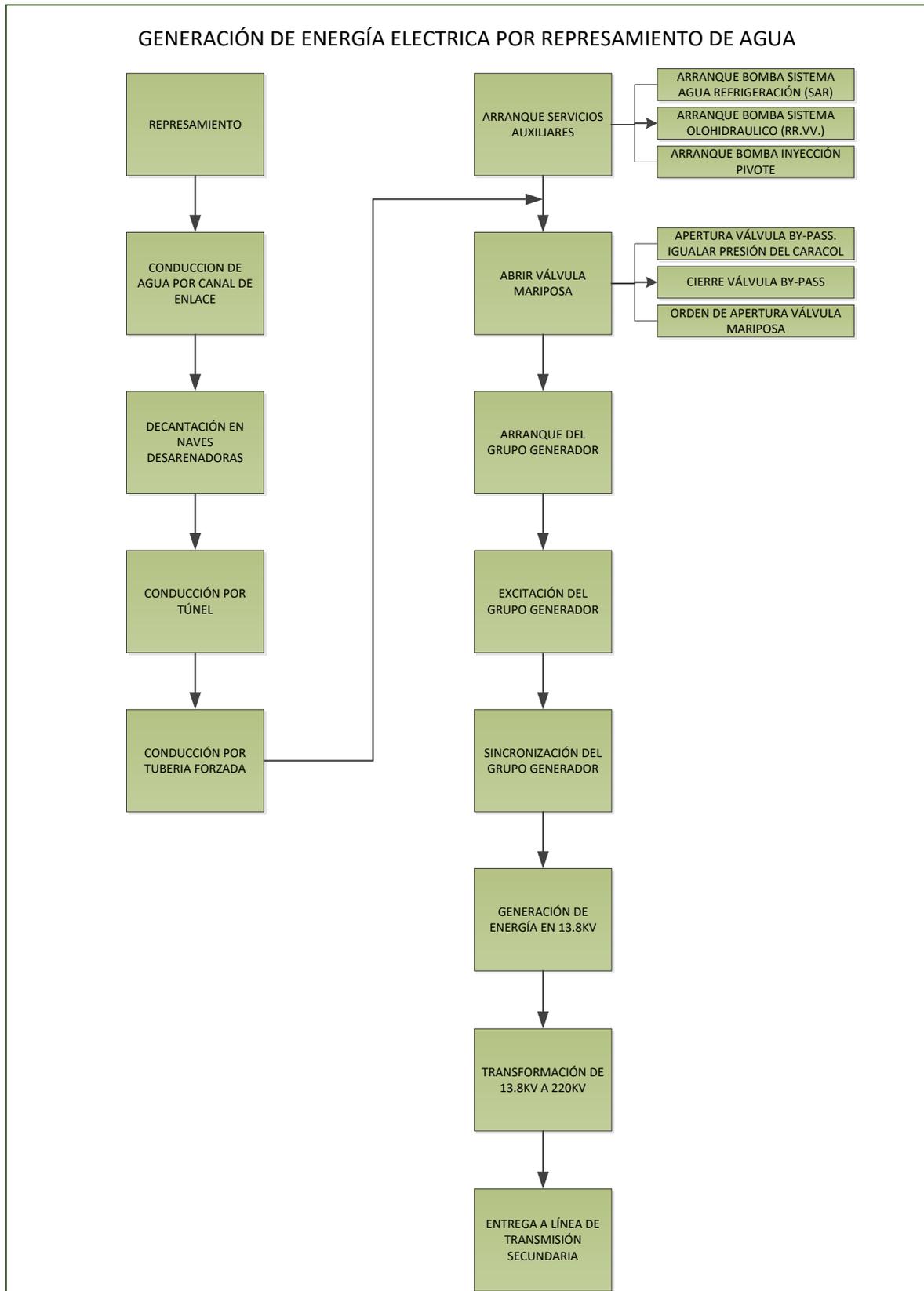
La Lógica de Control de la Toma Tulumayo debe de contemplar como mínimo lo siguiente:

- La consigna del nivel de cámara de carga deberá darse en la sala de mando de la central, a lo igual que el ajuste de las alarmas de bajo nivel y alto nivel de cámara de carga y deberán verse en la sala de mando de la Toma.
- Las alarmas de bajo nivel y alto nivel de cámara de carga deberán alarmar al Operador de Toma mediante una señal acústica y luminosa y también se dará a conocer al Operador de la Central.
- El valor de la potencia en el grupo 1 y en el grupo 2 también deberá verse en la sala de mando de la Toma.
- El control deberá estar en Remoto / Automático para que se haga el control de nivel.
- En caso que el control lo tenga el operador de toma se deberá trabajar en modo local / manual.
- Tanto en remoto / automático como en local / manual, siempre funcionarán las protecciones de la Lógica de Protección. En todos los modos de funcionamiento el disparo por bajo nivel de cámara de carga también debe de funcionar.
- El selector de Local / Remoto estará ubicado en la sala de mando de la toma.

- El control de nivel deberá de mantener el ajuste del nivel de cámara de carga dado por el Operador de la Central y manteniendo siempre el valor de despacho de potencia.
- La Lógica de control mantendrá el nivel de acuerdo al ajuste dado por el Operador de la Central, corrigiendo o regulando el valor de nivel cuando se haya violado el error límite del ajuste, teniendo en cuenta además el tiempo muerto de regulación en regulación y el valor solicitado de entrega de potencia / caudal.
- La Lógica de Control será válida si uno o ambos grupos están en servicio.

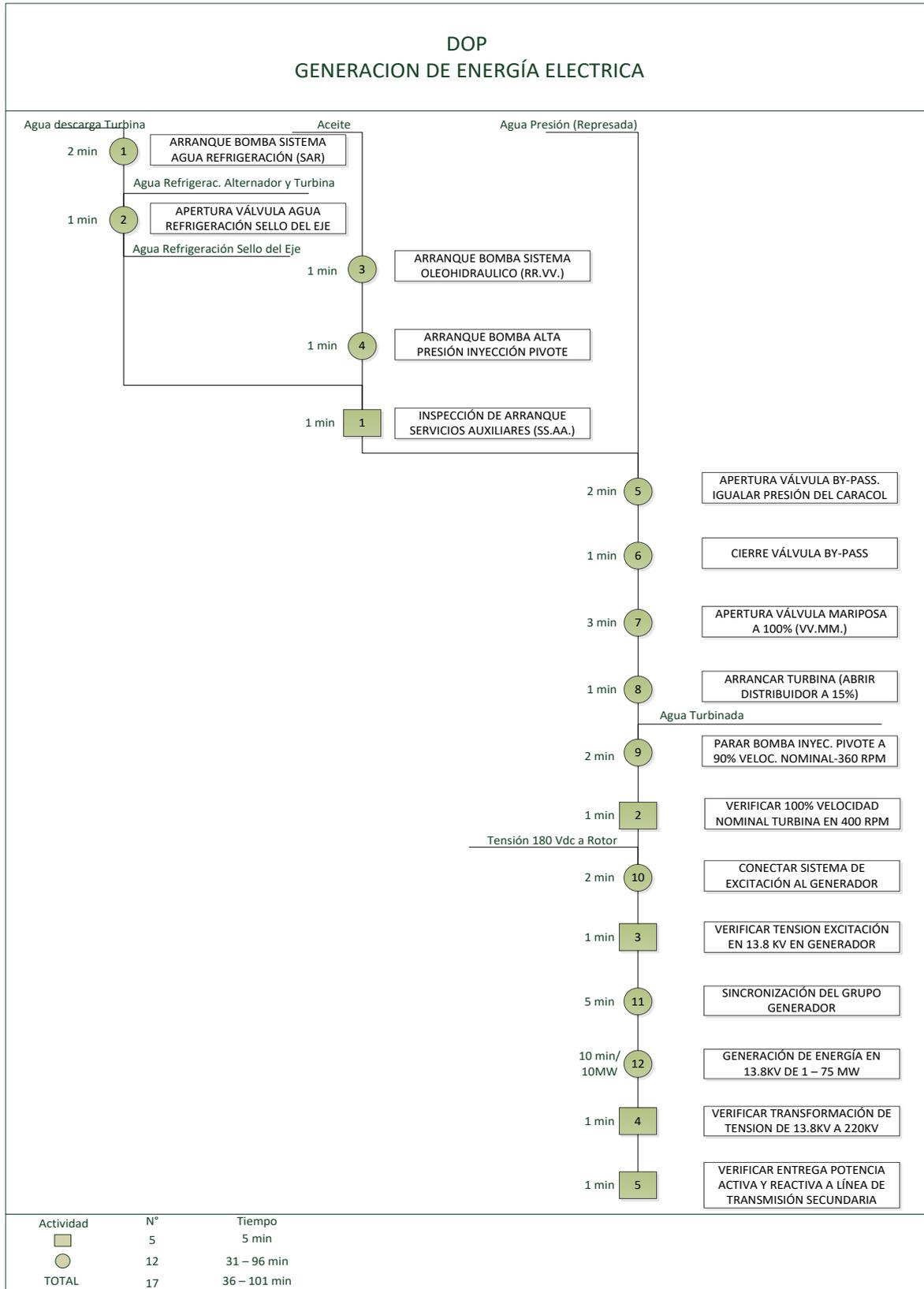
Estas consideraciones deben tenerse en cuenta a lo largo del proceso de generación de energía eléctrica por represamiento de agua, desde el represamiento, hasta la entrega de electricidad a la línea de transmisión, así como se muestra en el Gráfico 17, y en el Gráfico 18 de una manera más detallada y específica, tomando en consideración el tiempo que involucra en cada fase del proceso, y las actividades propias en cada una de ellas.

Gráfico 17
Generación de Energía Eléctrica por Represamiento de Agua



Fuente: (García Maguiña, 2021)

Gráfico 18
Diseño de Procesos (DOP)



Fuente: (García Maguiña, 2021)

3.1.4.1. Propuestas de funcionamiento en automático

La primera propuesta se desarrollará en base al funcionamiento de la compuerta de regulación (CR) por el nivel de Cámara de Carga (véase el Gráfico 19).

Modo de funcionamiento:

El Operador de Central inicia el arranque de el/los grupos (giro en vacío), esta debe dar una orden de apertura en la/las CR1 y/o CR2 para dar un caudal en el canal de enlace (Q_{enlace}) capaz de mantener el nivel de cámara de carga (nivel C.C.). Entonces el Q_{generar} debería ser igual al Q_{enlace} para mantener en equilibrio el nivel C.C., en caso que el nivel C.C. aumente o disminuya, esta variación debe de expresarse en el cierre o apertura de las CR1 y/o CR2 respectivamente.

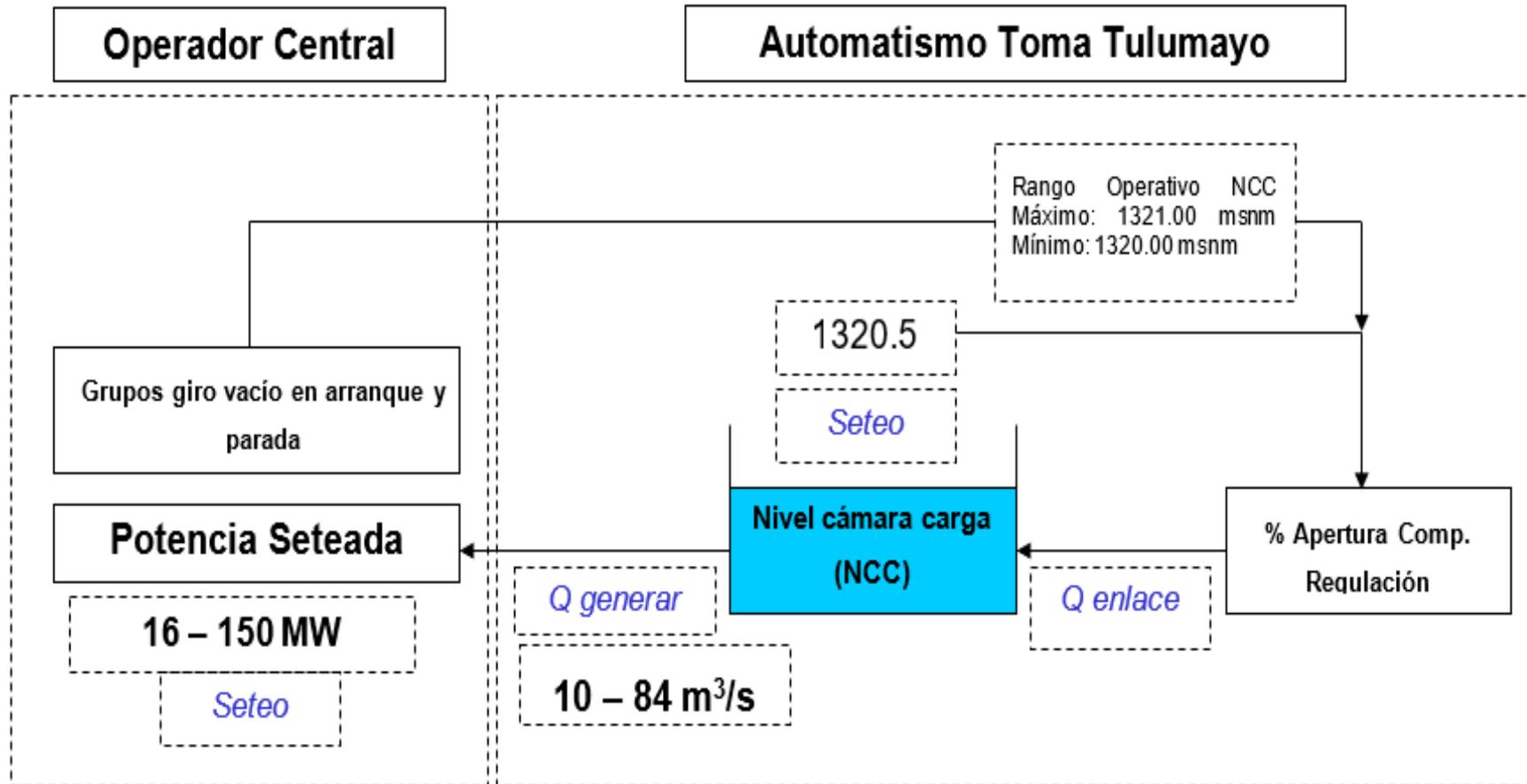
Observación: Si el nivel de C.C. empieza a aumentar. Tomar en cuenta que el cierre de la CR1 y/o CR2 no sería tan fino para mantener el Q_{enlace} del grupo en vacío (porque la apertura de CR es 3%) ¿Sería recomendable que se mantenga en 3%?

Después de tener los parámetros adecuados y velocidad nominal. El Operador de Central procede a conectar el grupo (inicia proceso de excitación y luego la sincronización). Una vez que el grupo empieza a asumir potencia, el nivel C.C. va a disminuir y debe generar una orden en la apertura de C.R. de tal forma que el Q_{enlace} sea igual a Q_{generar} .

Observación: Considerar que en proceso de arranque puede abortar por diferentes factores y después procede a parar el grupo.

La prioridad de este funcionamiento es mantener el nivel C.C., tratando de que el Q_{enlace} (por la apertura de CR1 y 2) vaya igualando al Q_{generar} (caudal de la potencia generada).

Gráfico 19
 Funcionamiento de CR por Nivel Cámara Carga (Nivel C.C.)



Fuente: (García Maguiña, 2021)

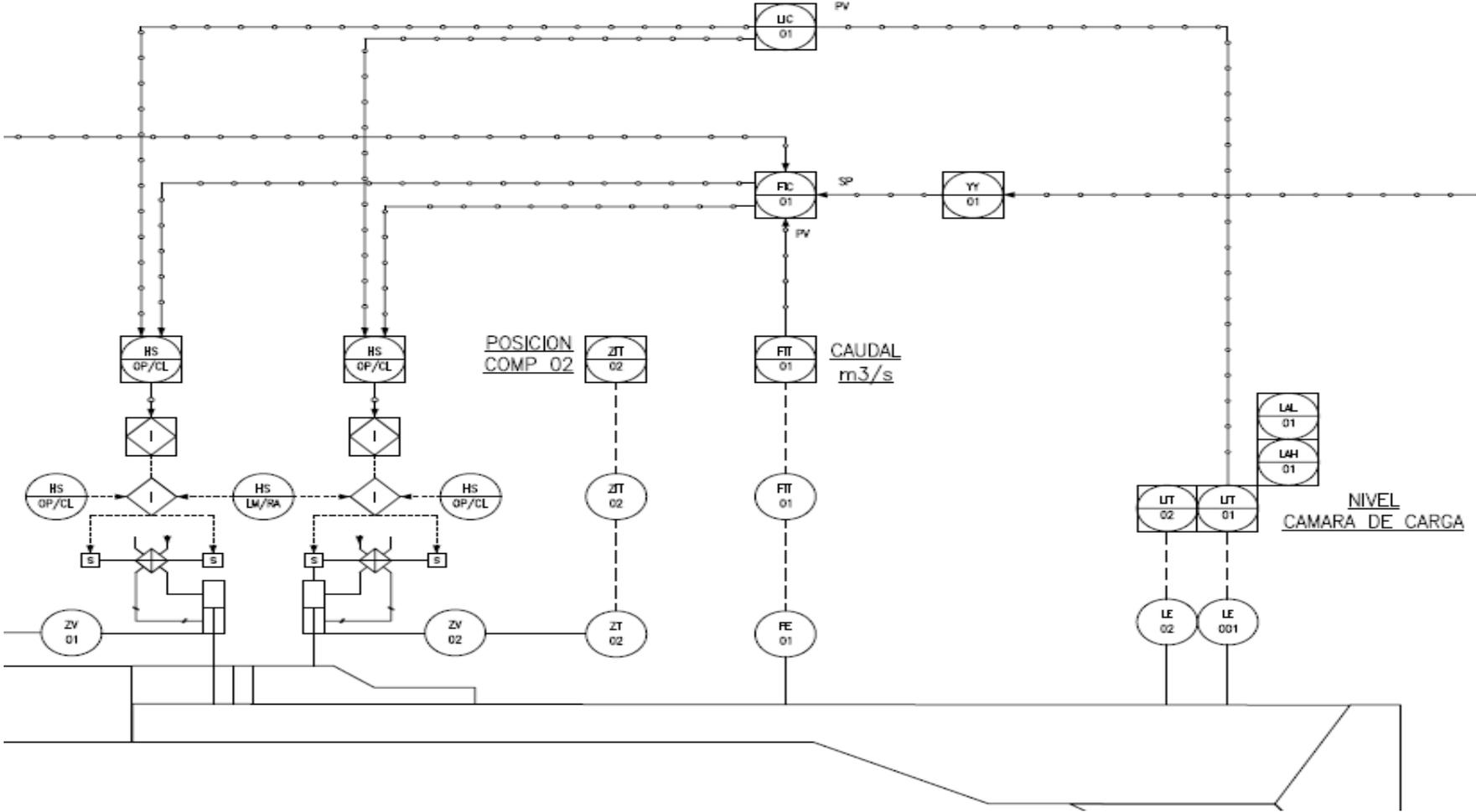
Dentro de la primera propuesta, también describiremos el paso a paso del proceso y como se realiza las actividades, de acuerdo con el Gráfico 20.

Se comprenden diez pasos que deberá seguir el operador para implementar la automatización por nivel de cámara de carga, las cuales están descritos a continuación:

1. El Operador de Tulumayo debe seleccionar el selector en modo **LOCAL AUTOMÁTICO**.
2. En el **IHM TULUMAYO** verificar que exista comunicación con PLC de la Central. Con lectura de **Potencia de Grupo 1** (0 MW) y **Potencia de Grupo 2** (0 Mw)
3. En el **IHM TULUMAYO** verificar que no exista ninguna alarma activada.
4. En el **IHM TULUMAYO** el operador debe setear el valor de operación del **Nivel de la Cámara de Carga** (1320.5 metros) y el rango de operación (1320 y 1321 metros).
5. En el momento de arranque, el operador de la central ingresará la potencia de arranque (16 Mw) ya sea del **Grupo 1** o **Grupo 2**, posteriormente el grupo arrancará con la lógica del PLC GE-Fanuc 90-30 y el SCADA.
6. El **PLC de la Central** enviará por comunicación al **PLC Tulumayo** la señal de **Interruptor Cerrado** (Grupo 1 o 2) entonces la **Compuerta de Regulación 1 (Compuerta de Regulación 2)** se abrirá al 3%.
7. El operador de la central procederá a incrementar la potencia (**Potencia de Grupo1** y **Potencia de Grupo 2**) desde el SCADA de una manera escalonada hasta llegar a la potencia deseada.

8. Este **Control de Nivel** controlará la apertura y cierre de las **Compuertas de Regulación** para que el **Nivel de la Cámara de Carga** se mantenga en el valor seteado y cuidando que no se pase del rango de operación (Nivel Alto y Nivel Bajo), teniendo prioridad sobre el **Control de Caudal**.
9. Si se produjera pérdida de comunicación, sonara la alarma de comunicación, tanto en la Baliza como en el IHM, donde el operador de la Toma debe pasar el selector en modo **LOCAL MANUAL** y abrir y cerrar las compuertas manualmente y en coordinación con el operador de la Central.
10. El control de Nivel será el mismo para temporada de **AVENIDA, ESTIAJE y TRANSICIÓN**.

Gráfico 20
Control De Nivel LIC-01 PLC Tulumayo



Fuente: (García Maguiña, 2021)

Como segunda propuesta para este proceso de automatización, se considerará el funcionamiento de la compuerta de regulación por caudal del canal de enlace (véase el Gráfico 21).

Modo de funcionamiento:

El Operador de Central inicia el arranque del (os) grupo (s) (giro en vacío), esta debe dar una orden de apertura en la (s) CR1 y/o CR2 para dar un caudal en el canal de enlace (Q enlace) capaz de mantener el nivel de cámara de carga (nivel C.C.), entonces el Q enlace debe mandar al controlador a realizar el cierre o apertura de las CR 1 y CR 2, de acuerdo a la potencia seteada; y el nivel C.C es como un limitador que debe de tener como referencia el controlador para las CR1 y CR 2.

Observación: Si el nivel de C.C. empieza a aumentar. Tomar en cuenta que el cierre de la CR1 y/o CR2 no sería tan fino para mantener el Q enlace del grupo en vacío (porque la apertura de CR es 3%) ¿Sería recomendable que se mantenga en 3%?

Después de tener los parámetros adecuados y velocidad nominal. El Operador de Central procede a conectar el grupo (inicia proceso de excitación y luego la sincronización). Una vez que el grupo empieza a asumir potencia, este valor debe regular la apertura o cierre de las CR1 y 2, esta maniobra se refleja en el Q enlace. Por tanto, el nivel C.C. debe mantenerse en el nivel adecuado, si hubiese una variación o tendiese a disminuir esto debe generar una orden en la apertura de C.R. de tal forma que el Q enlace aumente para mantener el nivel C.C.

Observación: Considerar que en el proceso de arranque puede abortar por diferentes factores y procede a parar el grupo.

La prioridad del funcionamiento es el Q enlace (apertura de C.R.) de potencia que se está generando para mantener el nivel C.C.

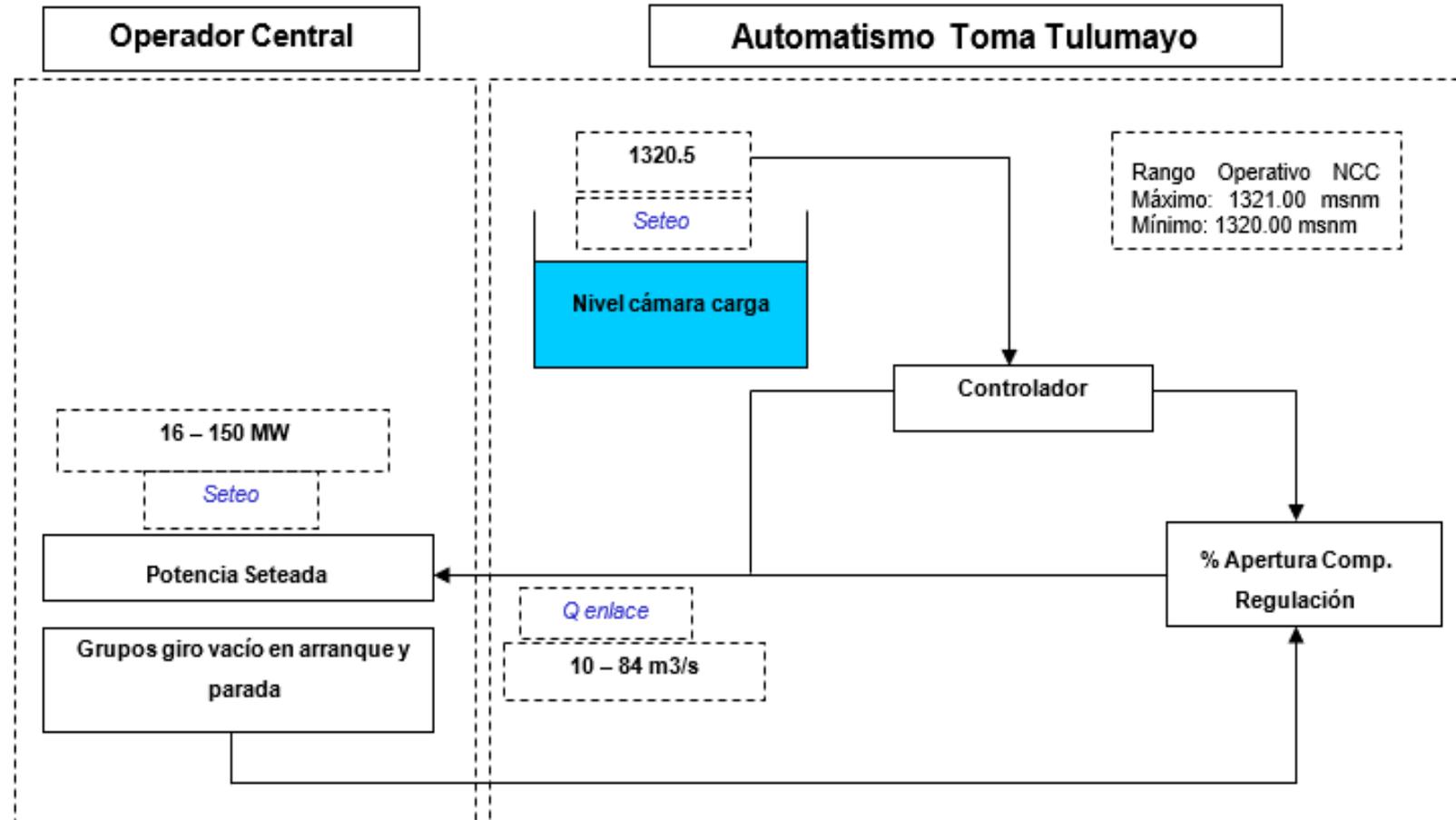
El Control Automático de la Presa Tulumayo está conformado por dos unidades de control que integrados a través de un medio de comunicación realizan el control de la planta en la modalidad de carga fija, caudal o nivel de presa regulando la consigna de potencia y el control del caudal del canal de conducción y descargas de la Presa Tulumayo en forma automática.

Las unidades de control están instaladas en la Central Hidroeléctrica Chimay y en la Presa Tulumayo, dicha unidad de control se encarga de monitorear la potencia generada por los grupos.

La unidad de control de la Presa Tulumayo se encarga del control de las compuertas y regulación del caudal, operando las compuertas para mantener el nivel de la presa y regulando el caudal del canal de conducción con la finalidad de mantener el nivel de la cámara de carga.

La arquitectura de Control está conformada por 01 PLC en la Central, 01 PLC en Tulumayo, 01 IHM en la Central y 01 IHM en Tulumayo. Tanto el PLC de la central con el PLC de Tulumayo se están comunicando por medio de una red EtherNet Modbus TCP. Para el presente automatismo se implementará dos (02) controles, teniendo prioridad el Control de Nivel sobre el Control de Caudal.

Gráfico 21
Funcionamiento de CR por Caudal del Canal de Enlace



Fuente: (García Maguiña, 2021)

En la segunda propuesta, describiremos de igual forma que en la primera el paso a paso del proceso y como se realiza las actividades, de acuerdo con el Gráfico 22.

En esta ocasión los pasos deberán seguir el operador para implementar la automatización basándonos el control del caudal son once, en seguida se describen esta sucesión de pasos:

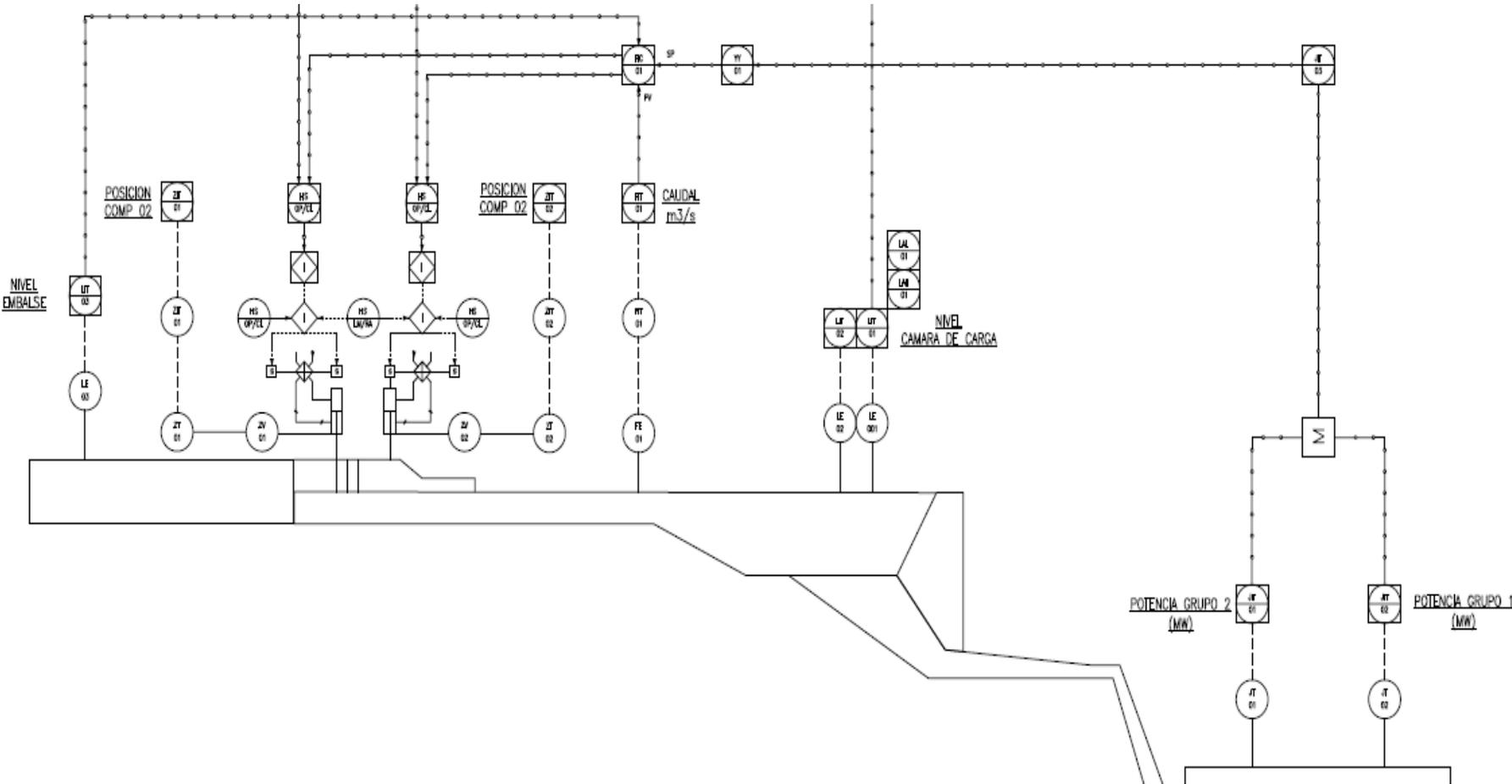
1. El Operador de Tulumayo debe seleccionar el selector en modo **LOCAL AUTOMÁTICO**
2. En el **IHM TULUMAYO** verificar que exista comunicación con PLC de la Central. Con lectura de **Potencia de Grupo 1** (0 MW) y **Potencia de Grupo 2** (0 MW)
3. En el **IHM TULUMAYO** verificar que no exista ninguna alarma activada.
4. En el **IHM TULUMAYO** verificar el **Nivel de Embalse** (1324, 1325, 1326, 1327, 1328, o 1329), de esta manera sabremos los distintos porcentajes de apertura de las **Compuertas de Regulación 1 y 2** para los distintos **Caudales** deseados según la **Potencia Total** generada.
5. En el momento de arranque, el operador de la central ingresará la potencia de arranque (16MW) ya sea del **Grupo 1** o **Grupo 2**, posteriormente el grupo arrancará con la lógica del PLC GE-Fanuc 90-30 y el SCADA.
6. El **PLC de la Central** enviará por comunicación al **PLC Tulumayo** la señal de **Interruptor Cerrado** (Grupo 1 o 2) entonces la **Compuerta de Regulación 1 (Compuerta de Regulación 2)** se abrirá al 3%.
7. El operador de la central procederá a incrementar la potencia (**Potencia de Grupo1** y **Potencia de Grupo 2**) desde el

SACADA de una manera escalonada hasta llegar a la potencia deseada.

8. La **Potencia Total** será igual a la suma de la **Potencia de Grupo 1** más la **Potencia de Grupo 2**, la cual servirá como referencia para calcular el **Caudal** y el porcentaje de apertura de las **Compuertas de Regulación 1 y 2** según tablas definidas en operación.
9. Este **Control de Nivel** controlará la apertura y cierre de las **Compuertas de Regulación** teniendo prioridad sobre el **Control de Caudal**.
10. Si se produjera pérdida de comunicación, sonara la alarma de comunicación, tanto en la Baliza como en el IHM, donde el operador de la Toma debe pasar el selector en modo **LOCAL MANUAL** y abrir y cerrar las compuertas manualmente y en coordinación con el operador de la Central.
11. El control de Nivel será el mismo para temporada de **AVENIDA y ESTIAJE**.

La arquitectura de Control, mostrada en el Gráfico 23, nos muestra un diagrama más consolidado y detallado del sistema a implementarse, además que se detallan las especificaciones técnicas de los componentes a implementarse. Esta arquitectura está conformada por 01 PLC en la Central, 01 PLC en Tulumayo, 01 IHM en la Central y 01 IHM en Tulumayo. Tanto el PLC de la central con el PLC de Tulumayo se están comunicando por medio de una red EtherNet Modbus TCP. Para el presente automatismo se implementará dos (02) controles, teniendo prioridad el Control de Nivel sobre el Control de Caudal. El Gráfico 24 nos muestra también como se visualiza el lazo de control, donde se implementará la automatización.

Gráfico 22
Control de Caudal FIC-01 PLC Tulumayo



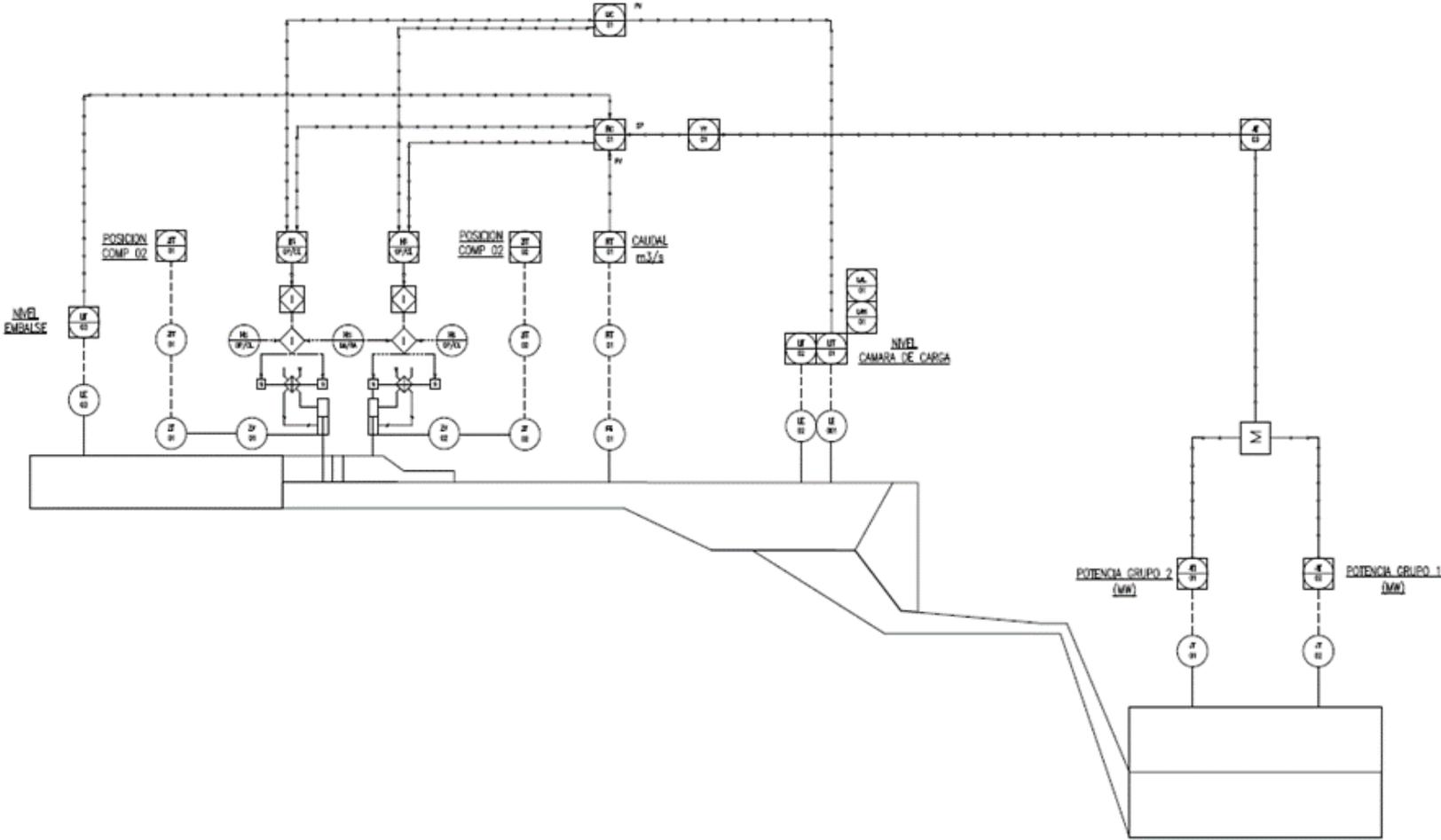
Fuente: (García Maguiña, 2021)

Gráfico 23
Componentes de Implementación de Automatización Consolidada



Fuente: (García Maguiña, 2021)

Gráfico 24
Lazo de Control Entre Toma Tulumayo y Central Chimay



Fuente: (García Maguiña, 2021)

3.1.4.2. Pruebas de funcionamiento

El detalle de las propuestas para la automatización de las compuertas de regulación, aún hacen necesaria unas pruebas de funcionamiento finales, evaluadas en este caso en la matriz de pruebas, mostrada en la Tabla 9.

Tabla 9
Matriz de Pruebas de Funcionamiento

| | | NIVEL DEL EMBALSE | | | | | |
|---------|---------------------|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| CENTRAL | CAUDAL | 1324 | 1325 | 1326 | 1327 | 1328 | 1329 |
| (MW) | (m ³ /s) | COMPUERTAS DE REGULACIÓN 1 Y 2 | | | | | |
| 15 | 10.9 | 3.0% | 2.7% | 2.5% | 2.4% | 2.2% | 2.1% |
| 20 | 13.4 | 3.7% | 3.4% | 3.1% | 2.9% | 2.8% | 2.6% |
| 25 | 15.8 | 4.4% | 4.0% | 3.7% | 3.5% | 3.3% | 3.1% |
| 30 | 18.1 | 5.0% | 4.6% | 4.2% | 4.0% | 3.7% | 3.5% |
| 35 | 20.3 | 4.6% | 5.1% | 4.8% | 4.5% | 4.2% | 4.0% |
| 40 | 22.4 | 6.3% | 5.7% | 5.3% | 5.0% | 4.7% | 4.4% |
| 45 | 24.8 | 6.9% | 6.1% | 5.8% | 5.5% | 5.1% | 4.9% |
| 50 | 27.0 | 7.6% | 6.9% | 6.4% | 6.0% | 5.6% | 5.3% |
| 55 | 29.4 | 8.3% | 7.6% | 7.0% | 6.5% | 6.1% | 5.8% |
| 60 | 31.8 | 9.1% | 8.2% | 7.6% | 7.1% | 6.7% | 6.3% |
| 65 | 34.4 | 9.8% | 8.9% | 8.2% | 7.7% | 7.2% | 6.8% |
| 70 | 37.0 | 10.6% | 9.6% | 8.9% | 8.3% | 7.8% | 7.4% |
| 75 | 39.8 | 11.5% | 10.4% | 9.6% | 8.9% | 8.4% | 7.9% |
| 80 | 45.8 | 13.4% | 12.1% | 11.1% | 10.3% | 9.7% | 9.2% |
| 85 | 48.1 | 14.1% | 12.7% | 11.7% | 10.9% | 10.2% | 9.7% |
| 90 | 50.6 | 14.9% | 13.4% | 12.3% | 11.5% | 10.7% | 10.2% |
| 95 | 53.1 | 15.7% | 14.1% | 13.0% | 12.0% | 11.3% | 10.7% |
| 100 | 55.6 | 16.6% | 14.9% | 13.6% | 12.7% | 11.9% | 11.2% |
| 105 | 58.3 | 17.5% | 15.7% | 14.3% | 13.3% | 12.5% | 11.8% |
| 110 | 61.0 | 18.4% | 16.5% | 15.1% | 14.0% | 13.1% | 12.4% |
| 115 | 63.9 | 19.3% | 17.3% | 15.8% | 14.7% | 13.7% | 13.0% |
| 120 | 66.9 | 20.4% | 18.2% | 16.6% | 15.4% | 14.4% | 13.6% |
| 125 | 70.0 | 21.4% | 19.1% | 17.5% | 16.2% | 15.1% | 14.3% |
| 130 | 73.3 | 22.6% | 20.1% | 18.3% | 17.0% | 15.9% | 15.0% |
| 135 | 76.7 | 23.8% | 21.2% | 19.3% | 17.8% | 16.7% | 15.7% |
| 140 | 80.4 | 25.1% | 22.3% | 20.3% | 18.8% | 17.5% | 16.5% |
| 145 | 84.3 | 26.5% | 23.5% | 21.4% | 19.7% | 18.4% | 17.4% |
| 146 | 85.1 | 26.8% | 23.8% | 21.6% | 19.9% | 18.6% | 17.5% |
| 147 | 85.9 | 27.1% | 24.1% | 21.8% | 20.2% | 18.8% | 17.7% |
| 148 | 86.8 | 27.4% | 24.3% | 22.1% | 20.4% | 19.0% | 17.9% |
| 149 | 87.6 | 27.8% | 24.6% | 22.3% | 20.6% | 19.2% | 18.1% |
| 150 | 88.5 | 28.1% | 24.9% | 22.6% | 20.8% | 19.4% | 18.3% |

Fuente: (García Maguiña, 2021)

Se ha identificado el comportamiento por la apertura de las compuertas de regulación 1 y 2.

3.1.4.3. Cronograma del Proyecto

Tabla 10
Cronograma del Proyecto

| MESES SEMANAS | Mes 1 | | | | Mes 2 | | | | Mes 3 | | | | Mes 4 | | | |
|---|-------|----|----|----|-------|----|----|----|-------|-----|-----|-----|-------|-----|-----|-----|
| | S1 | S2 | S3 | S4 | S5 | S6 | S7 | S8 | S9 | S10 | S11 | S12 | S13 | S14 | S15 | S16 |
| Planteamiento de realidad problemática, objetivos, generalidades y marco conceptual. | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | |
| Identifica y descripción de los procesos comprometidos en el TSP y la base normativa. | | | | | ■ | ■ | | | | | | | | | | |
| Evaluación e identificación de las propuestas de automatización, para proyectarla en el TSP | | | | | | | ■ | ■ | ■ | | | | | | | |
| Realización de pruebas (de las propuestas de automatización elegidas) | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | |
| Redacción completa de los capítulos del TSP e investigación aleatoria de información faltante | | | | | | | | | | | | ■ | ■ | | | |
| Presentación del Proyecto de Investigación. | | | | | | | | | | | | | ■ | | | |
| Revisión del Proyecto Final. | | | | | | | | | | | | | | ■ | | |
| Corrección del proyecto Final. | | | | | | | | | | | | | | | ■ | |
| Sustentación. | | | | | | | | | | | | | | | | ■ |

Fuente: (García Maguiña, 2021)

3.1.4.4. Determinación de los beneficios a lograr

- Inversión en el año 2022 para la automatización del control de nivel de cámara de carga de la Toma Tulumayo de la Central Hidroeléctrica Chimay, se considera 35,360 USD.
- No se requiere de inversión por enlace de comunicación entre Toma Tulumayo y Central Hidroeléctrica Chimay ya que existe dicho enlace en fibra óptica.
- Se considera lo siguiente, basado en el histórico de la operación de Central Hidroeléctrica Chimay:

Para beneficio por desconexión:

- En 20 años de operación ha habido 03 fallas de posibles desconexiones por bajo nivel de cámara de carga, llegando una de ellas a causar la desconexión de los 02 grupos de Central Hidroeléctrica Chimay, que equivale a 157.83 MW.
- Vamos a calcular el beneficio bajo el supuesto de que se hubiesen producido las 12 desconexiones y que cada una de ellas toma un tiempo de 2.5 horas desde la desconexión hasta reponer la central a 157.83 MW.
- Cada una de las 12 desconexiones, de 157.83 MW, a 30 USD el Mw/hora y 2.5 horas de retomar plena carga, implica un monto; esto es $12 \times 150 \times 20 \times 2.5 = 135,000$ USD y con el horizonte del flujo de 5 años (2017 a 2022) y una tasa de descuento de 14%.

Para costo por mantenimiento:

- Un mantenimiento anual rutinario, 2 personas, de 10 horas y a 5 USD la hora hombre, esto es $2 \times 10 \times 5 = 100$ USD.

Para calcular ROI: Ganancia inversión / Costo de la inversión

Considerando la información detallada:

- Por el periodo de 5 años desde 2017 hasta 2022.
- Beneficio: \$ 52420
- Costo Inversión: \$ 35360

- $ROI = (52420 / 35360) * 100 = 148\%$

Este proyecto se justifica por 02 temas, el legal y la confiabilidad. En el tema legal dejaríamos de incumplir las normativas de la tercerización porque las maniobras dejarían de ser efectuadas por personal de terceros y en cuanto a la seguridad de las maniobras de las compuertas de regulación para conservar el nivel de la cámara de carga, estas serían automáticas, eliminando así el punto de probabilidad de falla humana.

- El control de nivel de la cámara de carga de Toma Tulumayo manteniendo un valor de carga de despacho es efectuado por un personal contratista, el cual maniobra las compuertas de regulación teniendo en cuenta la variación en el valor de caudal para mantener la carga constante y también teniendo en cuenta el nivel de embalse para no vaciarlo.
- Primero que el contratista no puede hacer estas maniobras manuales y locales por temas legales de tercerización y segundo que al existir una persona en el proceso de mantener la carga constante con el nivel de cámara también constante implica un punto más de probabilidad de falla.
- El SCADA actual de Chimay permite que el operador de la central haga lo mismo que el personal contratista, pero lo haría a distancia mediante mando remoto. Esto no se realiza porque tendría al operador de la central pendiente de este proceso, lo cual implicaría pérdida de capacidad de supervisión en el resto de la central.
- En la historia de la central ha habido 03 incidentes de posibles disparos de central por bajo nivel de cámara de carga y uno que, si se consumió, todos debido a falla humana

3.1.4.5. Evaluación económica y financiera de la solución

Para realizar una evaluación económica y financiera de las propuestas de solución identificaremos en la Tabla 11.

Tabla 11
Cantidad de Interrupciones Durante un Año en Chimay

| CANTIDAD DE EVENTOS EN CHIMAY | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| TIPOS DE EVENTOS/AÑO | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 |
| N° de Interrupciones del proceso | 13 | 12 | 15 | 9 | 11 | 4 | 1 | 2 | 1 | 3 | 2 | 1 | 3 | 4 | 2 | 2 |
| N° de Fallas en compuertas de regulación | 2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 3 | 0 | 2 | 0 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |

Fuente: (García Maguiña, 2021)

En seguida, la cantidad de fallas es analizada en la Tabla 12 de forma monetaria, para determinar, cuál sería el costo que involucra la desconexión de grupos generadores para la empresa, de continuar con el mismo sistema de control de compuertas.

Tabla 12
Cantidad de Interrupciones por Desconexión de Grupos Generadores

| Por desconexión de los grupos generadores | | | | | | |
|---|-------|-----------|--------|----------|---------|-----------|
| Años | H F/S | N° Fallas | MW nG | MWH nE | USD/MWH | US\$ x R |
| 2019 | 5.5 | 0 | 157.83 | 0 | 15 | 0 |
| 2018 | 5.5 | 0 | 157.83 | 0 | 15 | 0 |
| 2017 | 5.5 | 0 | 157.83 | 0 | 15 | 0 |
| 2016 | 5.5 | 1 | 157.83 | 868.06 | 15 | 13,020.98 |
| 2015 | 5.5 | 0 | 157.83 | 0 | 15 | 0 |
| 2014 | 5.5 | 2 | 157.83 | 1,736.13 | 15 | 26,041.95 |
| 2013 | 5.5 | 0 | 157.83 | 0 | 15 | 0 |
| 2012 | 5.5 | 2 | 157.83 | 1,736.13 | 15 | 26,041.95 |
| 2011 | 5.5 | 0 | 157.83 | 0 | 15 | 0 |
| 2010 | 5.5 | 3 | 157.83 | 2,604.2 | 15 | 39,062.93 |
| 2009 | 5.5 | 1 | 157.83 | 868.06 | 15 | 13,020.98 |
| 2008 | 5.5 | 0 | 157.83 | 0 | 15 | 0 |

| | | | | | | |
|-------------|------------------|-----------|--------|----------|----------------|-------------------|
| 2007 | 5.5 | 0 | 157.83 | 0 | 15 | 0 |
| 2006 | 5.5 | 1 | 157.83 | 868.06 | 15 | 13,020.98 |
| 2005 | 5.5 | 0 | 157.83 | 0 | 15 | 0 |
| 2004 | 5.5 | 2 | 157.83 | 1,736.13 | 15 | 26,041.95 |
| | N° Fallas | 12 | | | Total | 156,251.72 |
| | | | | | Por año | 10,416.8 |

Fuente: (García Maguiña, 2021)

Finalmente, en la Tabla 13, analizaremos cuál sería el costo de mantenimiento y hallaremos el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR).

Tabla 13
Evaluación Económica

| Por costo de Mantenimiento | | | | | | |
|---|--------|----------|-------------|-----------------|-------------|-------------|
| Periodo | N° Mto | Hrs Mto | N° personas | USD*HH | Total, USD | Por Año USD |
| 2004 - 2019 | 15 | 10 | 2 | 5 | 1500 | 100 |
| Inversión | | | | 35,360 USD | | |
| Flujos Anuales | | | | | | |
| Por desconexión de los grupos generadores | | | | 10,416.8 USD | | |
| Por costo de Mantenimiento | | | | 100.0 USD | | |
| Total | | | | 10,516.8 | | |
| VAN y TIR en 5 años | | | | | | |
| Año | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| | -35360 | 10516.8 | 10516.8 | 10516.8 | 10516.8 | 10516.8 |
| VAN+ | | \$556.56 | | | | |
| TIR | | 15% | | | | |

Fuente: (García Maguiña, 2021)

3.1.4.6. Recomendaciones para la implementación

El presente TSP de acuerdo al análisis anterior es viable e inclusive rentable, por ello a continuación se precisarán algunas recomendaciones más involucradas con el entorno de la operación, para que la implementación se desarrolle adecuadamente.

1. Se debe Realizar la Identificación de Peligros, Evaluación de Riesgos y Determinación de Controles (IPERC), respecto del proyecto previo a su implementación. Para realizar el presente estudio se debe considerar los procedimientos del documento P.SG.001 de (Enel Generación Perú, 2016), descritos en el Anexo 1.

Para dar cumplimiento a esta recomendación, en el Anexo 2 se realizó una proyección del análisis del IPERC, con respecto a dos subprocesos presentes en la implementación del control automático en la toma Tulumayo: la inspección y la recepción de obras/ interconexión, pruebas SAT y puesta en servicio.

En este análisis, determina que el nivel de riesgo de las actividades, se encuentran en un rango de medio o bajo, y las medidas de control en su mayoría debe de ser el adecuado uso de los equipos de protección personal, además que el personal que opere debe estar en óptimas condiciones físicas y de capacitación.

2. De la misma forma que en el punto anterior, de acuerdo a los procedimientos de Enel Generación, descritos en el Anexo 3, extraídos del documento con código P.MA.001. En la tabla que se muestra en el Anexo 4 siguiente se realizó también una proyección considerando algunas actividades del proceso de implementación.

3. Verificar el cumplimiento del Protocolo de Pruebas, mostrado en el Anexo 5, para comprobar la calidad del proyecto.
4. Realizar un registro de los riesgos cuantificados, y su impacto económico, Así como lo muestra la Tabla 16.

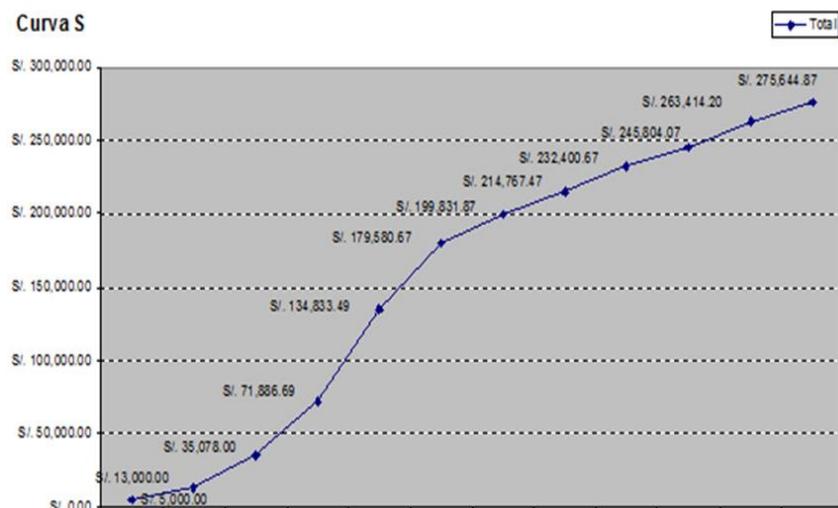
Tabla 14
Riesgos Cuantificados

| Id | Riesgo identificado | Probabilidad | Impacto | Probabilidad x Impacto | Reserva de Contingencia |
|------|--|--------------|--------------|------------------------|-------------------------|
| R.01 | Demora en la entrega de materiales y equipos | 0.25 | S/. 1,000.00 | S/. 250.00 | S/. 0.00 |
| R.10 | Mala interpretación de las especificaciones | 0.25 | S/. 1,000.00 | S/. 250.00 | S/. 0.00 |
| R.02 | Personal de obra mal capacitado | 0.20 | S/. 1,000.00 | S/. 200.00 | S/. 0.00 |
| R.11 | Disponibilidad de materiales | 0.21 | S/. 1,000.00 | S/. 210.00 | S/. 0.00 |
| R.03 | Cambios en la condiciones del mercado | 0.15 | S/. 1,000.00 | S/. 150.00 | S/. 0.00 |
| R.14 | Demora en los trámites de permisos | 0.10 | S/. 1,000.00 | S/. 100.00 | S/. 0.00 |
| R.04 | Especificaciones técnicas defectuosas | 0.10 | S/. 1,000.00 | S/. 100.00 | S/. 0.00 |
| R.08 | Mala definición del alcance | 0.10 | S/. 1,000.00 | S/. 100.00 | S/. 0.00 |
| R.06 | Errores en el diseño de los planos | 0.08 | S/. 1,000.00 | S/. 80.00 | S/. 0.00 |

Fuente: (García Maguiña, 2021)

5. Considerando el punto 4, realizar la línea base de Costos usando Curva S, así como se realizó en el Gráfico (Inicio marzo 2020 – abril 2021).

Gráfico 25
Curva S



Fuente: (García Maguiña, 2021)

3.3. Conclusiones

1. El lazo de control más eficiente fue el control ON-OFF.
2. El diseño cóncavo de la cámara de carga no permitió que se utilice otro tipo de lazo de control. También se debió al tiempo de respuesta del regulador de velocidad al asumir carga (Mw)
3. En época de verano, el funcionamiento del lazo de control funciona óptimamente, pero en época de lluvia el funcionamiento de la regulación es constante debido a la variación del caudal del río (incremento de nivel del embalse) y por la saturación de las rejillas de admisión que conllevan a una reducción de volumen de agua (incrementar más la apertura de las compuertas de regulación).
4. En época de lluvias, cuando las condiciones climáticas no son favorables, se ha definido que por tener situación de contingencia es preferible que la regulación sea Manual.
5. La menor intervención del controlador de toma, permite que se dedique más a sus actividades de operación y estamos evaluando complementar actividades de mantenimiento.
6. Para el correcto funcionamiento del automatismo, se debe tener operativos todos los sensores, PLC y el medio de comunicación (fibra óptica); todo ello permitirá que exista un buen lazo de control. La pérdida de uno de estos elementos conllevaría a que el lazo de control no funcione.

3.4. Recomendaciones

1. Las pruebas deben realizarse en todas las condiciones climatológicas, con el fin de definir el modo de operación en condiciones normales y acciones en condiciones de contingencia.
2. La participación de controlador de toma y del operador de central es fundamental para el desarrollo del proyecto, debido a que ellos conocen el funcionamiento de cada variable en estudio y del comportamiento climatológico.
3. El riesgo más alto del proyecto fue trabajar en el nivel de cámara de carga, debido a que el mal funcionamiento del lazo de control podría conllevar a que la cámara de carga quede vacía (sin agua). Por tanto, podría provocar la caída del túnel.
4. Ante riesgos altos de un proyecto, es necesario evaluar la inserción de medidas que activen una alarma o que la planta deje de funcionar a través de un disparo (trip).

CAPÍTULO IV: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aracil, J., & Gómez-Estern, F. (2021). *Apuntes de Regulación Automática*. Obtenido de <http://www.esi2.us.es/~fabio/cabie>
- Chiavenato, I. (2004). *Introducción a la Teoría General de la Administración* (Séptima Edición ed.). Mcram-Hill.
- ENEL. (2021). Datos Electrónicos SCADA. Junín, Perú.
- ENEL. (junio de 2021). *Memorial Anual 2020*. Obtenido de <https://www.enel.pe/content/dam/enel-pe/inversores/pdf/reportes/reportesanuales/2020/Memoria%202020%20EG%20Peru.pdf>
- Enel Generación Perú, S. (2016). *Identificación de Peligros, Evaluación de Riesgos y Determinación de Controles*. Lima: Enel.
- Enel Generación, S. (junio de 2021). Organización y Funciones de Enel Generación S.A.A. Perú: ENEL. Obtenido de <https://www.enel.pe/es/inversionistas/enel-generacion-peru/directorio.html>
- Enel Generación Perú, S. (2016). *Identificación de Aspectos e Impactos Ambientales Sinificativos*. Lima: Enel.
- García Maguiña, R. (2021). Trabajo de Sustentación Profesional - Ingeniería Industrial. Lima, Perú: Digital.
- PCR. (2021). *Informe PCR Dic 2020 - Enel Gneración Perú S.A.A. y Subsidiaria*. Lima: Rating, Pacific Credit (PCR). Obtenido de <https://www.enel.pe/content/dam/enel-pe/inversores/pdf/egp/reportes/calificacion-crediticia/2020/Informe%20PCR%20Dic%2020%20-%20EG%20PERU.pdf>

CAPÍTULO V: GLOSARIO DE TÉRMINOS

El embalse: Es el volumen de agua que queda retenido por la presa.

El vaso: Es la parte del valle que, inundándose, contiene el agua embalsada.

La cerrada: Es el punto concreto del terreno donde se construye la presa.

La presa: Propiamente dicha, cuyas funciones básicas son, por un lado, garantizar la estabilidad de toda la construcción, soportando un empuje hidrostático del agua muy fuerte, y por otro no permitir la filtración del agua hacia abajo.

Los paramentos: Son las dos superficies más o menos verticales principales que limitan el cuerpo de la presa, el interior o de aguas arriba, que está en contacto con el agua, y el exterior o de aguas abajo.

La coronación: Es la superficie que delimita la presa superiormente.

Los estribos: Los laterales del muro que están en contacto con la cerrada contra la que se apoya.

La cimentación: La superficie inferior de la presa, a través de la cual descarga su peso al terreno.

El aliviadero o vertedero: Es la estructura hidráulica por la que rebosa el agua excedentaria cuando la presa ya está llena.

Las tomas son también estructuras hidráulicas, pero de mucha menos entidad, y son utilizadas para extraer agua de la presa para un cierto uso, como puede ser abastecimiento a una central hidroeléctrica o a una ciudad.

La descarga de fondo: Permite mantener el denominado caudal ecológico aguas abajo de la presa.

ANEXOS

Anexo 1: Matriz para evaluar la Identificación de Peligros, Evaluación de Riesgos y Determinación de Controles (IPERC) en Enel Generación Perú S.A.A.

Cuadro 5: Matriz de Evaluación de los Riesgos

| | SIN LESIONES (SL) | SIN LESIONES DISCAPACITANTES (SLD) | LESIÓN DISCAPACITANTE TEMPORAL (LDT) | LESIÓN DISCAPACITANTE PERMANENTE (LDP) | FATAL (F) |
|-----------|-------------------|------------------------------------|--------------------------------------|--|-----------|
| BAJA (B) | T | T | M | M | C |
| MEDIA (M) | T | T | M | C | C |
| ALTA (A) | T | M | M | C | C |

En el F.SG.OA.001 se coloca en las columnas de probabilidad y consecuencia las siglas del valor que mejor se ajuste a la evaluación.

Las diferentes combinaciones darán como resultados los valores indicados en el cuadro. Donde: T: RIESGO TRIVIAL, M: RIESGO MODERADO y C: RIESGO CRÍTICO

ANEXO N° 3

CONSIDERACIONES PARA LA ATENCIÓN DE TIPOS DE RIESGOS

| | |
|----------------------------|--|
| RIESGO CRÍTICO (C) | <p>Se debe comprobar que las medidas de control se hayan implementado, de lo contrario no se dará inicio al trabajo.</p> <p>Se debe verificar que las medidas de control permanezcan vigentes en el tiempo, de lo contrario se paralizará el trabajo; no pudiendo reiniciar los trabajos hasta su completa adecuación.</p> |
| RIESGO MODERADO (M) | <p>Se debe monitorear el cumplimiento de los controles establecidos para el riesgo con el fin de mantener el estado en moderado, de lo contrario se convertirá en un riesgo crítico.</p> |
| RIESGO TRIVIAL (T) | <p>Se debe monitorear el cumplimiento de los controles establecidos para el riesgo con el fin de mantener el estado en trivial.</p> |

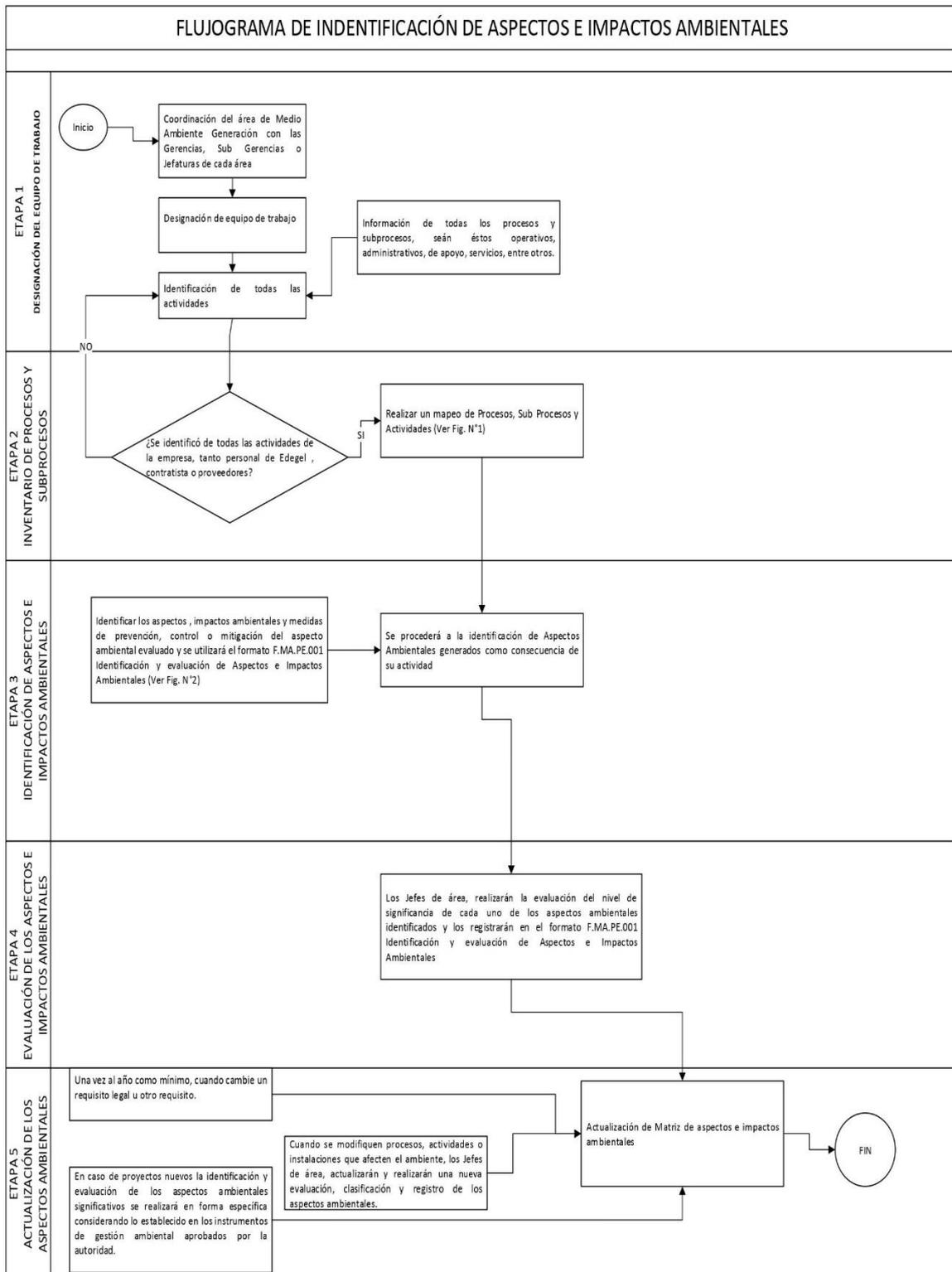
Fuente: (Enel Generación Perú, 2016)

Anexo 2 Identificación de Peligros, Evaluación de Riesgos.

| IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS Y EVALUACIÓN DE RIESGOS | | | | | | | | | | | |
|---|---|--|--|-------------------------------------|--------------------------------------|--|--|--|--|--|--|
| PROCESO | SUBPROCESOS | ACTIVIDADES O TAREAS ESPECÍFICAS PROPIAS, DE CONTRATISTAS O VISITANTES: (Se deben considerar todas las actividades rutinarias o no, eventos especiales, situaciones de emergencia, situaciones críticas, etc) | PELIGROS (Considerar actividades, parte de una actividad, el ambiente de trabajo, instalaciones o equipos, materiales, herramientas, etc) | Código del riesgo | Riesgos | Causas que ocasionan el riesgo | Criterios de Evaluación | | | Medidas de Control | |
| | | | | | | | Probabilidad | Consecuencia | Nivel de Riesgo | | |
| IMPLEMENTACIÓN DEL CONTROL AUTOMÁTICO EN LA TOMA TULUMAYO | INSPECCIÓN | Inspección de tableros y cableados existentes | Desplazamiento del Personal | 1 | Accidente Automovilístico | Pistas en mal estado | Medio | Lesiones discapacitantes y daños | MEDIO | Uso de cinturones de seguridad, desplazamiento en unidades preparadas para la morfología de la zona, desplazamiento del personal en condiciones ambientales y horarios apropiados. | |
| | | | Revisión de Tableros | 8 | Contacto con electricidad | Falta de señalización e identificación de la zona de trabajo | Medio | Sin lesiones discapacitantes (SLD) o daños menores | BAJO | Señalización del área de trabajo, identificación de circuitos y uso de equipos de protección personal. | |
| | | | Revisión de Tableros y Cableados | 24 | Golpes contra objetos, equipos, etc. | Falta de señalización e identificación de la zona de trabajo | Medio | Lesiones no discapacitantes, daños menores | MEDIO | Señalización e iluminación del área de trabajo, identificación de equipos, estructuras, obstáculos y uso de los equipos de protección personal. | |
| | | | Revisión de Tableros y Cableados | 4 | Caídas al mismo nivel | Falta de señalización e identificación de la zona de trabajo | Medio | Lesiones no discapacitantes, daños menores | MEDIO | Señalización e iluminación del área de trabajo, identificación de equipos, estructuras, obstáculos y uso de los equipos de protección personal. | |
| | RECEPCIÓN DE OBRAS/ INTERCONEXIÓN, PRUEBAS SAT Y PUESTA EN SERVICIO | Conexión de cables | | Desplazamiento del Personal | 1 | Accidente Automovilístico | Pistas en mal estado | Medio | Lesiones discapacitantes y daños | MEDIO | Uso de cinturones de seguridad, desplazamiento en unidades preparadas para la morfología de la zona, desplazamiento del personal en condiciones ambientales y horarios apropiados. |
| | | | | Cableado | 14 | Cortes por herramientas punzo cortantes, herramientas, equipos, etc. | Uso de herramientas en mal estado, mal uso de las herramientas | Medio | Sin lesiones discapacitantes (SLD) o daños menores | BAJO | Uso de equipos de protección personal. |
| | | | | Cableado | 15 | Ergonómico por movimientos repetitivos | Falta de descanso a intervalos regulares, posiciones de trabajo inapropiadas | Medio | Sin lesiones (SL) o daños | BAJO | Horarios apropiados de intervención, planificación adecuada de trabajos, descansos a intervalos regulares, rotación personal. |
| | | | | Cableado | 8 | Contacto con electricidad | Falta de señalización e identificación de la zona de trabajo | Medio | Sin lesiones discapacitantes (SLD) o daños menores | BAJO | Señalización del área de trabajo, identificación de circuitos y uso de los equipos de protección personal. |
| | Puesto en servicio | | | Desplazamiento del Personal | 1 | Accidente Automovilístico | Pistas en mal estado | Medio | Lesiones discapacitantes y daños | MEDIO | Uso de cinturones de seguridad, desplazamiento en unidades preparadas para la morfología de la zona, desplazamiento del personal en condiciones ambientales y horarios apropiados. |
| | | | | Pruebas de operación y/o simulación | 8 | Contacto con electricidad | Falta de señalización e identificación de la zona de trabajo | Medio | Sin lesiones discapacitantes (SLD) o daños menores | BAJO | Señalización del área de trabajo, identificación de circuitos y uso de equipos de protección personal. |

Fuente: (García Magaña, 2021)

Anexo 3: Flujoograma de Identificación de Aspectos Ambientales de la empresa Enel Generación Perú S.A.A.



Fuente: (Enel Generación Perú, 2016)

Anexo 4. Identificación de Aspectos e Impactos Ambientales de acuerdo a los procedimientos de ENEL

| IDENTIFICACIÓN DE ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTALES | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|------------------------------|---|---|---|------------|-------------------------|--------------------------------|---------------------------------|-----------------|--|
| PROCESO | SUBPROCESOS | ACTIVIDADES | Código del aspecto ambiental | Aspectos Ambientales | | Impacto Ambiental | Frecuencia | Criterios de Evaluación | | | ¿Significativo? | Medida de Control |
| | | | | R | P | | | Requisito Legal | Magnitud del Impacto Ambiental | Severidad del Impacto Ambiental | | |
| IMPLEMENTACIÓN DEL CONTROL AUTOMÁTICO DE LA TOMA TULUMAYO | INGENIERIA BÁSICA/ LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN | Identificación de áreas de Obra | 1 | Emisión de polvo | X | Contaminación del aire, daños a la salud del trabajador. | E | A | B | B | SI | Orden y limpieza. Uso de equipos de protección personal de acuerdo al procedimiento I.S.G.0A.003 "Equipos de Protección Personal". |
| | | Inspección de Tableros y Cableados Existentes | 1 | Emisión de polvo | X | Contaminación del aire, daños a la salud del trabajador. | E | A | B | B | SI | Orden y limpieza. Uso de equipos de protección personal de acuerdo al procedimiento I.S.G.0A.003 "Equipos de Protección Personal". |
| | | Inspección de Obras Civiles y Ductos | 1 | Emisión de polvo y material particulado | X | Contaminación del aire, daños a la salud del trabajador. | E | A | B | B | SI | Orden y limpieza. Uso de equipos de protección personal de acuerdo al procedimiento I.S.G.0A.003 "Equipos de Protección Personal". Clasificar el residuo como residuo peligroso. Disponerlo de acuerdo al procedimiento de ENEL P.MA.002 "Gestión de Residuos". |
| | OBRAS EN SITIO/ TRANSPORTE, MONTAJE Y CABLEADO | Traslado de Equipos y Emplazamiento | 1 | Materiales de embalaje (Madera, cartón, plástico, espuma) | X | Contaminación visual. | E | A | B | B | SI | Clasificar y segregar el material de acuerdo a su naturaleza. Disponerlo de acuerdo al procedimiento de ENEL P.MA.002 "Gestión de Residuos". |
| | | | 2 | Residuos de cables y material de montaje | X | Contaminación del suelo. | E | A | B | B | SI | Orden y Limpieza. Clasificar el residuo no peligroso. Disponerlo de acuerdo al procedimiento de ENEL P.MA.002 "Gestión de Residuos". |
| | RECEPCIÓN DE OBRAS/ INTERCONEXIÓN, PRUEBAS SAT Y PUESTA EN SERVICIO | Conexionado de cables | | Consumo de energía eléctrica | X | Incremento indirecto de los impactos inherentes a la generación de energía eléctrica. | C | B | A | B | NO | Utilización de instrumentos calibrados en buenas condiciones. |
| | | Puesta en Servicio | | Consumo de energía eléctrica | X | Incremento indirecto de los impactos inherentes a la generación de energía eléctrica. | C | B | A | B | NO | Utilización de instrumentos calibrados en buenas condiciones. |

Fuente: (García Magaña, 2021)

Anexo 5: Cartilla de Protocolo de Pruebas de Represa Tulumayo

| ACTIVIDADES EN TOMA TULUMAYO | | | |
|--|--|--------------|-------------------------------|
| Central: Chimay | | | |
| Grupo: Toma Tulumayo | | | |
| Equipo: Compuertas de Regulación de Nivel | | | |
| Fecha: | | Hora: | |
| ACTIVIDADES | | | |
| A | PREVIOS A LAS PRUEBAS | EJEC | |
| 1 | Ajuste de tiempos de respuesta para maniobras de compuertas de regulación | | |
| B | PRUEBAS ADICIONALES DE LÓGICAS DE CONTROL | EJEC | OBSERVACIONES/ COMENTARIOS |
| 1 | Prueba de lógica para cuando falle una compuerta | | |
| 2 | Prueba de lógica para cuando fallen las dos compuertas | | |
| 3 | Prueba de lógica para cuando se presente la palizada y no se cumpla la curva caudal vs apertura | | |
| C | LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES | CONFORMIDAD | |
| | | SÍ | NO |
| 1 | Modificar el gráfico del selector, que se observa que las posiciones LM-0-LA sean similar a la posición física del selector y para la posición R/A del otro selector en la parte inferior | | |
| 2 | Configurar límites a los valores de las consignas. Para el valor de nivel de cámara debe de haber una prealarma antes de la alarma de nivel bajo y otro antes de la alarma de nivel alto. Igual para el nivel de embalse | | |
| 3 | Configurar password para modificación de consignas. Solo para el setpoint del nivel de cámara de carga, deberá tener la opción de preguntar si se quiere guardar el nuevo setpoint. | | |
| 4 | Habilitar la opción de disparo de Central desde el PCL de la Toma Tulumayo. Cuando la medida de nivel está por debajo del valor de disparo, debe de enviar una señal a la central desde la Toma y en la central debe de recibirse y activar una salida digital, con temporizado de 3s. | | |
| 5 | Agregar a la ventana de consignas los valores en tiempo real de las variables (niveles y caudal) | | |
| 6 | Configurar una alarma "posición indebida de conmutador" cuando el monmutador se encuentre en la posición "0". Esta alarma debe de ser sonora y debe de aparecer en todos los despliegues con una indicación que llame la atención, puede ser un rombo rojo destellante que diga pliego en letras blandas | | |
| 7 | Configurar en las ventanas principales un área donde se visualice que alarma se activa. Igual que en el punto 6, debe de configurarse un rombo rojo destellante para las alarmas que ordenen el cambio a Local-Manual por la pérdida de lazo y falla de comunicación | | |
| 8 | Aumentar el tamaño de las letras de las descripciones de alarmas. No debe de haber esfuerzo visual por parte del operador | | |
| 9 | Configurar que cuando se pierda datos de los 2 sensores de nivel, debe llegar la apertura del lazo, si solo se pierde un sensor solo debe llegar una alarma del sensor fallado, pero no perdida de lazo | | |
| 10 | Colocar una tapa al conmutador | | |

Fuente: (García Maguiña, 2021)