



**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA**

*Comunidad Educativa al servicio del Pueblo*

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA  
Y CONSTRUCCIÓN**

**CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**Análisis de alternativas para la disipación de energía a pie de presa  
Quingoyacu**

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE INGENIERO ELÉCTRICO**

**AUTOR: LUIS MIGUEL BERNAL ORDOÑEZ**

**DIRECTOR:**

**Ing. Pablo Danilo Arias Reyes. MsC.**

**MATRIZ CUENCA**

**2018**

## **DECLARACIÓN**

Yo, Luis Miguel Bernal Ordoñez, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento; y eximo expresamente a la Universidad Católica de Cuenca y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

La Universidad Católica de Cuenca puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y la normatividad institucional vigente.

---

**Bernal Ordoñez Luis Miguel**

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por el señor Luis Miguel Bernal Ordoñez, bajo mi supervisión.

---

**Ing. Pablo Arias Reyes MsC.**  
**DIRECTOR**

## **AGRADECIMIENTO**

El presente trabajo es un esfuerzo en el cual, directa o indirectamente, participaron varias personas leyendo, opinando, corrigiendo, teniéndome paciencia, dándome ánimo, para culminar con éxito este proyecto.

Por ello, es para mí un verdadero placer expresar mi más sincero agradecimiento de manera especial y sincera en primera instancia a Dios y a mis padres por el apoyo incondicional brindado durante el transcurso de mi carrera universitaria, ya que con su ayuda tanto moral como económica, ha sido posible culminar con éxito esta etapa académica.

Quiero también expresar mi agradecimiento a la Universidad Católica de Cuenca, como entidad rectora de la educación superior, a la Empresa Electro Generadora del Austro ELECAUSTRO S. A como empresa auspiciante; al Ing. Pablo Danilo Arias Reyes, al Ing. Carlos Cayetano Durán Noritz, en calidad de directores de tesis que han brindado su apoyo y conocimiento a la elaboración de este trabajo de investigación; al cuerpo docente, y al Ing. Marcelo Gomezcoello que desde el inicio de esta propuesta académica me supieron guiar hasta la culminación de mi carrera.

Por último quiero expresar mi agradecimiento a todas aquellas personas que de una u otra forma colaboraron o participaron en este proyecto, aportando a mi formación, y me han estado motivando para el desarrollo de mi tesis

## **DEDICATORIA**

El fruto de este trabajo y esfuerzo se lo dedico en primera instancia a Dios quien me dio la oportunidad de vivir y me ha dado todos los medios necesarios para alcanzar esta nueva meta.

A mis padres, quienes han sido un pilar fundamental y apoyo incondicional en mi proceso de formación, en todas las tareas que emprendo, depositando su entera confianza en cada reto que se me presentaba, sin dudar ni un solo momento en mi inteligencia y capacidad para poder cumplir mis objetivos como persona y profesional.

A mis amigos y amigas, que estuvieron a mi lado en los buenos momentos, así como en los más duros de mi vida.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>DECLARACIÓN</b> .....	<b>ii</b>
<b>CERTIFICACIÓN</b> .....	<b>iii</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	<b>iv</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>v</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDOS</b> .....	<b>vi</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>3</b>
<b>ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS PARA LA DISIPACIÓN DE ENERGÍA A PIE DE PRESA QUINGOYACU</b> .....	<b>3</b>
<b>Introducción</b> .....	<b>3</b>
1.1. Descripción general del proyecto .....	4
1.1.1. Características de la Presa Quingoyacu. ....	4
1.1.2. Sistema de captación principal.....	5
1.1.3. Operación de la presa.....	6
1.1.4. Hidrología. ....	6
1.2. Planteamiento del Problema .....	7
1.2.1. Justificación. ....	8
1.2.2. Objetivos.....	8
1.3. Planteamiento de alternativas de solución .....	9
1.4. Conceptos generales .....	9
1.4.1. Resistencia eléctrica. ....	9
1.4.2. Equipos de transformación. ....	10
1.4.3. Celdas de protección SM6-36 kV.....	10
1.4.4. Pararrayos. ....	11
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>12</b>
<b>ESTADO ACTUAL DEL PROYECTO</b> .....	<b>12</b>
<b>Introducción</b> .....	<b>12</b>
2.1. Descripción de los componentes de la presa .....	12
2.1.1. Presa de tierra o escollera. ....	12
2.1.2. Equipos hidromecánicos. ....	13

2.2.	Análisis característicos de la presa .....	16
2.3.	Proyección estadística de operación de presa Quingoyacu.....	17
2.3.1.	Capacidad de regulación en el embalse.....	18
<b>CAPÍTULO 3 .....</b>		<b>25</b>
<b>DISEÑO PRELIMINAR DE LOS SISTEMAS DE EQUIPAMIENTO MECÁNICO, HIDROMECAÍNICO Y ELÉCTRICO.....</b>		<b>25</b>
<b>Introducción.....</b>		<b>25</b>
3.1.	Alternativa 1: Válvulas de disipación de energía .....	25
3.1.1.	Determinación de tipo de válvula y característica técnica. ....	25
3.1.2.	Determinación del equipamiento electro-mecánico. ....	29
3.1.3.	Determinación del equipo de actuación de válvula.....	30
3.1.4.	Operación de control.....	30
3.2.	Alternativa 2: Equipo de generación hidromecánico.....	31
3.2.1.	Determinación del equipamiento eléctrico.....	32
3.2.3.	Dimensionamiento del Transformador a Utilizar.....	46
3.2.4.	Celdas de protección modular MT.....	46
<b>CAPÍTULO 4 .....</b>		<b>56</b>
<b>EVALUACIÓN DEL PRESUPUESTO ECONÓMICO Y ANÁLISIS DE RIESGOS. ....</b>		<b>56</b>
<b>Introducción.....</b>		<b>56</b>
4.1.	Cálculo de costos de la propuesta de construcción .....	56
4.1.1.	Propuesta 1: Válvulas de disipación de energía.....	57
4.1.2.	Propuesta 2: Pequeña Central Hidroeléctrica.....	57
4.2.	Cálculo del presupuesto de alternativas y beneficio .....	58
4.2.1.	Propuesta 1: Válvulas de disipación de energía.....	58
4.2.2.	Propuesta 2: Pequeña Central Hidroeléctrica.....	59
4.3.	Evaluación económica y financiera .....	60
4.3.1.	Equipo de generación hidromecánico. ....	60
4.3.2.	Evaluación económica. ....	61
4.4.	Evaluación del análisis de riesgo .....	64
4.4.1.	Metodología de evaluación del riesgo. ....	64
4.4.2.	Estimación del Riesgo.....	66
<b>CAPÍTULO 5 .....</b>		<b>71</b>
<b>EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS.....</b>		<b>71</b>
5.1.	Propuesta 1. Válvulas .....	71

5.2. Propuesta 2. Unidad de generación .....	72
5.2.1. Turbinas de tipo axial Kaplan de Álabes regulables + Generador síncrono. ....	72
5.2.2. Turbinas de tipo axial Kaplan de álabes regulables + Generador asíncrono. ....	72
5.3. Comparación.....	73
5.3.1. Evaluación. ....	73
5.4. Consideración de la propuesta.....	75
<b>CAPÍTULO 6 .....</b>	<b>77</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>77</b>
6.1. Conclusiones.....	77
6.2. Recomendaciones .....	78
<b>Bibliografía.....</b>	<b>79</b>



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica del proyecto Soldados Yanuncay.....	4
Figura 2. Stop-log.....	13
Figura 3. Válvula tipo Mariposa.....	14
Figura 4. Disposición del equipamiento hidromecánico.....	15
Figura 5. Esquema de la presa Quingoyacu.....	16
Figura 7. Proyección estadística de operación de la presa Quingoyacu.....	23
Figura 8. Caudales de descarga en función volumétrica acumulado de la presa Quingoyacu. .....	25
Figura 9. Potencia hídrica estimada en función del caudal de descarga con un rango de operación máximo comprendido entre 25,47 m y un mínimo de 11 m. ....	25
Figura 10. Válvula Monovar Modelo.....	26
Figura 11. Válvula Howell-Bunger.....	26
Figura 12. Válvula descarga sumergida.....	28
Figura 13. Válvula de descarga sumergible .....	29
Figura 14. Diagrama de control.....	31
Figura 15. Generador.....	32
Figura 16. Generador Síncrono. ....	33
Figura 17. Motor Asíncrono.....	33
Figura 18. Esquema conversión AC-DC-AC .....	37
Figura 19. Condiciones iniciales de operación de la máquina.....	38
Figura 20. Esquema unifilar eléctrico de generación, transformación, y líneas de transmisión LT y redes de distribución RD.....	40
Figura 21. Red de distribución proyectada.....	41
Figura 22. Vista de perfil transformador de Potencia.....	45
Figura 23. Cabina de protección SM 6-36 kV, en su interior aloja interruptor, interruptor seccionador, interruptor fusible.....	47
Figura 24. Interruptor principal cabinado SM6-36 kV, .....	47
Figura 25. Seccionador de barra cabinado SM6-36 kV, .....	48
Figura 26. Pararrayos tipo estación polímero siliconado, .....	49
Figura 27. Clasificación de las turbinas Hidráulicas. ....	49
Figura 28. Directrices móviles del distribuidor.....	50
Figura 29. Esquema genera de una Turbina Francis .....	51
Figura 30. Turbina Michell Banki.....	52
Figura 31. Selección de turbinas.....	53

Figura 32. Turbina Voith de eje vertical.....	54
Figura 33. Evolución del costo de generación media. ....	61
Figura 34. Evolución del costo de generación media. ....	62
Figura 35. Convertidores de Frecuencia Regenerativos. ....	75
Figura 36. Especificaciones técnicas de los convertidores de frecuencia regenerativo ACS-800-17 .....	98
Figura 37. Descripción de las especificaciones técnicas de nomenclatura.....	99

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características del embalse Quingoyacu. ....	5
Tabla 2. Caudales medios mensuales en las cuencas de interés. ....	7
Tabla 3. Características de la Presa Quingoyacu. ....	16
Tabla 4. Resumen de las Obras conexas a la Presa Quingoyacu.....	17
Tabla 5. Precipitación media mensual en el embalse Quingoyacu.....	17
Tabla 6. Evaporación mensual promedio, embalse Quingoyacu, 1964-1980. ....	17
Tabla 7. Evaporación mensual promedio, embalse Quingoyacu, 1964-1980. ....	18
Tabla 8. Volumen calculado promedio mensual estimado.....	18
Tabla 9. Volumen de acumulación necesario para obtener un caudal medio anual de descarga.....	19
Tabla 10. Caudales medios, máximos y mínimos. ....	19
Tabla 11. Caudales garantizados.....	20
Tabla 12. Potencial Hídrico calculado con Q mínimo. ....	21
Tabla 13. Potencial Hídrico calculado con Q medio. ....	21
Tabla 14. Potencial Hídrico calculado con Q máximo. ....	21
Tabla 15. Demanda adoptada para la central Yanuncay.....	22
Tabla 16. Nivel de Volumen de presa Quingoyacu Fuente.....	23
Tabla 17. Calculo de potencia y energía disponible en la presa Quingoyacu. ....	24
Tabla 18. Potencial hídrico disponible.....	26
Tabla 19. Características – beneficios. ....	29
Tabla 20. Comparación entre un Generador Síncrono y Un Generador Asíncrono.....	35
Tabla 21. Funciones de protección. ....	39
Tabla 22. Caída de tensión. ....	44
Tabla 23. Características del conductor de fase tipo ACSR de 1/0 AWG.....	45
Tabla 24. Datos característicos del transformador tipo subestación.....	46
Tabla 25. Selección del tipo de pararrayos para la PCH Quingoyacu. ....	48
Tabla 26. Presupuesto adecuación del cuarto de válvulas.....	57
Tabla 27. Costo construcción de la casa de máquinas para la PCH. ....	58
Tabla 28. Presupuesto de un juego de válvulas de descarga sumergida. ....	59
Tabla 29. Costo total de construcción de la casa de máquinas. ....	59
Tabla 30. Costo de operación y mantenimiento de PCH Quingoyacu. ....	60
Tabla 31. Valores iniciales cálculo de (Tir –Van).....	60

Tabla 32. Consumo interno de energía de los servicios auxiliares. ....	63
Tabla 33. Resultado de la evaluación económica (TIR) (VAN) con auto consumo. ....	63
Tabla 34. Valoración de calificación equivalente riesgo. ....	65
Tabla 35. Categoría de probabilidad: .....	65
Tabla 36. Matriz de valoración de riesgo.....	66
Tabla 37. Valoración del riesgo, Casa de Máquinas Quingoyacu.....	67
Tabla 38. Cuadro de Riesgo Red de Distribución. ....	68
Tabla 39. Cuadro de Riesgo Válvulas. ....	69
Tabla 40. Valoración económica del riesgo.....	70
Tabla 41. Resultado de la evaluación económica (TIR) (VAN) con auto consumo.....	70
Tabla 42. Características Válvulas de descarga sumergida. ....	71
Tabla 43. Convertidores de Frecuencia Regenerativos.....	74
Tabla 44. Cálculo del alimentador proyectado de 6 km a 22 k por el que se evacuara la potencia generada de la PCH Quingoyacu proyectada.....	83
Tabla 45. Caída de Tensión.....	84
Tabla 46. Rubro Casa de válvulas. ....	85
Tabla 47. Rubro Casa de Máquinas.....	86
Tabla 48. Costo operación y mantenimiento. ....	87
Tabla 49. Consumo interno de los servicios auxiliares.....	88
Tabla 50. Resumen análisis Económico (TIR - VAN).....	89
Tabla 51. Cálculo de la tasa interna de retorno (TIR) y el Valor Actual Neto (VAN) con un costo medio ponderado de 3.4 cUS/KWh centavos para centrales eléctricas en general. ...	89
Tabla 52. Cálculo de la tasa interna de retorno (TIR= 0) y el Valor Actual Neto (VAN). ....	90
Tabla 53. Cálculo de la tasa interna de retorno (TIR) y el Valor Actual Neto (VAN) con un costo medio de generación hidráulica de 4.08 cUS/KWh centavos de dólar. ....	91
Tabla 54. Resumen análisis Económico (TIR - VAN) con riesgo.....	92
Tabla 55. Cálculo de la tasa interna de retorno (TIR) y el Valor Actual Neto (VAN) con un costo medio ponderado de 3.4 cUS/KWh centavos para centrales eléctricas en general, con la valoración del riesgo. ....	92
Tabla 56. Cálculo de la tasa interna de retorno (TIR= 0) y el Valor Actual Neto (VAN) incluye la valoración del riesgo .....	93
Tabla 57. Cálculo de la tasa interna de retorno (TIR) y el Valor Actual Neto (VAN) con un costo medio de generación hidráulica de 4.08 cUS/KWh centavos de dólar, se incluye el valor del riesgo. ....	94
Tabla 58. Matriz de riesgo de PCH Quingoyacu. ....	95

## ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1 .....	83
ANEXO 2 .....	85
ANEXO 3 .....	86
ANEXO 4 .....	87
ANEXO 5 .....	88
ANEXO 6 .....	89
ANEXO 7 .....	95
ANEXO 8 .....	98

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación realiza un análisis de alternativas que permite disipar el potencial del agua contenida al pie de la presa Quingoyacu, que cumple con el objetivo de regular y ajustar de forma permanente el volumen de agua para el funcionamiento de las centrales hidráulicas en cascada Soldados y Yanuncay.

La acumulación continua del agua disponible crea una presa de regulación que recoge todo el caudal que pueda aportar la cuenca del río Quingoyacu en los meses de lluvia y su uso en temporada de estiaje.

Esta condición da lugar a un escenario de operación muy particular que se caracteriza por tener el volumen de caudal y nivel de altura de trabajo variable, lo que presenta un limitante al momento de su aprovechamiento por medio de métodos convencionales de generación hidroeléctrico.

Por lo que, como hipótesis de solución se planteó; el uso de un juego de válvulas de caudal de descarga de acuerdo a los diseños iniciales del proyecto, y la Implementación de una unidad de generación hidráulica en combinación de sistemas de conversión regenerativos ideales para este fin.

Finalmente se desarrolló un análisis económico financiero y de riesgos que determino la consideración o descarte de la propuesta.

Palabras Clave: PRESA QUINGOYACU, POTENCIAL ENERGÉTICO, CAUDAL VARIABLE, NIVEL EMBALSE, CENTRAL HIDRÁULICA.

## **ABSTRACT**

The present work of investigation realizes an analysis of alternatives that allows to dissipate the potential of the water contained in the foot of Quingoyacu dam that fulfills the objective of regulating and adjusting of permanent form the volume of water for the operation of two hydraulic power stations in Cascade Soldiers and Yanuncay

The continuous accumulation of available water creates a regulation dam that collects all the water that the Quingoyacu river basin can provide during the rainy season and its use in the driest season.

This condition gives rise to a very particular operating scenario characterized by having a variable volume of flow and a level of height, which presents a limitation at the time of its use by means of conventional methods of hydroelectric generation.

Then, as a solution hypothesis was proposed; the use of a set of discharge flow valves according to the initial designs of the project, and the implementation of a hydraulic generation unit in combination of regenerative conversion systems ideal for this purpose.

Finally, an economic and financial risk analysis was carried out that determined the consideration or discarding of the proposal

Palabras clave: QUINGOYACU DAM, ENERGY POTENTIAL, VARIABLE FLOW, EMBALSE LEVEL, HYDRAULIC CENTRAL.

# **CAPÍTULO 1**

## **ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS PARA LA DISIPACIÓN DE ENERGÍA A PIE DE PRESA QUINGOYACU**

### **Introducción**

El presente capítulo tiene como objetivo, analizar alternativas que permitan optimizar el recurso hídrico disponible al pie de presa Quingoyacu. Este proyecto pertenece a la Empresa Electro Generadora del Austro (ElecAustro S. A.), y forma parte del Proyecto Hidroeléctrico Soldados – Yanuncay.

### **1. Marco Teórico**

Entre las alternativas planteadas en este trabajo de tesis, se analiza la incorporación de válvulas que permitiría la regulación del caudal necesario requerido para la generación hidroeléctrica aguas abajo; así como también la implementación de una o más unidades de generación de energía eléctrica (Pequeña Central Hidroeléctrica –PCH). De esta forma se optimizaría el caudal disponible proporcionado por la presa al abrir el desagüe de fondo.

Para este análisis, se considera la recopilación e interpretación de los datos pertenecientes a los estudios y diseños finales del proyecto de diseño de presa Quingoyacu, mismo que fue realizado por la consultora CESEL, que contiene tanto las características de diseño de presa, como los niveles de caudal de aportación, entre otros.

En función de los datos conseguidos en la cuenca hidrológica del río Yanuncay y los datos característicos de la Presa Quingoyacu, se define el potencial energético disponible para su aprovechamiento. La importancia de esta investigación se centra en la optimización del recurso hídrico y el propósito de generación local mediante el análisis de implementación de una PCH (Pequeña Central Hidroeléctrica) o válvulas de regulación, entre las alternativas analizadas.

Además se conformará un estudio sistemático, que se basará en diagramas que nos indiquen la factibilidad o no de la construcción de dicha infraestructura; en ésta se analizará los pro y los contra de la consecución del proyecto; mismo que al tener un aval institucional, se conformará bajo una base técnica sólida, la cual analizará los presupuestos y los tiempos que



se necesitarán para construir el equipamiento necesario y los rubros que se deberán manejar cada mes, dentro de una base estratégica, que además estudia la sostenibilidad y sustentabilidad propia de dicha presa.

### 1.1. Descripción general del proyecto

El "Proyecto Hidroeléctrico Múltiple Soldados - Yanuncay está constituido por dos centrales hidroeléctricas en cascada para conseguir una potencia instalada de 22 MW, se encuentra conformado por la Central Hidroeléctrica Soldados con 7 MW y la Central Hidroeléctrica Yanuncay con 15 MW; además consta de una presa de tierra denominada Quingoyacu; que se beneficia del potencial hidrográfico de la cuenca alta del río Yanuncay, se ubica en la Provincia del Azuay, en el Cantón Cuenca - Ecuador; las comunidades inmersas en la zona de influencia son las parroquias Baños y San Joaquín; geográficamente el proyecto se encuentra ubicado en las coordenadas Este 692003, Norte 9669731 y Este 10984, Norte 99676463. (Electro Generadora del Austro SA, 2013)".

En la figura 1 se puede observar la ubicación geográfica de la presa Quingoyacu que pertenece al proyecto hidroeléctrico Soldados Yanuncay.

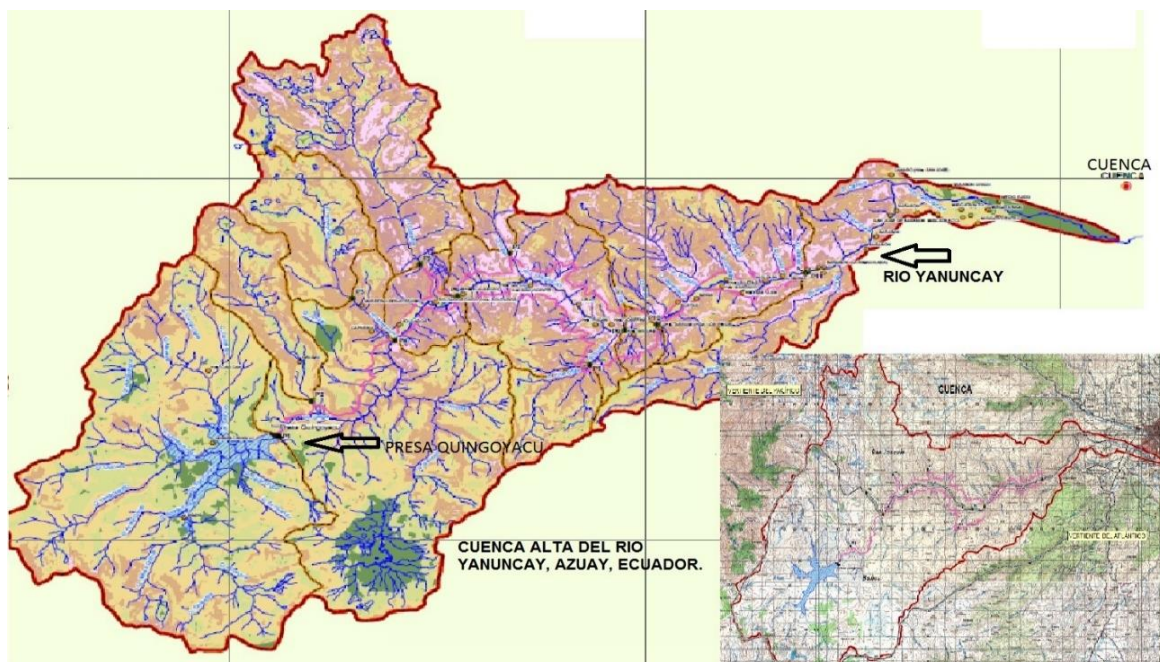


Figura 1. Ubicación geográfica del proyecto Soldados Yanuncay.  
Fuente: (Electro Generadora del Austro SA, 2013)

#### 1.1.1. Características de la Presa Quingoyacu.

El proyecto se encuentra conformado por la Presa Quingoyacu en un área fluvial del Río del mismo nombre, que se forma de las aportaciones de la quebrada Quinsachogllo y el Río

Sigsihuaycu. El objetivo principal de la presa es crear un embalse para mejorar la continuidad del recurso hídrico de la zona, almacenando en los meses de aportación “noviembre – abril” y el uso en los meses de estiaje ‘Mayo – Octubre’.

“La presa Quingoyacu es de tierra tipo homogénea, enrocado con recubrimiento de hormigón, teniendo una altura máxima de 42,23 m, una distancia de 212,52 m, una altura de vaso muerto desde su base de 13,75 m, un nivel del volumen amortiguador de presa de 0,50 m, altura máxima de operación es de 40,25 m, volumen de presa 20,73 hm<sup>3</sup> teniendo una altura bruta de la presa 25,47 m.

La obra de captación principal se origina de aguas arriba de la presa, destinada a satisfacer las necesidades del proyecto, también posee un conducto de toma de agua, que sigue hasta la bifurcación, terminando en el canal de captación, mediante dos válvulas sumergidas en posición vertical, con una capacidad máxima de conducción de 4,00 m<sup>3</sup>/s cada una. (Electro Generadora del Austro SA, 2013)”.

Tabla 1. Características del embalse Quingoyacu.

<b>Características del Embalse Quingoyacu.</b>		
<i>Elemento</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Unidad</i>
Capacidad total al Nivel de Agua Máximo Extraordinario (NAME)	23,08	hm <sup>3</sup>
Capacidad total al Nivel de Agua Máximo Ordinario (NAMO)	22,10	hm <sup>3</sup>
Capacidad útil (Nivel de Agua Mínimo (NAMI) - NAMO)	20,72	hm <sup>3</sup>
Capacidad control de avenidas	0,98	hm <sup>3</sup>
Nivel máximo de avenidas (NAME)	3 583,75	m.s.n.m.
Nivel normal máximo de operación (NAMO)	3583,17	m.s.n.m.
Nivel mínimo de operación (NAMI)	3 557,70	m.s.n.m.
Volumen muerto por cota de derivación	0,57	hm <sup>3</sup>
Volumen mínimo al NAMI	1,38	hm <sup>3</sup>
Volumen muerto por sedimentación	0,25	hm <sup>3</sup>
Área de inundación para el NAMO	182,70	Ha
Ancho de la corona	8,00	M
Nivel mínimo del terreno natural (NNT)	3544,00	m.s.n.m.
Nivel de cimentación de la presa (NCi)	3543,50	m.s.n.m.
Nivel de volumen amortiguador	0,50	M

Fuente: (Electro Generadora del Austro SA, 2013)

### 1.1.2. Sistema de captación principal.

El sistema de captación principal permite descargar la demanda de agua que exige el proyecto para su generación, así como también el caudal ecológico.

La toma de agua es un conducto de forma rectangular, conformado por rejillas que admite el ingreso de agua, operando de forma sumergida a 10 m. sobre el fondo del cauce, posee una capacidad máxima de ingreso de 4,15 m<sup>3</sup>/s; luego de la captación se encuentra una compuerta de tipo “Stop log” que opera de forma sumergida.

En la presa, aguas abajo se encuentra la tubería de baja presión de 1,4 m de diámetro que se divide en dos ramificaciones, las derivaciones disponen de válvulas reguladoras de tipo mariposa, que usan además un bypass para poder nivelar la diferencia de presión que existe al momento de realizar maniobras de apertura antes de entregar el caudal al inicio de la conducción de la central Soldados.

El caudal ecológico se toma de la desviación de una de las ramificaciones que se encuentra formada por dos válvulas de tipo compuerta y una válvula reguladora, esto da lugar a la devolución del caudal al cauce del río.

### **1.1.3. Operación de la presa.**

La operación de la presa dependerá de los niveles de caudal de despacho requerido para el aprovechamiento Soldados, el caudal de despacho estará de acuerdo al nivel disponible de agua en el embalse, para esto es necesario el registro continuo de los niveles de aporte y despacho; en función de esto dependerá el nivel de apertura de las válvulas de descarga principal que permite disipar un máximo de 4,15 m<sup>3</sup>/s; de los cuales el 0,15 m<sup>3</sup>/s está destinado al caudal ecológico. Para el caso de niveles de agua excedente, con el fin de evitar el desbordo del agua por su corona, el agua se puede evacuar por el aliviadero y el conducto de purga con la apertura de sus válvulas a toda capacidad; con un máximo de evacuación de 30 m<sup>3</sup>/s.

### **1.1.4. Hidrología.**

Para la generación de la Central Soldados se despachará el agua represada de acuerdo a los niveles de precipitación diarios, mensuales y anuales que pueda aportar la cuenca durante el año hidrológico, adicional a ello, se considera el caudal de contribución de la captación Galgal, que se encuentra ubicada aguas abajo de la conducción Soldados.

En base al estudio hidrológico existente y la proyección estadística de operación de presa, se definen los niveles de caudal promedio mensual de descarga disponible.

El estudio hidrológico se realizó mediante “un modelo estadístico que determina los caudales máximos y mínimos disponibles en puntos estratégicos de interés de la micro cuenca del río Yanuncay; este modelo se basa en la comparación de cuencas hidrológicas de acuerdo a las condiciones en la zona del proyecto. (Cesel - Ingenieros, 2013)”.

Estación hidrológica Labrado: esta zona posee características similares con páramos ubicados a 3000 m.s.n.m. teniendo precipitaciones máximas en 24 horas y con una extensión de datos históricos de 34 años entre 1964-1990 / 2005-2011.

Estación Yanuncay AJ Tarqui, tiene un registro histórico de 31 años de caudales máximos instantáneos obtenidos 1964-1989 / 2007-2011.

Los resultados que se obtuvieron por el modelo son el caudal medio anual promedio de 2,10 m<sup>3</sup>/s una desviación estándar de 0,68 m<sup>3</sup>/s. caudales máximos 14,44 m<sup>3</sup>/s y mínimos 0,23 m<sup>3</sup>/s.

Tabla 2. Caudales medios mensuales en las cuencas de interés.

<b>Caudales Medios Mensuales (m<sup>3</sup>/s)</b>	
Quingoyacu	2,10 m <sup>3</sup> /s
Galgal	0,37 m <sup>3</sup> /s
Ishcayrumi	0,43 m <sup>3</sup> /s

Fuente: (Electro Generadora del Austro SA, 2013)

## **1.2. Planteamiento del Problema**

La zona de estudio se enmarca dentro de la represa Quingoyacu y sus alrededores con sus diferentes aportes de caudal en la represa.

El Proyecto Hidroeléctrico Soldados Yanuncay con la construcción de la presa, consigue incrementar la disponibilidad del recurso hídrico en el embalse, la regulación del caudal y el despacho programado, afianzará la continuidad del flujo de agua para la generación hidroeléctrica. Sin embargo, el despacho efectivo de la presa no permite aprovechar la energía cinética disponible al momento de realizar la descarga, el cual según los estudios y diseños realizados, considera evacuar el caudal de descarga por medio de mecanismos de disipación de energía sin aprovechamiento.

Con la finalidad de disipar la energía cinética en la presa de manera eficiente, sin poner en riesgo la seguridad del embalse; es preciso buscar alternativas que permitan, además, de regular el caudal de despacho, aprovechar el potencial disponible en otra forma de energía.

Por lo tanto, el desarrollo de este problema y análisis, está enmarcado en determinar de forma viable la manera más adecuada de disipar la energía cinética del fondo de Presa, a través del análisis de alternativas que permitan aplicar nuevas tecnologías, considerando los aspectos técnicos y económicos que determinarán la viabilidad o no de la propuesta.

Los resultados obtenidos podrán determinar la aceptación o negación de las alternativas planteadas en este estudio, como también la reconsideración de las mismas en un futuro proyecto.

### **1.2.1. Justificación.**

ElecAustro lleva a cabo importantes proyectos hidroeléctricos fomentando siempre la explotación de alternativas viables de energías renovables, uso de tecnología limpia, libre de contaminantes y contribuyendo a la reducción de emisiones de Co<sub>2</sub> al medio ambiente. Además, contribuye al almacenamiento del recurso hídrico en época de estiaje y el control de inundaciones en temporada invernal; mejorando significativamente la confiabilidad del recurso para el consumo humano, como también aportando con el desarrollo de planes de riego agrícola.

La finalidad de este estudio es analizar alternativas que viabilice aprovechar el flujo de agua de descarga al final de la conducción de la captación principal Soldados.

La implementación de alternativas tecnológicas lleva consigo optimizar el recurso de mejor manera, incrementando la capacidad de regulación en el manejo de los procesos, despachando de manera más eficiente el agua y aprovechando la potencia hídrica disponible para la generación eléctrica.

### **1.2.2. Objetivos.**

#### ***1.2.2.1. General.***

Realizar un estudio para disipar la energía cinética disponible al pie de la presa Quingoyacu, planteando una opción viable para el aprovechamiento del recurso e implementar tecnologías adecuadas, considerando aspectos técnicos de ingeniería que justifiquen su inversión con sujeción al análisis económico financiero.

#### ***1.2.2.1. Específicos.***

- Analizar la forma más eficiente y confiable para disipar la energía de la presa Quingoyacu
- Determinación de las características técnicas, diseño de planos de ingeniería, dimensionamiento y ubicación del equipo que disiparán la energía de la presa.
- Desarrollar el análisis económico- financiero.
- Determinar la rentabilidad del proyecto y el costo de inversión.
- Analizar los riesgos que representa la ejecución de este proyecto y la solución al problema que puedan plantearse.

### **1.3. Planteamiento de alternativas de solución**

Con la finalidad de establecer la mejor opción que acceda disipar la energía cinética presente al pie de presa; a continuación, se plantea las siguientes alternativas para su análisis:

**Alternativa 1.** Se considera usar válvulas que permitirán controlar el caudal de desagüe de fondo, además, disipar la energía cinética del agua que se presenta al final de la salida del conducto de captación principal, a ser entregado más adelante al canal de conducción de la (Central Hidroeléctrica) CH Soldados.

Esta alternativa propone analizar los diferentes tipos de válvulas que cumplan el mismo objetivo adaptándose al entorno del diseño de la presa, garantizando la automatización de la operación desde un centro control SCADA.

**Alternativa 2.** Se plantea la generación eléctrica al incorporar una o varias unidades de generación (hidroeléctrica) que aporte al sistema de distribución más cercano.

Para la implementación, de esta opción, se analizará tanto el emplazamiento, infraestructura, automatización, esquema general de protocolo de comunicación al sistema SCADA, así como el análisis de los SEP (sistemas eléctricos de potencia) necesarios para evacuar la energía producida.

Planteada de esta manera como parte del diseño de la estructura, se lo determinará la ubicación más adecuada para la implementación de los equipos. Es por ello, que la propuesta considera diferentes etapas en el planteamiento de las hipótesis, al utilizar equipos mecanizados, o hidromecánicos que permitan absorber la energía del agua disipándola o en su defecto permita el aprovechamiento hidroeléctrico.

### **1.4. Conceptos generales**

A continuación, se presentan la descripción de los conceptos básicos que se utilizaran en el desarrollo de este trabajo de investigación.

#### **1.4.1. Resistencia eléctrica.**

La resistencia eléctrica es la oposición que presenta un conductor al paso de la intensidad de corriente, esta propiedad según la ley de (Ohm) se encuentra en función de la longitud del circuito, la sección del conductor, la resistividad del material y la temperatura al cual estarán expuestos.

Esta propiedad relaciona cuanto mayor sea la longitud, mayor será la resistencia del conductor, por lo que la corriente eléctrica que fluye por la red se verá disminuida.

Esta pérdida se puede reducir al dimensionar de forma adecuado el diámetro del conductor facilitando el transporte de la energía.

#### **1.4.2. Equipos de transformación.**

El transformador es un equipo de inducción eléctrico de corriente alterna que tiene la capacidad de elevar o disminuir el nivel de tensión según las necesidades de la red, con el fin de transferir un nivel de potencia determinado. Para el dimensionamiento se tiene que considerar, la relación del transformador, la temperatura de operación nominal de la máquina, altitud de trabajo sobre el nivel del mar.

#### **1.4.3. Celdas de protección SM6-36 kV.**

Las celdas de protección SM6-36 kV son unidades modulares que en su interior disponen de equipos interruptores por medio de gas ignífugo en SF<sub>6</sub>, equipos complementarios de maniobra como seccionador de tipo encapsulado. Además de disponer de un mecanismo de control y protección interno que facilita la reducción del tiempo de actuación de un estado a otro. Por lo que, estos equipos presentan una alternativa compacta de instrumentación complementaria completa, facilitando su operación, su aplicación estará destinada a realizar maniobras de apertura/cierre comandadas por un sistema de protección que viene en conjunto por medio de un Relé que en su interior aloja funciones de protección de máquina y de línea previsto para la PCH Quingoyacu. La celda interna tiene todo el equipo de medición ya que es a 22 kV.

##### ***1.4.3.1. Interruptor Principal.***

Los interruptores son equipos de actuación efectiva destinados a liberar y controlar las fallas soportando sobreintensidades y corrientes de cortocircuito que se pueda presentar en una red, estos equipos físicamente se caracterizan por estar contruidos de forma robusta, cuyo entorno de trabajo está directamente relacionado al nivel de tensión y corriente.

La elección de este tipo de interruptores va depender del entorno de trabajo y el grado de seguridad requerido, en función de esto, se determinará el tipo de aislamiento, ya sea en aceite, gases ignífugos SF<sub>6</sub>, o al vacío.

La operación será gestionada de forma automática por medio de un sistema de protección o a su vez por medio de mecanismos de acción directa efectuando el cierre o apertura efectivo. (Ministerio de Energía y Minas, Dirección General de Electricidad)

##### ***1.4.3.2. Seccionador de Barra.***

Es un equipo electromecánico de maniobra que está destinado a aislar una parte de los elementos de la red eléctrica, y por lo regular sus operaciones se realizan en línea viva sin carga, facilitando desenergizar de forma parcial o total una sección de barra del área de operación, garantizando la seguridad de las personas al evitar una reconexión inesperada.

Un seccionador está destinado a soportar valores mucho mayores a los niveles de tensión nominal de trabajo, para este caso se manejará un nivel superior a los 22 kV; además de tener la capacidad de soportar un flujo de corriente inesperado de forma inusuales en la red

#### **1.4.4. Pararrayos.**

Los pararrayos o descargadores, son equipos de protección que están destinados a dar el mayor margen de seguridad en un sistema eléctrico; que frecuentemente se ven afectados por sobretensiones a causa de la variabilidad de la carga en un alimentador, incrementando el valor nominal de tensión y llegando al límite de disrupción.

De la misma forma se encuentra la descarga de tipo atmosférico de corta duración, que manejan grandes magnitudes de sobreintensidad, siendo la más importante en este tipo de aplicación; por lo que, el uso de estos equipos permitir absorber y redireccionar a tierra una falla.

Físicamente están contruidos de óxido metálico de silicio (MOV) y un recubrimiento de polímero siliconado que aporta excelente resistencia; mientras que al interior del equipo se dispone de varistores que se oponen al paso de la corriente de forma direccional, activándose al superar el umbral de sobretensión y desviar el incremento a tierra.

Estos equipos por lo regular se pueden encontrar de tres clases: distribución, intermedio, estación, con la diferencia física de la relación de distancia del descargador, mientras mayor es el espacio de separación, menor será el nivel de tensión como consecuencia, y la capacidad de intensidad de descarga se incrementa.



## CAPÍTULO 2

### ESTADO ACTUAL DEL PROYECTO

#### Introducción

En este capítulo se presentan los componentes principales más importantes de la presa con la finalidad de describir el equipamiento mecánico que lo conforma; además se realiza el análisis hídrico con el fin de determinar el caudal firme de despacho garantizado del embalse en función de los niveles de aportación y el volumen útil acumulado en el embalse; de esta forma, lo que se pretende es determinar el potencial energético disponible al momento de realizar la descarga en el embalse, y también se plantea diferentes escenarios para dimensionar la alternativa que más se ajuste a las condiciones actuales-futuras de operación del embalse.

#### **2.1. Descripción de los componentes de la presa**

Una represa se describe como el lugar en donde se juntan grandes masas de agua, producto de la acumulación continua del flujo natural de un río. La elección del tipo de presa a construir fue establecida de acuerdo a las características del lugar y del suelo.

En el caso del Proyecto Hidroeléctrico Soldados – Yanuncay se logra el represamiento con una presa de tierra de tipo homogéneo de materiales sueltos basado en los estudios de la zona.

##### **2.1.1. Presa de tierra o escollera.**

Este tipo de presa se caracteriza debido al uso de materiales poco estables al momento de su construcción; por lo que, estará dispuesta sobre la base de una cimentación sólida que mejora la rigidez y el esfuerzo físico que ejerce el agua sobre la pared de la presa.

“Como consecuencia del ancho de la base de presa tiene una relación de siete (7) veces su espesor por uno (1) de altura, de esta forma el número de infiltraciones se reduce considerablemente debido a la distancia que tiene que recorrer el agua a su salida, con lo que se consigue una excelente rigidez de presa, además de permeabilizar el paso del agua evitando la erosión sosegada e imperceptibles a simple vista. (Zetina Domínguez, 2013)”.

La presa se encuentra conformado por dos áreas importantes que están destinados a:

**Captación Principal.** Permite conducir el agua del embalse para descargar en la conducción principal de acuerdo al requerimiento del proyecto aguas abajo.

**Descarga de Fondo.** Permite evacuar el agua del embalse en temporada de demasías, evacuando el agua de forma segura entregando en el río, así como también permite la limpieza de sedimentos que puedan acumularse allí.

### **2.1.2. Equipos hidromecánicos.**

En esta sección, se detalla el funcionamiento de los distintos tipos de válvulas que permiten la operación coordinada y segura de la presa, regulando el caudal de carga y descarga del embalse. Esto se realiza por medio de la apertura y cierre coordinado de válvulas y compuertas, permitiendo el paso del agua de forma controlada, garantizando en todo momento la seguridad y almacenamiento seguro, sin poner en riesgo la operación de los mismos.

#### ***2.1.2.1. Stop-log.***

Son compuertas móviles de deslizamiento vertical y accionamiento mecánico que se utilizan para el control de los niveles de caudal de un embalse, además de facilitar el mantenimiento y la evacuación del agua de presa, la operación se realiza a presiones equilibradas al estar expuesto en forma directa a la opresión que ejerce la columna de agua sobre el Stop-log.



*Figura 2. Stop-log.*

Fuente: (Glenfield, 2017)

Este tipo de compuerta se caracteriza por formar un escudo al juntar varios perfiles estructurales en un marco rígido, diseñados para resistir grandes esfuerzos físicos, limitando la deflexión, además de presentar gran resistencia a la corrosión reduciendo el mantenimiento.

#### ***2.1.2.2. Válvulas mariposa.***

Es el equipo que permite limitar el flujo de agua de forma segura, a estos equipos se los denomina válvulas de guarda, se ubican por lo regular antes de los equipos principales y se

caracterizan por tener un disco en forma de lenteja provisto de un eje central girando y equilibrando la apertura o cierre.

Los mecanismos de actuación se componen de equipos electromecánicos, en combinación de una contrapesa al cierre de la válvula, además de disponer de sensores y dispositivos de posicionamiento que se pueda maniobrar en forma segura y coordinada.

En la condición de apertura es necesario equilibrar la diferencia de presión que existe en una tubería al estar sellada, por lo que se dispone de un bypass permitiendo realizar esta maniobra.

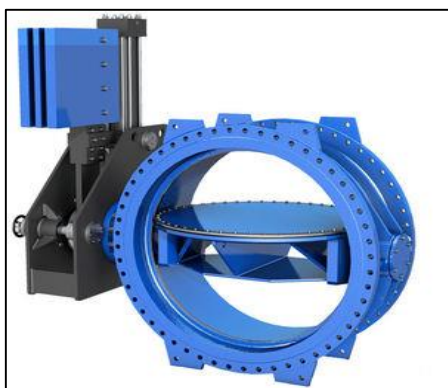


Figura 3. Válvula tipo Mariposa

Fuente: (Saltos del Pirineo, 2017)

### **2.1.2.3. Válvula de caudal ecológico.**

La válvula de caudal ecológico tiene la finalidad de evacuar cierta cantidad de agua entregando de manera continua en el cauce del río, con el fin de mantener la flora y la fauna intacta del lugar.

El juego de válvulas mariposa se incorporará en el conducto de captación principal, pasando la bifurcación, y poco antes de la válvula de guarda, desde donde se desvía paralelo a la conducción principal terminada aguas abajo en el tanque de descarga retornando al río 0,15 m<sup>3</sup>/s.

### **2.1.2.4. Conducto de purga.**

El conducto de purga tiene la finalidad de descargar el agua del embalse al cauce natural del río; se ubica al margen izquierdo aguas arriba de la presa Quingoyacu, posee una toma de agua rectangular de 4,20 m altura x 3,50 m de ancho.

Estructuralmente la captación está conformada por una toma de hormigón provisto de rejillas laterales y superiores que permiten el ingreso del agua; está provisto además de un Stop-log (de tipo compuerta de operación vertical y sellado por presión) llegando a un canal de conducción de 2.80 m de diámetro, que más adelante se reduce a 1.40 m, terminando en dos bifurcaciones del mismo diámetro provistas por dos válvulas de guarda tipo mariposa,

ubicadas al interior de una caseta cada una, antes de terminar esta bifurcación, presenta más adelante, dos válvulas de tipo sumergida de posición vertical en una cámara de válvulas de 1,4 m / 1,00 m de diámetro, que finalmente descarga del caudal de agua entregado al río.

La finalidad del conducto de purga es realizar maniobras de liberar excesos de caudal, limpieza de sedimentos y operaciones de mantenimiento.

### 2.1.2.5. Rejillas.

Es un elemento conformado por un conjunto de barras de formas y tamaños diferentes que impiden el ingreso de sólidos de distinta naturaleza que son acarreados por el agua que puedan afectar o deteriorar los equipos hidromecánicos ubicados aguas abajo de canales o conductos de presión. Es preciso considerar el fácil mantenimiento de las rejillas, mismas que están constituidas por barras arqueadas o rectas con una ligera inclinación en posición vertical perpendicular al área de mantenimiento; la limpieza se lo realiza con el uso de un gancho rastrillo al momento de retirar los desechos acumulados, facilitando el ingreso del agua por las rejillas que están ubicados directamente en tomas de agua, canales, tuberías de presión, captación; fabricado de materiales resistentes a la corrosión como lo es el acero y aleaciones.

Según la posición de las rejillas en la presa Quingoyacu, estas rejillas se encuentran instaladas al inicio del conducto de captación y al inicio de la descarga de fondo. A continuación, se observa la disposición del equipamiento hidromecánico en la cámara de disipación de energía y entrega al canal de captación Soldados.

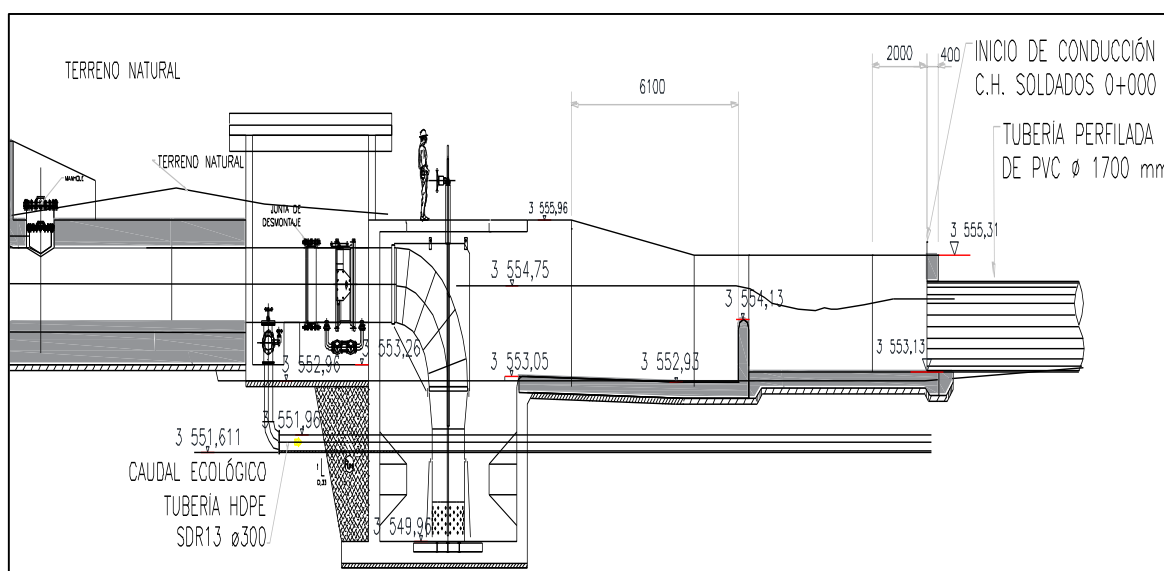


Figura 4. Disposición del equipamiento hidromecánico

Fuente: (Cesel - Ingenieros, 2013)

## 2.2. Análisis característicos de la presa

La Presa tiene por objeto crear un embalse para almacenar el recurso hídrico de la cuenca durante el periodo de lluvias, que luego será utilizado durante el periodo de estiaje en la generación de energía, así como también, para mejorar o incrementar la disponibilidad de agua para consumo doméstico. Adicionalmente a los beneficios indicados, el embalse permitirá el control de los caudales de crecida de los ríos, disminuyendo así, los riesgos de inundación.

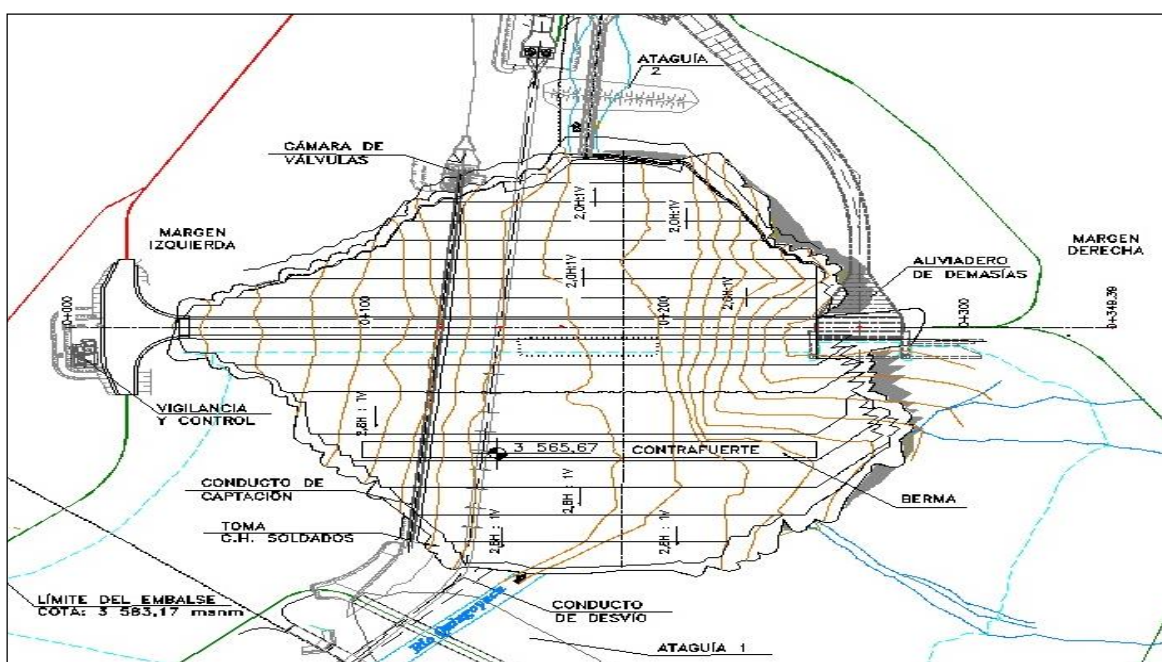


Figura 5. Esquema de la presa Quingoyacu.

Fuente: (Cesel - Ingenieros, 2013)

Tabla 3. Características de la Presa Quingoyacu

Elemento	Cantidad	
<b>Tipo de Presa (material):</b>	<b>Tierra</b>	
Longitud de presa:	212,52	m
Altura Máxima de la presa (H):	42,23	m
Ancho de la corona (a):	8,00	m
Nivel de coronación (NCo):	3 585,67	m.s.n.m.
Nivel mínimo de terreno natural (NNT):	3 544,00	m.s.n.m.
Nivel de cimentación de la presa (NCi):	3 543,50	m.s.n.m.
Nivel de Agua Máximo Ordinario (NAMO):	3 583,17	m.s.n.m.
Nivel de Agua Máximo Extraordinario (NAME):	3 583,75	m.s.n.m.

Fuente: (Cesel - Ingenieros, 2013)

Tabla 4. Resumen de las Obras conexas a la Presa Quingoyacu

<b>Elemento captación</b>	<b>Características</b>	
Longitud tubería de captación	193,6	m
Diámetro tubería de captación	1,40	m
Caudal de captación	4,15	m <sup>3</sup> /s
Salida para caudal ecológico	0,15	m <sup>3</sup> /s
Descarga de fondo:		
Longitud de la tubería	325	m
Diámetro de tubería de descarga	2,80	m
Aliviadero de demasías:		
Caudal de diseño ( T = 10 000 años )	37	m <sup>3</sup> /s
Longitud del Vertedero	28	m
Longitud del cuenco disipador	12	m

Fuente. (Cesel - Ingenieros, 2013).

### 2.3. Proyección estadística de operación de presa Quingoyacu

Para definir la proyección de los caudales de descarga de la presa, en primera instancia se definen los volúmenes de precipitación y evaporación media mensual en el embalse Quingoyacu, para ello se ha considerado información de la estación El Labrado para el periodo de 1965-2009 (Cesel - Ingenieros, 2013). A continuación, en las tablas 5 y 6 se muestra valores que corresponden a la precipitación y evaporación medias mensuales previstas para el embalse Quingoyacu.

Tabla 5. Precipitación media mensual en el embalse Quingoyacu.

<b>Precipitación Anual Media, Mm</b>	<b>Precipitación media mensual, mm</b>											
	<i>Ene</i>	<i>Feb</i>	<i>Mar</i>	<i>Abr</i>	<i>May</i>	<i>Jun</i>	<i>Jul</i>	<i>Ago</i>	<i>Sep</i>	<i>Oct</i>	<i>Nov</i>	<i>Dic</i>
1 081,1	84,6	100,2	114,3	126,7	98,1	87,3	81,5	65,4	69,1	86,5	89,2	83,1

Fuente: (Cesel - Ingenieros, 2013)

Tabla 6. Evaporación mensual promedio, embalse Quingoyacu, 1964-1980.

<b>Evaporación anual media, Mm</b>	<b>Evaporación media mensual, mm</b>											
	<i>Ene</i>	<i>Feb</i>	<i>Mar</i>	<i>Abr</i>	<i>May</i>	<i>Jun</i>	<i>Jul</i>	<i>Ago</i>	<i>Sep</i>	<i>Oct</i>	<i>Nov</i>	<i>Dic</i>
638,2	58,6	48,2	48,6	44,8	44,9	43,9	43,3	45,4	47,1	68,3	73,2	72

Fuente: (Cesel - Ingenieros, 2013)

Estos valores evaluar un equilibrio hídrico a nivel mensual, que relaciona el caudal disponible producto de las precipitaciones, menos evaporación y así obteniendo valores que se presenta a continuación en la tabla 7.

Tabla 7. Evaporación mensual promedio, embalse Quingoyacu, 1964-1980.

Acumulado Anual Medio, Mm	Precipitación Menos Evaporación Media Mensual, mm											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
566,1	28,7	56,5	77,2	85,2	51,9	66,7	60,5	41,5	41,1	28,3	19,2	9,3

Fuente: (Cesel - Ingenieros, 2013)

### 2.3.1. Capacidad de regulación en el embalse.

Hace referencia a la relación entre la capacidad de almacenamiento y las precipitaciones de agua en el embalse con regulación diaria, semanal, mensual, anual. De esta forma se puede analizar la capacidad de regulación en la cuenca controlada por la presa Quingoyacu.

#### 2.3.1.1. Análisis del año promedio.

Al relacionar los caudales promedios mensuales se presenta el volumen promedio anual en 65.32 hm<sup>3</sup> en la tabla 8.

Tabla 8. Volumen calculado promedio mensual estimado.

Volumen Medio Anual, hm <sup>3</sup>	Volumen Medio Mensual, hm <sup>3</sup>											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
65,32	3,33	5,30	7,37	9,81	7,80	6,59	5,88	4,08	3,90	4,21	3,53	3,44

Fuente: (Cesel - Ingenieros, 2013)

Luego de detallar el volumen requerido que se necesita para acumular el caudal medio anual de la cuenca, se establece que el ingreso anual en el embalse es igual o superior al requerido durante el déficit, por lo que se puede obtener un caudal medio mensual en el año.

Esto es posible, al considerar que en los meses de poca aportación de caudal, el río no se seca, por lo que existe un aporte de la cuenca; el volumen de reserva que se pretende, es la suma de las diferencias entre el volumen de suministro mensual y el volumen de demanda en el período de déficit que se observa en la tabla 9.

Tabla 9. Volumen de acumulación necesario para obtener un caudal medio anual de descarga.

Volumen, hm <sup>3</sup>						
Caudal medio anual, m <sup>3</sup> /s	Medio mensual	Meses superávit	Meses déficit	5 meses demanda	Anual superávit o déficit	Reservorio regulación óptima
2,07	5,44	37,45	27,78	27,18	10,27	10,27

Fuente: (Cesel - Ingenieros, 2013)

El volumen del reservorio que se requiere en la presa es igual a la suma del exceso o pérdida (para regular el caudal medio), en el caso del embalse en el río Quingoyacu es de 10,27 hm<sup>3</sup> para regular un caudal de 2,07 m<sup>3</sup>/s.

En la tabla 10 se muestran los caudales medios, máximos, mínimos garantizados al 95% del tiempo, así como los volúmenes promedio, máximo y mínimo de cada serie de aporte para la central de Soldados y Yanuncay incluyendo el aporte de las quebradas Galgal e Ishcayrumi.

Tabla 10. Caudales medios, máximos y mínimos.

Cuenca de interés	Caudal anual, m <sup>3</sup> /s				Volumen anual, MMc		
	Med.	Máx.	Mín.	Q 95%	Promedio	Máximo	Mínimo
Presa Quingoyacu	2,100	14,440	0,230	0,430	66,17	107,47	31,16
Quebrada Galgal	0,380	1,512	0,182	0,099	11,98	24,94	6,68
Aporte Total Soldados	2,292	15,213	0,127	0,447	78,15	127,51	39,71
Captación Yanuncay	4,125	26,905	0,355	0,754	129,98	213,39	63,20
Quebrada Ishcayrumi	0,540	2,149	0,061	0,140	17,02	35,45	9,77
Aporte total Yanuncay	4,665	29,054	0,416	0,918	147,04	248,84	72,97

Fuente: (Cesel - Ingenieros, 2013)

En la figura 6 se observa los distintos niveles previsto para la operación de la presa Quingoyacu.

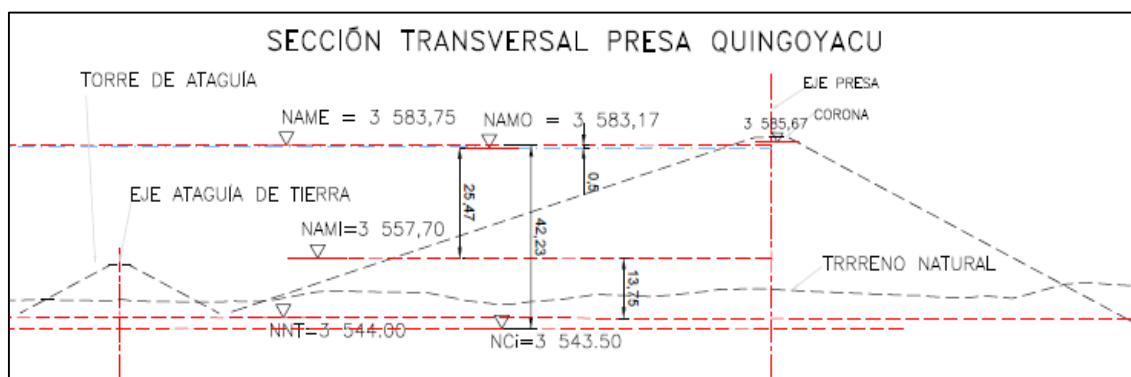


Figura 6. Niveles de caudales de la presa.

Fuente: Autor



De acuerdo al criterio de operación de la presa, el porcentaje de caudal de diseño mínimo turbinado para su generación será el 20%, lo que representa 0,40 m³/s para Soldados y 0,55 m³/s para Yanuncay.

Al considerar las condiciones más críticas de generación para el aprovechamiento Soldados, de acuerdo a la tabla 11, se observa que el caudal mínimo garantizado es superior al 20% por lo que se podría seguir generando.

Con este análisis se define el potencial energético disponible en condiciones críticas de operación, así como también al límite de su capacidad de descarga.

A continuación, en la tabla 11 se presentan los caudales mínimos, medios, y máximos garantizados para el funcionamiento de la Central Soldados de acuerdo con los estudios hidrológicos existentes realizados por ElecAustro.

Tabla 11. Caudales garantizados

<b>Caudales Garantizados (Q)</b>			
	Q min.	Q med.	Q max
Galgal	0,13 m³/s	0,38 m³/s	1,51 m³/s
Quingoyacu	0,23 m³/s	2,10 m³/s	14,44 m³/s
Soldados	0,41 m³/s	2,48 m³/s	15,95 m³/s
Porcentaje en función del caudal mínimo de operación 0,40 m³/s	20,06 %	124 %	792 %

Fuente: (Cesel - Ingenieros, 2013)

En función de la información obtenida se calcula el potencial energético disponible al pie de presa. Para esto se hace uso de la formulación del cálculo de la potencia hídrica que a continuación se observa:

$$P = 9,78 \eta Q \Delta H \quad (1)$$

FORMULA (1)

Donde:

$\eta$ : Eficiencia = 80 %

Q: Caudal en m³/s

$\Delta H$ : Altura bruta en función de los niveles de volumen

P: Potencia [kW]

Se procede a calcular la potencia disponible en diferentes escenarios que podrían presentarse al estar en operación el embalse. En la tabla 12 se presenta el potencial con el caudal mínimo que es 0,230 m³/s y que va variando la altura desde la máxima de 25,47 m hasta 10,47 m, que es el nivel mínimo de operación establecido, observando que el potencial máximo es de 45,834 kW y un mínimo de 18,841 kW.

Tabla 12. Potencial Hídrico calculado con Q mínimo

<b>Potencia Disponible</b>		
$P = 9.78 \eta Q (\Delta H)$		
<i>Q min.</i>	$\Delta H=$	$\eta = 80 \%$
0,23	25,47	45,83 (kW)
0,23	17,47	31,44 (kW)
0,23	10,47	18,84 (kW)

Fuente: Autor

En la tabla 13 se puede observar el cálculo de la potencia en kW con un caudal promedio previsto de 2.80 m<sup>3</sup>/s al año, de altura variable de 25,47 m a 10,47 m de operación estimando una potencia máxima de 418,482 kW y un mínimo de 172.026 kW

Tabla 13. Potencial Hídrico calculado con Q medio

<b>Potencia Disponible</b>		
$P = 9.78 \eta Q (\Delta H)$		
<i>Q med.</i>	$\Delta H=$	$\eta = 80 \%$
2,10	25,47	418,48 (kW)
2,10	17,47	287,04 (kW)
2,10	10,47	172,03 (kW)

Fuente: Autor

En la tabla 14 se presenta el potencial máximo esperado previsto con un caudal de diseño de 4 m<sup>3</sup>/s, para esto se consideró los valores de alturas extremas comprendidas entre 25,47 m y 10,47 m obteniendo una potencia máxima de 797,109 kW y un mínimo de 327,669 kW

Tabla 14. Potencial Hídrico calculado con Q máximo

<b>Potencia Disponible</b>		
$P = 9.78 \eta Q (\Delta H)$		
<i>Q max.</i>	$\Delta H$	$\eta = 83,86 \%$
4,000	25,47	797,11 (kW)
4,000	17,47	546,74 (kW)
4,000	10,47	327,67 (kW)

Fuente: Autor

Para describir el procedimiento de simulación de la presa Quingoyacu es necesario definir criterios de operación, que ayudan a relacionar las aportaciones de caudal, la planificación de carga y descarga del embalse y el requerimiento para la generación de dos centrales hidroeléctricas en cascada Soldados –Yanuncay.

### 2.3.1.2. Criterios de operación de la presa Quingoyacu.

El aprovechamiento Soldados recibe todo el caudal que aporta la quebrada Galgal, sumado el caudal que se descargará del embalse de acuerdo al requerimiento, cuando las aportaciones de la quebrada son menores que la demanda de ésta central deberá ser cubierto por el embalse.

Al ocurrir un déficit de caudal para la generación se ocasiona una demanda que está de acuerdo al diseño del aprovechamiento Soldados, por lo que se mantiene con demanda constante de 4 m<sup>3</sup>/s.

Para el aprovechamiento Yanuncay se considera que el caudal de demanda es igual al de diseño de la central solamente en los meses húmedos: febrero a julio; para los meses restantes se considera 3 variantes.

La primera, la demanda es igual al caudal medio natural en el punto de captación, en la segunda y tercera es igual a 3,5 y 4,5 m<sup>3</sup>/s respectivamente, estos valores se muestran en la tabla 15 y hacen referencia únicamente a la demanda del aprovechamiento Yanuncay en el periodo de estiaje y son aplicados a todos los caudales de diseño.

Tabla 15. Demanda adoptada para la central Yanuncay.

Q demanda C.H. Yanuncay, m <sup>3</sup> /s												
Variante	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1	2,5	Caudal de diseño de la central						2,71	2,72	2,87	2,59	2,47
2	3,5	Caudal de diseño de la central						3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
3	4,5	Caudal de diseño de la central						4,5	4,5	4,5	4,5	4,5

Fuente: (Cesel - Ingenieros, 2013)

La construcción de la presa Quingoyacu presenta una alternativa de regulación para el caudal de la cuenca del río Yanuncay, con un volumen de inundación útil de 1,2 hm<sup>3</sup> que corresponde con una altura de inundación superior al (nivel mínimo de operación) NAMI, de 14 m.

Lo anteriormente detallado, expresa que el volumen mínimo aprovechable en la presa estará en un rango de operación superior a los 14 m desde su nivel de cimentación esto se presenta en la tabla 16.

Tabla 16. Nivel de Volumen de presa Quingoyacu Fuente.

Descripción	Cota (m.s.n.m.)	Volumen (m³)	Altura (m)
Nivel de cimentación de presa (NCl.)	3.543,0	0,0	0
Nivel de terreno natural (NTN.)	3.544,0	5,7	1,0
Nivel de agua mínimo(NAMI) no operativo	3.557,0	1'255.030,1	14,0
Nivel de agua mínimo de operativo (NAMI.)	3.567,0	4'957.693,3	24,0
Nivel de agua ordinario de operación (NAMO.),	3.582,3	20'720.000,0	39,4
Nivel máximo extraordinario de operación (NAME.)	3.583,8	23'079.145,4	40,8

Fuente. (Cesel - Ingenieros, 2013).

La proyección de operación en la presa empieza con la acumulación del caudal en los meses de mayor aportación y de lluvias, mientras que su descarga empieza en los meses de estiaje o de poca aportación a lo largo del año; de esta forma se establece que:

En los meses comprendidos entre noviembre y abril, de existir un requerimiento del aprovechamiento Yanuncay se descargará del embalse lo requerido o en su defecto lo que haya podido acumular. En los meses de mayo a octubre se determina el volumen acumulado al inicio del mes y se lo distribuye en 6 dividendos al que lo denominará "Vmayo/6"; para los meses siguientes se descargarán el dividendo más lo que haya podido acumular el mes anterior.

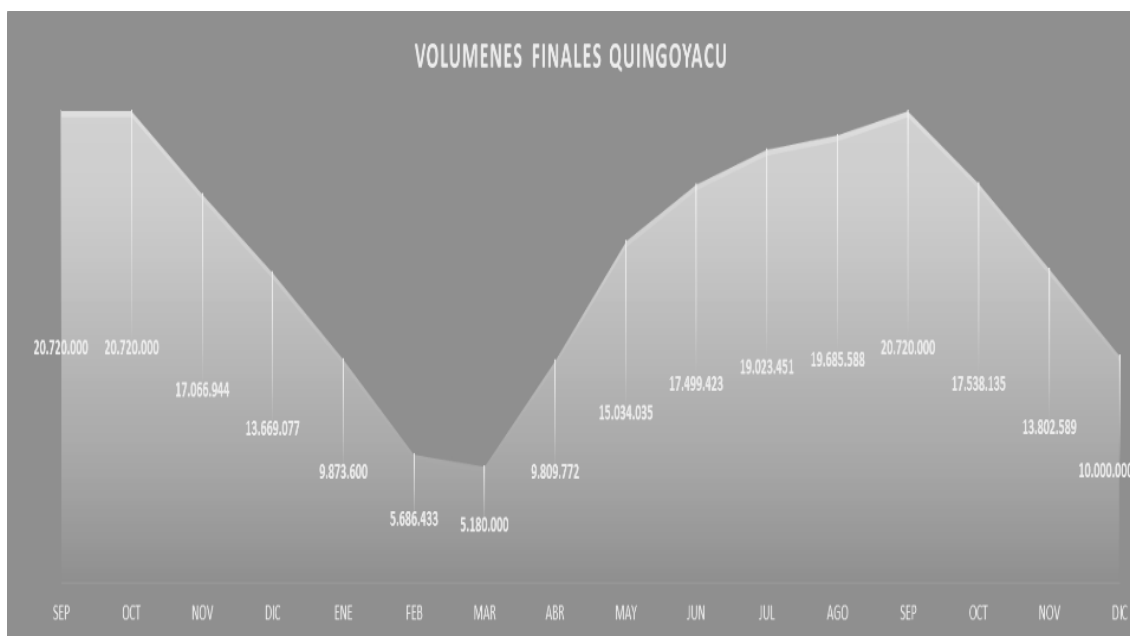


Figura 7. Proyección estadística de operación de la presa Quingoyacu.

Fuente: (Cesel - Ingenieros, 2013)

### 2.3.1.3. Determinación del potencial energético de la presa Quingoyacu.

En función de la proyección estadística de operación del embalse de acuerdo a los diseños definitivos proporcionado por la Empresa ElecAustro y Cesel (Cesel - Ingenieros, 2013) se estima la variación de altura (m) de operación del embalse, así como también los niveles de caudal de descarga (m<sup>3</sup>/s) con el fin de calcular la potencia teórica generada, la energía disponible y el factor de planta de la presa.

Tabla 17. Calculo de potencia y energía disponible en la presa Quingoyacu.

Proyección Estadística de Carga y Descarga de la Presa Quingoyacu				
Meses (12)	H de operación (m)	Q caudal (m <sup>3</sup> /s)	Potencia (kW)	Energía (kW/h)
SEP	25,17	3,71	730,76	526.144,13
OCT	25,17	3,74	736,66	530.398,66
NOV	22,92	2,90	519,86	374.298,99
DIC	22,92	2,22	397,79	286.409,82
ENE	17,30	1,46	197,29	142.049,46
FEB	11,30	0,62	54,72	39.398,85
MAR	10,30	0,52	41,70	30.026,79
ABR	16,30	1,44	183,64	132.224,35
MAY	21,30	2,49	415,15	298.911,52
JUN	23,17	2,98	541,24	389.689,26
JUL	24,17	3,29	622,33	448.074,24
AGO	24,67	3,42	660,80	475.775,76
PROMEDIO	22,629 H(m)	2,45 m <sup>3</sup> /s	433,16 kW	
Q de diseño (m <sup>3</sup> /s)		<b>3,74</b>	Energía anual GWh/año	
H		<b>0,80</b>		
NAMO		<b>25,47</b>		
Potencia instalada		<b>745,30</b>	<b>3,73</b>	
Potencia generada		<b>433,10</b>		
Factor de planta		<b>0,58</b>		

Fuente: Autor.

En la tabla 17 se puede observar una potencia teórica instalada de 745,30 kW con un caudal máximo de descarga de 3,74 m<sup>3</sup>/s y altura máxima ordinaria de operación (NAMO) de 25,47 m; una generación teórica promedio estimada de 433,15 kW calculada con una altura promedio de 20,629 m, dando un factor de planta de 0,58.

En la siguiente figura 8, se puede observar el cuadro estadístico de descarga en m<sup>3</sup>/s en función de los volúmenes mensuales.



Figura 8. Caudales de descarga en función volumétrica acumulado de la presa Quingoyacu.

Fuente: (Cesel - Ingenieros, 2013)

En la figura 9 se puede observar la generación estimada de acuerdo a la variación del caudal de descarga.

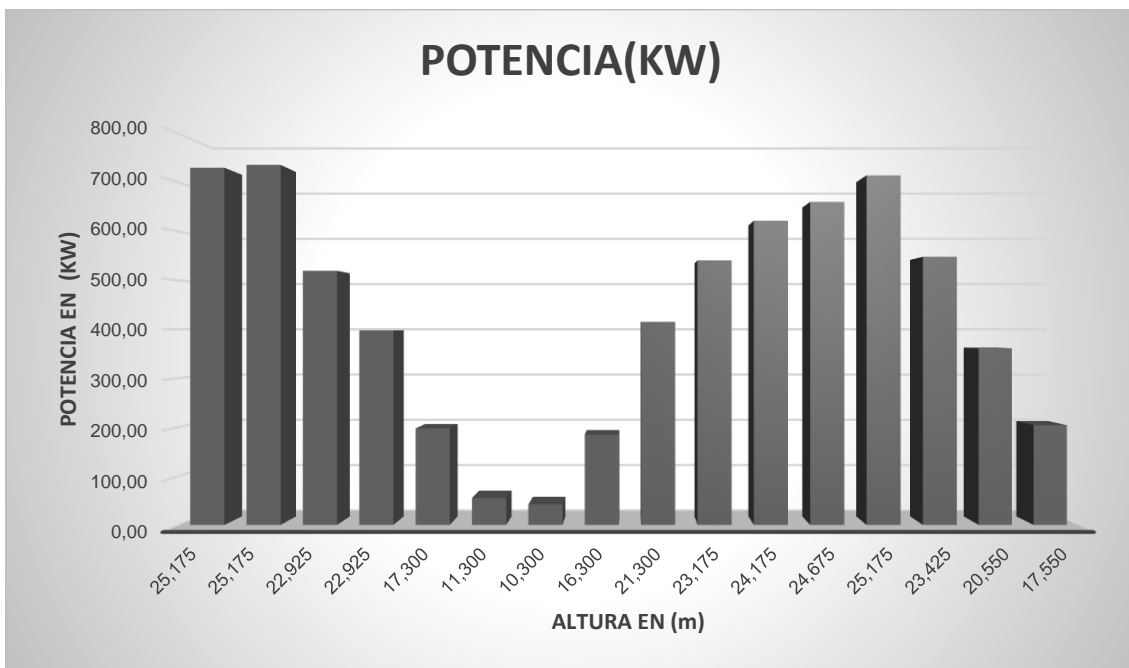


Figura 9. Potencia hídrica estimada en función del caudal de descarga con un rango de operación máximo comprendido entre 25,47 m y un mínimo de 11 m.

Fuente: Autor

En la tabla 18 se observa un resumen de la potencia generada de acuerdo al caudal de descarga.

Tabla 18. Potencial hídrico disponible.

<b>Potencial hídrico disponible</b>				
<i>Presa Quingoyacu</i>	<i>M<sup>3</sup>/s</i>	<i>η =80%</i>	<i>ΔH=25,47</i>	<i>P =9,78 η q (Hs-H)</i>
Q min.	0,23	45,83 kW		
Q med firme	2,1	418,48 kW		
Q promedio estimado	2,8	557,98 kW		
Q max	3.74	745,30 kW		

Fuente: Autor

## **CAPÍTULO 3**

### **DISEÑO PRELIMINAR DE LOS SISTEMAS DE EQUIPAMIENTO MECÁNICO, HIDROMECAÁNICO Y ELÉCTRICO**

#### **Introducción**

El presente capítulo describe dos posibles alternativas como soluciones que facilitan la disipación de energía cinética del agua al momento de su descarga, por lo que la propuesta analiza los elementos necesarios que se ajusten a las condiciones de operación de la presa Quingoyacu.

La primera, proyecta el uso de un juego de válvulas para descargar el caudal de la presa conforme inicialmente el proyecto fue ideado.

La segunda alternativa, busca la implantación de unidades de generación que remplazando las válvulas, existe la posibilidad de aprovechar el recurso disponible y la recuperación de la inversión en el tiempo.

La conveniencia de una de estas alternativas, se considerará desde la perspectiva financiera, misma que posibilite recuperar la inversión al remplazar una de sus válvulas.

#### **3.1. Alternativa 1: Válvulas de disipación de energía**

Se analiza el uso de válvulas de disipación de energía, para realizar el control y manejo seguro de grandes masas de agua, debido a que el uso de válvulas son el componente principal al momento de regular los niveles de flujo de descarga en centrales y presas, por lo regular se localizan al final de la salida del conducto de descarga del agua en forma segura, reduciendo los niveles de riesgo haciendo de esta práctica muy confiable.

##### **3.1.1. Determinación de tipo de válvula y característica técnica.**

Con el fin de identificar el tipo de válvula ideal se analiza el uso de tres tipos de válvulas:

###### ***3.1.1.1. Válvulas Monovar.***

Este tipo de válvula se caracteriza por tener placas planas circulares perforadas por medio bridas fijas y móviles alojadas al interior de una tubería; el movimiento de este tipo de válvula es vertical ascendente a la apertura, y descendente al cierre pasando de una posición totalmente abierta al coincidir de forma alineada las ranuras, y su regulación al deslizar las placas limitando el ingreso del flujo de agua de manera parcial o total. En la figura 10 se puede observar la válvula Monovar en su posición abierta, este tipo de válvula se caracteriza por ser una excelente alternativa para la regulación de caudal.



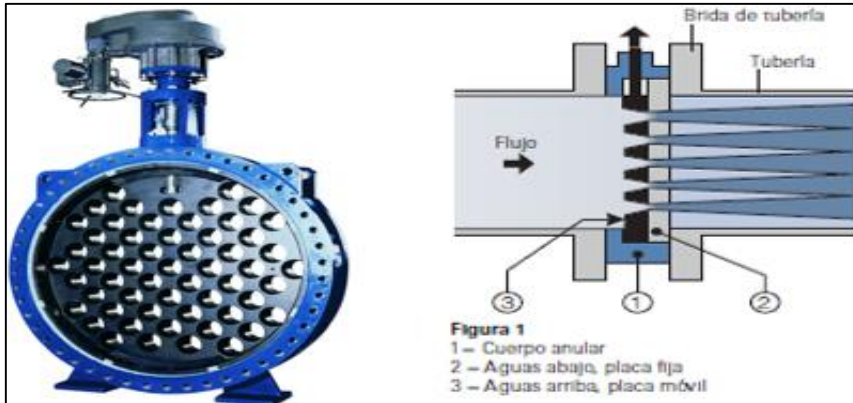


Figura 10. Válvula Monovar Modelo

Fuente: (Glenfield, 2017)

El uso de esta válvula reduce considerablemente las perturbaciones que ocurre al liberar el flujo de agua en una tubería de presión, limitando considerablemente el ruido y vibraciones que con frecuencia ocurre en una tubería, reduciendo de forma efectiva las burbujas de cavitación que (son producto del gas que se forma del flujo en movimiento). Esto es posible gracias a que estas válvulas disponen de múltiples chorros distribuidos de manera equilibrada alrededor de su sección que admite la disipación de energía.

### Selección de la válvula.

Si bien este tipo de válvula presenta excelentes características de seguridad y prestaciones; el área física destinada a alojar la válvula no facilita su instalación en el lugar de emplazamiento, por lo que se descarta su uso.

#### 3.1.1.2. Válvulas Howell-Bunger.

Las válvulas de tipo Howell-Bunger de chorro hueco forma parte del grupo de válvulas equilibradas que se caracterizan por ser válvulas de descarga que generan una resistencia al paso libre del caudal.



Figura 11. Válvula Howell-Bunger

Fuente: (Glenfield, 2017)

Estas válvulas pueden funcionar a distintos niveles de apertura lo que le hace ideal para el manejo de caudales; el chorro que se libera disipa la energía del fluido en forma cónica disminuyendo el riesgo por erosión de las paredes del suelo y obras adyacentes del canal de descarga, el tipo de chorro va depender del lugar y el espacio existente, en el caso de no necesitar un chorro cónico se puede hacer uso de un deflector que reduce la amplitud a su salida para convertirlo en un chorro cilíndrico de centro hueco, dependiendo de la posición y ángulo de ubicación, estas válvulas ocasionan el menor impacto del chorro a su salida.

### **Funcionamiento de válvula.**

La válvula Howell-Bunger posee un mecanismo de forma cilíndrica que regula progresivamente el flujo de caudal de salida, esto es posible al recorrer el cilindro alrededor de un cuerpo fijo terminando en un cono deflector, éste es guiado por rieles que tienen forma de estrella y recorren paralelamente el cuerpo de la válvula.

### **Selección de la válvula.**

Al analizar las prestaciones que ofrece las válvulas Howell-Bunger técnicamente, se unifica a los requerimientos de la presa Quingoyacu, porque regulan el caudal de descarga, que pueden operar en forma sumergida o al aire libre.

Físicamente el lugar destinado para descargar el agua del embalse dispone de un tanque de disipación que no se coincide con los requerimientos que exige el fabricante, por lo que se requeriría modificar la obra existente ajustándose al requerimiento de un tanque de disipación amplio y largo.

Por lo tanto, el uso de este tipo de válvula no es viable de acuerdo a las condiciones actuales que presenta la Presa.

#### ***3.1.1.3. Válvula de descarga sumergida.***

Este tipo de válvula principalmente se caracteriza por su forma constructiva el de descargar el caudal en forma equilibrada al estar sumergida en un estanque amortiguador propio para este fin, además regula y controla los niveles de volumen de agua de descarga, soporta grandes esfuerzos físicos, resistente a los efectos corrosivos, así como también vibraciones, efectos de cavitación y su fácil mantenimiento.

El equipo dispone de un vástago (pieza) cilíndrico radial, recto o helicoidal, cuya pieza se encuentra sujeto a un eje vertical como mecanismo de accionamiento para realizar maniobras de apertura y cierre por medio de mecanismo de actuación ya sea mecánicos, eléctricos, hidráulicos o neumáticos.

Al momento de realizar maniobras de cierre el vástago cilíndrico se desliza de forma descendente logrando su hermeticidad al ejercer una gran presión sobre su base, en maniobras de apertura el vástago cilíndrico se abre en forma ascendente que facilita la salida del flujo de forma controlada de acuerdo con los niveles requeridos.



*Figura 12. Válvula descarga sumergida*

Fuente: (Glenfield, 2017)

El caudal que llega por el conducto de descarga es forzado a ingresar al cuerpo cilíndrico de la válvula girando 90° hacia su salida en posición sumergida; el agua fluye a través de una pieza cilindro de sección radial dividiéndolo en un flujo seccionado vertical. La válvula se instala en un sumidero o cámara de recolección que se llena con agua, previo a su salida, la válvula dispone de rejillas de escape que obligan a reducir considerablemente la energía del agua antes de entregarlo a un tanque amortiguador turbulento en su interior consecuencia del agua fluyente que va perdiendo su energía casi en su totalidad conforme se va elevando llegando a niveles de vertedero; de esta forma el agua fluye y se entrega al río o canal aguas abajo.

#### **Selección de la válvula.**

En el caso particular de la presa Quingoyacu, por su forma constructiva y la ubicación de equipos y máquinas no es posible realizar mayor modificación física; por lo que, el tipo de válvula que más se ajusta a las condiciones físicas del lugar, es de este arquetipo de mecanismo, válvula de descarga sumergida.

A continuación, se presenta en la tabla 19 los beneficios y las características de la válvula elegida.

Tabla 19. Características – beneficios

Características:	Beneficios:
Construcción fundida	Reduce las vibraciones.
Sello resiliente de válvula	El mantenimiento es rápido y simple
Mecanismo externo	Seguro, silencioso, cavitación, Rendimiento gratuito
Descarga sumergida	Flujo lineal equilibrado
Posición de válvula	Indicación visual
Tornillo ascendente	Transición de flujo suave
Rosca fina de tornillo	Elimina la obstrucción de la boquilla

Fuente: (Glenfield, 2017)

En la figura 13 se observa las dimensiones generales del lugar de emplazamiento de la válvula de descarga, criterios que se pueden tomar como referencia para su implementación, y cumplimiento de los requisitos que exige el fabricante para su instalación.

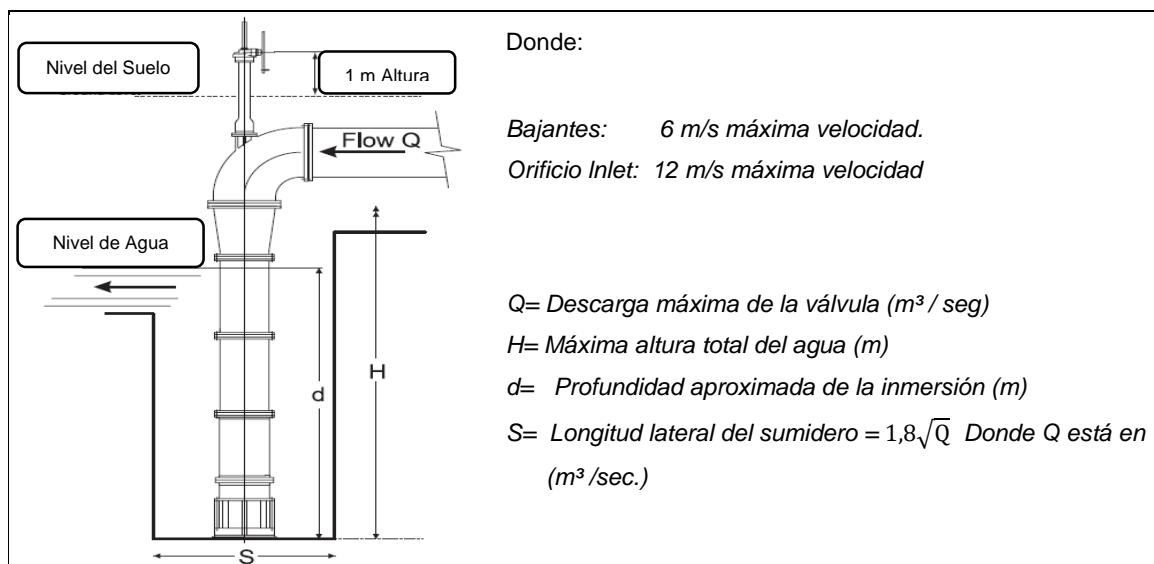


Figura 13. Válvula de descarga sumergible

Fuente: (Glenfield, 2017)

### 3.1.2. Determinación del equipamiento electro-mecánico.

Luego de elegir el tipo de válvula; con el fin de definir los criterios de mecanismos de actuación se presentan dos soluciones que facilitan la operación de las mismas.

#### 3.1.2.1. Unidad oleo-hidráulico.

Se considera el uso de equipos oleo-hidráulicos, cuyo principio de funcionamiento se basa en la mecánica de fluidos, haciendo uso de una unidad hidráulica de potencia (hpu) que transmiten su fuerza por medio de unidad de actuación lineal (cilindros hidráulicos); o mecanismos de actuación circular como (transmisión hidráulica). Estos equipos se caracterizan

por ser compactos, de forma modular, de rápida instalación; Si bien el funcionamiento de estos equipos es especial su mantenimiento es sencillo y periódico.

#### **3.1.2.2. Equipo servomotor.**

Se analiza emplear equipos de actuación electromecánico, al que, se lo conoce como servomotor, estos equipos se caracterizan por tener la facilidad de ubicar su posición en el lugar deseado de acuerdo al rango de operación que se haya dispuesto. A diferencia de equipos oleohidráulicos, son mucho más sencillos de instalar, poco mantenimiento y de fácil sustitución. Este tipo de alternativa requiere de mecanismos de señales y mecanismos de posición, protección y control.

#### **3.1.3. Determinación del equipo de actuación de válvula**

Para la operación de válvulas cuya finalidad es el de controlar el manejo de grandes cantidades de agua por medios mecánicos, que requieren de muchos esfuerzos para su accionamiento; se necesita la implementación de mecanismos de actuación que permiten asistir a su operario, quedando como último recurso el uso del mecanismo de actuación manual provistos por lo regular de un volante y perno sinfín para su maniobra.

Teniendo claro el principio de funcionamiento de acuerdo a la literatura consultada, y en función del criterio del fabricante se establece, que el mecanismo de actuación más adecuado para el tipo de válvula de descarga sumergida es del tipo servo asistido (servomotor), que será incorporado al equipo de actuación primario.

#### **3.1.4. Operación de control**

La automatización de este tipo de válvulas reduce el tiempo de actuación por medio de la asistencia remota que se realiza desde los centros de control, así como también la asistencia local en sitio de válvulas hacia el sistema SCADA.

La operación será gestionada de forma local y remota. En forma local se realizará maniobras de regulación en el lugar en forma asistida o manual; en posición remoto el equipo se podrá maniobrar a distancia desde la casa de control ubicado en la parte superior de la presa gestionado por medio del sistema SCADA, esto se realiza por medio de un software que permite supervisar y controlar de forma remota los procesos por medio del intercambio de información en tiempo real, agilitando su operación.

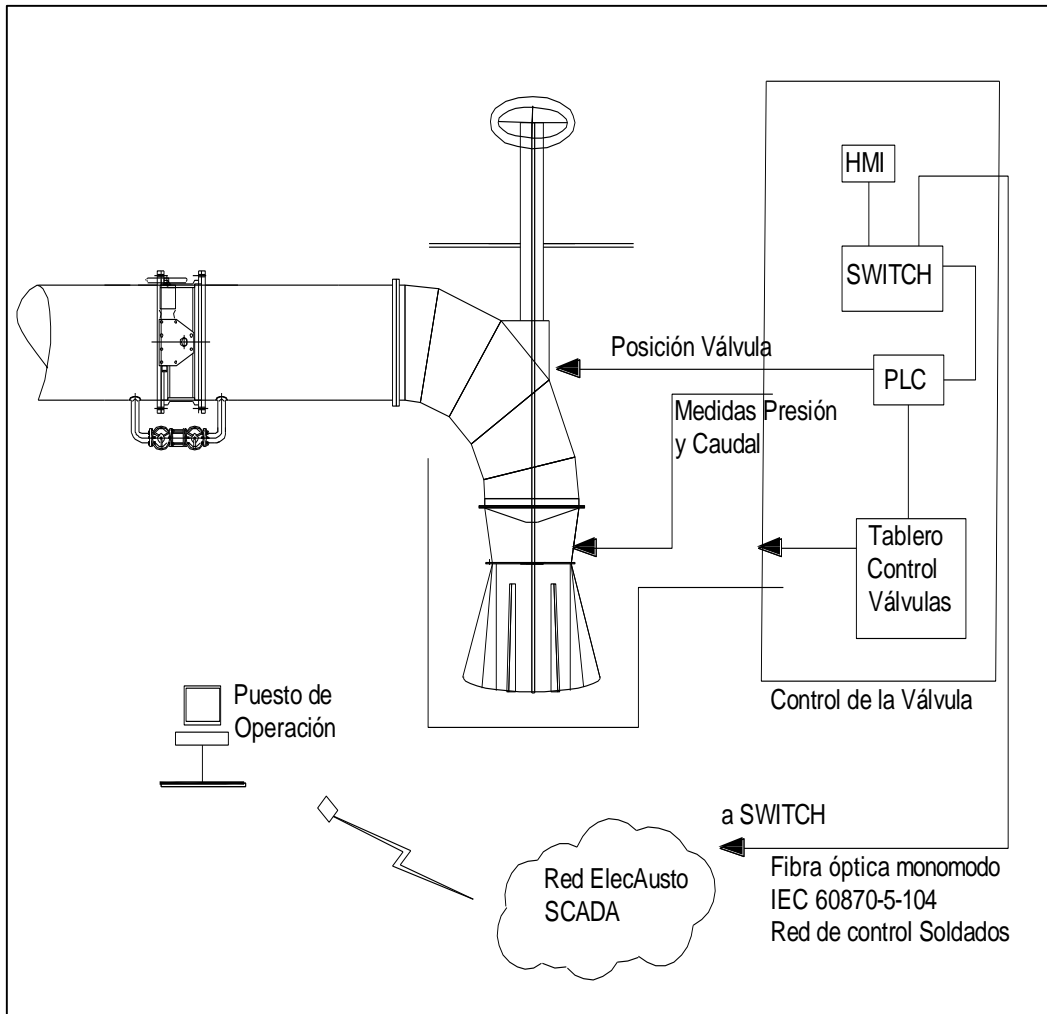


Figura 14. Diagrama de control

Fuente: Autor

### 3.2. Alternativa 2: Equipo de generación hidromecánico.

La implementación de una pequeña Central Hidroeléctrica (PCH) al pie de presa optimiza el recurso hídrico disponible al generar la energía necesaria para satisfacer las necesidades de los servicios auxiliares de una parte del Proyecto Hidroeléctrico Soldados-Yanuncay, así también mejorar de forma considerable los índices y niveles de disponibilidad de servicio eléctrico, además de aportar el excedente de generación para su comercialización.

Por lo que, para su construcción se requiere identificar el equipamiento eléctrico, mecánico, y equipo de actuación, protección, control, red de evacuación de energía además de contar con la infraestructura necesaria que albergue el grupo de generación. (Bonilla & Ronquillo, 2014),

### 3.2.1. Determinación del equipamiento eléctrico.

Un generador eléctrico está conformado de partes eléctricas móviles (llamado rotor) y estático (estator) que aprovechan el movimiento mecánico para transformarlo en potencia eléctrica; consecuencia de la atracción y repulsión de campos magnéticos opuestos en movimiento, generando una diferencia de potencial eléctrico basado en la ley de Faraday, al que se lo conoce también como alternador (Fitzgerald, Kingsley, & Umans, 2010).

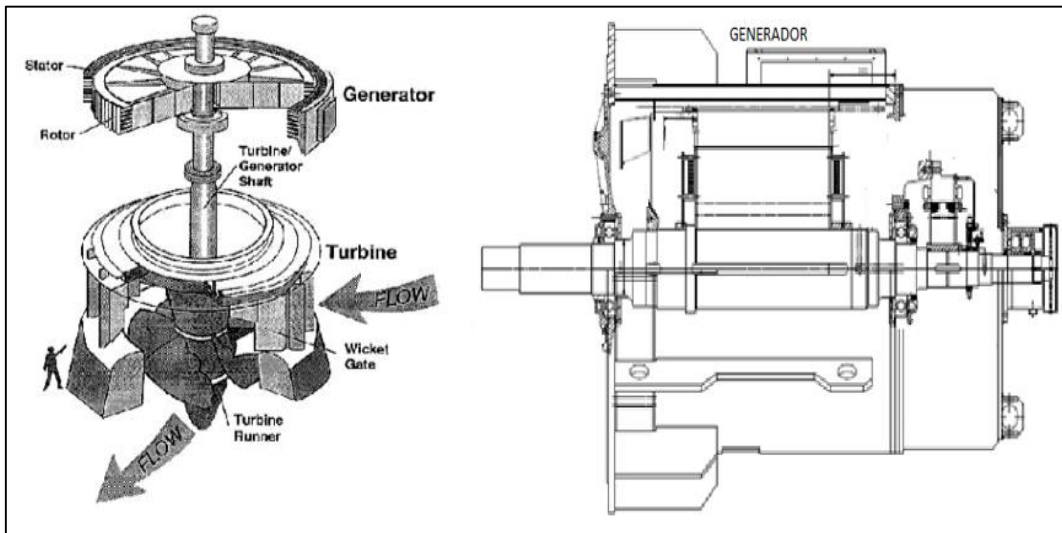


Figura 15. Generador

Fuente: (Intermediate Technology Development Group, ITDG-Perú, 1995); (UCJSC, 2013)

De acuerdo a su principio de funcionamiento las máquinas eléctricas se pueden clasificar en dos tipos; generadores de tipo síncrono y generadores asíncronos

#### 3.2.1.1. Generador Síncrono.

Las máquinas síncronas convierten la energía mecánica en eléctrica trabajando a velocidades constantes en proporción a su frecuencia; esto quiere decir, que la velocidad del generador es la misma velocidad con la que cambia de polaridad el campo magnético, al que se lo conoce como sincronismo, que se representa por la expresión

$$N_s = \frac{60 * f}{p} \quad (2)$$

FORMULA (2)

Donde:

$N_s$  = velocidad de sincronismo expresada en r.p.m.

$f$  = frecuencia en Hz (60 Hz en Ecuador)

$p$  = número de pares de polos del generador

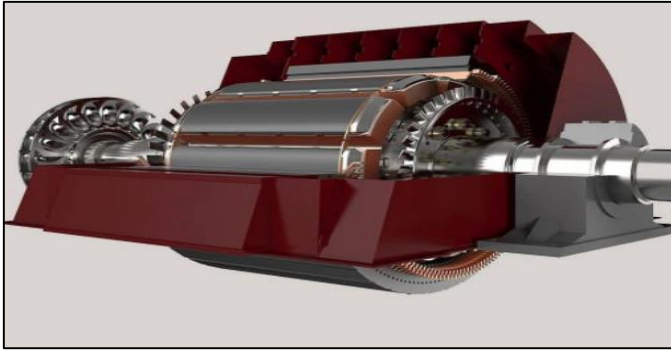


Figura 16. Generador Síncrono.

Fuente: (GE Renewable Energy)

El generador síncrono se caracteriza por tener un rango de variación de velocidad muy estable, y sus condiciones de operación de la presa tendrían que tener por lo menos en sus niveles estables el caudal o altura de operación, sin embargo al momento de presentarse una variación en la presa, el generador con el fin de compensar y mantener los niveles de sincronismo se ajustará a las condiciones de operación por medio de los mecanismos de control, permitiendo ajustarse y compensar cierta variación de caudal y altura en un rango muy limitado.

Estas máquinas presentan una alta eficiencia de alrededor del 98.5% además, que se ajustan el factor de potencia en función de la demanda, y quizá uno de los aspectos más importantes es el control de la tensión de salida; así también, la posibilidad de controlar la potencia reactiva inductiva y capacitiva de la red.

### 3.2.1.2. Generador Asíncrono.

Son máquinas eléctricas que pueden funcionar como motores eléctricos, así también como generadores. En el caso de usar como generador, el par aplicado al eje de giro del rotor alcanza una velocidad mucho mayor a la de sincronización. Esta velocidad excedente genera un campo magnético giratorio inductor que permite al estator llegar a las condiciones de sincronismo. (Castro, 2006)

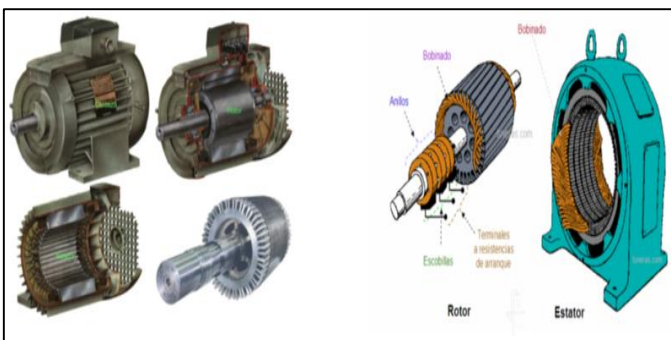


Figura 17. Motor Asíncrono

Fuente: (Bonilla & Ronquillo, 2014)



Estos generadores, frecuentemente se componen por un inductor a flujo variable, tomando como origen un devanado que puede ser trifásico alojado en medio de los devanados de trabajo del estator, opera su auto inducción; así también se compone de un inducido de tipo cerrado ubicado en el rotor, donde se induce una fuerza electromotriz incrementando la intensidad de corriente de campo producto de su inductor localizado en el estator.

Para el caso que el rotor está bobinado, la excitación se efectuará mediante escobillas rasantes. (Bonilla & Ronquillo, 2014)

En el estator tienen tres devanados que se encuentran desfasados  $2\pi/(3P)$ , (P número de Polos), mientras que en el rotor de jaula de ardilla los conductores se hallan distribuidos por el contorno del rotor, estando los extremos de éstos en cortocircuito sin haber la posibilidad de conectar el devanado del rotor con el exterior. (GARIK, 1971).

Los generadores asíncronos se caracterizan por tener un rango de variación de velocidad más ajustable tomando como referencia las condiciones de la red, por lo que la potencia generada estará en función del trabajo que pueda obtener la máquina. Este tipo de máquina tiene la facilidad de funcionar como motor eléctrico cuando la velocidad de giro es menor al de sincronismo; en el caso de funcionar como un generador, ocurre lo contrario, siendo su velocidad de giro mayor al de sincronismo.

Además, son máquinas relativamente económicas en comparación al de tipo síncrono, no requieren de escobillas, son compactos, robustos, y requieren trabajar conectados siempre a una red de alimentación. Este tipo de generadores usan un campo magnético alterno trifásico en el inducido, por lo que, no requieren de un sistema de alimentación de corriente directa auxiliar como ocurre en los generadores de tipo síncrono.

Una limitación que presenta este tipo de generadores, es el no poder compensar la energía reactiva en la red, por lo que requiere hacer uso de un banco reactivo capacitivo que compense las pérdidas e incremente los niveles de voltaje mejorando las condiciones de la red.

En el caso de un generador de rotor bobinado, éste presenta un rango más amplio en la regulación de la velocidad de giro al regular la intensidad de su campo magnético compensando la variación de par aplicado por el motor primario (turbina).

A continuación, en la tabla 20 se presenta una comparación técnica entre generadores de tipo síncrono y tipo asíncrono.

Tabla 20. Comparación entre un Generador Síncrono y Un Generador Asíncrono

<b>Generador Asíncrono</b>	<b>Generador Síncrono</b>
<b>Estructura del rotor:</b>	
Las barras del rotor de jaula de ardilla el cable no se encuentra aislado	El rotor presenta devanados aislados.
Comparativamente utiliza pocos conductores	El bobinado tiene múltiples vueltas
Dispone de pocas barras distribuidas y soldadas en sus extremos por medio de un anillos conductor	Dispones de múltiples devanados y barias conexiones pequeñas
<b>Excitación:</b>	
Rotor bobinado necesita de una fuente externa AC y resistencias rotóricas ajustables	Requiere de un método de excitación de CC.
Rotor de jaula de ardilla no se necesita de una fuente externa	
Rotor bobinado dispone de escobillas y anillos rozantes	Escobillas, anillos rasantes o imanes permanentes
<b>Señal generada:</b>	
Tiende a disminuir los armónicos en la señal del sistema	Tiende a generar armónicos por la reacción de inducido en la carga
No se requiere verificar la frecuencia, se ajusta solo	Se necesita verificar y ajustar la frecuencia
<b>Conexión a la red:</b>	
Presenta poca variación de tensión al tener dispositivos que comparan la velocidad de rotación con la velocidad de sincronismo	Requieren de complejos sistemas que permiten sincronizar la maquina con los parámetros de la red
<b>Costos:</b>	
Son de bajo costo de inversión	Son más costoso
Rotor bobinado requiere de mantenimiento regular de las escobillas	
Rotor de jaula de ardilla mantenimiento sencillo	Mantenimiento regular de las escobillas
<b>Eficiencia:</b>	
Factor de potencia en retraso	Factor de potencia puede estar en retraso o en adelanto
Eficiencia levemente baja	Alta eficiencia

Fuente: (Ramirez C., 2015)

### ***3.2.1.3. Determinación del generador.***

Para determinar el generador más adecuado hay que considerar que, a medida que el nivel de altura de agua disminuye, el par aplicado a través de los álabes de la turbina también se verá afectado, así como la velocidad de giro será variable. Esto provoca que en cualquiera de las dos alternativas las condiciones de operación sean limitadas.

**En el caso del generador síncrono:** no podrá operar por debajo de los 24,5 m de altura antes de llegar la máquina a perder las condiciones de sincronismo.

**En el caso del generador asíncrono:** este podrá operar en un rango más amplio de altura hasta los 22 metros de operación con una eficiencia de alrededor del 80%.

Por debajo de estas condiciones de operación los generadores funcionarían de forma ineficiente con una variación máxima de altura de hasta el 30% lo que equivaldría 17,82 m de altura.

### ***3.2.1.4. Equipos de conversión regenerativos.***

Bajo el criterio de operación de la presa, no se podría aprovechar adecuadamente el potencial hídrico disponible por una sola máquina; dando lugar a otro tipo de análisis que por medio de la electrónica de potencia es posible aprovechar al máximo el recurso, si se considera que el objetivo principal de este análisis es disipar el caudal de descarga.

Para esto se presenta la posibilidad de usar la electrónica de potencia por medio de convertidores regenerativos cuyo principio se basa en aprovechar la energía activa de cualquier tipo de máquina síncrona, asíncrona, o de corriente continua, por medio de la energía de frenado, transformando la potencia en energía sin perderla en forma de calor, y permitiendo a su vez la generación en condiciones extremadamente variables de cabeza de agua y caudal, como también optimizando, casi por completo la energía que se pueda obtener del caudal descargado.

Este tipo de mecanismo usa un sistema de control total de par (CTC) que garantizan y hacen que el nivel de tensión de salida a la vez que el par y velocidad de la máquina pueda ir variando.

El principio de trabajo de este equipo se fundamenta en el uso de convertidores de frecuencia y la modulación de ancho de pulso por medio de transistores bipolares de compuerta aislada, más conocido como transistor (IGBT). Permite además compensar niveles de variación momentáneos en la red, así como el control de reactivos en la red.

Por lo tanto, se ha optado usar un generador de tipo asíncrono por las prestaciones anteriores mencionadas y por el costo y su fácil mantenimiento, en combinación de un convertidor regenerativo del tipo ACS-800-17 de marca ABB, como se observa en la siguiente ilustración.

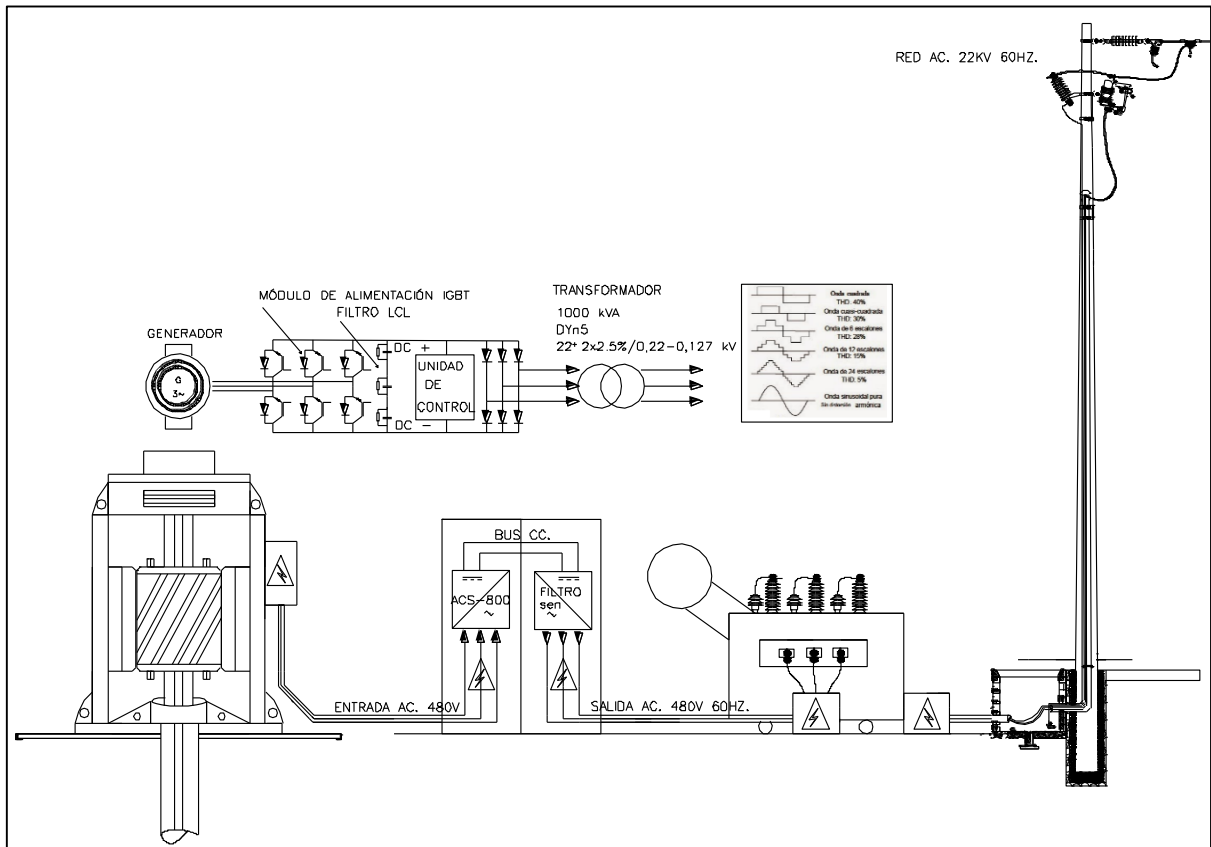


Figura 18. Esquema conversión AC-DC-AC

Fuente: Autor.

### 3.2.1.5. Sistemas de Operación de control de la generación.

De la misma forma la automatización de la unidad de generación está destinado a monitorear las condiciones de operación de la PCH Quingoyacu, garantizando la seguridad de los equipos en todo momento. La asistencia de la unidad de generación dispondrá la capacidad de gestión sea local y/o remota por medio del sistema SCADA.

Los sistemas de control estarán encargados de conservar en forma estable los parámetros ideales del generador, turbina y red de evacuación de energía; para evitar daños y fallas a futuro.

A continuación, se presenta las condiciones iniciales antes de entrar en funcionamiento la unidad de generación.

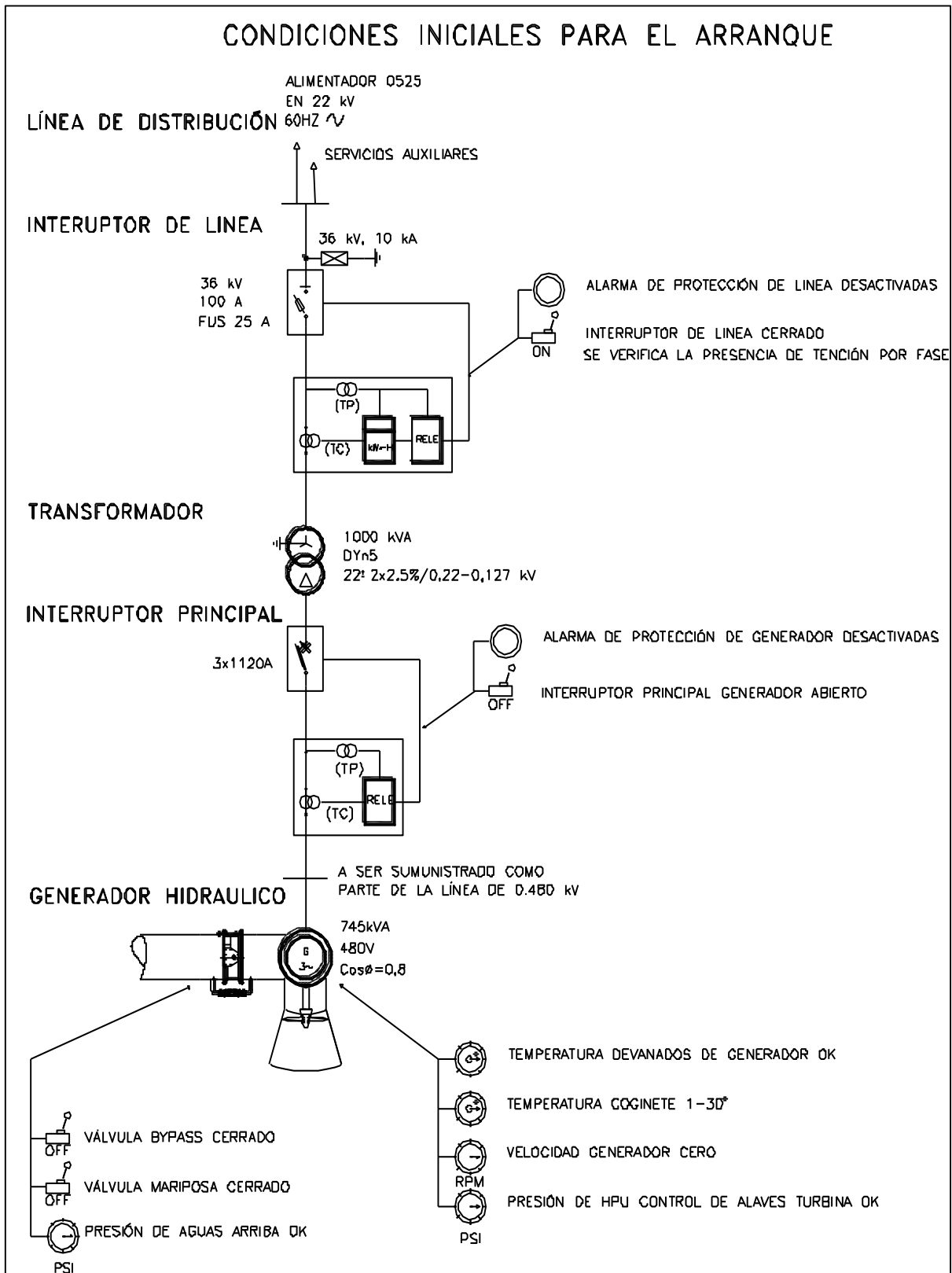


Figura 19. Condiciones iniciales de operación de la máquina.

Fuente: Autor.

### **3.2.1.6. Protección del Generador.**

El generador eléctrico es la parte más importante y de mayor inversión en una central hidráulica, siendo también sometidos a extensos períodos de operación ininterrumpida en múltiples condiciones de trabajo. Esto se consigue al disponer de equipos de medición y actuación que cumplen el objetivo de mantener la generación disponible el mayor tiempo posible.

Se dispone de un procedimiento de protección que opera al momento de visualizar una falla dentro o fuera del sistema, teniendo la capacidad de actuación y liberación fallas que puedan comprometer la seguridad y la integridad física de la máquina durante el funcionamiento.

Para esto los sistemas se integran con mecanismos complementarios que deben interactuar intercambiando información entre los equipos, empezando por el uso de sensores de nivel de caudal, presión, temperatura, alojados antes y después del generador hidráulico, taquímetros que visualizan las revoluciones por minuto de la máquina en (rpm), señales del estado de apertura /cierre del interruptor principal, supervisión de señales verificación de tensión de línea, entre otros.

Esta información será interpretada por las distintas funciones de protección que incorporan los relés de protección, en su interior las señales son analizadas por medio de bucles de control dando como resultado un sistema de supervisión y mando autónomo.

En el siguiente cuadro se presenta el número de funciones incluidas en un mismo relé, que tiene la finalidad de proteger el generador.

Tabla 21. Funciones de protección

<b>Tipo</b>	<b>Descripción de la protección</b>
<b>27</b>	Relé de bajo tensión
<b>51B</b>	Relé de sobre corriente de deslizamiento
<b>51N</b>	Relé de sobre corriente al neutro
<b>59</b>	Relé de sobre tensión
<b>81</b>	Relé de frecuencia (de baja o sobre frecuencia)
<b>87G</b>	Relé diferencial del generador
<b>87U</b>	Relé diferencial de corriente

Fuente: (Ramirez C., 2015)

### **3.2.2. Red de evacuación de energía.**

Las redes de transmisión eléctricas llevan la energía desde su generación hacia los centros de consumo. En el caso particular de pequeñas centrales hidroeléctricas que con frecuencia se ubican en lugares cercanos a las cabeceras cantonales, la evacuación de energía se

realiza por las redes de distribución trifásica. (Intermediate Technology Development Group, ITDG-Perú, 1995). Estas redes pueden recorrer distancias largas, medias, en la figura 20 se observa el diagrama eléctrico unifilar desde la etapa de generación, transformación, distribución hasta el usuario final.

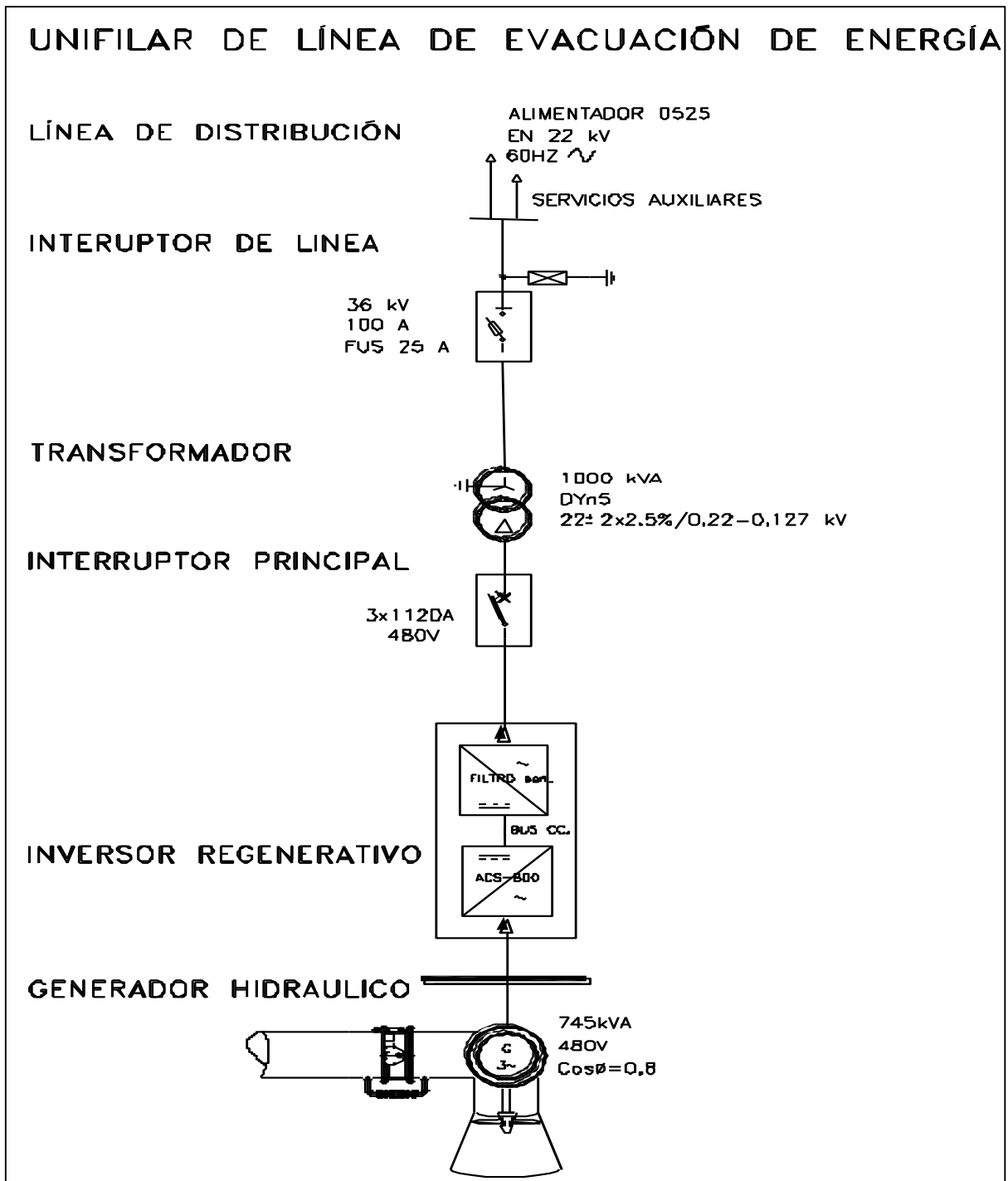


Figura 20. Esquema unifilar eléctrico de generación, transformación, y líneas de transmisión LT y redes de distribución RD.

Fuente: Autor.

Con el fin de alimentar los servicios auxiliares de la captación Ishcayrumi aprovechamiento Soldados, tanque de carga, captación Galgal y Presa Quingoyacu; se dispondrá una red de alimentación trifásica con una longitud de alrededor de 6 km de trayecto, que inicialmente empieza en la estructura de poste de # 105045 a 22 kV ubicado al margen derecho de la vía de llegada al poblado Soldados de coordenadas (696118,04 E, 9 67374,9274 N), que forma parte del alimentador 0525 que se origina en la Subestación (S/E) 5 El Arenal, propiedad de la Empresa Eléctrica Regional CENTROSUR; en la figura 21 se observa la red de distribución proyectada.

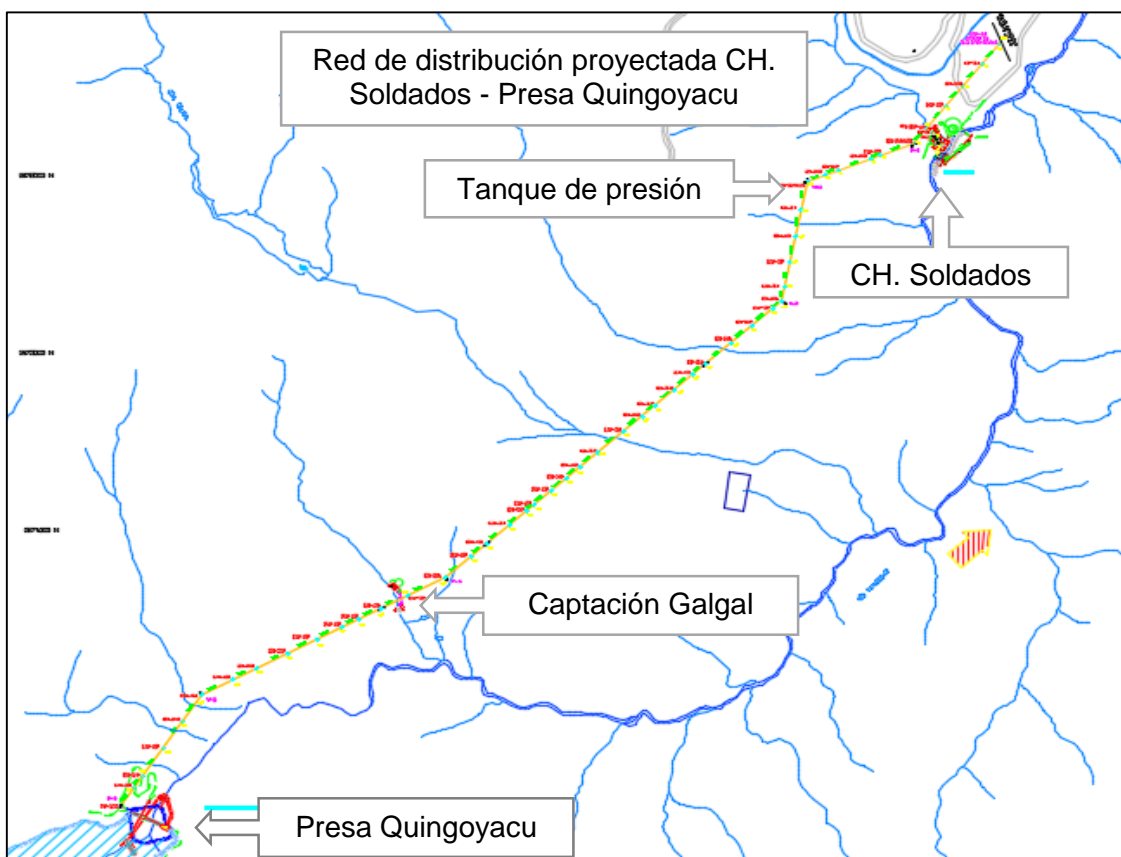


Figura 21. Red de distribución proyectada.

Fuente: (Electrotecnia , 2011)

En el caso de la pequeña central hidroeléctrica Quingoyacu proyectada dispondrá de una red de evacuación trifásica que facilita llevar la energía desde su generación hacia la red de distribución más cercana, desde donde se podrá evacuar el excedente de generación a la Red de distribución de 22 kV a la CENTROSUR.

### **3.2.2.1. Normativa para generación distribuida (IEEE1547).**

El principio de generación distribuida se basa en la capacidad de poder incorporar la generación eléctrica en una red de distribución de medio o bajo voltaje, generalmente se



realiza a través de la conexión del equipo de generación con el alimentador de distribución, lo cual a través de la normativa IEEE1547 se presentan consideraciones técnicas a tener en cuenta, durante el desarrollo de sistemas con generación distribuida.

Su aplicación está destinado a orientar de manera técnica el aprovechamiento de fuentes de generación distribuida, proporcionando normas para que la generación incorporada a la red no tenga consecuencias negativas, tanto en el usuario servido a través de la red de distribución, así como no sufrir daños los equipos de generación conectada a la misma.

En el caso de la PCH Quingoyacu se ha pensado aplicar este criterio puesto que su finalidad será contribuir a la red con el excedente de generación eléctrica. Para esto se tendrá que tener presente algunos criterios y consideraciones que analiza el impacto que pueda tener en el sistema, según fue tomado de acuerdo con la norma "IEEE Standard for Interconnecting Distributed Resources With Electric Power System (1547-2003)".

Según la norma, el disponer de generación eléctrica cerca de los centros de consumo, permite estabilizar las variaciones por picos momentáneos de carga en la red, además de reducir considerablemente las pérdidas por transporte en las líneas, así como mejorar los niveles de voltaje en los lugares adyacentes a la misma. Sin embargo, el inconveniente que presenta es la bidireccionalidad de los flujos de carga en una red radial, convirtiéndola en un sistema complicado la de coordinar su protección de las redes de distribución, siendo necesario la coordinación de protecciones con relés numéricos, que puedan acoplar sus curvas de protección con los parámetros de fusibles insertados en la red, brindando selectividad, sensibilidad y confiabilidad.

La conexión de neutro a tierra en un sistema eléctrico de potencia no debe causar sobretensiones a los equipos que puedan afectar su funcionamiento, tampoco tendrá que ser un limitante que llegue a comprometer la protección de los eventos de falla a tierra. En cuanto a la sincronización tendrá que ser estables en un rango no superior al  $\pm 5\%$  que exige la red.

De ocurrir una falla en el SEP y que cualquier unidad de generación que se encuentra aportando dentro de ella, tendrá que salir de operación con el fin de evitar contribuir con una corriente de corto circuito a la falla.

Cuando existen reconectores o fusibles dentro de la red de distribución en el tramo, donde se encuentra la generación distribuida, existe la posibilidad de que el generador forme una isla intencional, lo cual debe ser monitoreado y desenergizar en un tiempo máximo de dos segundos.

### 3.2.2.2. Escenario de operación.

Teniendo presente los criterios anteriormente mencionados, se debe analizar el escenario que logre evacuar la energía producida por la propuesta de generación al sistema de red de distribución, para esto se tendrá presente dos finalidades de la PCH.

- a) **La generación de energía eléctrica que pueda aportar está destinada para el consumo interno de los servicios auxiliares de Presa Quingoyacu, de la Captación Galgal, tanque carga, y la CH Soldados, esto es posible al disponer de un circuito rápido de propiedad de ElecAustro.**
- b) **El excedente de generación se aportará a la red de distribución de energía pública, por lo que su medición comercial se debería colocar al inicio de la red de alimentación a 22 kV de propiedad de ElecAustro.**

### 3.2.2.3. Criterios para el dimensionamiento de una red de evacuación de energía.

La red de evacuación de energía estará dimensionada para soportar una potencia activa de 745,30 kW, que tendrá la capacidad de soportar la corriente a plena carga por el conductor, ajustar el diámetro de la sección del conductor más adecuada, así como la determinación de la caída de voltaje que se presenta a lo largo de 6 km del alimentador (El dimensionamiento y los cálculos se presentan en el anexo 1), que cuenta de cuatro tramos y cargas puntuales destinados para los servicios auxiliares que se mencionan a continuación.

- c) **Tramo 1. Servicios Auxiliares Casa de Máquinas**
- d) **Tramo 2. Tanque presión Soldados**
- e) **Tramo 3. Captación Galgal**
- f) **Tramo 4. Presa Quingoyacu**

De acuerdo a la formulación se define la capacidad nominal de corriente esperada por el alimentador, para ello se hará uso de la siguiente ecuación

$$I = \frac{p}{U * \sqrt{3} * \text{Cos}\phi} \quad (3)$$

FORMULA (3)

Donde:

I:	Intensidad de corriente [A]
P:	Potencia [W]
U:	Tensión [V]

Esta fórmula permite calcular la capacidad de corriente máxima esperada que circularía por la red de distribución, además se dimensionará el diámetro adecuado que evite pérdidas y caídas de voltaje en el conductor, para esto se hace uso de la fórmula 4 y 5 como se observa a continuación.

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad (4)$$

FORMULA (4)

R: Resistencia del conductor [ $\Omega$ ]

L: Longitud [m]

S: Sección [ $\text{mm}^2$ ]

$\rho$ : Resistividad [ $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ]

U: Tensión de la línea [V]

R: Resistencia del conductor [ $\Omega$ ]

$$\Delta U = R * \left( \frac{P}{\sqrt{3} * U * \text{Cos}\phi} \right)^2 \quad (5)$$

FORMULA (5)

Donde:

$\Delta U$ : Caída de Tensión [V]

$\text{Cos } \phi = 0.9$  Factor de potencia

P: Potencia [KW]

U: Tensión de la línea [V]

R: Resistencia del conductor [ $\Omega$ ]

En la tabla 22 se presenta el cálculo de la caída de tensión de la red de distribución proyectada Soldados - Quingoyacu, esta red se encuentra comprendido por 4 tramos que dotara del servicio eléctrico a la captación Ishcayrumi, tanque de carga Soldados, captación Galgal, y presa Quingoyacu.

Tabla 22. Caída de tensión

Computo de Caídas de tensión										
Consumidor			ElecAustro		Transformador			1		
Categoría					Referencia			60		
Dmup			235 kVA		Potencia nominal			235 kVA		
Número total de consumidores			1/0		Fases			3		
Límite de caída de voltaje			1 %		Material del conductor			ASCR		
Tramo		Transformador		DD	No. DE	Tamaño.	FCV	kVA-km	V (%)	
REF.	Long(km)	REF.	kVA	kV	Fases	AWG	kV-km		Parcial	Acumulado
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
P0 – P1	0,72	CT-1	125,00	235,00	3F	1/0	2469	27.2	0,011	11,011
P1 – P2	0,58	CT-1	30,00	110,00	3F	1/0	2469	10.4	0,004	11,015
P2 - P3	3,37	CT-4	30,00	80,00	3F	1/0	2469	12.4	0,005	11,020
P3 - P4	1,78	CT-6	50,00	50,00	3F	1/0	2469	6.4	0,003	11,023
Nota:	Caída de voltaje (%):									0,023

Fuente: CENTROSUR.

### 3.2.2.4. Característica del Conductor a Usar.

En función de los criterios calculados para el conductor, se verifica que la caída de tensión en la línea concuerde con la normativa de la CENTROSUR para Diseños de distribución, así

como la máxima corriente soportada del alimentador cuando se incluya la generación distribuida.

Tabla 23. Características del conductor de fase tipo ACSR de 1/0 AWG

Tipo de conductor desnudo	ACSR 1/0 AWG
Denominación	ACSR
Calibre/sección nominal	1/0 AWG
Sección mm <sup>2</sup>	53,51 mm <sup>2</sup>
Nº de hilos x diámetro de aluminio 1350-H19	6 x 3,37 mm
Nº de hilos x diámetro de acero	1 x 3,37 mm
Peso unitario total	0,216 kg/m (*)
Diámetro del cable	10,11 mm
Tiro de rotura	19,5 kN (1987 kg)
Resistencia eléctrica DC a 20 °C	0,550 Ω /km
Resistencia eléctrica AC 60 Hz a 50 °C	0,605 Ω/km

Fuente: (Cesel - Ingenieros, 2013)

### 3.2.2.5. Equipo de transformación Principal:

Para el caso particular de este proyecto se plantea el uso de un transformador elevador, con una relación de transformación 480 V / 22 kV, auto refrigerado, sumergido en aceite, apropiado para subestación de instalación interior / exterior y altitud máxima de operación de 3500 m.s.n.m. con una capacidad nominal de trabajo de 1000 kVA al que se incluye un nivel de sobredimensionamiento de 25 % de la capacidad de generación instalada.

En la figura 22 se presenta un transformador de tipo subestación que se proyecta para la PCH Quingoyacu.

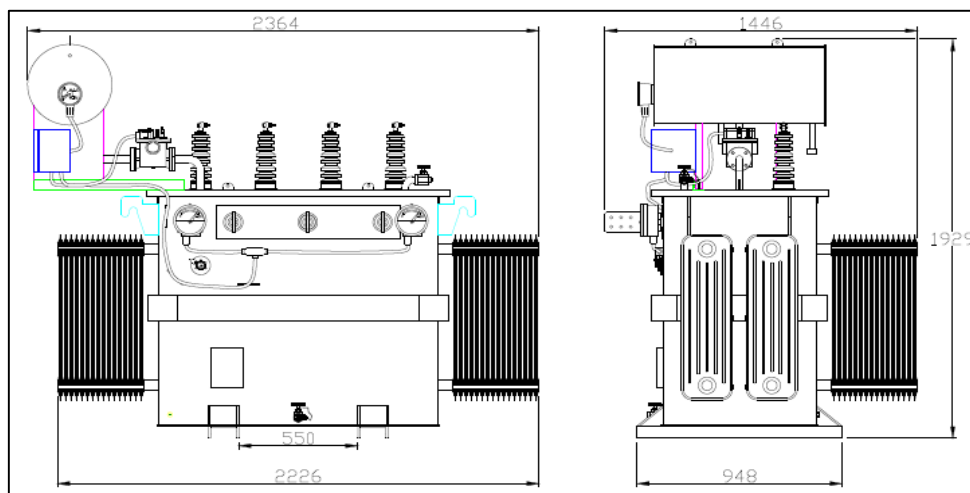


Figura 22. Vista de perfil transformador de Potencia.

Fuente: (Delta Delfini & Cía S.A)

### 3.2.3. Dimensionamiento del Transformador a Utilizar.

Para el caso particular de este proyecto se plantea el uso de un transformador elevador, con una relación de transformación 480 V / 22 kV, auto refrigerado, sumergido en aceite, apropiado para subestación de instalación interior / exterior y altitud máxima de operación de 3500 m.s.n.m. con una capacidad nominal de trabajo de 1000 kVA al que se incluye un nivel de sobredimensionamiento de 25 % de la capacidad de generación instalada.

Tabla 24. Datos característicos del transformador tipo subestación

Transformador Trifásico de Distribución de Tipo Subestación Elevador	
Potencia nominal	1000 kVA
Tensión primario	480 V
Tensión secundario	22 kV
Regulación en el secundarios	+/- 2 x 2,5 %
B.I.L	30/150 kV
Grupo de conexión	YnD5
Refrigeración	ONAM
Clase térmica	AO
Peso	3320 kg
Volumen en Aceite:	995 l

Fuente: (Delta Delfini & CÍA S.A)

El transformador tendrá la configuración YnD5, adecuado para elevar el nivel de tensión del sistema de generación, adaptándose al valor de referencia de la red; donde (yn) hace referencia el lado de (AT), mientras que D ( $\Delta$ ) se refiere al de (BT).

La característica que presenta esta configuración ( $\Delta$ ) es de limitar el paso de componentes de tercer armónico, mientras que la configuración (Yn) permite poner el neutro sólidamente conectado a tierra, direccionando cualquier tipo de potencial que se pueda inducir en la red, además brinda seguridad a los equipos.

### 3.2.4. Celdas de protección modular MT.

Para garantizar la seguridad de la PCH Quingoyacu se consideró el uso de Celdas de protección Modular del tipo SML-36 KV que presenta la característica de alojar en su interior todo el equipo de protección como son, los interruptores principales en vacío y en SF6, además dispones del equipo de maniobra (seccionadores) y relés de protección con sus respectivas funciones de protección. Esta celda está adecuada para funcionar con niveles de voltaje de 22 kV en medio en MT y 480 V en BV.

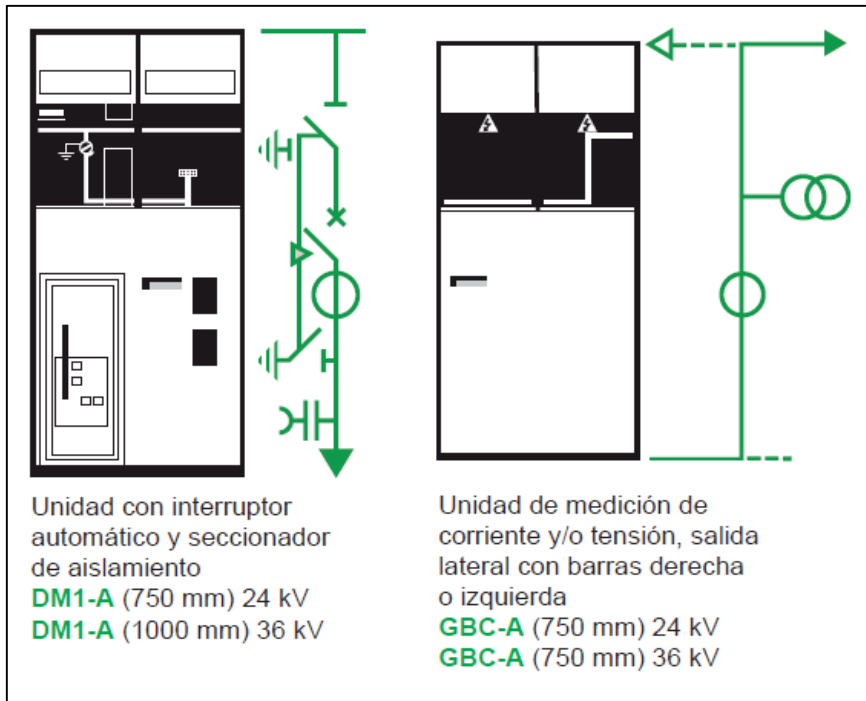


Figura 23. Cabina de protección SM 6-36 kV, en su interior aloja interruptor, interruptor seccionador, interruptor fusible.

Fuente: (Copyright - © Schneider Electric)

### 3.2.4.1. Interruptor principal.

La PCH Quingoyacu dispondrá de un Interruptor principal que estará destinado a proteger la unidad de generación y transformación, y que estará alojando en el lado de media tensión a 22 kV, cumpliendo el objetivo de realizar maniobras de liberar y controlar, y aislar la generación de la red.



Figura 24. Interruptor principal cabinado SM6-36 kV,

Fuente: (Copyright - © Schneider Electric)

### 3.2.4.2. Seccionador de barra.

Se empleará un seccionador de barra para realizar maniobras de apertura y cierre sin carga con la capacidad de soportar el nivel de tensión nominal de la red de 22 kV, en la figura 25 se observa un seccionador de barra de tipo encapsulado.

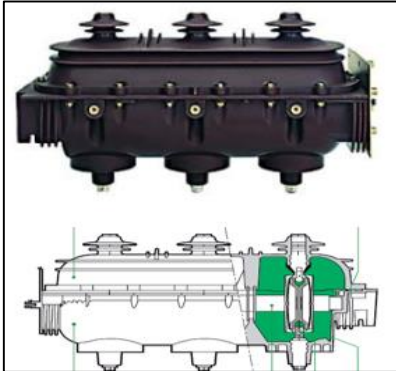


Figura 25. Seccionador de barra cabinado SM6-36 kV,

Fuente: (Copyright - © Schneider Electric)

### 3.2.4.3. Pararrayos clase intermedio.

Para el caso de la Pequeña Central Quingoyacu según la norma IEC 60099-4 se ha previsto el uso de tres pararrayos de clase intermedio adecuado para estaciones eléctricas de transformación. Las características del descargador elegido se presentan en la tabla 25

Tabla 25. Selección del tipo de pararrayos para la PCH Quingoyacu.

<b>Características del pararrayo clase intermedio.</b>	
El nivel de tensión de trabajo	27 kV
Nivel de operación continuo	22 kV
Nivel de tensión de frecuencia pico	95,2 kV/ pico
Tensión máximo de descarga de onda de corriente (10 kA 8/20 us)	81,7 A
Capacidad del aislamiento a proteger (BIL)	229.62
Frecuencia	60 Hz

Fuente: (Redes de Distribución de energía – Samuel Ramírez Castaño)



Figura 26. Pararrayos tipo estación polímero siliconado,

Fuente: (Redes de Distribución de energía – Samuel Ramírez Castaño)

### 3.2.5. Determinación del equipamiento mecánico.

Para determinar el tipo de mecanismo hidráulico que mejor se ajuste a las condiciones de la presa Quingoyacu, se empieza por analizar la forma en que la turbina transforma el flujo de agua en energía mecánica, pudiendo clasificarse en máquinas de acción y de reacción, al relacionar el rango de operación en función del nivel de columna de agua y caudal de salida, como se observa a continuación en la figura 27, se presenta el tipo de turbina de acuerdo a la característica de funcionamiento que presenta.

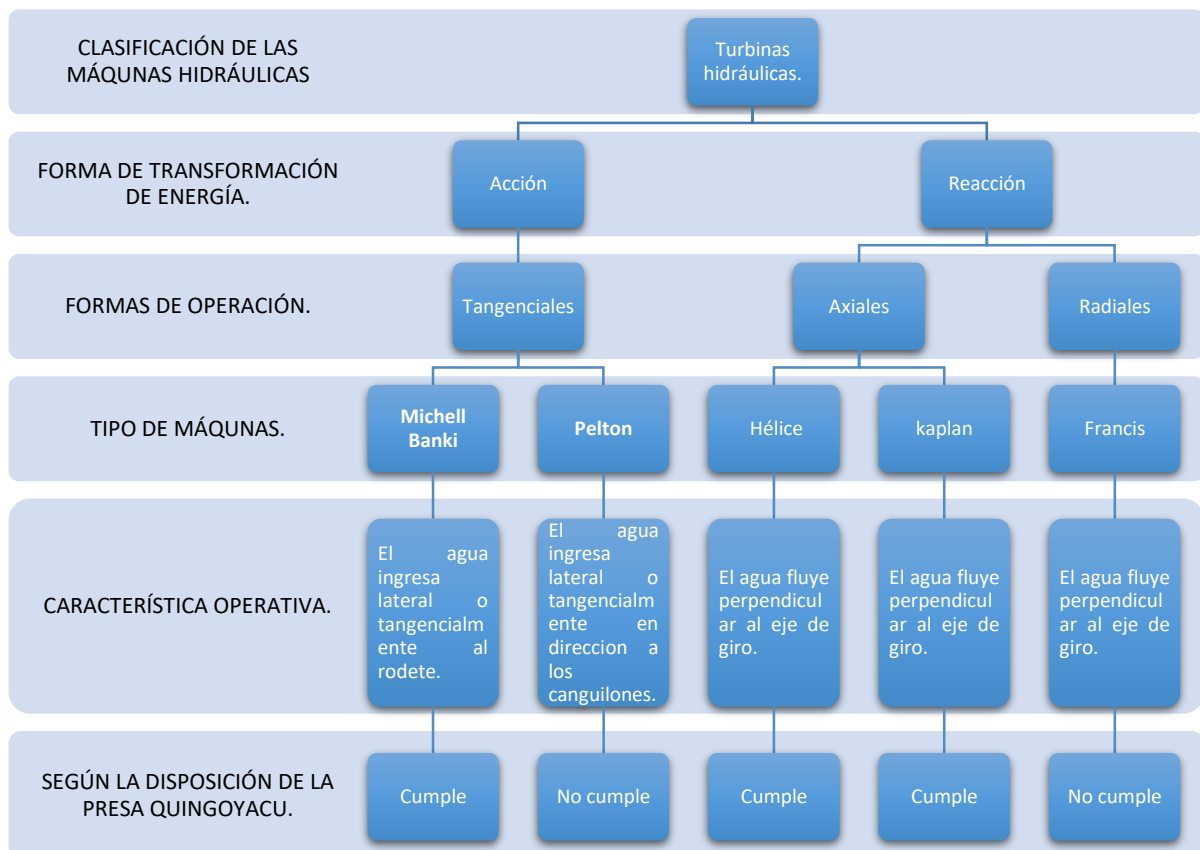


Figura 27. Clasificación de las turbinas Hidráulicas.

Fuente: (Intermediate Technology Development Group, ITDG-Perú, 1995)



Se realizaron consultas con los fabricantes y proveedores de varios tipos de turbinas, de cuyas ofertas conforme a las particularidades solicitadas, se realiza el análisis que se presenta a continuación:

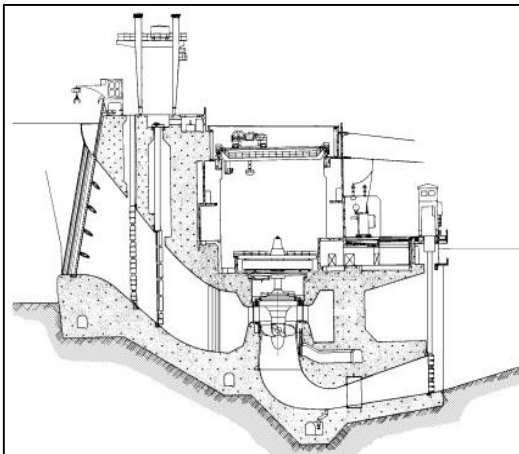
### **3.2.5.1. Turbinas de Reacción**

Las turbinas de reacción se caracterizan por desarrollar una potencia mecánica, a partir de una diferencia de presión del agua a la salida del distribuidor, esto ocurre a medida que el caudal que fluye a través de los álabes de la turbina empieza a perder energía conforme se va transformando en movimiento.

#### **3.2.5.1.1. Turbinas de Reacción Axial Kaplan.**

Las turbinas de reacción de tipo hélice se caracterizan al tener álabes fijos en forma de una propela de barco, que dispone de una determinada inclinación del ángulo de avance (ataque) al disponer de un limitado número de álabes con un solo sentido de giro.

El rodete se compone por pocas palas, que le conceden la forma de hélice de barco, cuando éstas sean fijas, se llama turbina hélice, mientras que si son orientables se denominan turbinas Kaplan; en ambos casos las turbinas funcionan con un único sentido de giro de rotación; son pues turbinas irreversibles. Se instala principalmente en plantas con poca altura y volúmenes de agua más grandes. Este tipo de turbina también se puede aplicar como una central eléctrica de pasada, dado que la paleta guía y el corredor se pueden controlar por separado, las turbinas Kaplan pueden utilizar incluso fuentes de agua muy fluctuantes.



*Figura 28. Directrices móviles del distribuidor.*

Fuente: (UCJSC, 2013)

### 3.2.5.1.2. Turbinas de Reacción Radial Francis.

Son un tipo de turbina radial, de admisión centrípeta que tiene un tubo de aspiración. Se identifica por la forma constructiva del rodete siendo el rendimiento máximo en un ángulo de  $90^\circ$  representando así el dominio de éste, sobre la velocidad tangencial y el número de rpm. El rendimiento hidráulico de este tipo de turbinas oscila entre el 0,85 y 0,95; haciéndoles muy eficientes.

En estas turbinas obtienen velocidades tangenciales reducidas. Los álabes tienen una forma especial, aumentando su espesor con la finalidad de que su cara posterior guíe mejor el chorro que atraviesa el rodete deslizándose en contacto con las paredes de los álabes, ya que de no ser así el chorro se despegaría de la cara posterior de los mismos, originando remolinos. (Fernandez F., 2016)

**Rodetes lentos:** se utilizan en los grandes saltos; con esto se tiende a reducir el número de revoluciones.

**Rodetes normales:** El agua entra en el rodete radialmente y sale de él axialmente, entrando así en el tubo de aspiración.

**Rodetes rápidos:** se puede obtener grandes velocidades de rotación, además, el agua ingresa de forma radial recorriendo una cierta distancia antes de ingresar al rodete; al no existir rozamientos con los álabes, se consigue un mejor rendimiento.

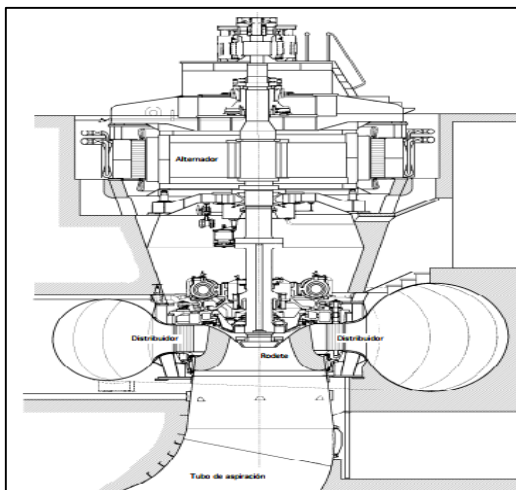


Figura 29. Esquema general de una Turbina Francis

Fuente: (Muguerza, 2016)

### 3.2.5.2. Turbinas de Acción.

La característica más importante de las turbinas de acción es la presión que ejerce el agua en el distribuidor, siendo la misma presión que se aplica al rodete, de manera que el potencial que dispone el agua se transfiere a las paletas, ejerciendo una fuerza perpendicular al sentido de giro de la turbina. Las turbinas de acción se clasifican en:

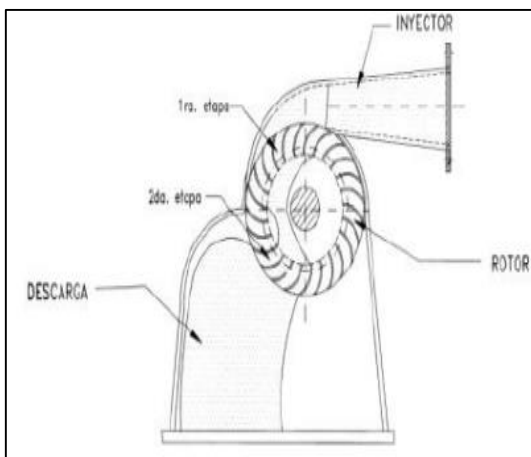
- g) **Tangenciales:** Cuando el agua del distribuidor golpea de forma lateral o tangencialmente contra las palas o cangilones del rodete (Pelton)
- h) **Turbinas de Impulso:** Las turbinas de impulso generalmente usan la velocidad del agua para mover el rodete descargando a presión atmosférica el agua sobre los cangilones.

**Turbina Michell Banki:**

Son turbinas de acción de flujo transversal y recepción parcial, empleado en PCH en el manejo de pequeños saltos y caudales medios, en este tipo de turbinas el factor de planta es igual o inferior a 0.5; una característica de este tipo de turbina es que cuando opera la mayoría de tiempo con carga parcial, el rendimiento de esta es mucho mayor a la turbina Francis.

Entre las ventajas a anotar de la turbina Michell Banki según Landa y Llanganate (2009), se manifiestan:

- i) **El diámetro de la turbina no depende del caudal.**
- j) **La potencia y el caudal se puede regular mediante el diseño de un álabe ajustable.**
- k) **Tiene un amplio rango para regular la velocidad de giro.**



*Figura 30. Turbina Michell Banki*

Fuente: (Landa Quimbita & Llanganate Quinatoa, 2009)

La turbina Michell Banki consta de dos inyectores y un rotor; por medio de una descarga a presión atmosférica.

El rotor se compone de dos discos paralelos formando un sector circular en los que se unen álabes en forma de curva. El inyector tiene una sección transversal rectangular que va unida a la tubería por una transición rectangular – circular (Landa Quimbita & Llanganate

Quinatoa, 2009), el inyector es el que envía el agua para que ingrese al rotor con un ángulo determinado para lograr un mayor rendimiento.

### 3.2.5.3. Curva de rendimiento de las turbinas.

A continuación, en la figura 31 se observa las curvas de trabajo de las turbinas, en el que estudios estadísticos han podido relacionar la velocidad específica con la altura de salto neto, en cada tipo de turbina.

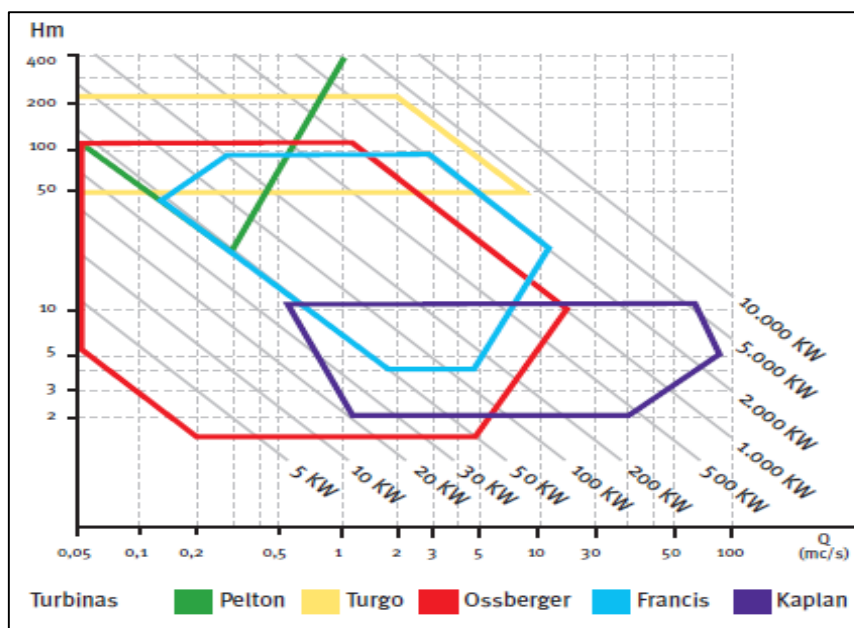


Figura 31. Selección de turbinas

Fuente: (Castro, 2006)

### 3.2.5.4. Determinación de la turbina a usar.

Para determinar la turbina a utilizar en el proyecto se ha analizado los diferentes tipos que más se ajusten a los criterios de operación de la presa Quingoyacu de donde se pudo algunas turbinas mismas que se detallan con sus características:

#### 3.2.5.4.1. Michel Banki:

De la derivación de las turbinas de reacción se tiene las de flujo cruzado denominada Michel Banki, que fue ofertado por Ossberger; quien presenta una turbina compacta con excelente capacidad de regulación, de una eficiencia ligeramente por encima del 80 %

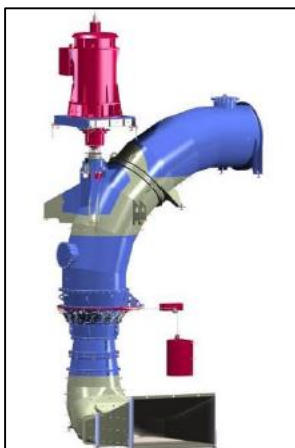
Con la finalidad de mantener una buena eficiencia de la máquina se tendrá que ajustar la velocidad de rotación de la turbina hasta en un 30 % a su velocidad de giro nominal. Esto se debe a la variación de caudal y altura de presa; por lo que esta máquina presenta dos limitantes al momento de su elección.

Las desventajas de esta turbina llamada Michel Banki presenta:

- l) Primera.** Este tipo de turbina no está diseñada para trabajar en forma sumergida por lo que limita la posibilidad de su implementación. Técnicamente se podría ajustar a las condiciones de operación, aunque físicamente no existe la posibilidad.
- m) Segunda.** Estas máquinas al tener un rango de velocidad variable, conforme se reduce su eficiencia, requiere de un mecanismo que pueda compensar esta variación mecánica.

#### *3.2.5.4.2. Turbina Kaplan de álabes regulables.*

La turbina Kaplan, es una máquina axial, que se caracteriza porque permiten variar tanto el ángulo de ataque del álabe de la turbina, así como de su distribuidor. De acuerdo a las investigaciones realizadas, la empresa Voith que se especializa en construir turbinas hidráulicas, en respuesta a la solicitud de dimensionamiento presenta una solución a las necesidades de la presa Quingoyacu con la implementación de una máquina (Kaplan Tipo-Z) de álabes regulables de eje vertical sumergible cuyas prestaciones técnica y físicamente se ajustan medianamente a los requerimientos de la presa.



*Figura 32. Turbina Voith de eje vertical.*

Fuente: (Kossler, 2018)

Las desventajas de la turbina Kaplan de álabes regulables, son algunas, dentro de ellas se encuentra que este tipo de turbina presenta una limitante respecto a su altura de trabajo, si bien permite regular satisfactoriamente el caudal de manera eficiente, así como la regulación de la altura, solo trabaja conforme al rango de trabajos establecido por el fabricante que no podrá ser inferior al 15 % de altura de cota máxima.

La eficiencia de esta máquina en condiciones ideales es superior al 95%, misma que se verá limitada conforme varíe el caudal y la altura de la presa, que disminuye al llegar a las

condiciones límites de operación, así como también, la máquina se verá obligada a reducir el número de revoluciones al que fue diseñada, por lo que las prestaciones que brinda la máquina se ven limitadas al no ajustarse a la variación de la altura de la presa.

#### *3.2.5.4.3. Turbina Kaplan o Propeller de eje vertical.*

El problema principal al momento de elegir una máquina se ve limitada por la variabilidad de sus condiciones de trabajo, en vista de esta situación por más excelentes prestaciones que presente el uso de una turbina Kaplan de álabes regulables, se verá limitada al trabajar por debajo de sus condiciones nominales de operación.

En solución a esto; la empresa de fabricación de turbinas Delta-Delfini optó por elegir una turbina Propeller de menor gama, sencilla, de poco mantenimiento y que se caracteriza por tener álabes fijos y de rendimiento superior al 90 % en condiciones ideales; sin embargo, su eficiencia está limitada por las mismas condiciones que se mencionó anteriormente, por lo que presenta una ventaja en relación a su homóloga anterior que es el costo de inversión.

Dado el problema, no radica en la selección del tipo de turbina si no en la forma que se pueda compensar el desequilibrio de caudal máximo altura máxima, caudal mínimo altura mínima se opta por hacer uso de mecanismo mecánicos (cajas de engranaje), o eléctricos (sistemas de generación de inducción con inversor regenerativo) mismo que se detalló anteriormente como posible solución al momento de elegir el generador.

#### **Selección de la turbina:**

- n) Después de analizar técnicamente, las dos posibilidades, la mejor opción es la turbina Michel Banki, de la marca Ossberger, por todas las características presentadas y de acuerdo al rango de trabajo de la presa; aunque físicamente al analizar el emplazamiento hay un problema físico que sería imposible resolverlo, puesto que la cota de nivel de agua llega cerca del radio medio de la tubería de descarga haciendo imposibles su implementación en el sitio.**
- o) La turbina Voith, técnica y físicamente presenta características ideales para este proyecto, pues está dimensionado para trabajar de forma sumergida en posición vertical, el inconveniente que presenta es el costo en relación a la anterior alternativa.**

## **CAPÍTULO 4**

### **EVALUACIÓN DEL PRESUPUESTO ECONÓMICO Y ANÁLISIS DE RIESGOS.**

#### **Introducción**

Como se mencionó en capítulos anteriores, la propuesta considera dos alternativas que cumplen la finalidad de analizar cuál de ellas ayuda a disipar de mejor manera el aprovechamiento de la energía cinética disponible al fondo de presa; por lo que, como solución se propuso el uso de un juego de válvulas que permite la descarga del caudal requerido, o a su vez se considera la construcción de una pequeña central hidroeléctrica (PCH) al remplazar una de sus válvulas por una unidad de generación de energía eléctrica, entregando el caudal de la misma forma que haría la válvula al inicio de la conducción hacia la central Soldados.

Por ello, el análisis en este capítulo contempla, determinar el costo de inversión de cada alternativa y el beneficio que ElecAustro pueda obtener al implementar cualquiera de estas alternativas. Para esto se empieza por definir el costo de construcción de la propuesta, la capacidad de producción de energía anual, el tiempo de recuperación económico, seguido el beneficio económico directo o indirecto que representa, para esto se hace uso de indicadores como el valor actual neto (TIR) y la tasa interna de retorno (VAN), variables que determinarán la viabilidad del proyecto.

#### **4.1. Cálculo de costos de la propuesta de construcción**

Para realizar la presente evaluación económica de la propuesta es necesario resaltar que el Proyecto Hidroeléctrico Soldados-Yanuncay cuenta con las obras necesarias para entrar en operación al finalizar el proceso de construcción, por lo que cualquier modificación que no se encuentre contemplado o no forme parte de los estudios y diseños definitivos se considera una modificación adicional, teniendo que justificar su inversión de forma técnica, económica y la viabilidad del mismo.

De acuerdo a esta consideración la “Propuesta 1” que hace referencia al uso de válvulas, se encuentra dentro de los rubros iniciales del proyecto, por lo que este análisis se realizó con el fin de determinar una mejor viabilidad técnica y económica, además de considerar su importancia y el beneficio indirecto que representa su implementación.

A diferencia de la “Propuesta 2” que se refiere al uso de un equipo de generación, no forma parte de los estudios de ingeniería, por lo que, se considera únicamente la implementación de una casa de máquinas, que en su interior alojará el equipo mecánico, eléctrico, y la infraestructura necesaria; en cuanto a las demás obras se considerarán existentes y no forman parte de este análisis.

#### 4.1.1. Propuesta 1: Válvulas de disipación de energía.

En función del análisis realizado en capítulos anteriores, se ha previsto el uso de un juego de válvulas de regulación de caudal de descarga de forma sumergida, que se aloja al interior de un tanque disipación, cumpliendo el objetivo de controlar el caudal de descarga a la salida de la captación principal, sin que sea aprovechable la energía disipada por el embalse.

El análisis económico se realizó considerando el costo de inversión de dicha infraestructura que alberga los siguientes parámetros (tabla 26, y anexo 2):

- **Provisión e instalación de las válvulas.**
- **Equipos de actuación y control.**
- **Obras civiles, que albergarán los equipos.**

Tabla 26. Presupuesto adecuación del cuarto de válvulas.

<b>Construcción, provisión y montaje cámara de válvulas</b>		
<i>Cámara de válvulas</i>	<i>N°</i>	<i>Costo</i>
Provisión de válvulas	2	\$ 453.837,69
Montaje cámara de válvulas	2	\$ 131.439,61
Movimiento de tierras	Global	\$ 12.142,73
Obras de hormigón	Global	\$110.372,03
Caseta válvulas		
Obras de hormigón	Global	\$36.816,99
<b>Acumulado</b>		<b>\$744,609.05</b>
<b>IVA</b>		<b>\$ 89,353.09</b>
<b>Total</b>		<b>\$833,962.14</b>

Fuente: Autor; Tomado de Estudios y Diseños Definitivos CESEL.

Cabe indicar que los costos de provisión y montaje fueron valorados en función de las obras de los diseños definitivos del Proyecto Hidroeléctrico - Soldados Yanuncay

#### 4.1.2. Propuesta 2: Pequeña Central Hidroeléctrica.

Como parte complementaria en la construcción de la presa Quingoyacu se propuso la implementación de una pequeña central hidroeléctrica (PCH), con la incorporación de una casa de máquinas al pie de presa.

El costo de inversión de la propuesta se realizó de acuerdo a la consideración del equipamiento eléctrico, mecánico, y de control que se encontrarán alojados al interior de las instalaciones. Adicional a esto incluye el costo de la red interna de evacuación de energía

En la tabla 27 se detalla el costo de inversión de la propuesta, el desglose de estos rubros se presente al final del documento en el anexo 3.



Tabla 27. Costo construcción de la casa de máquinas para la PCH.

<b>Casa Máquinas Pequeña Central Quingoyacu</b>	<b>Total.</b>
<b>Provisión y Montaje</b>	
Obras civiles Casa de máquinas	\$ 99.566,94
Obras eléctricas BT	\$16.040,00
Equipo de generación hidromecánica Turbina Generador Equipo de generación regenerativo	\$ 965.827,71
Red de evacuación de energía interna Red de MT	\$16.926,00
Suministro, instalación equipo subestación Transformador Equipo de protección Equipo de control Red BT generador - transformador	\$102.850,00
Indirectos y utilidad 25 %	\$ 300.302,66
<b>Acumulado</b>	<b>\$1'501.513,31</b>
<b>IVA</b>	<b>\$ 180.181,60</b>
<b>Total</b>	<b>\$1'681.694,91</b>

Fuente: Autor

#### 4.2. Cálculo del presupuesto de alternativas y beneficio

En esta sección se presenta en forma global el presupuesto de inversión, las alternativas, y el costo operativo por operación y mantenimiento; con fin de estimar el beneficio que presenta la consideración de la propuesta al momento de encontrar en funcionamiento.

##### 4.2.1. Propuesta 1: Válvulas de disipación de energía.

La finalidad de esta propuesta es disipar la energía cinética del agua, al controlar el nivel de volumen de descarga garantizando la operatividad ininterrumpida de la presa. Presenta además la capacidad de liberar el caudal de diseño por una sola de ellas sin poner en riesgo la integridad estructural de la presa.

El beneficio que ElecAustro puede obtener, está directamente relacionado a la capacidad de producción del aprovechamiento Soldados, al ajustar y regular periódicamente el volumen de agua requerido para su generación.

Es importante mencionar que, si bien las válvulas de forma directa no reflejan una producción económica, indirectamente su desempeño permite la generación coordinada.

El costo de inversión de un juego de válvulas de descarga sumergida que incluye su provisión, instalación e infraestructura, tiene un costo de \$ 833.962,14 dólares americanos. Y el rubro de operación y mantenimiento en esta propuesta no es sujeto de análisis al considerar que forma parte del proyecto al ser existente.

A continuación, en la tabla 28 se presenta el costo global de la propuesta; este análisis permitió la actualización del costo de inversión de un juego de válvulas; el detalle observar en el anexo 2.

Tabla 28. Presupuesto de un juego de válvulas de descarga sumergida.

<b>Válvulas de disipación de energía.</b>	
Construcción, provisión y montaje de un juego de válvulas de descarga sumergida	\$744.609,99
<b>Costo total + IVA</b>	<b>\$833.962,14</b>

Fuente: Autor

#### 4.2.2. Propuesta 2: Pequeña Central Hidroeléctrica.

Para la implementación de esta propuesta se estimó el costo de inversión global que se presenta en la tabla 29; además de realizar las consideraciones que se requieren para su operación y mantenimiento que se puedan agregar al margen de las existentes.

Tabla 29. Costo total de construcción de la casa de máquinas.

<b>Construcción de Pequeña Central Quingoyacu.</b>	
Construcción de la casa de máquinas, provisión y montaje de los equipos	\$1'501.513,31
<b>Costo total + IVA</b>	<b>\$1'681.694,91</b>

Fuente: Autor

A continuación, se presenta la estimación del costo por operación y mantenimiento de \$13.595,52 que corresponde únicamente al seguro general, repuestos y materiales que se tendrá que considerar al realizar la implementación de la PCH Quingoyacu, esto se debe que el Proyecto Hidroeléctrico Soldados-Yanuncay cuenta con todos los servicios guardianía, personal de mantenimiento, costo de administración, transporte, seguro, entre otros previstos al momento de entrar en operación En la tabla 30 se presenta el resumen de estos rubros, y su detalle en el anexo 4. Los valores se obtuvieron en base a los rubros operativos que maneja ElecAustro.

Tabla 30. Costo de operación y mantenimiento de PCH Quingoyacu.

<b>Costos de Operación y Mantenimiento</b>	<b>Total.</b>
Contratos y otros servicios	NO
Personal	NO
Materiales	\$1.716,44
Seguros generales	\$10.422,42
Mantenimiento	NO
<b>Acumulado</b>	<b>\$12.138,86</b>
<b>IVA</b>	<b>\$1.456,66</b>
<b>Total</b>	<b>\$13.595.52</b>

Fuente: Autor

### 4.3. Evaluación económica y financiera

#### 4.3.1. Equipo de generación hidromecánico.

Para determinar el beneficio que ElecAustro podría obtener por la producción de energía, se realizó la valoración económica en función de la proyección estadística de operación de la presa Quingoyacu como se observó en la figura 6 de donde se pudo establecer los parámetros que serán objeto de análisis y a continuación se presenta en la tabla 31 los resultados de estas variables, que servirán para el análisis económico.

Tabla 31. Valores iniciales cálculo de (Tir –Van)

<b>Presa Quingoyacu</b>	
<b>Datos de Entrada:</b>	
Factor de planta (FP)	0,58
Gravedad (g) m/s <sup>2</sup>	9,78
Eficiencia de la maquina $\eta$	80,00 %
<b>Caudal proyectado:</b>	
Caudal máximo proyectado $\Delta Q$ (m <sup>3</sup> /s)	3,74
Caudal mínimo proyectado $\Delta Q$ (m <sup>3</sup> /s)	1
<b>Rango de trabajo proyectado:</b>	
Altura máxima proyectada (m)	25,47
Altura mínima de operación (m)	10
Potencia máxima proyectada. (kW)	745,30
<b>Inversión:</b>	
Costo inversión (PCH)	\$1'681.694,91
Costo KW instalado	\$2.256,40
<b>Costo de mantenimiento:</b>	
Previsto	\$13.595,52.
<b>Producción de energía:</b>	

Producción de energía diario (MWh)	10.37
Producción de energía anual (MWh)	3786,72
<b>Ingreso económico a precio comercial:</b>	
Tasa de descuento interno de ElecAustro	3,37 %
Ingreso mensual	\$75.734,40

Fuente: Autor:

#### 4.3.2. Evaluación económica.

Con el fin de establecer el costo mínimo de comercialización de energía a fin de recuperar la inversión del proyecto en un plazo de 25 años, se tendrá que ajustar el costo de venta ponderado de la energía, hasta llegar a coincidir con una tasa interna de retorno TIR = 0 que representa la recuperación total de la inversión sin obtener un beneficio. Mientras que la utilidad se establecerá al obtener un (TIR) mayor a la tasa interna de descuento, valor exacto en el que la utilidad del proyecto se vuelve positiva.

Es importante mencionar que el análisis se realizó considerando el costo de generación anual medio de energía de 3,94 ¢USD/kWh centavos de dólar que representa el costo de producción de energía medio ponderado de acuerdo a los datos del Ministerio de Electricidad y Energía Renovable según el Plan Maestro de Electricidad 2016 – 2025; que estima la proyección del comportamiento del costo de comercialización variables de energía.

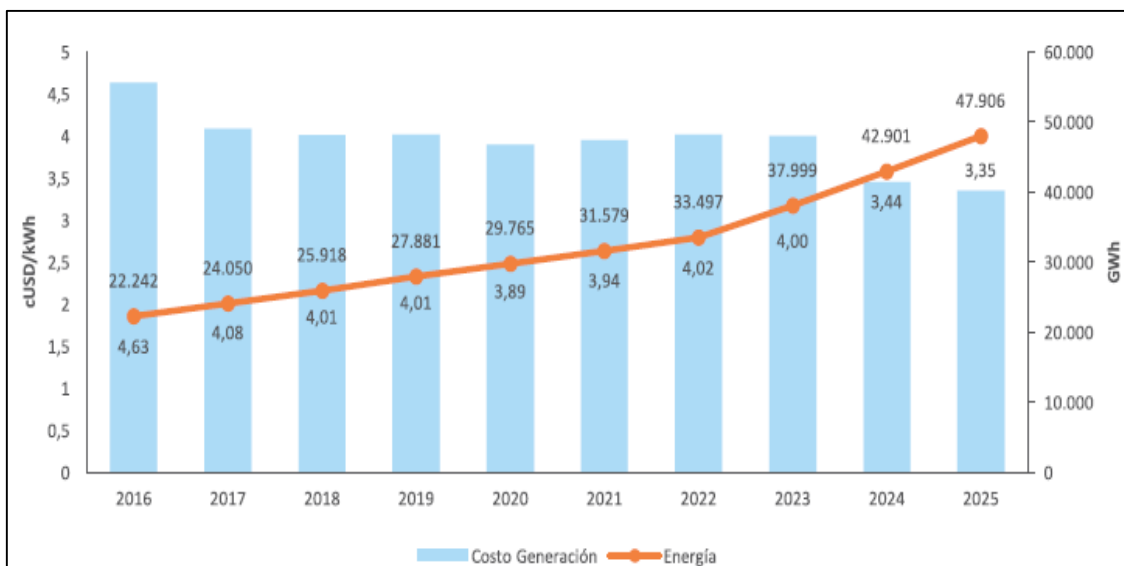


Figura 33. Evolución del costo de generación media.

Fuente: Plan Maestro de Electricidad 2016 – 2025 (MEER, 2017).

Se considera además el costo de generación medio de las centrales hidráulicas de 4,08 ¢USD/kWh, previsto para el 2021, año que entrará en servicio la CH Soldados.

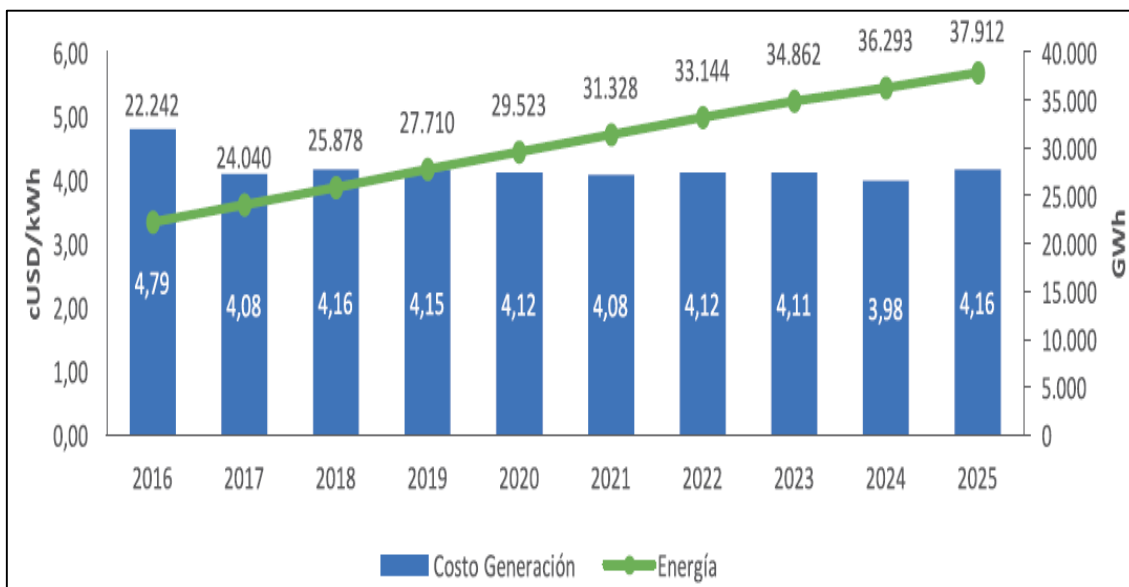


Figura 34. Evolución del costo de generación media.

Fuente: Plan Maestro de Electricidad 2016 – 2025 (MEER, 2017).

Los valores establecidos representan el costo de comercialización compuesto por costos fijo y costo variable de generación anual de venta de energía, para las centrales de forma general como se establece en la Regulación del CONELEC vigente 013/08.

Esto se realiza al considerar que, no existe una norma actual que regule el valor comercial de generación para los nuevos proyectos, ocasionando una incertidumbre, como es el caso de esta propuesta, por lo que se tendrá que cumplir las disposiciones que dicte el ARCONEL.

Como solución a la problemática, se plantea calcular la rentabilidad del proyecto en función de un valor extremo, cuya inversión tendrá que estar en su momento por debajo del costo de oferta de venta promedio de energía y por encima del valor límite de inversión.

#### 4.3.2.1. Cálculo del VAN y del TIR.

El análisis se realiza por medio del uso de indicadores financieros “(VAN) valor actual neto y (TIR) la tasa interna de retorno” que permite evaluar la viabilidad del proyecto además de identificar el riesgo que presenta la implementación de cualquiera de estas dos alternativas y el beneficio económico que se podría obtener.

Para el cálculo de estos indicadores financieros se consideró un costo de capital promedio ponderado (CCPP), al que se conoce como WACC en sus siglas en inglés, con una tasa interna de descuento del 3,37% que corresponde al financiamiento interno que ElecAustro manejó en este proyecto, es importante mencionar que el interés que se maneja en proyectos similares, usan un valor porcentual superior al 10 %. (Matute Pinos , 2014).

Antes de proceder a la valoración, fue necesario estimar el ahorro económico que ElecAustro podría obtener al destinar una parte de su generación en el auto consumo de los servicios auxiliares de la Presa Quingoyacu, Captación Galgal, Tanque de carga, CH. Soldados y Captación Ishcayrumi, que presentan una demanda promedio de energía activa de 26,69 kWh, lo que equivaldría a \$30.207,28 anual por compra de energía con un cargo tarifario demanda horaria diferenciada, que se puede observar en más detalle en el anexo 5 y su resumen en la tabla 32.

Tabla 32. Consumo interno de energía de los servicios auxiliares.

<b>Consumo Interno de Energía</b>				
	<i>kWh</i>	<i>kWh / mes-año</i>	<i>Costo mensual</i>	<i>Costo anual</i>
SSAA. Presa Quingoyacu	3,28	98,3	\$133,43	\$1.601,13
SSAA. Capt Galgal	0,96	28,75	\$39,02	\$1.170,71
SSAA. Tan Carg Soldados	0,96	28,75	\$39,02	\$1.170,71
SSAA. C H. Soldados	20,54	616,25	\$836,47	\$25.094,01
SSAA. Ishcayrumi	0,96	28,75	\$39,02	\$1.170,71
<b>Total</b>	<b>26,69</b>	<b>800,80</b>	<b>\$1.086,97</b>	<b>\$30.207,28</b>

Fuente: Autor

El consumo total de energía anual de los servicios auxiliares corresponde a 800,80 kWh/año y representa un valor económico de \$30.207,28; mientras que el excedente de energía de 3'734.846,56 kWh/año será destinado a aportar a la red de Distribución de 22 kV, que corresponde a los ingresos.

Además se presentan también egresos por operación y mantenimiento de \$13.595,52, y un costo adicional por el cambio de componentes cada tres años de \$20.000,00.

Con los valores mencionados, se procede a realizar el análisis económico a través de las variables de VAN y TIR, mismos que se encuentra en la siguiente tabla 33 y su detalle en el anexo 6.

Tabla 33. Resultado de la evaluación económica (TIR) (VAN) con auto consumo.

<b>Cuadro de resumen análisis económico (VAN -TIR) sin Riesgo.</b>			
	<i>US. kWh</i>	<i>TIR</i>	<i>VAN</i>
1).	0,03390	6,10%	\$515.172,82
2).	0,01647	0,00%	-\$537.247,81
3).	0,04080	7,98%	\$908.911,01

Fuente: Autor

La rentabilidad del proyecto, se considera que está ligado a las siguientes condiciones.

- 1). Que la PCH Quingoyacu destina su generación para el consumo interno de los servicios auxiliares de: Captación Ishcayrumi, CH Soldados, Tanque de carga, Captación Galgal, Presa Quingoyacu.
- 2). El costo mínimo de generación se ha establecido en 0,01647 US/kWh que facilitaría recuperar la inversión del proyecto sin percibir utilidad.
- 3). Para un beneficio económico ideal del proyecto, el costo de comercialización de energía tendrá que ser superior a 2,459 ¢US/kWh que corresponde a una tasa interna de retorno del 3,37%, y un valor actual neto de 0 US/kWh; es decir, cuanto mayor sea la tasa interna de retorno de la tasa de descuento el proyecto obtendrá una utilidad positiva. Bajo estos criterios mencionados, el proyecto en un futuro podrá ser viable y atractivo para su inversión.
- 4). Sin embargo, el costo medio proyectado de venta de energía para el 2021 año que entraría en operación el proyecto Soldados, será de 3,94 ¢USD/kWh obteniendo un resultado favorable de acuerdo a este análisis. Es importante mencionar que, mientras no se pueda definir un costo real de comercialización, la valoración real sería incierta.

#### **4.4. Evaluación del análisis de riesgo**

A continuación, se desarrolla la valoración del riesgo económico que consiste la implementación de una pequeña central hidráulica al pie de presa Quingoyacu.

Este análisis consiste en identificar una serie de eventualidades que podría comprometer la integridad física de los equipos, al limitar el funcionamiento, y la capacidad de generación hidráulica de la propuesta y del aprovechamiento Soldados.

##### **4.4.1. Metodología de evaluación del riesgo.**

“La evaluación del riesgo, se realiza por medio de la gestión y el control interno de procesos que identifican los factores que pueden comprometer el estado físico de los equipos, así como la ejecución adecuada de las actividades y labores del personal técnico. (Ulloa-Enríquez, 2012)”.

Esta metodología se realiza en función de (ISO 9001-2015), se utiliza una Matriz de Evaluación de Riesgo (Bruce K & Hollcroft, 2012) que consiste en realizar un diagnóstico de las actividades y el nivel de severidad que podría conducir a pérdidas económicas y materiales, es decir el riesgo está integrado a todo tipo de gestión.

Para la elaboración de la Matriz, se empieza a considerar las actividades principales que se desarrollan y el nivel de peligrosidad al cual están expuestos; para esto, se tendrá que

identificar la causa que derivó una serie de procesos y la consecuencia con el que se desarrolla, además de valorar el riesgo que identifique el nivel de gravedad asociado.

Como paso siguiente es importante definir la probabilidad con la que puede ocurrir el riesgo planteado, esta valoración en conjunto permite determinar el perfil de riesgo total, la severidad y el efecto económico que puede representar sobre la utilidad de la inversión.

El análisis del riesgo se realizará de acuerdo a una valoración de 1 a 5 en donde, uno es la calificación más baja y cinco el más alto.

Tabla 34. Valoración de calificación equivalente riesgo.

Riesgo		
Descripción	Ponderación	Valor
Improbables	$R < 1$	A
Poco probable	$1 < R < 2$	B
Considerablemente probable	$2 < R < 3$	C
Probable	$3 < R < 4$	D
Muy probable	$R < 5$	E

Fuente: (Bruce K & Hollcroft, 2012)

### Probabilidad de ocurrencia

La probabilidad se considera el evento que puede ocurrir al menos una ocasión en la vida útil del proyecto, la valoración de esta eventualidad está en un rango medios de 0 a 1 como se presenta en tabla 36 Matriz de riesgo.

Tabla 35. Categoría de probabilidad:

Categoría.	Valor	Descripción
Improbables	0.1	El riesgo cuya probabilidad de ocurrencia es improbable, es decir se podría esperar entre 1 % a 10 % que esté presente en el proyecto.
Poco probable	0.3	El riesgo cuya probabilidad de ocurrencia es poco probable, es decir se podría esperar entre 11 % a 30 % que esté presente en el proyecto.
Considerablemente probable	0.5	El riesgo cuya probabilidad de ocurrencia es considerablemente probable, es decir se podría esperar entre 31 % a 65 % que esté presente en el proyecto.
Probable	0.7	El riesgo cuya probabilidad de ocurrencia es alto, es decir se podría esperar entre 66 % a 89 % que esté presente en el proyecto.
Muy probable	0.9	El riesgo cuya probabilidad de ocurrencia es alto, es decir se podría esperar entre 66 % a 89 % que esté presente en el proyecto.

Fuente: (Bruce K & Hollcroft, 2012)



Tabla 36. Matriz de valoración de riesgo.

		Potencial de pérdidas (I)				
		1	2	3	4	5
Probabilidad de ocurrencia (p)	0.1	A	A	B	B	C
	0.3	A	B	C	C	D
	0.5	B	C	B	D	D
	0.7	B	C	D	D	E
	0.9	C	D	D	E	E

Fuente: (Bruce K & Hollcroft, 2012)

- **La probabilidad de ocurrir un del riesgo identificado (p)**
- **La valoración de la intensidad del daño que pueda ocurrir (I)**

#### 4.4.2. Estimación del Riesgo.

La valoración del riesgo económico que presenta la implementación de una unidad de generación hidráulica está directamente relacionado a daños ocasionados por factores de tipo físico eléctricos, mecánicos, o en su efecto ocasionado por factores humanos que podrían limitar el funcionamiento óptimo y la indisponibilidad de generación de la PCH Quingoyacu. Por lo que se plantea las siguientes eventualidades:

- Factores de Riesgo físicos que comprometen el funcionamiento de la Pequeña Central Hidroeléctrica Quingoyacu.**
- Falla en la red de evacuación de energía.**
- Falla en el funcionamiento de las válvulas de caudal de descarga.**

##### 4.4.2.1. Valoración del riesgo.

Una vez soportado las hipótesis de valoración se procede a realizar la matriz de riesgo con el fin de determinar la probabilidad de ocurrencia y la valoración económica que podría presentarse.

- Funcionamiento Inadecuado de la PCH Quingoyacu.**

Una mala práctica en la operación de los equipos podría comprometer el funcionamiento de la PCH Quingoyacu; y a su vez puede constituir un riesgo potencial, al considerar que el caudal de descarga de la presa podría verse limitado, afectando la generación del aprovechamiento Soldados que se encontraría operando.

A continuación, se presenta la valoración del riesgo al que estaría expuesto los equipos y la unidad de generación en las siguientes consideraciones:

Tabla 37. Valoración del riesgo, Casa de Máquinas Quingoyacu.

Factores de Riesgo Económicos Asociados e Eventos físicos que comprometen el funcionamiento de la Pequeña Central Hidroeléctrica Quingoyacu.									
Valoración del riesgo						Indisponibilidad			
Factor de riesgo	(p)	Evento	Equipo afectado.	(l)	Riesgo	(t) hora	\$ Costo de generación Soldados	Costo de contingencia	
Técnico	Daños por desperfectos eléctricos	0,04	Sobrecalentamiento, deterioro del aislamiento de los devanados estáticos del generador.	Generador.	4	0,16	8	\$ 3.335,27	\$ 37.517,26
	Por desperfectos mecánicos	0,05	Deterioro en las partes móviles por sobreesfuerzos físico, fatiga del material, trizadura.	Rodete	4	0,20	5	\$ 2.605,68	\$ 28.137,94
	Falla en los sistemas de comunicación.	0,09	Perdida de los procesos de comunicación, supervisión y control en la casa de máquinas con el sistema SCADA.	Sistema SCADA	2	0,18	1	\$ 469,02	\$ 0
	Falta de trabajos periódicos de mantenimiento.	0,06	Desgaste de las partes móviles por fricción y sobrecalentamiento ocasionando el replazo de los componentes mucho antes de la vida útil.	Cojinetes del generador	3	0,12	3	\$ 1.407,07	\$ 2.110,35
No Técnico	Falta de capacitación del personal.	0,04	Actuación indebida en los procesos protocolarios de maniobra ocasionando la Salida de operación de la unidad de generación.	Casa de máquinas	3	0,10	0.30	\$ 93,80	\$ 0
	Operación negligente.	0,05	Limitada capacidad de reacción por los efectos de fatiga y cansancio, que podría desencadenar una serie de errores limitando la generación.	Casa de máquinas	2	0,10	0.30	\$ 78,17	\$ 0
	Respuesta inoportuna al suscitar una falla.	0,07	Se Generar bajo una condición de señal de falla, puede desencadenar una serie de inconvenientes relacionados que obliguen al salir de funcionamiento al no existir una respuesta oportuna.	Unidad de generación	3	0,20	0.15	\$ 78,17	\$ 0

Presencia de personal no autorizado en las instalaciones.	0,02	Posible riesgo de siniestro y daños y pérdidas materiales por electrocución.	Unidad de generación	3	0,21	0,30	\$ 164,16	\$ 2.100,00
Nivel de riesgo global					0,17		\$ 8.231,14	\$ 69.865,54

Fuente: Autor

### b) Falla en la red de evacuación de energía.

De la misma forma existe el riesgo económico, a causa de eventualidades que pueden limitar el funcionamiento de la PCH Quingoyacu.

Esto se debe a fallas que si llegasen a ocurrir, comprometería la evacuación de la energía generada por la red de distribución existente, es importante mencionar que este tipo de falla únicamente limitaría la capacidad de generación de la PCH proyectada, más no la generación del aprovechamiento Soldados.

Tabla 38. Cuadro de Riesgo Red de Distribución.

Factores de Riesgo Económicos Asociado a la imposibilidad de evacuación de la energía generada por la red de Distribución.									
Valoración del riesgo						Indisponibilidad			
Factor de riesgo	(p)	Evento	Equipos afectados.	(l)	Riesgo	(t) hora	\$ Costo de generación Soldados	Costo de contingencia	
Técnico	Daños por descarga eléctrica de tipo atmosférica.	0,04	fallo en el sistema de potencia por sobretensiones transitorias de tipo impulso	Transformador	3	0,12	0,12	\$ 15,63	\$ 3.360,00
	Fallas asociadas a la conexión y desconexión de cargas eléctricas de tipo inductivo en la red.	0,02	Ocasiona un cambio brusco transitorio en una red, dando como efecto la pérdida y el incremento secuencial de tensión	Transformador convertidor regenerativo IGBT	1	0,02	0,05	\$ 2,61	\$ 3.196,96
	Daño en la estructura de soporte de la red de distribución	0,03	Contribuye a fallas de cortocircuito directo entre fases.	Red de distribución	3	0,09	3	\$ 703,53	\$ 1,350.00
	Nivel de riesgo global					0,08		\$ 721.77	\$ 7.906,96

Fuente: Autor.

**c) Falla en el funcionamiento de las válvulas de caudal de descarga.**

La indisponibilidad de una de las válvulas de descarga, podría significar un riesgo económico indirecto por reparación y mantenimiento, sin embargo, no representa mayor riesgo operativo que pueda limitar la capacidad de generación del aprovechamiento Soldados al considerar que el caudal requerido para su funcionamiento fácilmente se puede evacuar por una sola válvula.

Tabla 39. Cuadro de Riesgo Válvulas.

Factores de Riesgo Económicos Asociado a la limitante de evacuación del caudal de descarga de presa por medio de las válvulas de descarga de tipo sumergido.									
Valoración del riesgo						Indisponibilidad			
Factor de riesgo	(p)	Evento	Equipo afectados.	(l)	Riesgo	(t) hora	\$ Costo de generación Soldados	Costo de contingencia	
Técnico	Daño por limitada capacidad de regulación del caudal de descarga	0,05	Fallo en la unidad de actuación electromecánica, limita la capacidad regulación del caudal de descarga de presa.	Unidad de actuación.	2	0,10	0,3	Se Descarga por la válvula (2)	\$ 1.418,04
	Falla en la regulación del nivel de volumen de descarga.	0,09	Incertidumbre del caudal descargado a causa de sensores de nivel y presión de agua alojados en la válvula.	Sensores de presión, caudal, nivel	2	0,18	0,05	Se Descarga por la válvula (2)	\$ 2.700,00
	Falla por sobreesfuerzo físico	0,02	Falla de la válvula por agrietamiento, trizadura por sobreesfuerzo físico	Trizadura en las paredes de la válvula	3	0,06	5	Se Descarga por la válvula (2)	\$ 425,41
	Daños ocasionados por una operación incorrecta de la válvula.	0,02	Falla de la válvula por el cierres inadecuado ocasionando sobreesfuerzos físicos generando golpes de ariete al limitar del paso de agua de forma brusca.	Trizadura en las paredes de la válvula	3	0,06	5	Se Descarga por la válvula (2)	\$ 425,41
	Nivel de riesgo global					0,10		\$ 0,00	\$ 4.968,86

Fuente: Autor.

Luego de realizar la evaluación del riesgo, se pudo determinar que la incidencia de los factores que pueden comprometer el estado físico de los equipos es mínima, cuyo nivel de gravedad según la Matriz de riesgo considerada es Improbable (A) menor al 10,07% promedio del riesgo global

Esto representaría el nivel de indisponibilidad de generación del aprovechamiento Soldados a causa de factores físicos que podrían limitar el funcionamiento en indistintos periodos de tiempo corto necesario para liberar la falla.

De la misma forma se consideró el costo global de indisponibilidad de generación de la propuesta planteada, así como el de mitigación de la falla, en la tabla 40 se presenta el resumen de la valoración económica del riesgo.

Tabla 40. Valoración económica del riesgo.

<b>Costos globales por indisponibilidad de generación y mitigación</b>	
Aprovechamiento Soldados	\$8.953,12
PCH Quingoyacu	\$82.765,51
<b>Valoración del Riesgo económico</b>	<b>\$91.718,63</b>

Fuente: Autor

Con la consideración del costo global de \$ 91.718,63 se realizó nuevamente la valoración económica, al incluir el valor del riesgo en el rubro de Operación y Mantenimiento, con la finalidad de analizar si el proyecto planteado bajo ciertas eventualidades aún resulta viable su consideración; lo que significaría la recuperación económica de la inversión durante la vida útil del proyecto, además de estimar el beneficio que se podría obtener.

El resultado de esta evaluación presenta valores ligeramente menores, a la valoración económica anterior que se obtuvo en la tabla 33 sin la consideración del riesgo económico calculado. De acuerdo a las consideraciones de evaluación que se plantearon para el análisis del proyecto se obtiene como resultado en la tabla 41 valores favorables, que se podría suponer una alternativa viable.

Tabla 41. Resultado de la evaluación económica (TIR) (VAN) con auto consumo.

<b>Cuadro de resumen análisis económico (VAN - TIR) Con Riesgo</b>			
	US. kWh	TIR	VAN
4).	0,0331	5,46 %	\$389.012,94
5).	0,0175	0,00 %	-\$537.354,91
6).	0,0408	7,687 %	\$846.695,76

Fuente: Autor

## CAPÍTULO 5

### EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS.

Luego de realizar el análisis técnico y económico en este capítulo se procede a evaluar cada propuesta y sus alternativas para concluir y sugerir la más adecuada.

#### 5.1. Propuesta 1. Válvulas

Con el fin de elegir el tipo de válvula que mejor se ajuste a las condiciones físicas del lugar, de acuerdo al requerimiento de operación de la presa Quingoyacu, se determinó que, faculta el uso de un juego de válvulas de serie 856 del fabricante Glendfield, cuya característica son de tipo sumergible en posición vertical concebida para alojarse al interior de un tanque de disipación, equilibrando la diferencia de presión a su salida.

Se caracteriza por tener excelentes prestaciones frente a condiciones climáticas adversas de trabajo, cuya construcción es de tipo modular, robustas, resistentes y de poco mantenimiento.

La operación se realizará por medio de mecanismos de control que facilita su operación de forma asistida desde el centro de control local, remoto o a su vez permite ser gestionado por el sistema SCADA.

El mecanismo de actuación estará provisto por equipos de actuación electromecánicos (servomotores), así como oleohidráulicos.

Las prestaciones de estos equipos vienen acompañadas de un sistema de control que permite monitorear continuamente las señales de posición, apertura, velocidad de caudal, nivel de control de volumen de descarga de agua; lo que hace ideal su implementación.

El nivel máximo de evacuación de agua requerida fácilmente se lo puede realizar por una sola válvula sin comprometer la seguridad de la misma puesto que están diseñadas para manejar niveles hasta los 9000 L/s, así como los niveles de presión de columna de agua que supera al requerido puesto que se manejan en un rango de 6 a 24 bares de presión, en la tabla 42 se presenta las características de la válvula que mejor se ajusta.

Tabla 42. Características Válvulas de descarga sumergida.

Características de Válvulas de Descarga Sumergida.	
Diámetro de ingreso de válvula	1400 mm.
Diámetro de salida de válvula	1200 mm.
Altura de válvulas	5,76 m.
Capacidad de descarga	9000 l/S
Tipo de serie de identificación	856-1400-0110-1000

Capacidad de regulación de caudal	De 0 a 4000 l/S.
Sistemas de control y monitoreo	Si.
Peso de la válvula	20.000 Kg.

Fuente: Glenfield

## 5.2. Propuesta 2. Unidad de generación

Para la implementación de una unidad de generación se consideró dos posibles soluciones técnicas que a continuación se describen.

### 5.2.1. Turbinas de tipo axial Kaplan de Álabes regulables + Generador síncrono.

Se consideró el tipo de turbina axial Kaplan de álabes regulables al presentar la facilidad de ajustar el ángulo de avance de sus álabes con el fin de compensar el par requerido por la unidad de generación.

Este tipo de turbina se caracteriza por presentar excelentes prestaciones al momento de trabajar en condiciones de caudal variables, que de acuerdo a las condiciones de la presa fácilmente se podría ajustar a un caudal que va desde los 0,5 m<sup>3</sup>/s a los 3,75 m<sup>3</sup>/s y una curva de eficiencia que podría ir del 48 % al 91 %. Con una potencia mínima de generación 63 kW.

En cuanto al equipo de generación síncrono se caracteriza por ser una máquina muy eficiente, además de tener la capacidad de compensar variaciones en la carga, así como la compensación de reactivos a la red, de ser el caso.

Sin embargo, esta propuesta presenta un inconveniente, el estar limitado por un nivel de columna de agua no menor al 3 % antes de empezar a descender la eficiencia, por lo que este tipo de máquina bajo este criterio de operación presenta un nivel mínimo aprovechable para su generación.

En tal situación luego de lo expuesto, si la máquina se ve obligada a trabajar por debajo del 10 % de su altura nominal de operación que determinó el fabricante Voith y que se sustenta en el Capítulo 3, la máquina no podrá compensar las condiciones de trabajo reduciendo su velocidad de sincronismo (rpm) conforme la columna de agua y caudal que descienden, lo cual obligará a salir de operación; por lo que este tipo de generador no se ajusta a las condiciones de operación de la presa Quingoyacu.

### 5.2.2. Turbinas de tipo axial Kaplan de álabes regulables + Generador asíncrono.

Al combinar las prestaciones de una turbina hidráulica Kaplan con un generador asíncrono, la curva de trabajo para este tipo de máquina se ajustará de mejor forma a la condición de operación variable de la presa. Además de considerar que la conexión de este tipo de generador es relativamente mucho más sencilla, al no requerir de complejos sistemas de

control como su homólogo síncrono; además, se caracterizan por tomar como señal de referencia las condiciones de la red de alimentación, además de ser una máquina robusta y de poco mantenimiento.

Es preciso mencionar que, aún con la combinación de estas dos tecnologías se optimiza únicamente un rango un poco más ajustable a la condición de operación de la presa Quingoyacu, sin embargo, se presenta la misma condición física que limitó la implantación de la máquina de tipo síncrona al disminuir el par y la velocidad de giro del generador.

De acuerdo a esta situación, la máquina asíncrona al reducir la velocidad de giro por debajo de la condición de generador, cambiaría de estado pasando a una condición de motorización, finalidad no deseada.

### **5.3. Comparación.**

El limitante que presenta este proyecto, es su característica poco inusual del embalse, por lo que para su aprovechamiento se tendría que ajustar a las condiciones de operación futuras en la presa; cuya variación continua de caudal y altura, no es posible ajustar a favor de la pequeña unidad de generación proyectada. Sin embargo, para no olvidar el objetivo principal con el que fue concebido la presa Quingoyacu; que es entregar el caudal libre de presión y energía en forma natural al inicio de la conducción Soldados para la generación aguas abajo.

En función de esto se podría decir que las dos alternativas que se plantearon, no se ajustan a las condiciones de operación de la presa, por lo que la finalidad de optimizar el caudal disponible por medio de la generación hidráulica, a la vez que se descargue liberando el caudal y la energía del agua contenida, sin un mecanismo de automatización su aprovechamiento no será posible. Por lo que, a continuación se presenta la hipótesis de una posible solución al usar equipos electrónicos de potencia que sin importar las condiciones iniciales del generador, tendrá la capacidad de optimizar la energía cinética disponibles, entregando a su salida toda la potencia eléctrica que pueda aprovechar en condiciones y parámetros ideales.

#### **5.3.1. Evaluación.**

Luego de todas estas consideraciones con la finalidad de dar una solución viable que facilite la optimización del caudal descargado, se plantea el uso de sistemas de control de regulación de velocidad variable por medio de mecanismos de variadores de frecuencia regenerativos.

Su principio se basa en el uso de sistemas electrónicos de potencia que aprovecha la energía de frenado; este tipo de equipo se caracteriza por su alto grado de adaptación a



distintos tipos y niveles de tensión y energía de entrada, mientras que a su salida permite aportar la potencia generada en condiciones ideales de tensión, y frecuencia, permitiendo compensar las variaciones cortas de carga, y así aportando con reactivos en la red.

A estos equipos en el mercado se lo pudo encontrar como convertidores regenerativos de frecuencia, de fabricación Suiza por la empresa ABB de tipo de serie ACS-800-17 como se observa en la tabla 43 que son unidades de alimentación activa, con fines de generación regenerativa ideal para este tipo de aplicación; el equipo que mejor presenta las siguientes características, se muestra en la figura 35.

- a) **Se ajusta a todo tipo de máquina de corriente alterna AC síncrono de imanes permanentes, de inducción de jaula de ardilla.**
- b) **Permite supervisar y ajustar las condiciones de generación a los parámetros de la red, así como su compensación en caso de requerir.**
- c) **Se ajusta de forma adecuada a cambios bruscos en la red.**
- d) **La modulación de frecuencia permite ajustar el nivel de par y velocidad del generador**
- e) **Está provisto de un sistema de frenado por medio de resistencias eléctricas que se ponen en cortocircuito al momento de salir de operación la máquina; que de lo contrario podrían ocasionar el riesgo de embalamiento y corrientes remanentes que puedan afectar el sistema y la máquina.**

Tabla 43. Convertidores de Frecuencia Regenerativos.

<b>Convertidores de Frecuencia Regenerativo</b>											
Especificaciones nominales		Uso sin Sobrecarga	Uso en Sobrecarga ligera		Uso en Sobrecarga		Nivel de ruido	Disipación de calor	Fluido de aire	código de tipo	Tamaño de bastidor
I Cont. max A	I <sub>max</sub> A	P <sub>con. max</sub> kW	I <sub>N</sub> A	P <sub>N</sub> kW	I <sub>hd</sub> A	P <sub>hd</sub> kW	dB(A)	W	m <sup>3</sup> /h		
UN=500v (rango 380 a 500V). Las potencias son válidas a tensión nominal (500 V)											
1313	1906	900	1261	900	982	710	77	36	6400	ACS800-17-1140-5	2xR8i
1528	2217	1120	1467	1120	1143	800	78	41	10240	ACS800-17-1330-5	2xR8i

Fuente: (ABB, 2013)



*Figura 35. Convertidores de Frecuencia Regenerativos.*

Fuente: (ABB, 2013)

### **Turbinas de tipo axial propeller + Generador asíncrono + Sistema de control de generación regenerativo.**

De acuerdo al funcionamiento de los sistemas de generación regenerativo, éste permite optimizar de forma adecuada el caudal que se descargaría de la presa, al mismo tiempo que se aprovechará en su totalidad la potencia hidráulica disponible.

De acuerdo a este criterio, la eficiencia de unidad de generación hidráulica estaría en función del nivel de columna de agua, por lo que el usar equipos hidráulicos Kaplan que permiten ajustar y compensar la variación del par aplicado en combinación de una máquina eléctrica síncrono, se podría obtener el mismo resultado con una turbina hidráulica de tipo axial Propeller y generador asíncrono de inducción de rotor de jaula de ardilla.

#### **5.4. Consideración de la propuesta**

En función de la evaluación técnica y económica, así como la consideración del riesgo económico se pudo considerar lo siguiente.

Propuesta 1, referente a las válvulas: la incorporación de un juego de válvulas de tipo de descarga sumergida presenta una solución ideal al momento de disipar la energía cinética del agua contenida al momento de liberar el caudal que será entregado de forma natural al inicio de la conducción Soldados.

Este tipo de válvula cumple además la función de regular el nivel de volumen de agua requerido al constar con un sistema de control que le permite ajustar la apertura del cilindro obturador hasta obtener el volumen de aguas deseado.

Este tipo de válvula no permite aprovechar la energía cinética disponible con fines de generación, aunque si brinda mayor garantía de despacho de agua para la Central Soldados, al tener una válvula en Stand By.

Propuesta 2, referente a la unidad de generación: la consideración de esta alternativa permite optimizar de forma adecuada el agua disponible. Económicamente el proyecto presenta ser viable, en cuanto a su implementación podrá generar en un rango muy variable supliendo la necesidad del consumo interno de energía además de aportar el excedente de generación a la red de distribución. Permite regular el caudal de descarga de la misma forma que haría el uso de válvulas, además su construcción no presenta mayor riesgo a la integridad física del proyecto.

La recuperación de la inversión del proyecto está destinada en un periodo no menor a 25 años.

## CAPÍTULO 6

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1. Conclusiones

- La primera propuesta (Capítulo 4; 4.1), usando válvulas de descarga sumergible, permitiría regular el caudal de despacho de manera confiable entregando el agua al canal sin energía. Si bien estos equipos disipan de manera satisfactoria el caudal, en sí no se aprovecha la energía existente al pie de presa.
- Con el fin de optimizar el recurso hídrico disponible al pie de presa, se consideró la implementación de una unidad de generación que facilita el auto consumo de energía destinado a los servicios auxiliares (SS.AA.) de una parte del proyecto, además de facilitar y regular el caudal de descarga de forma segura, convierte al proyecto al suplir sus necesidades en auto sustentable, además de obtener un ingreso económico aproximado de USD 30.207,28 por el excedente de producción de energía eléctrica.
- La implementación del sistema de generación de respaldo convencional, es una alternativa confiable que garantizará el funcionamiento continuo de las instalaciones y servicios auxiliares; sin embargo, una alternativa sustentable y de recuperación a largo plazo puede cumplir el mismo objetivo, sin poner en riesgo la seguridad de la presa además de evitar las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera.
- Por otra parte, el excedente de generación contribuirá a la red de distribución de energía al incrementar la disponibilidad del servicio y mejorar la confiabilidad del suministro eléctrico que será de beneficio del Proyecto y también un aporte de la energía eléctrica a la ciudadanía.
- Para ElecAustro, la implementación de tecnologías de generación hidroeléctrica económicamente representa una pequeña utilidad; por lo que, el beneficio que se puede obtener está destinado a recuperar la inversión a un largo plazo estimativo mayor a los 25 años.
- Las alternativas tecnológicas en la presa Quingoyacu permiten optimizar el recurso del agua de mejor manera, incrementando su potencial hídrico para la generación de energía eléctrica.
- El uso de sistemas de control de regulación de velocidad variable por medio de Convertidores de Frecuencia Regenerativos presenta una solución al momento de aprovechar al máximo todo recurso energético que se disponible, ajustándose de forma adecuada a las condiciones de operación de la presa.

- Por otra parte, la optimización de esta fuente de energía, está limitado únicamente al consumo propio, en cuanto al excedente de generación se tendrá que analizar de acuerdo a la norma IEEE 1547 que estudia la incorporación a los sistemas distribuidos.

## **6.2. Recomendaciones**

- Debido a un comportamiento extremadamente variable de caudal y columna de agua de operación en pequeñas centrales hidráulicas cuya característica de trabajo presenten dificultades, al aplicar métodos convencionales de aprovechamiento de energía.
- Por lo anterior se recomienda la incorporación de un sistema que permita el control de generación variable, al ajustar los niveles de voltaje y energía, que se toman de los bornes del generador para compensar y rectificar por medio de sistemas electrónicos de potencia, entregando a su salida en niveles nominales de voltaje y frecuencia como es el caso de los convertidores regenerativos.
- En las condiciones actuales del mercado eléctrico; se recomienda determinar el enfoque adecuado, que permita la implementación de nuevas fuentes de energía, inclusive para obtener una mayor rentabilidad.
- De acuerdo con el plan estratégico de ElecAustro; al implementar generación distribuida se recomienda utilizar el presente estudio, que puede servir de base para una factibilidad de aplicación en la Pequeña Central Quingoyacu, sin que produzca grandes utilidades económicos; se obtendrían beneficios ambientales y tecnológicos.

## Bibliografía

- Alcalde San Miguel, P. (2011). Electrotecnia . Madrid: Paraninfo. Recuperado el Noviembre de 2017
- Bonilla, E., & Ronquillo, R. (Abril de 2014). "Repotenciación de la Pequeña Central hidroeléctrica para una generación de energía en la Pequeña Central Hidroeléctrica ULBA en el cantón Baños".
- Campos Miranda, R., & Vasquez, J. (Agosto de 2017). Análisis técnico económico, diseño y evaluación experimental de la implementación de una turbina hidrocínética para generación eléctrica.
- Castro, A. (2006). Mini Centrales Hidroeléctricas. Recuperado el Noviembre de 2017, de Ministerio de Industria y Comercio:
- Cesel - Ingenieros. (2013). Estudios de Factibilidad y Diseños Definitivos del Proyecto Hidroeléctrico Soldados-Yanuncay. Cuenca: Agosto. Recuperado el Octubre de 2017
- Díaz Escobar, M., & Chavez Posada, Y. A. (2008). Propuesta de diseño de una Turbina Michel Banji en la PCH CUTUMAY CAMONES. Recuperado el Febrero de 2018
- Electro Generadora del Austro - Cesel Ingenieros. (Agosto de 2013). Diseño definitivo del Equipamiento Hidromecánico y Electromecánico de la presa Quingoyacu. Memoria Técnica, ElecAustro, Cuenca. Recuperado el Octubre de 2017
- Electro Generadora del Austro. (Agosto de 2013). Actualización del estudio de producción energética. Recuperado el Octubre de 2017
- Electro Generadora del Austro SA. (2013). Estudios de Factibilidad y estudios definitivos Proyecto Hidroeléctrico Soldados Yanuncay. Cuenca.
- Espinosa, M. (2010). Ingeniería de Presas de Escollera. Mendoza, Argentina: Ex-Libris.
- Fernandez F., J. (Septiembre de 2016). Central Hidroeléctrica de Rasines.
- Glenfield. (2017). Glenfield. Recuperado el 2017, de [www.glenfield.co.uk](http://www.glenfield.co.uk)
- Guia para el Desarrollo de una Pequeña Central Hidroléctrica. (2011).
- INATRA. (s.f.). Transformadores. Cuenca. Obtenido de <https://inatra.com>
- Intermediate Technology Development Group, ITDG-Perú. (1995). Manual de Mini y MicroCentrales Hidráulicas. Obtenido de Intermediate Technology Development Group, Perú.
- Landa Quimbita, F., & Llanganate Quinatoa, L. (2009). Escuela Politécnica del Ejército. Recuperado el Noviembre de 2017, de Diseño y Construcción de una Pico Central Hidroeléctrica utilizando una Turbina Michell Banki para Generación Eléctrica en el Sector de las Carmelitas Cantón Tena
- Matute Pinos , V. (Noviembre de 2014). Análisis de Factibilidad de Generación Eléctrica al pie de la presa de Chanlud. Recuperado el Octubre de 2017, de Universidad de Cuenca
- MEER - Electro Generadora del Austro. (Noviembre de 2014). Proyecto Múltiple Soldados-Yanuncay. Elec Austo. Recuperado el Octubre de 2017, de ElecAustro.
- MEER. (2014). Ministerio de Electricidad Y Energías Renovables. Recuperado el Noviembre de 2017, de Ministerio de Electricidad Y Energías Renovables
- Moscoso B., S. (2015). Alta Tensión (Primera ed.). Cuenca, Ecuador: Edunica UCACUE. Recuperado en Noviembre de 2017
- Muguerza, D. (2016). Micro Centrales Hidroeléctricas. Recuperado en Noviembre de 2017, de Universidad Nacional de NordEste

Navarro Ascencio , E., Jimenez García, E., Rappoport R., S., & Thoilliez Roano, B. (2017). Fundamentos de la Investigación y la Innovación Educativa (Primera Edición ed.). España: Universidad Internacional de La Rioja S.A.

OSSEBERGER. (2017). Hidráulica y Neumática S. A. Recuperado el 2017, de <http://www.hnsa.com.co/turbinas-ossberger/>

Ramirez C., R. (2015). Energía Eólica.

Ramirez Castaño, S. (2013). Redes de Distribución de Energía (Tercera Edición ed.). Manizales, Colombia: Universidad Nacional de Colombia. Recuperado en Noviembre de 2017

RITZ Instrument Transformers. (2014). Transformadores de Medida. Recuperado el Noviembre de 2017, de RITZ Instrument Transformers.

Salazar MARquez, M. (Noviembre de 2007). Estudio de factibilidad para el dimensionamiento e implementación de un generador y subestación elevadora para la Central Hidroeléctrica Sigchos. Recuperado en Octubre de 2017, de Universidad Politécnica Salesiana

Salto del Pirineo. (2017). Válvulas Mariposa. Recuperado en Octubre de 2017, de Salto del Pirineo.

Samsó, F. (2017). Motor Asíncrono. Recuperado en Noviembre de 2017, de Universidad Tecnológica Nacional de Argentina.

Trujillo D. , A., Bonilla S., J., Flor, L., & Vargas , N. (Mayo de 2017). Efectividad de un Programa de Estimulación cognitiva a través del arte en niños con problemas de aprendizaje: Un Estudio Piloto. INIE, 1-22.

UCJSC. (2013). Centrales Hidroeléctricas. Recuperado en Noviembre de 2017, de Universidad Centroamericana José Simeón Cañas.

Valle Farinango, J. R. (2013). Dimensionamiento del tanque de carga, tubería de presión, casa de máquinas y la descarga para la micro central hidroeléctrica en la estación científica amazónica juri juri kawsay de la Universidad Central del Ecuador. Recuperado en Diciembre de 2017, de Universidad Central del Ecuador.

## ANEXO 1

Tabla 44. Cálculo del alimentador proyectado de 6 km a 22 k por el que se evacua la potencia generada de la PCH Quingoyacu proyectada.

CÁLCULO DE LA CAÍDA DE TENSIÓN:	
$\Delta U = R * \left( \frac{P}{\sqrt{3} * U * \text{Cos}\phi} \right)^2$ <p> <math>\Delta U</math>: Caída de Tensión [V]                      P: med. 440.02 KW                      U: 22000 V                      Cos <math>\phi</math>: 0.90                      R: 0.773 <math>\Omega</math> </p>	$\Delta U = 1.55 * 10^{-3} * \left( \frac{440020}{\sqrt{3} * 22000 * 0.90} \right)^2$ <p> <math>\Delta U = 0.309</math> V                       Perdida en la línea: 0.35 % de su tensión nominal.                 </p>
$\Delta U = R * \left( \frac{P}{\sqrt{3} * U * \text{Cos}\phi} \right)^2$ <p> <math>\Delta U</math>: Caída de Tensión [V]                      P máx.: 745.30 KW                      U: 22000 V                      Cos <math>\phi</math>: 0.90                      R: 0.773 <math>\Omega</math> </p>	$\Delta U = 1.55 * 10^{-3} * \left( \frac{745300}{\sqrt{3} * 22000 * 0.90} \right)^2$ <p> <math>\Delta U = 1.01</math> V                       Perdida en la línea: 1.01 % de su tensión nominal.                 </p>

Fuente: Autor



Tabla 45. Caída de Tensión

DATOS				CARGA	LINEA			COMPUTO		
TRAMO		TRANSFORMAD	DD	No. DE	AMANC	FCV	KVA-Km	V (%)		
REF.	LONG(Km)	REF.	KVA	KVA	FASES	AWG	KVA-Km	PARCIAL	ACUMULADO	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
P0 - P1	0.00	CT-0	0.00	0.00	3F	1/0	2469	0.0	0.000	0.000
P1 - P2	0.15	CT-0	0.00	0.00	3F	1/0	2469	0.0	0.000	0.000
P2 - P3	0.15	CT-0	0.00	0.00	3F	1/0	2469	0.0	0.000	0.000
P3 - P4	0.15	CT-0	0.00	0.00	3F	1/0	2469	0.0	0.000	0.000
P4 - P5	0.15	CT-0	0.00	0.00	3F	1/0	2469	0.0	0.000	0.000
P5 - P6	0.12	CT-1	125.00	235.00	3F	1/0	2469	27.2	0.011	0.011
P6 - P7	0.18	CT-1	0.00	0.00	3F	1/0	2469	0.0	0.000	0.011
P7 - P8	0.05	CT-1	0.00	0.00	3F	1/0	2469	0.0	0.000	0.011
P8 - P9	0.18	CT-1	0.00	0.00	3F	1/0	2469	0.0	0.000	0.011
P9 - P10	0.07	CT-1	0.00	0.00	3F	1/0	2469	0.0	0.000	0.011
P10 - P11	0.09	CT-1	30.00	110.00	3F	1/0	2469	10.4	0.004	0.015
P11 - P12	0.16	CT-2	0.00	0.00	3F	1/0	2469	0.0	0.000	0.015
P12 - P13	0.15	CT-2	0.00	0.00	3F	1/0	2469	0.0	0.000	0.015
P13 - P14	0.15	CT-2	0.00	0.00	3F	1/0	2469	0.0	0.000	0.015
P14 - P15	0.14	CT-2	0.00	0.00	3F	1/0	2469	0.0	0.000	0.015
P15 - P16	0.09	CT-2	0.00	0.00	3F	1/0	2469	0.0	0.000	0.015
P16 - P17	0.06	CT-3	0.00	0.00	3F	1/0	2469	0.0	0.000	0.015
P17 - P18	0.14	CT-3	0.00	0.00	3F	1/0	2469	0.0	0.000	0.015
P18 - P19	0.14	CT-3	0.00	0.00	3F	1/0	2469	0.0	0.000	0.015
P19 - P20	0.18	CT-3	0.00	0.00	3F	1/0	2469	0.0	0.000	0.015
P20 - P21	0.09	CT-3	0.00	0.00	3F	1/0	2469	0.0	0.000	0.015
P21 - P22	0.13	CT-3	0.00	0.00	3F	1/0	2469	0.0	0.000	0.015
P22 - P23	0.13	CT-3	0.00	0.00	3F	1/0	2469	0.0	0.000	0.015
P23 - P24	0.09	CT-3	0.00	0.00	3F	1/0	2469	0.0	0.000	0.015
P24 - P25	0.13	CT-3	0.00	0.00	3F	1/0	2469	0.0	0.000	0.015
P25 - P26	0.18	CT-3	0.00	0.00	3F	1/0	2469	0.0	0.000	0.015
P26 - P27	0.12	CT-3	0.00	0.00	3F	1/0	2469	0.0	0.000	0.015
P27 - P28	0.10	CT-3	0.00	0.00	3F	1/0	2469	0.0	0.000	0.015
P28 - P29	0.10	CT-3	0.00	0.00	3F	1/0	2469	0.0	0.000	0.015
P29 - P30	0.12	CT-3	0.00	0.00	3F	1/0	2469	0.0	0.000	0.015
P30 - P31	0.05	CT-3	0.00	0.00	3F	1/0	2469	0.0	0.000	0.015
P31 - P32	0.12	CT-3	0.00	0.00	3F	1/0	2469	0.0	0.000	0.015
P32 - P33	0.16	CT-3	0.00	0.00	3F	1/0	2469	0.0	0.000	0.015
P33 - P34	0.11	CT-3	0.00	0.00	3F	1/0	2469	0.0	0.000	0.015
P34 - P35	0.18	CT-3	0.00	0.00	3F	1/0	2469	0.0	0.000	0.015
P35 - P36	0.22	CT-4	0.00	0.00	3F	1/0	2469	0.0	0.000	0.015
P36 - P37	0.15	CT-4	30.00	80.00	3F	1/0	2469	12.4	0.005	0.020
P37 - P38	0.13	CT-4	0.00	0.00	3F	1/0	2469	0.0	0.000	0.020
P38 - P39	0.10	CT-4	0.00	0.00	3F	1/0	2469	0.0	0.000	0.020
P39 - P40	0.15	CT-4	0.00	0.00	3F	1/0	2469	0.0	0.000	0.020
P40 - P41	0.17	CT-4	0.00	0.00	3F	1/0	2469	0.0	0.000	0.020
P41 - P42	0.18	CT-4	0.00	0.00	3F	1/0	2469	0.0	0.000	0.020
P42 - P43	0.14	CT-4	0.00	0.00	3F	1/0	2469	0.0	0.000	0.020
P43 - P44	0.18	CT-5	0.00	0.00	3F	1/0	2469	0.0	0.000	0.020
P44 - P45	0.18	CT-5	0.00	0.00	3F	1/0	2469	0.0	0.000	0.020
P45 - P46	0.19	CT-5	0.00	0.00	3F	1/0	2469	0.0	0.000	0.020
P46 - P47	0.19	CT-5	0.00	0.00	3F	1/0	2469	0.0	0.000	0.020
P47 - P48	0.07	CT-5	0.00	0.00	3F	1/0	2469	0.0	0.000	0.020
P48 - P49	0.13	CT-6	50.00	50.00	3F	1/0	2469	6.4	0.003	0.023
	6.46									

**NOTA:** CAIDA DE VOLTAJE (%): **0.023**

Fuente: CENTROSUR.

## ANEXO 2

Este anexo presenta la construcción de un tanque de disipación de descarga de agua provista por un juego de válvulas sumergida en un tanque disipador. Para esto se presenta el costo global que contempla la construcción de una cámara de válvulas, caseta de válvulas, provisión, instalación de dos válvulas sumergibles, Sistemas eléctricos y de control.

Tabla 46. Rubro Casa de válvulas.

CÁMARA DE VÁLVULAS	UNIDAD	CANT.	COSTO	TOTAL.	1 VALVULA
<b>Provisión cámara de válvulas</b>				<b>\$ 419,101.20</b>	<b>\$ 209,550.60</b>
Válvula sumergible Ø=1400 / 1000 mm y PN=6 bar	jgo	2.00	\$ 141,804.00	283,608.00	
Válvula mariposa Ø=1400 mm, PN =6 bar	und	2.00	\$ 60,529.83	121,059.66	
By Pass (2 válvulas compuertas Ø=4" y válvula reguladora Ø=4")	jgo	2.00	\$ 6,203.41	12,406.82	
Válvula compuerta Ø=300 mm	und	2.00	\$ 1,013.36	2,026.72	
<b>Varios</b>				<b>\$ 34,736.49</b>	<b>\$ 17,368.25</b>
Junta de desmontaje Ø=1400	und	2.00	\$ 7,461.12	14,922.24	
Viga carrilera (Incl. Trolley y Polipasto manual)	und	1.00	\$ 1,293.62	1,293.62	
Válvula de paso anular Ø=300 mm, PN=10 bar	und	1.00	\$ 18,520.63	18,520.63	
<b>Montaje cámara de válvulas</b>				<b>\$ 96,703.12</b>	<b>\$ 48,351.56</b>
Válvula sumergible Ø=1400 / 1000 mm y PN = 6 bar	und	2.00	\$ 32,305.60	64,611.20	
Válvula mariposa Ø=1400mm, PN = 6 bar	und	2.00	\$ 13,523.27	27,046.54	
By pass ( 2 Válvulas compuertas Ø=4" y válvula reguladora Ø=4"	und	2.00	\$ 938.57	1,877.14	
Válvula compuerta Ø=300 mm	und	2.00	\$ 223.64	447.28	
Válvula de paso anular Ø=300mm PN=10	und	1.00	\$ 2,720.96	2,720.96	
<b>Varios</b>				<b>\$ 34,736.49</b>	<b>\$ 17,368.25</b>
Junta de desmontaje Ø=1400	und	2.00	\$ 7,461.12	14,922.24	
Viga carrilera (Incl. Trolley y Polipasto manual)	und	1.00	\$ 1,293.62	1,293.62	
Válvula de paso anular Ø=300 mm, PN=10 bar	und	1.00	\$ 18,520.63	18,520.63	
<b>Movimiento de tierras</b>				<b>\$ 12,142.73</b>	<b>\$ -</b>
Excavación de plataforma en material común sin clasificar	m³	1,096.79	\$ 2.72	2,983.28	
Excavación de plataforma en material conglomerado	m³	487.46	\$ 4.01	1,953.37	
Excavación de plataforma en roca ripable	m³	731.20	\$ 6.96	5,086.85	
Excavación de plataforma en roca fija	m³	121.87	\$ 3.40	414.34	
Excavación estructural en material común sin clasificar	m³	162.67	\$ 3.64	592.60	
Excavación estructural en material conglomerado	m³	72.30	\$ 4.10	296.41	
Excavación estructural en roca ripable	m³	108.44	\$ 6.96	754.43	
Excavación estructural en roca fija	m³	18.07	\$ 3.40	61.45	
<b>Obras de Hormigón</b>				<b>\$ 110,372.03</b>	<b>\$ -</b>
Replanteo de hormigón f'c = 140 kg/cm2	m³	19.34	\$ 121.40	2,347.55	
Hormigón estructural f'c = 310 kg/cm2	m³	211.67	\$ 299.56	63,408.30	
Encofrado y desencofrado	m³	610.08	\$ 21.42	13,065.43	
Acero de refuerzo f'y = 4 200 kg/cm2	kg	14,039.28	\$ 2.25	31,550.75	
<b>CASETA VÁLVULAS</b>				<b>\$ 36,816.99</b>	<b>\$ 18,408.50</b>
<b>Obras de Hormigón</b>				<b>\$ 36,816.99</b>	<b>\$ 18,408.50</b>
Replanteo de hormigón f'c = 140 kg/cm2	m³	6.99	\$ 121.40	848.44	
Hormigón estructural f'c = 310 kg/cm2	m³	64.51	\$ 299.56	19,323.47	
Encofrado y desencofrado	m³	334.98	\$ 21.42	7,173.81	
Acero de refuerzo f'y = 4 200 kg/cm2	kg	2,250.77	\$ 2.25	5,058.20	
Puerta metálica	m²	15.00	\$ 220.92	3,313.75	
Ventana de aluminio	m²	2.50	\$ 137.21	343.04	
Vidrio doble transparente	m²	2.50	\$ 36.75	91.89	
Piso de cemento pulido	m²	45.71	\$ 14.53	664.39	
<b>ACUMULADO</b>				<b>\$ 744,609.05</b>	<b>\$ 311,047.15</b>
<b>IVA</b>				<b>89,353.09</b>	<b>37,325.66</b>
<b>TOTAL</b>				<b>833,962.14</b>	<b>348,372.80</b>

Fuente: ElecAustro.

### ANEXO 3

Tabla 47. Rubro Casa de Máquinas

CASA MÁQUINAS PEQUEÑA CENTRAL HIDROELÉCTRICA QUINGOYACU	UNIDAD	CANT.	COSTO	TOTAL.
<b>OBRAS CIVILES</b>				<b>99,566.94</b>
Paredes	m <sup>3</sup>	58.00	121.40	7,040.94
Hormigón estructural f'c = 310 kg/cm <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	96.76	299.56	28,985.21
Encofrado y desencofrado	m <sup>3</sup>	669.95	21.42	14,347.61
Cubierta Eternit (sin estructura)	m <sup>2</sup>	154.00	25.00	3,850.00
Acero	kg	9,003.08	2.25	20,232.80
Puerta metálica	m <sup>2</sup>	30.00	220.92	6,627.49
Ventana de aluminio	m <sup>2</sup>	100.00	137.21	13,721.48
Vidrio doble transparente	m <sup>2</sup>	90.00	36.75	3,307.91
Piso de cemento pulido	m <sup>2</sup>	100.00	14.53	1,453.50
<b>OBRAS ELÉCTRICAS BT</b>				<b>16,040.00</b>
Instalación y provisión del tablero principal de dist. y transf. Automática	glo	1.00	12,000.00	12,000.00
Instalación y provisión de tubería EMT para tomacorrientes	glo	1.00	85.00	85.00
Instalación y provisión de tomacorrientes normales	glo	10.00	45.00	450.00
Instalación y provisión de iluminación interior	glo	5.00	225.00	1,125.00
Instalación y provisión de iluminación exterior	glo	6.00	280.00	1,680.00
Instalación y provisión de iluminación de emergencia	glo	2.00	350.00	700.00
<b>EQUIPO DE GENERACIÓN HIDROMECAÁNICA</b>				<b>965,827.71</b>
Provisión y montaje de turbina kaplan,	glo	1.00	781,609.50	781,609.50
Provisión y montaje de generador asíncrono 745.30 KW				
Provisión y montaje de Unidad hidráulica de potencia (HPU.)				
Instalación y provisión del sistema de control				
Instalación y provisión del sistema de protección	glo	1.00	18,000.00	18,000.00
Unidad de generación regenerativa	1.00	1.00	160,000.00	160,000.00
Instalación y provisión del sistema de medición	glo	1.00	6,218.21	6,218.21
<b>RED DE EVACUACIÓN DE ENERGÍA</b>				<b>16,926.00</b>
Instalación y provisión de reconectores fin de línea ElecAustro	global	1.00	1,926.00	1,926.00
Instalación y provisión de herrajería	global	1.00	15,000.00	15,000.00
Instalación y provisión de postes				
Instalación y provisión de estructuras y tensores				
Perforación para erquir postes				
<b>SUMINISTRO, INSTALACIÓN EQUIPO SUBESTACIÓN</b>				<b>102,850.00</b>
Provisión y montaje de un transformador de 1000 kVA	global	1.00	28,000.00	28,000.00
Provisión e instalación de ductos para acometida en BT	global	1.00	700.00	700.00
Provisión e instalación de una acometida en BT al transformador de 1000	global	1.00	1,150.00	1,150.00
Provisión e instalación cabina de protección schneider M6M36	global	1.00	38,000.00	38,000.00
Puente grua (vigas, polipasto manual)	global	1.00	15,000.00	15,000.00
provisión e instalación equipos de protección y Sistema SCADA, con HMI	global	1.00	20,000.00	20,000.00
<b>(A) SUBTOTAL</b>				<b>1,201,210.65</b>
<b>(B) INDIRECTOS Y UTILIDAD 25 %</b>				<b>300,302.66</b>
<b>ACUMULADO = (A+B)</b>				<b>1,501,513.31</b>
<b>IVA</b>				<b>180,181.60</b>
<b>TOTAL</b>				<b>1,681,694.91</b>

Fuente: ElecAustro.

## ANEXO 4

A continuación, en este anexo se adjunta el costo por operación y mantenimiento que fueron considerados.

Tabla 48. Costo operación y mantenimiento.

<b>COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO</b>		
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>TOTAL AÑO</b>	<b>NO INCLUYE</b>
<b>CONTRATOS Y OTROS SERVICIOS</b>	<b>\$ 10,333.00</b>	-
servicio de transporte a la personal	\$ 2,088.00	NO
servicio agua, energía, teléfono	\$ 1,740.00	NO
subsistencia	\$ 4,649.00	NO
servicio de seguridad y vigilancia	\$ 1,856.00	NO
<b>PERSONAL.</b>	<b>\$ 55,222.68</b>	-
administración	\$ 396.00	NO
sueldos y Salarios	\$ 54,003.00	NO
sobretiempos recargos por jornada nocturna	\$ 823.68	NO
ropa de trabajo	\$ 928.00	NO
vacaciones	\$ 289.87	NO
<b>MATERIALES CASA DE MAQUINAS</b>	<b>\$ 1,716.44</b>	<b>\$ 1,716.44</b>
materiales casa de maquinas	\$ 326.00	SI
químico para centrales	\$ 275.00	NO
herramientas	\$ 379.00	SI
lubricantes para generación	\$ 396.00	SI
repuesto SCADA	\$ 300.00	NO
repuestos	\$ 615.44	SI
<b>SEGUROS GENERALES</b>	<b>\$ 10,422.42</b>	<b>\$ 10,422.42</b>
seguros ramos general	\$ 10,422.42	SI
<b>MANTENIMIENTO CENTRAL</b>	<b>\$ 1,079.10</b>	-
mantenimiento	\$ 3,000.00	NO
mantenimiento SCADA	\$ 89.10	NO
mantenimiento general	\$ 990.00	NO
<b>SUBTOTAL</b>	<b>\$ 78,773.64</b>	<b>\$ 12,138.86</b>
<b>IVA</b>	<b>\$ 9,452.84</b>	<b>\$ 1,456.66</b>
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 88,226.48</b>	<b>\$ 13,595.52</b>

Fuente: ElecAustro.

## ANEXO 5

Tabla 49. Consumo interno de los servicios auxiliares.

CARGO TARIFARIO MT CON DEMANDA HORARIA DIFERENCIADA											
CONSUMIDOR	Consumo Kwh al día	Consumo Kwh	L-V 08h00-18h00 \$ 0.08970	L-V 18h00-22h00 \$ 0.10370	L-V 22h00-08h00*S,D,F 18h00-22h00 \$ 0.05010	S,D,F 18h00-22h00 \$ 0.08970	monto (\$) día LV	monto (\$) feriado	monto (\$) mes	monto (\$) año	
SSAA. P Quingoyacu	78.64	3.28	2.94	1.36	1.64	1.18	\$ 5.94	1.176	133.43	\$ 1,601.13	
SSAA. Capt Galgal	23	0.95833333	0.859625	\$ 0.40	\$ 0.48	0.34385	\$ 1.74	0.344	39.02	\$ 1,170.71	
SSAA Tan C Soldados	23	0.95833333	0.859625	\$ 0.40	\$ 0.48	0.34385	\$ 1.74	0.344	39.02	\$ 1,170.71	
SSAA CH Soldados	493	20.5416667	18.425875	\$ 8.52068	\$ 10.29	7.37035	\$ 37.24	7.370	836.47	\$ 25,094.01	
SSAA Ishcayrumi	23	0.95833333	0.859625	\$ 0.40	\$ 0.48	0.34385	\$ 1.74	0.344	39.02	\$ 1,170.71	
Consumos Total		26.69							1086.97	\$ 30,207.28	

Fuente: Autor

## ANEXO 6

Tabla 50. Resumen análisis Económico (TIR - VAN).

1) CUADRO DE RESUMEN ANALISIS ECONOMICO (VAN -TIR) SIN RIESGO			
	\$US/kWh	TIR	VAN
1).	0.03390	6.10%	\$515,172.82
2).	<b>0.01647</b>	<b>0.00092%</b>	<b>-\$537,247.81</b>
3).	0.04080	7.98%	\$908,911.01

Fuente: Autor

**Primer Escenario Generación.**

Tabla 51. Cálculo de la tasa interna de retorno (TIR) y el Valor Actual Neto (VAN) con un costo medio ponderado de 3.4 cUS/KWh centavos para centrales eléctricas en general.

(TIR - VAN)				
SEGUNDO ESCENARIO				
TAZA DE DESCUENTO				3.37%
COSTO KILOVATIO HORA			COMERCIAL	\$ 0.034
Años	Ingreso por con Int de energía	Ingresos brutos	Oper y Mant	Ingresos Netos
0	-	-	-	<b>-\$1,681,694.91</b>
1	\$ 30,207.28	\$ 123,772.18	\$ 13,595.52	\$ 140,383.94
2	\$ 30,207.28	\$ 123,772.18	\$ 13,595.52	\$ 140,383.94
3	\$ 30,207.28	\$ 123,772.18	\$ 33,595.52	\$ 120,383.94
4	\$ 30,207.28	\$ 123,772.18	\$ 13,595.52	\$ 140,383.94
5	\$ 30,207.28	\$ 123,772.18	\$ 13,595.52	\$ 140,383.94
6	\$ 30,207.28	\$ 123,772.18	\$ 13,595.52	\$ 140,383.94
7	\$ 30,207.28	\$ 123,772.18	\$ 13,595.52	\$ 140,383.94
8	\$ 30,207.28	\$ 123,772.18	\$ 13,595.52	\$ 140,383.94
9	\$ 30,207.28	\$ 123,772.18	\$ 33,595.52	\$ 120,383.94
10	\$ 30,207.28	\$ 123,772.18	\$ 13,595.52	\$ 140,383.94
11	\$ 30,207.28	\$ 123,772.18	\$ 13,595.52	\$ 140,383.94
12	\$ 30,207.28	\$ 123,772.18	\$ 33,595.52	\$ 120,383.94
13	\$ 30,207.28	\$ 123,772.18	\$ 13,595.52	\$ 140,383.94
14	\$ 30,207.28	\$ 123,772.18	\$ 13,595.52	\$ 140,383.94
15	\$ 30,207.28	\$ 123,772.18	\$ 33,595.52	\$ 120,383.94
16	\$ 30,207.28	\$ 123,772.18	\$ 13,595.52	\$ 140,383.94
17	\$ 30,207.28	\$ 123,772.18	\$ 13,595.52	\$ 140,383.94
18	\$ 30,207.28	\$ 123,772.18	\$ 33,595.52	\$ 120,383.94
19	\$ 30,207.28	\$ 123,772.18	\$ 13,595.52	\$ 140,383.94
20	\$ 30,207.28	\$ 123,772.18	\$ 13,595.52	\$ 140,383.94
21	\$ 30,207.28	\$ 123,772.18	\$ 33,595.52	\$ 120,383.94
22	\$ 30,207.28	\$ 123,772.18	\$ 13,595.52	\$ 140,383.94
23	\$ 30,207.28	\$ 123,772.18	\$ 13,595.52	\$ 140,383.94
24	\$ 30,207.28	\$ 123,772.18	\$ 33,595.52	\$ 120,383.94
1).	TIR			6.1%
	VAN			\$515,172.82
	UTILIDAD			\$ 2,196,867.7342

Fuente: Autor

## Segundo Escenario.

Tabla 52. Cálculo de la tasa interna de retorno (TIR= 0) y el Valor Actual Neto (VAN).

(TIR - VAN)				
SEGUNDO ESCENARIO				
TAZA DE DESCUENTO				3.37%
COSTO KILOVATIO HORA			COMERCIAL	\$ 0.016
Años	Ingreso por con Int de energía	Ingresos brutos	Oper y Mant	Ingresos Netos
0	-	-	-	-\$1,681,694.91
1	\$ 30,207.28	\$ 60,095.25	\$ 13,595.52	\$ 76,707.01
2	\$ 30,207.28	\$ 60,095.25	\$ 13,595.52	\$ 76,707.01
3	\$ 30,207.28	\$ 60,095.25	\$ 33,595.52	\$ 56,707.01
4	\$ 30,207.28	\$ 60,095.25	\$ 13,595.52	\$ 76,707.01
5	\$ 30,207.28	\$ 60,095.25	\$ 13,595.52	\$ 76,707.01
6	\$ 30,207.28	\$ 60,095.25	\$ 33,595.52	\$ 56,707.01
7	\$ 30,207.28	\$ 60,095.25	\$ 13,595.52	\$ 76,707.01
8	\$ 30,207.28	\$ 60,095.25	\$ 13,595.52	\$ 76,707.01
9	\$ 30,207.28	\$ 60,095.25	\$ 33,595.52	\$ 56,707.01
10	\$ 30,207.28	\$ 60,095.25	\$ 13,595.52	\$ 76,707.01
11	\$ 30,207.28	\$ 60,095.25	\$ 13,595.52	\$ 76,707.01
12	\$ 30,207.28	\$ 60,095.25	\$ 33,595.52	\$ 56,707.01
13	\$ 30,207.28	\$ 60,095.25	\$ 13,595.52	\$ 76,707.01
14	\$ 30,207.28	\$ 60,095.25	\$ 13,595.52	\$ 76,707.01
15	\$ 30,207.28	\$ 60,095.25	\$ 33,595.52	\$ 56,707.01
16	\$ 30,207.28	\$ 60,095.25	\$ 13,595.52	\$ 76,707.01
17	\$ 30,207.28	\$ 60,095.25	\$ 13,595.52	\$ 76,707.01
18	\$ 30,207.28	\$ 60,095.25	\$ 33,595.52	\$ 56,707.01
19	\$ 30,207.28	\$ 60,095.25	\$ 13,595.52	\$ 76,707.01
20	\$ 30,207.28	\$ 60,095.25	\$ 13,595.52	\$ 76,707.01
21	\$ 30,207.28	\$ 60,095.25	\$ 33,595.52	\$ 56,707.01
22	\$ 30,207.28	\$ 60,095.25	\$ 13,595.52	\$ 76,707.01
23	\$ 30,207.28	\$ 60,095.25	\$ 13,595.52	\$ 76,707.01
24	\$ 30,207.28	\$ 60,095.25	\$ 33,595.52	\$ 56,707.01
2).	TIR			-0.003%
	VAN			-\$537,871.55
	UTILIDAD			\$1,143,823.36

Fuente: Autor

### Tercer Escenario.

Tabla 53. Cálculo de la tasa interna de retorno (TIR) y el Valor Actual Neto (VAN) con un costo medio de generación hidráulica de 4.08 cUS/KWh centavos de dólar.

(TIR - VAN)				
SEGUNDO ESCENARIO				
TAZA DE DESCUENTO				3.37%
COSTO KILOVATIO HORA			COMERCIAL	\$ 0.041
Años	Ingreso por con Int de energía	Ingresos brutos	Oper y Mant	Ingresos Netos
0	-	-	-	<b>-\$1,681,694.91</b>
1	\$ 30,207.28	\$ 148,964.75	\$13,595.52	\$ 165,576.51
2	\$ 30,207.28	\$ 148,964.75	\$ 13,595.52	\$ 165,576.51
3	\$ 30,207.28	\$ 148,964.75	\$ 33,595.52	\$ 145,576.51
4	\$ 30,207.28	\$ 148,964.75	\$ 13,595.52	\$ 165,576.51
5	\$ 30,207.28	\$ 148,964.75	\$ 13,595.52	\$ 165,576.51
6	\$ 30,207.28	\$ 148,964.75	\$ 33,595.52	\$ 145,576.51
7	\$ 30,207.28	\$ 148,964.75	\$ 13,595.52	\$ 165,576.51
8	\$ 30,207.28	\$ 148,964.75	\$ 13,595.52	\$ 165,576.51
9	\$ 30,207.28	\$ 148,964.75	\$ 33,595.52	\$ 145,576.51
10	\$ 30,207.28	\$ 148,964.75	\$ 13,595.52	\$ 165,576.51
11	\$ 30,207.28	\$ 148,964.75	\$ 13,595.52	\$ 165,576.51
12	\$ 30,207.28	\$ 148,964.75	\$ 33,595.52	\$ 145,576.51
13	\$ 30,207.28	\$ 148,964.75	\$ 13,595.52	\$ 165,576.51
14	\$ 30,207.28	\$ 148,964.75	\$ 13,595.52	\$ 165,576.51
15	\$ 30,207.28	\$ 148,964.75	\$ 33,595.52	\$ 145,576.51
16	\$ 30,207.28	\$ 148,964.75	\$ 13,595.52	\$ 165,576.51
17	\$ 30,207.28	\$ 148,964.75	\$ 13,595.52	\$ 165,576.51
18	\$ 30,207.28	\$ 148,964.75	\$ 33,595.52	\$ 145,576.51
19	\$ 30,207.28	\$ 148,964.75	\$ 13,595.52	\$ 165,576.51
20	\$ 30,207.28	\$ 148,964.75	\$ 13,595.52	\$ 165,576.51
21	\$ 30,207.28	\$ 148,964.75	\$ 33,595.52	\$ 145,576.51
22	\$ 30,207.28	\$ 148,964.75	\$ 13,595.52	\$ 165,576.51
23	\$ 30,207.28	\$ 148,964.75	\$ 13,595.52	\$ 165,576.51
24	\$ 30,207.28	\$ 148,964.75	\$ 33,595.52	\$ 145,576.51
3).	TIR			7.977%
	VAN			\$908,911.01
	UTILIDAD			<b>-\$772,783.90</b>

Fuente: Autor



## Valoración de los Indicadores Financiero con el Riesgo.

Tabla 54. Resumen análisis Económico (TIR - VAN) con riesgo

2). CUADRO DE RESUMEN ANALISIS ECONOMICO (VAN -TIR) CON RIESGO			
	\$US/kWh	TIR	VAN
4)	0.0331	5.46%	\$389,012.94
5)	0.0175	0.00%	<b>-\$537,354.91</b>
6)	<b>0.0408</b>	<b>7.69%</b>	<b>\$846,695.76</b>

Fuente: Autor

### Cuarto Escenario.

Tabla 55. Cálculo de la tasa interna de retorno (TIR) y el Valor Actual Neto (VAN) con un costo medio ponderado de 3.4 cUS/KWh centavos para centrales eléctricas en general, con la valoración del riesgo.

(TIR - VAN)				
PRIMER ESCENARIO				
Tasa de descuento				3.37%
Costo medio de generación (cUSD/KWh)				0.033
Años	Ingreso por con Int de energía	Ingresos brutos	Oper y Mant + Riesgo	Ingresos Netos
0		-	-	<b>-\$1,681,694.91</b>
1	\$ 30,207.28	\$ 120,851.30	\$17,417.13	\$ 133,641.45
2	\$ 30,207.28	\$ 120,851.30	\$17,417.13	\$ 133,641.45
3	\$ 30,207.28	\$ 120,851.30	\$37,417.13	\$ 113,641.45
4	\$ 30,207.28	\$ 120,851.30	\$17,417.13	\$ 133,641.45
5	\$ 30,207.28	\$ 120,851.30	\$17,417.13	\$ 133,641.45
6	\$ 30,207.28	\$ 120,851.30	\$37,417.13	\$ 113,641.45
7	\$ 30,207.28	\$ 120,851.30	\$17,417.13	\$ 133,641.45
8	\$ 30,207.28	\$ 120,851.30	\$17,417.13	\$ 133,641.45
9	\$ 30,207.28	\$ 120,851.30	\$37,417.13	\$ 113,641.45
10	\$ 30,207.28	\$ 120,851.30	\$17,417.13	\$ 133,641.45
11	\$ 30,207.28	\$ 120,851.30	\$17,417.13	\$ 133,641.45
12	\$ 30,207.28	\$ 120,851.30	\$37,417.13	\$ 113,641.45
13	\$ 30,207.28	\$ 120,851.30	\$17,417.13	\$ 133,641.45
14	\$ 30,207.28	\$ 120,851.30	\$17,417.13	\$ 133,641.45
15	\$ 30,207.28	\$ 120,851.30	\$37,417.13	\$ 113,641.45
16	\$ 30,207.28	\$ 120,851.30	\$17,417.13	\$ 133,641.45
17	\$ 30,207.28	\$ 120,851.30	\$17,417.13	\$ 133,641.45
18	\$ 30,207.28	\$ 120,851.30	\$37,417.13	\$ 113,641.45
19	\$ 30,207.28	\$ 120,851.30	\$17,417.13	\$ 133,641.45
20	\$ 30,207.28	\$ 120,851.30	\$17,417.13	\$ 133,641.45
21	\$ 30,207.28	\$ 120,851.30	\$37,417.13	\$ 113,641.45
22	\$ 30,207.28	\$ 120,851.30	\$17,417.13	\$ 133,641.45
23	\$ 30,207.28	\$ 120,851.30	\$17,417.13	\$ 133,641.45
24	\$ 30,207.28	\$ 120,851.30	\$37,417.13	\$ 113,641.45
4).	TIR		5.46%	
	VAN		\$389,012.94	
	UTILIDAD		\$ 2,070,707.85	

Fuente: Autor

## Quinto Escenario.

Tabla 56. Cálculo de la tasa interna de retorno (TIR= 0) y el Valor Actual Neto (VAN) incluye la valoración del riesgo

(TIR - VAN)				
PRIMER ESCENARIO				
COSTO POR KW INSTALADO		TAZA DE DESCUENTO		3.37%
COSTO KILOVATIO HORA		COMERCIAL		\$ 0.018
Años	Ingreso por con Int de energía	Ingresos brutos	Oper y Mant + Riesgo	Ingresos Netos
0		-	-	<b>-\$1,681,694.91</b>
1	\$ 30,207.28	\$ 63,948.59	\$17,417.13	\$ 76,738.74
2	\$ 30,207.28	\$ 63,948.59	\$17,417.13	\$ 76,738.74
3	\$ 30,207.28	\$ 63,948.59	\$37,417.13	\$ 56,738.74
4	\$ 30,207.28	\$ 63,948.59	\$17,417.13	\$ 76,738.74
5	\$ 30,207.28	\$ 63,948.59	\$17,417.13	\$ 76,738.74
6	\$ 30,207.28	\$ 63,948.59	\$37,417.13	\$ 56,738.74
7	\$ 30,207.28	\$ 63,948.59	\$17,417.13	\$ 76,738.74
8	\$ 30,207.28	\$ 63,948.59	\$17,417.13	\$ 76,738.74
9	\$ 30,207.28	\$ 63,948.59	\$37,417.13	\$ 56,738.74
10	\$ 30,207.28	\$ 63,948.59	\$17,417.13	\$ 76,738.74
11	\$ 30,207.28	\$ 63,948.59	\$17,417.13	\$ 76,738.74
12	\$ 30,207.28	\$ 63,948.59	\$37,417.13	\$ 56,738.74
13	\$ 30,207.28	\$ 63,948.59	\$17,417.13	\$ 76,738.74
14	\$ 30,207.28	\$ 63,948.59	\$17,417.13	\$ 76,738.74
15	\$ 30,207.28	\$ 63,948.59	\$37,417.13	\$ 56,738.74
16	\$ 30,207.28	\$ 63,948.59	\$17,417.13	\$ 76,738.74
17	\$ 30,207.28	\$ 63,948.59	\$17,417.13	\$ 76,738.74
18	\$ 30,207.28	\$ 63,948.59	\$37,417.13	\$ 56,738.74
19	\$ 30,207.28	\$ 63,948.59	\$17,417.13	\$ 76,738.74
20	\$ 30,207.28	\$ 63,948.59	\$17,417.13	\$ 76,738.74
21	\$ 30,207.28	\$ 63,948.59	\$37,417.13	\$ 56,738.74
22	\$ 30,207.28	\$ 63,948.59	\$17,417.13	\$ 76,738.74
23	\$ 30,207.28	\$ 63,948.59	\$17,417.13	\$ 76,738.74
24	\$ 30,207.28	\$ 63,948.59	\$37,417.13	\$ 56,738.74
5).		TIR		0.000%
		VAN		<b>-\$537,354.91</b>
		UTILIDAD		\$1,144,340.00

Fuente: Autor

## Sexto Escenario.

Tabla 57. Cálculo de la tasa interna de retorno (TIR) y el Valor Actual Neto (VAN) con un costo medio de generación hidráulica de 4.08 cUS/KWh centavos de dólar, se incluye el valor del riesgo.

(TIR - VAN)				
PRIMER ESCENARIO				
TAZA DE DESCUENTO				3.37%
COSTO KILOVATIO HORA			COMERCIAL	\$ 0.041
Años	Ingreso por con Int de energía	Ingresos brutos	Oper y Mant + Riesgo	Ingresos Netos
0		-	-	<b>-\$1,681,694.91</b>
1	\$ 30,207.28	\$ 148,964.75	\$17,417.13	\$ 161,754.90
2	\$ 30,207.28	\$ 148,964.75	\$17,417.13	\$ 161,754.90
3	\$ 30,207.28	\$ 148,964.75	\$37,417.13	\$ 141,754.90
4	\$ 30,207.28	\$ 148,964.75	\$17,417.13	\$ 161,754.90
5	\$ 30,207.28	\$ 148,964.75	\$17,417.13	\$ 161,754.90
6	\$ 30,207.28	\$ 148,964.75	\$37,417.13	\$ 141,754.90
7	\$ 30,207.28	\$ 148,964.75	\$17,417.13	\$ 161,754.90
8	\$ 30,207.28	\$ 148,964.75	\$17,417.13	\$ 161,754.90
9	\$ 30,207.28	\$ 148,964.75	\$37,417.13	\$ 141,754.90
10	\$ 30,207.28	\$ 148,964.75	\$17,417.13	\$ 161,754.90
11	\$ 30,207.28	\$ 148,964.75	\$17,417.13	\$ 161,754.90
12	\$ 30,207.28	\$ 148,964.75	\$37,417.13	\$ 141,754.90
13	\$ 30,207.28	\$ 148,964.75	\$17,417.13	\$ 161,754.90
14	\$ 30,207.28	\$ 148,964.75	\$17,417.13	\$ 161,754.90
15	\$ 30,207.28	\$ 148,964.75	\$37,417.13	\$ 141,754.90
16	\$ 30,207.28	\$ 148,964.75	\$17,417.13	\$ 161,754.90
17	\$ 30,207.28	\$ 148,964.75	\$17,417.13	\$ 161,754.90
18	\$ 30,207.28	\$ 148,964.75	\$37,417.13	\$ 141,754.90
19	\$ 30,207.28	\$ 148,964.75	\$17,417.13	\$ 161,754.90
20	\$ 30,207.28	\$ 148,964.75	\$17,417.13	\$ 161,754.90
21	\$ 30,207.28	\$ 148,964.75	\$37,417.13	\$ 141,754.90
22	\$ 30,207.28	\$ 148,964.75	\$17,417.13	\$ 161,754.90
23	\$ 30,207.28	\$ 148,964.75	\$17,417.13	\$ 161,754.90
24	\$ 30,207.28	\$ 148,964.75	\$37,417.13	\$ 141,754.90
6).		TIR		7.69%
		VAN		\$846,695.76
		UTILIDAD		\$2,528,390.67

Fuente: Autor

**ANEXO 7**

Tabla 58. Matriz de riesgo de PCH Quingoyacu.

Factores de Riesgo Económicos Asociados a eventualidades de falla en la Pequeña Central Hidroeléctrica Quingoyacu.														
Identificación del Riesgo	Que se desea analizar?	Valoración						Indisponibilidad				Contingencia		
		Factor de riesgo	(p)	Evento	Equipo afectados	Impacto	Riesgo Residual (p x I)	(t) hora	\$ No generación Soldados	\$ No generación Quingoyacu		valoracion de la contingencia		
Casa de Maquinas PCH Quingoyacu.	El riesgo económico en función de la indisponibilidad de generación ocasionado por factores físicos y causas asociadas por un mal manejo en los procesos.	T é c n i c o	Daños por desperfectos eléctrico.	0.04	Sobrecalentamiento, deterioro del aislamiento de los devanados estatoricos del generador.	Generador	4	0.16	8	3335.27	18.09	9	21.77	37,517.26
			Daños por desperfectos mecánicos	0.05	Deterioro en las partes móviles por sobreesfuerzos físico, fatiga del material, Trizadura.	Rodete	4	0.20	5	2605.68	14.13	7	17.01	28,137.94
			Falla en el sistemas Informáticos.	0.09	Perdida de comunicación, supervisión y control de la casa de máquina con el sistema SCADA.	Sistema SCADA	2	0.18	1	469.02	2.54	1	3.06	0
			Falta de trabajos periódicos de mantenimiento.	0.06	Desgaste de las partes móviles por fricción y sobrecalentamiento, ocasionando el remplazo de los componentes mucho antes de la vida útil.	Cojinetes del generador	3	0.18	3	1407.07	7.63	4	9.18	2,110.35
		N o T é c n i c o	Falta de capacitación del personal.	0.04	Actuación indebida en los procesos protocolarios de maniobra ocasionando la Salida de operación de la unidad de generación.	Casa de máquinas	3	0.12	0.3	93.80	0.51	0	0.61	0
			Operación negligente.	0.05	Limitada capacidad de reacción por los efectos de fatiga y cansancio, que podría desencadenar una serie de errores limitando la generación.	Casa de máquinas	2	0.10	0.3	78.17	0.42	0	0.51	0
			Respuesta inoportuna al suscitar una falla.	0.1	Se Generar bajo una condición de señal de falla puede desencadenar una serie de inconvenientes relacionados que obliguen al salir de funcionamiento al no existir una respuesta oportuna.	Unidad de generación	2	0.20	0.15	78.17	0.42	0	0.51	0
			Presencia de personal no autorizado en las instalaciones.	0.07	Posible riesgo de siniestro por electrocución, mínimas pérdidas materiales por electrocución.	Unidad de generación	3	0.21	0.3	164.16	0.89	0	1.07	2100
Perfil de Riesgo						0.17	18.05	8231.34	44.63	22.24	53.72	69,865.54		

Fuente: Autor

Factores de Riesgo Económicos Asociados a la limitación del caudal de descarga bajo condición de falla de la válvula											
Identificación del Riesgo	Que se desea analizar?	Valoración						Indisponibilidad		Contingencia	
		Factor de riesgo	(p)	Evento	Equipo afectados	Impacto	Riesgo Residual	(t) hora	\$ No generación Soldados	valoración de la contingencia	
Válvulas de disipación de caudal	El riesgo económico en función de la indisponibilidad descarga del caudal requerido para la generación de la CH Soldados, por efecto de factores físicos técnicos y humanos.	T é c n i c o	daño por limitada capacidad de regulación del caudal de descarga	0	fallo de unidades de actuación electromecánica, limita la capacidad regulación del caudal de descarga de presa.	Unidad de actuación.	2	0.01	0.3	7.82	141.8
			fallo en la regulación del volumen de descarga.	0	Incertidumbre del caudal descargado a causa de avería en los sensores de nivel y presión de agua alojados en la válvula.	Sensores de presión, caudal, nivel	2	0.02	0.05	2.35	270
			fallo por sobrefuerzo físico	0	fallo de la válvula por agrietamiento, trizadura por sobrefuerzo físico	trizadura en las paredes de la válvula	3	0	720	1125.65	4.25
			Daños ocasionados por una operación incorrecta de la válvula.	0	Fallo de la válvula por el cierres inadecuado ocasionando sobrefuerzos físicos generando golpes de ariete al limitar del paso de agua de forma brusca.	Rizadura en las paredes de la válvula	3	0	5	7.82	4.25
Perfil de Riesgo							0.01	725.4	1143.63	420.31	

Fuente: Autor

Factores de Riesgo Económicos Asociado a la imposibilidad de evacuación de la energía generada por la red de Distribución.														
Identificación del Riesgo	Que se desea analizar?	Valoración							Indisponibilidad				Contingencia	
		Factor de riesgo	(p)	Evento	Equipo afectados	Impacto	Riesgo Residual	(t) hora	\$ No generación Soldados	\$ No generación Quingoyacu		valoracion de la contingencia		
Red de evacuación de energía	El riesgo económico en función de la indisponibilidad de evacuación de energía a causa de factores físicos de tipo técnico	T é c n i c o	Daños por descarga eléctricas de tipo atmosférica.	0	fallo en el sistema de potencia por sobretensiones transitorias de tipo impulso	Transformador	3	0.12	0.05	15.63	0.1	0	0.1	3,360.00
			Fallas asociadas a la conexión y desconexión de cargas eléctricas de tipo inductivo en la red.	0	Ocasiona un cambio brusco transitorio en una red, dando como efecto el incremento secuencial de tensión	transformador convertidor regenerativo IGBT	1	0.02	0.05	2.61	0	0	0	3,196.96
			Daño en la estructura de soporte de la red de distribución	0	Contribuye a fallas de cortocircuito directo entre fases.	Red de distribución	3	0.09	3	703.53	3.8	1.9	4.6	1,350.00
Perfil de Riesgo							0.08	3.1	721.77	3.9	1.9	4.7	7,906.96	

Fuente: Autor

## ANEXO 8

Figura 36. Especificaciones técnicas de los convertidores de frecuencia regenerativo ACS-800-17

ACS800-17

ACS800 - 17 - XXXX - 3  
5 + XXXX

Especificaciones nominales		Uso sin sobrecarga	Uso en sobrecarga ligera		Uso en trabajo pesado		Nivel de ruido	Disipación de calor	Flujo de aire	Código de tipo	Tamaño de bastidor
$I_{cont. max}$ A	$I_{max}$ A	$P_{cont. max}$ kW	$I_N$ A	$P_N$ kW	$I_{hd}$ A	$P_{hd}$ kW	dB(A)	W	m <sup>3</sup> /h		
<b><math>U_N = 400</math> V (rango 380 a 415 V). Las potencias son válidas a tensión nominal (400 V).</b>											
120	168	55	114	55	88	45	73	1,8	500	ACSa00-17-0060-3	R6
150	234	75	142	75	117	55	73	2,4	500	ACSa00-17-0070-3	R6
165	264	90	157	75	132	75	73	2,8	500	ACSa00-17-0100-3	R6
202	293	110	194	90	151	75	74	6	1300	ACSa00-17-0140-3	R7i
250	353	132	240	132	187	90	74	7	1300	ACSa00-17-0170-3	R7i
292	400	160	280	160	218	110	75	7	3160	ACSa00-17-0210-3	R8i
370	506	200	355	200	277	132	75	9	3160	ACSa00-17-0260-3	R8i
469	642	250	450	250	351	200	75	11	3160	ACSa00-17-0320-3	R8i
565	773	315	542	315	423	250	75	14	3160	ACSa00-17-0390-3	R8i
704	963	400	675	355	526	250	75	19	3160	ACSa00-17-0490-3	R8i
919	1258	500	882	500	688	355	77	22	6400	ACSa00-17-0640-3	2xR8i
1111	1521	630	1067	630	831	450	77	28	6400	ACSa00-17-0770-3	2xR8i
1379	1888	800	1324	710	1031	560	77	36	6400	ACSa00-17-0960-3	2xR8i
1535	2102	900	1474	800	1149	630	78	39	10240	ACSa00-17-1070-3	3xR8i
1978	2707	1200	1899	1100	1479	800	78	51	10240	ACSa00-17-1370-3	3xR8i
2610	3573	1600	2506	1400	1953	1100	79	67	12800	ACSa00-17-1810-3	4xR8i
<b><math>U_N = 500</math> V (rango 380 a 500 V). Las potencias son válidas a tensión nominal (500 V).</b>											
120	168	75	114	75	88	55	73	2,4	500	ACSa00-17-0070-5	R6
139	234	90	132	90	114	75	73	2,8	500	ACSa00-17-0100-5	R6
156	264	110	148 <sup>1)</sup>	90	125	75	73	3,4	500	ACSa00-17-0120-5	R6
200	291	132	192	132	150	90	74	6	1300	ACSa00-17-0170-5	R7i
245	356	160	235 <sup>2)</sup>	160	183	110	74	8	1300	ACSa00-17-0210-5	R7i
302	438	200	289 <sup>3)</sup>	200	226	132	75	8	3160	ACSa00-17-0260-5	R8i
365	530	250	350 <sup>4)</sup>	250	273	160	75	10	3160	ACSa00-17-0320-5	R8i
455	660	315	437	315	340	200	75	12	3160	ACSa00-17-0400-5	R8i
525	762	355	504	355	393	250	75	14	3160	ACSa00-17-0460-5	R8i
595	863	400	571	400	445	315	75	16	3160	ACSa00-17-0510-5	R8i
670	972	500	643	450	501	315	75	19	3160	ACSa00-17-0580-5	R8i
892	1294	630	856	630	657	450	77	24	6400	ACSa00-17-0780-5	2xR8i
1005	1458	710	965	630	752	500	77	28	6400	ACSa00-17-0870-5	2xR8i
1313	1906	900	1261	900	982	710	77	36	6400	ACSa00-17-1140-5	2xR8i
1528	2217	1120	1467	1120	1143	800	78	41	10240	ACSa00-17-1330-5	3xR8i
1884	2734	1400	1809	1300	1409	1000	78	52	10240	ACSa00-17-1640-5	3xR8i
2486	3608	1800	2387	1700	1860	1300	79	68	12800	ACSa00-17-2160-5	4xR8i

Notas:

Fuente: (ABB, 2013)

Figura 37. Descripción de las especificaciones técnicas de nomenclatura.

<b>Especificaciones nominales:</b>	
$I_{cont,max}$	Intensidad nominal disponible continuamente sin capacidad de sobrecarga a 40 °C.
$I_{max}$	Intensidad de salida máxima. Disponible durante 10 segundos durante el arranque; en caso contrario, mientras lo permita la temperatura del convertidor. Nota: la potencia máx. del eje motor es de 150% $P_{hd}$ .
<b>Especificaciones típicas: Uso sin sobrecarga</b>	
$P_{cont,max}$	Potencia típica del motor en uso sin sobrecarga.
<b>Uso en sobrecarga ligera</b>	
$I_N$	Corriente continua que admite el 110% $I_N$ durante 1/5 minutos a 40 °C.
$P_N$	Potencia típica del motor en uso en sobrecarga ligera.
<b>Uso en trabajo pesado</b>	
$I_{hd}$	Corriente continua que admite el 150% $I_{hd}$ durante 1/5 minutos a 40 °C.
$P_{hd}$	Potencia típica del motor durante el uso en trabajo pesado.
Las especificaciones de corriente son idénticas con independencia de la tensión de alimentación dentro del mismo intervalo de tensiones.	
Estas especificaciones son válidas a una temperatura ambiente de 40 °C. A temperaturas superiores (hasta 50 °C) el derrateo es del 1% / 1 °C.	
Para conocer la gama y las especificaciones de los filtros senoidales, contacte con ABB.	

Fuente: (ABB, 2013)





## PERMISO DEL AUTOR DE TESIS PARA SUBIR AL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Yo, **Luis Miguel Bernal Ordoñez** portador(a) de la cédula de ciudadanía N° 0105773790. En calidad de autor/a y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación “**Análisis de alternativas para la disipación de energía a pie de presa Quingoyacu**” de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, Así mismo; autorizo a la Universidad para que realice la publicación de éste trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 05 de julio de 2018

F: .....

