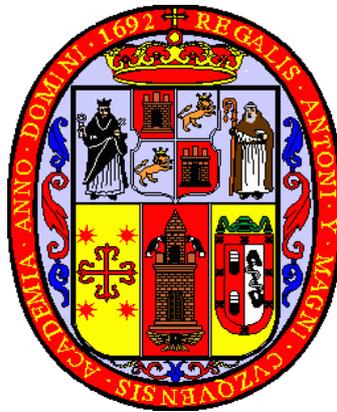


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO**

**FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA, ELECTRONICA,  
INFORMATICA Y MECÁNICA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECÁNICA**



**TESIS**

**REPONTENCIAMIENTO DE LA MINI CENTRAL HIDROELECTRICA  
DE PUMACHACA PARA UNA POTENCIA ELÉCTRICA DE 600 KW  
EN LA PROVINCIA DE PAUCARTAMBO CUSCO**

**PRESENTADO POR:**

**BR. FERNANDO JAVIER BERRIO YABAR**

**PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL  
DE INGENIERO MECÁNICO**

**ASESOR:**

**DR. EDGAR ALFREDO CATAORA**

**ACEVEDO.**

**CUSCO – PERÚ**

**2024**

## INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro. CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe, Asesor del trabajo de investigación/tesis titulada: REPOTENCIAMIENTO DE LA MINICENTRAL HIDROELECTRICA DE PUMACHACA PARA UNA POTENCIA ELECTRICA DE 600 KW EN LA PROVINCIA DE PAUCARTAMBO CUSCO

presentado por: FERNANDO JAVIER BERRIO YABAR con DNI Nro.: 43649120 presentado por: ..... con DNI Nro.: ..... para optar el título profesional/grado académico de INGENIERO MECÁNICO

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 3 veces, mediante el Software Antiplagio, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 3 %.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No se considera plagio.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las correcciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto la primera página del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, 27 de Febrero de 2024

  
Firma  
Post firma Edgar Alfredo Catacora Acevedo

Nro. de DNI 23983057

ORCID del Asesor 0000-0001-6182-9814 ✓

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: oid: 27259:334535607

NOMBRE DEL TRABAJO

**REPOTENCIAMIENTO DE LA MINI CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE PUMACHACA PARA UNA POTENCIA ELÉCTRICA DE 60 0 K**

AUTOR

**FERNANDO JAVIER BERRIO YABAR**

RECUENTO DE PALABRAS

**36221 Words**

RECUENTO DE CARACTERES

**187468 Characters**

RECUENTO DE PÁGINAS

**179 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**15.0MB**

FECHA DE ENTREGA

**Feb 23, 2024 1:44 PM GMT-5**

FECHA DEL INFORME

**Feb 23, 2024 1:46 PM GMT-5**

### ● 3% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 2% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 2% Base de datos de trabajos entregados
- 0% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

### ● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 15 palabras)



## DEDICATORIA

*A mis pequeñas: Micaela y Valentina, que son las personas más importantes de mi vida y que sin saberlo fueron quienes más fuerzas me dieron.*

*A mi madre, mi padre y mis hermanos que nunca dejaron de apoyarme.*

*Al Sr. Yábar que, estoy seguro, está feliz y a todas mis mamás y tíos.*

## **AGRADECIMIENTO**

Gracias a mis pequeñas, que sin saberlo son la fuente de energía más grande que mi corazón conoce.

A mis padres y hermanos, que siempre están ahí, donde y cuando se les necesita.

A toda mi familia, que con cariño siempre me empujaron a no dejar esto a medias.

A mi asesor y amigo, gracias por la paciencia y todo el apoyo.

## PRESENTACIÓN

El Perú es un país con una gran diversidad de ecosistemas, comenzando con el rico y generoso mar y los fructíferos desiertos del litoral, ascendiendo a una sierra poseedora de muchos valles y montañas, hasta llegar a una selva húmeda y llena de vida, en este trayecto los andes tienen una gran importancia, siendo el inicio de muchos ríos que son los gestores de toda esta diversidad y vida.

En la ruta, siempre descendente, de estos ríos además de dejar vida, nos dejan también la oportunidad de desarrollo, a través de las caídas de agua y desniveles generados en sus recorridos. Esta oportunidad ofrecida por la naturaleza, podría hacer que el desarrollo, que tanto esperamos, esté más cerca de lo que pensamos, siempre mediante el uso responsable de nuestros recursos en una forma harto conocida por la humanidad desde ya hace algún tiempo: el aprovechamiento de la energía hidráulica.

Con una adecuada gestión y aplicando la ingeniería en todas sus disciplinas podríamos proporcionar energía a cada rincón de nuestro país, y con esto poner al alcance de todos, la oportunidad de mejor educación, acceso a información, desarrollo técnico, seguridad, etc y todo lo que hasta el momento formaba parte de los sueños de muchos compatriotas en los lugares más alejados del país.

El desarrollo de este proyecto aprovecha la oportunidad de desarrollo presente en una central olvidada y descuidada, que se encuentra en un entorno que ofrece las posibilidades de hacer viable el repotenciamiento de la misma.

## RESUMEN

La Minicentral hidroeléctrica de Pumachaca, ubicada en el distrito de Paucartambo de la provincia del mismo nombre, en el departamento de Cusco, se encuentra en funcionamiento desde el año 1985, en forma continua y por no haber recibido el mantenimiento adecuado, la necesidad de intervención es más que evidente.

El objetivo principal del proyecto es realizar un estudio técnico económico para el repotenciamiento de la MCH de Pumachaca. Al realizar el análisis de lo que el objetivo implica, se van respondiendo preguntas más específicas que a medida que van siendo contestadas, nos permiten ver la aplicación de las ramas de la ingeniería, poniendo énfasis en los temas pertenecientes a la mecánica.

Después de analizar el estado de las instalaciones y proponer los cambios necesarios para el aumento de la producción de energía en la minicentral se encuentra que el proyecto de repotenciamiento y rehabilitación es viable y muy ventajoso en muchos aspectos.

El proyecto desarrollado en este trabajo se enfoca en el diseño y cálculo de los componentes mecánicos, las demás ramas de la ingeniería podrían avocarse a darle mayor profundidad a los temas que han quedado descritos y tocados en forma superficial.

### **Palabras clave**

Mini central hidroeléctrica, tubería de presión, turbina Pelton, repotenciamiento.

## **ABSTRACT**

The mini hydroelectrical plant of Pumachaca (MCH Pumachaca) is located in the district of Paucartambo, in the province of the same name, in the region of Cusco. It has been working continuously since 1985 and since it has not been maintained appropriately, the need to intervene has become more than evident.

The main objective of this project is to make a technical and economic study to repower the MCH Pumachaca. Many specific questions have been answered in doing the analysis of what the objective implies. These answers allow us to see the application of different branches on engineering, putting special emphasis in the field of mechanical engineering.

After analyzing the current state of the installations and proposing the necessary changes to increase the energy production of the MCH Pumachaca, we arrived to the conclusion that the project of rehabilitation and repowering is viable and that it could bring many advantages in many different aspects.

The developed project in this thesis focuses in the design and calculations of all the mechanical components, the other branches of engineering could focus in giving more depth to the topics that were left described and developed, but not in a deep way.

### **Key words**

Mini hydroelectrical plant, pressure pipe, Pelton turbine, repowering.

## ÍNDICE

DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO .....	iv
PRESENTACIÓN.....	v
RESUMEN .....	vi
ABSTRACT .....	vii
ÍNDICE.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS .....	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xiv
CAPITULO I.....	1
GENERALIDADES.....	1
1.1. Introducción .....	1
1.2. Antecedentes.....	3
1.3. Justificación .....	4
1.4. El problema .....	7
1.4.1. Problema general .....	7
1.4.2. Problemas específicos.....	7
1.5. Objetivos.....	8
1.5.1. Objetivo general.....	8
1.5.2. Objetivos específicos .....	9
1.6. Hipótesis y variables .....	9
1.6.1. Hipótesis.....	9
1.6.2. Variables.....	11
1.7. Alcances y limitaciones .....	11
1.7.1. Alcances .....	11
1.7.2. Limitaciones.....	11
1.8. Metodología.....	12
1.8.1. Tipo, nivel y diseño de la investigación .....	12
1.8.2. Instrumentos de recolección de datos y procesamiento.....	12
1.9. Descripción de la zona de estudio .....	13
1.9.1. Descripción general .....	13
1.9.2. Ámbito o área del proyecto .....	15
1.9.3. Clima y fisiología.....	16
1.9.4. Indicadores demográficos .....	17
1.9.5. Indicadores socioeconómicos .....	20

1.10. Descripción de la situación actual .....	21
1.10.1. Bocatoma .....	23
1.10.2. Canal de Aducción .....	24
1.10.3. Cámara de carga .....	25
1.10.4. Tubería de presión .....	25
1.10.5. Casa de Maquinas .....	26
CAPÍTULO II .....	28
EVALUACIÓN DE LA DEMANDA Y DESCRIPCIÓN DE LA CUENCA .....	28
2.1. Evaluación de la demanda .....	28
2.1.1. Fluctuaciones periódicas .....	29
2.1.2. Cambios tendenciales .....	29
2.2. Sistema eléctrico de Paucartambo .....	29
2.2.1. Consumo de la provincia de Paucartambo .....	31
2.2. Descripción de la cuenca hidrográfica del río Pumachaca .....	35
2.2.1. Localización de la cuenca .....	36
2.2.2. Ubicación geográfica .....	36
2.2.3. Demarcación hidrográfica y política .....	37
2.2.4. Accesibilidad y vías de comunicación .....	37
2.2.5. Geomorfología de la cuenca .....	38
2.2.6. De los parámetros de forma .....	39
2.2.7. De los parámetros de relieve .....	39
2.2.8. De los parámetros hidrográficos .....	40
2.2.9. Estudios de Geología y Geotecnia: .....	41
2.2.9.1. Geología .....	41
2.2.9.2. Geotecnia .....	42
2.2.10. Variables climáticas de la cuenca .....	42
2.2.11. Temperatura .....	43
2.2.12. Humedad relativa y horas sol .....	43
2.2.13. Evaporación .....	44
2.2.14. Hidrología de la cuenca .....	45
2.2.15. Precipitación .....	45
2.2.16. Análisis y tratamiento regional de la precipitación .....	46
2.2.17. Caudal aprovechable .....	47
Reflexiones y recomendaciones .....	48
CAPITULO III .....	50

OBRAS CIVILES .....	50
3.1. Introducción .....	50
3.2. Potencia de diseño .....	50
3.2.1. Potencia al eje de la turbina .....	50
3.2.2 Potencia eléctrica generada .....	51
3.3. DETERMINACION DE ALTURAS.....	51
3.4. DETERMINACION DE CAUDALES .....	52
3.4.1. Caudal de diseño .....	52
3.4.2. Variaciones de caudal.....	53
3.4.3. Determinación del caudal utilizable.....	53
3.5. Obras de captación.....	54
3.5.1. Bocatoma o presa de derivación.....	54
3.5.2. Canal de aducción .....	56
3.5.2.1. Velocidad de fluido .....	58
3.5.2.2. Rugosidad .....	58
3.5.2.3. Pendiente .....	59
3.6. Desarenador y cámara de carga.....	61
3.6.1. Desarenador .....	61
3.6.2. Cámara de carga .....	62
3.7. Canal de descarga.....	63
3.8. Casa de máquinas y casa del tomero .....	63
3.8.1. Casa de máquinas.....	63
3.8.2. Casa del tomero o guardián.....	65
3.9. Bloques de anclaje .....	66
3.9.1. Bloques de Apoyo.....	66
3.9.2. Bloques de Anclajes .....	67
CAPITULO IV .....	69
TUBERIA DE PRESIÓN.....	69
4.1. Parámetros de diseño.....	70
4.2.1. Cálculo y dimensionamiento hidráulico .....	71
4.2.2. Factores para el diseño y selección de la tubería de presión.....	72
4.2.3. Selección del Material de la Tubería Forzada .....	73
4.2.4. Número de tuberías y diámetros económicos.....	74
4.2.4.1. Número de tuberías.....	74
4.2.4.2. Selección del diámetro adecuado.....	75

4.2.5.	Cálculo del Espesor de Tubo (t).....	75
4.2.6.	Cálculo de Pérdidas de Carga .....	78
4.2.6.1.	Perdidas a la entrada de la tubería de presión. ....	79
4.2.6.2.	Perdidas en la rejilla. ....	80
4.2.6.3.	Pérdida por fricción en el tubo .....	80
4.2.6.4.	Pérdidas en codos.....	81
4.2.6.5.	Pérdidas totales .....	82
4.2.7.	Dimensionamiento de la tubería por flexión .....	83
4.2.7.1.	Esfuerzo longitudinal .....	83
4.2.7.2.	Esfuerzo tangencial .....	83
4.2.8.	Juntas de dilatación .....	84
4.2.9.	Bridas .....	85
CAPITULO V.....		86
TURBINA HIDRÁULICA Y GRUPO HIDROELÉCTRICO .....		86
5.1.	Clasificación .....	86
5.1.1.	De acuerdo al cambio de presión en el rodete o al grado de reacción. 86	
5.1.2.	Según la dirección del flujo en el rodete.....	86
5.1.3.	De acuerdo al diseño del rodete .....	87
5.2.	Evaluación y selección de turbina para la MCH de Pumachaca.....	88
5.2.1.	Turbina Pelton .....	91
5.2.1.1.	Elementos de una turbina Pelton.....	91
5.2.2.	Velocidad síncrona de un grupo de generación .....	93
5.3.	Diseño hidráulico.....	94
CAPÍTULO VI.....		102
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS .....		102
6.1.	Introducción .....	102
6.2.	Normas .....	102
6.3.	Unidades de medida .....	103
6.4.	Documentación técnica.....	103
6.5.	Grupo hidroeléctrico.....	104
6.5.1.	Características del grupo hidroeléctrico N°2 .....	104
6.5.2.	Sistema de regulación de velocidad.....	106
6.5.3.	Puesta en Servicio .....	110
6.6.	Características de los componentes eléctricos instalados .....	110

6.6.1. Sistema eléctrico de generación .....	111
6.7. Sistema eléctrico de generación .....	112
6.7.1. Transformadores .....	113
6.7.2. Seccionadores fusibles .....	115
CAPITULO VII.....	116
ANÁLISIS ECONÓMICO.....	116
7.1. Generalidades .....	116
7.2. Objetivo de la evaluación económica .....	116
7.3. Presupuesto base .....	116
7.4. Análisis económico de alternativas de suministro de energía .....	119
7.4.1. Consideraciones generales:.....	119
7.4.2. Costos fijos y costos variables .....	121
7.4.2.1. Costos fijos.....	121
7.4.2.2. Costos variables.....	123
7.4.2.3. Costos totales .....	123
7.4.3. Determinación de costos de kWh instalado y kWh producido .....	125
7.5. ANÁLISIS ECONÓMICO DEL PROYECTO.....	128
7.5.1. Indicadores económicos utilizados.....	128
7.5.1.1. Ingresos del proyecto de inversión .....	130
7.5.2. Cálculo de ingresos y desembolsos .....	131
7.5.2.1. Cálculo de ingresos .....	131
7.5.2.2. Cálculo de desembolsos .....	131
7.5.3. Financiación del proyecto .....	132
7.5.4. Cálculo de rentabilidad por métodos dinámicos .....	132
7.5.5. Comentarios .....	136
CONCLUSIONES .....	138
RECOMENDACIONES .....	141
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	142
ANEXOS .....	143

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Provincia de Paucartambo: Datos generales .....	14
Tabla 2: Paucartambo: Población urbana y rural .....	15
Tabla 3: Crecimiento de la población en la provincia de Paucartambo .....	18
Tabla 4: Población Distrito De Paucartambo Por Sexo Año 2017 .....	18
Tabla 5: Promedios mensuales de consumo en la provincia de Paucartambo de enero a junio (kW) .....	31
Tabla 6: Promedios mensuales de consumo en la provincia de Paucartambo de julio a diciembre (kW) .....	32
Tabla 7: Promedio anual de consumo .....	33
Tabla 8: Coordenadas de la cuenca .....	36
Tabla 9: Humedad relativa mensual .....	43
Tabla 10: Coeficientes de rugosidad de Horton .....	58
Tabla 11: Condiciones de operación de la MCH Pumachaca .....	71
Tabla 12: Parámetros para el dimensionamiento hidráulico .....	73
Tabla 13: Cálculo y verificación del espesor de la tubería .....	78
Tabla 14: Coeficientes de pérdidas en codos .....	81
Tabla 15: Coeficientes de pérdida para la tubería de la MCH Pumachaca .....	82
Tabla 16: Cálculo de pérdidas de carga .....	82
Tabla 17: Verificación de los esfuerzos en la tubería de presión .....	85
Tabla 18: Número de álabes en función a D/d .....	100
Tabla 19: Parámetros requeridos por el fabricante .....	104
Tabla 20: Especificaciones técnicas de la turbina .....	104
Tabla 21: Especificaciones técnicas del generador .....	105
Tabla 22: Metrado y presupuesto de rehabilitación de MCH Pumachaca .....	118
Tabla 23: Presupuesto base de la rehabilitación utilizando un grupo diésel .....	119
Tabla 24: Consumo diario de energía en SE Paucartambo .....	120
Tabla 25: Consumo de energía y utilización .....	121
Tabla 26: Costo del kWh con el segundo GH .....	126
Tabla 27: Costo del kWh generado por el grupo diesel .....	126
Tabla 28: Venta de energía MCH Pumachaca .....	131
Tabla 29: Flujo de ingresos y egresos MCH Pumachaca .....	135
Tabla 30: Resultados del análisis económico .....	136

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de las provincias del Cusco .....	13
Figura 2 Distritos de Paucartambo .....	16
Figura 3: Tasa de analfabetismo en las provincias de la cuenca del Vilcanota .....	19
Figura 4:"Sabe leer y escribir (distrito de Paucartambo)" .....	20
Figura 5: Vista general de la bocatoma y captación .....	23
Figura 6: Estado de algunos tramos en el canal de aducción .....	24
Figura 7: Canal de agua motriz en operación .....	24
Figura 8: Estado de la cámara de carga.....	25
Figura 9: Estado actual de tubería de presión .....	26
Figura 10: Grupo hidroeléctrico en operación dentro de la casa de máquinas .....	27
Figura 11: Curva de carga diaria típica en consumidores de área rural .....	28
Figura 12: Área de concesión de Electro Sur Este .....	29
Figura 13: Subestación Paucartambo .....	30
Figura 14: Promedio de consumo diario SE Paucartambo .....	33
Figura 15: Localización de la cuenca del río Pumachaca .....	36
Figura 16: Delimitación y límites de la cuenca.....	37
Figura 17: Saucebamba, sistema de captación .....	38
Figura 18: curva Hipsométrica.....	40
Figura 19: Análisis regional de la evaporación .....	45
Figura 20: Precipitación anual .....	46
Figura 21: Regionalización de la precipitación .....	47
Figura 22: Bocatoma de la MCH Pumachaca.....	54
Figura 23: Perfil de la bocatoma de la MCH Pumachaca .....	55
Figura 24: Vista superior del área de captación y bocatoma .....	56
Figura 25: Características del canal .....	59
Figura 26: Geometría del canal de aducción .....	60
Figura 27: Vista del desarenador y la cámara de carga.....	61
Figura 28: Vista en planta y sección de una cámara de carga.....	62
Figura 29: Vista de la casa de máquinas.....	63
Figura 30: Distribución actual de la casa de máquinas.....	65
Figura 31: Casa del tomero en la zona de Saucebamba .....	65
Figura 32: Bloque de anclaje.....	68
Figura 33: Vista de la tubería de presión .....	69
Figura 34: Perfil del trayecto de caída de la tubería de presión .....	72
Figura 35: Características de las bridas a partir del diámetro de la tubería .....	85
Figura 36: Selección de turbina por $N_q$ y $N_s$ .....	90
Figura 37: Selección de turbinas usando $N_s$ .....	90
Figura 38: Aplicación de turbinas en función de $Q$ y $H$ .....	91
Figura 39: Álaves de una turbina Pelton .....	92
Figura 40: Esquema de una turbina Pelton de dos inyectores.....	93
Figura 41: Diagrama de velocidad en la cuchara de la turbina Pelton .....	94
Figura 42: Esquema de las velocidades de entrada .....	95
Figura 43: Triangulo de velocidades a la salida.....	96
Figura 44: Diagrama del chorro en el álabe de la turbina .....	98
Figura 45: Ejemplos de turbinas fabricadas por la empresa .....	105

Figura 46: Gobernador de velocidad Woodward G8.....	108
Figura 47: Esquema de distribución de la casa de máquinas .....	109
Figura 48: Distribución de energía en minicentrales .....	112
Figura 49: Líneas de transmisión en MCH Pumachaca .....	113
Figura 50: Comportamiento del consumo diario en la SE Paucartambo .....	121
Figura 51: Comparación del costo del kWh generado .....	128
Figura 52: Flujo de caja acumulado en el tiempo .....	136

## **CAPITULO I**

### **GENERALIDADES**

#### **1.1. Introducción**

La disponibilidad de energía, en la historia de la humanidad, ha sido siempre esencial para cubrir las necesidades de consumo y bienestar de sociedades de todo el mundo. Es así que, para satisfacer la creciente demanda energética, los gobiernos han realizado esfuerzos conjuntos con la empresa privada para la creación e implementación de centrales de generación de energía.

Es en este afán, que muchas plantas de generación de energía han sido puestas en marcha por las sociedades modernas, las cuales sustentan su crecimiento en un sistema energético basado especialmente en la obtención de energía a través de combustibles fósiles, sin embargo, en los últimos años, existe una mayor concienciación sobre los efectos medio ambientales que conllevan estos sistemas, efectos como: el agujero de la capa de ozono, calentamiento global, lluvia ácida, etc. Por lo que, en la actualidad, las energías renovables han dejado de ser tecnologías caras y minoritarias para ser completamente accesibles y eficaces para cubrir las necesidades de la demanda energética de la sociedad, siendo un gran ejemplo de estas tecnologías tenemos la energía Hidroeléctrica como una de las formas de generación de energía limpia y natural.

En el Perú, durante los últimos años, debido a la existencia y explotación del gas ubicado en el bajo Urubamba, se ha dejado de lado proyectos hidroenergéticos y desviado la mirada a centrales a gas; como la Central de Chillca en el sur de Lima, haciendo que, en la actualidad, únicamente el 43 % de la energía generada en todo el país sea proveniente del agua. En un futuro se espera la apertura de nuevos proyectos mineros, así como ampliaciones de algunos ya existentes, lo que forzaría

a la industria energética a crecer de la mano con la gran minería.

Por otro lado, en las últimas décadas el Perú ha desarrollado un crecimiento económico sostenible, producto del “boom” de la exportación de materia prima y de la minería extendida en la mayoría del territorio, sin embargo, como podemos observar en la ciudad del Cusco y en todo el país, este crecimiento no ha disminuido los niveles de desigualdad, al contrario, ha agrandado la brecha económica y social debido a la estructura tributaria, desarrollo humano, acceso a tecnologías, etc. Es así que el acceso a la energía, en estos años, ha comenzado a tomar un rol relevante para el desarrollo humano y social de la población en general.

Es por la importancia del acceso a la energía que el presente trabajo de investigación se centra en el “Repotenciamiento de la Minicentral Hidroeléctrica de Pumachaca para una potencia de 600KW en la provincia de Paucartambo en el departamento de Cusco”. Para lo cual en el capítulo I se desarrollará la parte metodológica de la investigación detallando los objetivos que se quieren alcanzar, así como también una breve descripción de la provincia de Paucartambo, a continuación, en el capítulo II se presentará la evaluación de la demanda energética, que nos permitirá identificar el crecimiento de la demanda y la descripción de la cuenca donde se ubica la Minicentral Hidroeléctrica.

Bajo la misma temática en el capítulo III se dará una descripción de las obras civiles de la Hidroeléctrica las cuales comprenden la boca toma, la casa de máquinas, la caja de tomero. En el capítulo IV y V se describen las funciones y parámetros de los equipos en funcionamiento, de igual forma, se analizarán y describirán mediante cálculos las proyecciones de mejoramiento para la mayor generación de energía en la Minicentral Hidroeléctrica de Pumachaca.

A continuación, en el capítulo VI se detallan las características de las

maquinas a instalar. En el capítulo VII se analizan los costos fijos y variables de las opciones de generación, para analizar la rentabilidad.

Seguidamente se darán a conocer las conclusiones, recomendaciones y anexos como productos del presente proyecto de investigación.

## **1.2. Antecedentes**

La Construcción de la Minicentral Hidroeléctrica de Pumachaca se inicia el año 1965, y se concluye ya en 1985, durante este tiempo se hicieron cargo diferentes instituciones como Ayuda Mutua, Cooperación Popular y algunas empresas como CRYP y Ordeso, finalmente a partir de 1978, hasta su conclusión es ELECTROPERU S.A. la institución que se hizo cargo cuando la obra tenía un 40% de avance, aproximadamente.

A partir del 1982 se intensificaron las obras en la construcción de la central, dando mayor impulso a la ejecución de la Bocatoma, acueductos, canal de aducción, pero sin embargo recortes presupuestales obligaron a paralizar la ejecución, a esto se sumaron las intensas lluvias que se presentaron a fines del año 1983 y comienzos de 1984, ocasionando derrumbes y deslizamientos afectando seriamente a las diferentes estructuras, sobre todo al canal de aducción.

A pesar de todos los contratiempos que se presentaron, ELECTROPERU concluyó la obra en el mes de julio de 1985, beneficiando con esta a las poblaciones de Paucartambo, Colquepata, Challabamba y aledaños.

En un comienzo abastecía de energía a la población de Paucartambo, que estaba aislada del sistema interconectado. Posteriormente la energía generada se utilizó para proporcionar de energía a comunidades alejadas, que no contaban con el servicio.

En la actualidad está a cargo del Municipio y proporciona la energía

necesaria para el alumbrado de las plazas, las calles y algunas instalaciones municipales como el Centro de Formación Artesanal y el Teatro Municipal y a 17 pequeñas comunidades a las que la red no ha llegado aún.

Cabe mencionar que, desde la entrada en operación hasta la fecha, la MCH nunca contó con un Plan de Mantenimiento, más por el contrario, desde siempre sólo se han corregido problemas puntuales, haciendo que estas intervenciones en estos más de 30 años de funcionamiento, hayan llevado a la MCH al estado en el que actualmente se encuentra y será descrito con mayor detalle más adelante.

### **1.3. Justificación**

El presente estudio se justifica en el hecho que actualmente existe una Mini Central Hidroeléctrica en Pumachaca en Paucartambo, que opera y genera el 40% de lo que sería posible generar en estas instalaciones y con estos recursos.

Tanto la geografía y el potencial Hídrico permitirían la instalación de un segundo grupo y harían factible el repotenciamiento de la Mini Central, de este modo el mejor aprovechamiento de estos recursos.

Para esto, se realizarán los esfuerzos necesarios con el fin de lograr mediante el uso de los conocimientos y experiencias de la formación en Ingeniería Mecánica; un correcto funcionamiento de la Central y el aprovechamiento óptimo de los recursos.

Por otra parte, actualmente el abastecimiento de energía tiende a realizarse a través de centrales más pequeñas, con potencias mucho menores a las que estamos acostumbrados con las Centrales de Generación convencionales, a la que se denomina Generación Distribuida, en síntesis, se puede entender como una generación de pequeña escala instalada cerca al lugar de consumo, y de este modo

los consumidores también pueden volverse productores, que optan por una tecnología más de acuerdo a sus necesidades y a las inquietudes ambientales. En comparación con la producción convencional de energía que es generada en grandes centrales y es transportada mediante una red de transmisión a todos los consumidores.

*El Centro Tecnológico de la Energía y del Medio Ambiente (Cetenma), la Fundación de Desarrollo sostenible, FREMM, y la Asociación AREMUR, explican las ventajas de la Generación Distribuida:*

El empleo de la Generación Distribuida, en adelante GD en el sistema eléctrico presenta numerosas ventajas.

### **Técnicas**

- Se obtiene una mayor confiabilidad en el suministro de energía eléctrica, porque se reducen las probabilidades de falla por caídas en las líneas de alta tensión.

La generación distribuida puede ser un apoyo al suministro normal en las horas punta.

- Evita la sobrecapacidad instalada, ya que las pequeñas plantas de Generación distribuida son las más adecuadas para responder a los cambios en la demanda.
- La GD ante eventuales cortes en el suministro puede trabajar como “isla”, en forma aislada. Dependiendo de su localización, puede aumentar la calidad de la honda eléctrica.
- En nuestro país más del 10 % de energía que se produce de forma centralizada, se pierde en su transporte y distribución, con la GD, se reducen

las pérdidas y mejora la capacidad de distribución en la red.

### **Económicas**

- Con la Generación Distribuida se pueden reducir o evitar la construcción de nuevas líneas de transporte y distribución, esto permite reducir el precio de la electricidad.
- Se da una disminución de los costos de operación y mantenimiento, aumenta la vida útil de los transformadores del sistema de transporte y facilita el ahorro de combustible.

En comparación con las grandes plantas, las plantas de GD requieren menores tiempos de instalación, menores inversiones y por ende menores riesgos financieros, potencialmente, se reducirían los costos globales del servicio eléctrico.

- Se podría dar la participación de muchas pequeñas y medianas empresas locales en negocios de generación de energía, ya que por la envergadura de las centrales de generación que intervienen en la generación centralizada, participan solamente grandes multinacionales capaces de afrontar inmensas inversiones.

### **Medioambientales**

- El uso de sistemas de GD renovables reduce la emisión de contaminantes a la atmósfera.
- Al reducirse las líneas de transmisión y los centros de transformación, se da una reducción en el impacto visual, con mejor aceptación.
- La Generación Distribuida tiene muchas ventajas, las cuales hacen que cada

vez se tienda a promover más estos proyectos, a esto se suma el problema que cada vez son menos las áreas disponibles para llevar a cabo proyectos grandes de generación.

- El presente estudio se justifica en el hecho que actualmente existe una Mini Central Hidroeléctrica en Pumachaca de Paucartambo, que opera y genera menos del 30% de lo que sería posible generar en estas instalaciones y con los recursos de los que se dispone.
- Para esto, se realizarán los esfuerzos necesarios con el fin de lograr mediante el uso de los conocimientos y experiencias de la formación en Ingeniería Mecánica; un correcto funcionamiento de la Central y el aprovechamiento óptimo de los recursos.

#### **1.4. El problema**

Por lo expuesto en estas líneas, es necesario realizar un Proyecto de Repotenciamiento de la Minicentral para poder aprovechar y dar el mejor uso posible a los recursos y la infraestructura que están siendo aprovechados, pero en forma empírica e inadecuada.

##### **1.4.1. Problema general**

¿Es posible repotenciar y mejorar la minicentral hidroeléctrica de Pumachaca y así generar mayor potencia eléctrica para mejorar el servicio eléctrico de la provincia de Paucartambo?

##### **1.4.2. Problemas específicos**

- Problema específico 1:  
  
¿En qué medida la evaluación de la demanda eléctrica y del comportamiento actual de la cuenca hidrográfica justifica el repotenciamiento de la MCH

Pumachaca?

- Problema Específico 2:

¿Es posible utilizar las obras civiles actualmente disponibles para el funcionamiento de un segundo grupo hidroeléctrico en la MCH Pumachaca?

- Problema específico 3:

¿En qué medida se puede verificar técnicamente si la tubería de presión existente es adecuada para operación de dos grupos hidroeléctricos en la MCH Pumachaca?

- Problema específico 4:

¿Es posible verificar las características de la turbina hidráulica a utilizar en el segundo grupo hidroeléctrico para el repotenciamiento de la MCH Pumachaca?

- Problema específico 5:

¿Es viable repotenciar la MCH Pumachaca para lograr costos de instalación y costos de KW-hora generado que compitan con la energía eléctrica comercial, específicamente con un grupo Diésel?

## **1.5. Objetivos**

### **1.5.1. Objetivo general**

- Realizar un estudio técnico económico para mejorar la calidad del servicio mediante el repotenciamiento de la MCH de Pumachaca para generar una potencia eléctrica de hasta 600 KW y mejorar el servicio eléctrico de la provincia de Paucartambo.

## 1.5.2. Objetivos específicos

- Objetivo específico 1:

Evaluar la demanda eléctrica actual y el comportamiento actual de la cuenca hidrográfica para justificar el repotenciamiento de la MCH Pumachaca.

- Objetivo específico 2:

Evaluar el estado actual de las obras civiles actualmente disponibles y determinar si es posible que un segundo grupo hidroeléctrico pueda entrar en funcionamiento en la MCH Pumachaca.

- Objetivo específico 3:

Evaluar técnicamente si la tubería de presión existente es adecuada para la operación dos grupos hidroeléctricos en la MCH Pumachaca.

- Objetivo específico 4:

Analizar las características de la turbina hidráulica a utilizar en el segundo grupo hidroeléctrico para la MCH Pumachaca.

- Objetivo específico 5:

Evaluar los costos de instalación y costos de KW-hora generado de la central rehabilitada a fin de compararla con el costo de KW- hora generado a partir de un grupo electrógeno diésel y analizar la rentabilidad del proyecto.

## 1.6. Hipótesis y variables

### 1.6.1. Hipótesis

#### Hipótesis general:

- El estudio y análisis técnico económico para el repotenciamiento de la MCH de Pumachaca hará posible la generación de una potencia eléctrica de hasta

600 KW.

**Hipótesis específicas:**

- Hipótesis específica 1:

La evaluación de la demanda eléctrica actual y el comportamiento de la cuenca hidrográfica justificará el repotenciamiento de la MCH Pumachaca.

- Hipótesis específica 2:

El evaluar el estado actual de las obras civiles actualmente disponibles determinará si es posible que un segundo grupo hidroeléctrico pueda entrar en funcionamiento en la MCH Pumachaca.

- Hipótesis específica 3:

La evaluación técnica de la tubería de presión existente demostrará que es adecuada para la operación dos grupos hidroeléctricos en la MCH Pumachaca.

- Hipótesis específica 4:

La verificación de las características de la turbina hidráulica determinará el tipo de rodete a utilizar en el segundo grupo hidroeléctrico para la MCH Pumachaca.

- Hipótesis específica 5:

El análisis de los costos de instalación y costos de kW-hora generado de la central rehabilitada demostrará las ventajas económicas en comparación al costo de KW- hora generado de un grupo electrógeno diésel.

## 1.6.2. Variables

### Variable dependiente

- Diseño del grupo hidroeléctrico de una potencia P de 300 KW.

### Variables independientes

- Caudal de agua de diseño y operación para funcionamiento de la turbina, Q en m<sup>3</sup>/seg.
- Altura bruta disponible H en metros m.
- Eficiencia de la turbomáquina  $\eta$ .
- Condiciones ambientales.

## 1.7. Alcances y limitaciones

### 1.7.1. Alcances

- El presente estudio aplica los conocimientos técnicos adquiridos en el campo de ingeniería mecánica para realizar la selección de un segundo grupo hidroeléctrico.
- En el desarrollo de este trabajo se ahondará en el área de la ingeniería mecánica y los temas propios de esta, tocando los temas de otras áreas de la ingeniería de manera descriptiva.

### 1.7.2. Limitaciones

- El presente estudio no cuenta con financiamiento del Municipio Provincial de Paucartambo, ni de la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco.
- Este trabajo será un documento de carácter académico, dirigido al ámbito de estudio propio de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica.

## **1.8. Metodología**

El conocimiento científico debe ser racional, sistémico y verificable, este rigor es una característica del conocimiento científico que se diferencia del conocimiento ordinario o común. La definición misma de la ciencia está ligada a la manera como el investigador adquirió y sistematizó sus conocimientos para contrastarlos con su hipótesis.

La investigación parte de un enfoque epistemológico de tradición racionalista aplicada y de utilidad para un proceso de investigación aplicados a sistemas mecánicos, en la presente investigación se aplicará el enfoque hipotético deductivo.

En el presente trabajo se realizará una investigación tecnológica aplicando el método cuantitativo.

### **1.8.1. Tipo, nivel y diseño de la investigación**

- TIPO: La investigación es del tipo aplicada, utilizando el método cuantitativo.
- NIVEL: Exploratoria y descriptiva.
- DISEÑO: Cuasi experimental.

### **1.8.2. Instrumentos de recolección de datos y procesamiento**

- Para elaborar el presente proyecto, se seguirá el siguiente procedimiento:
- Recopilación de la información técnica, mediante los registros y documentación existente sobre la MCH de Pumachaca en Paucartambo.
- Evaluar y diagnosticar el estado real de las instalaciones de la MCH de Pumachaca, así como de las estructuras complementarias necesarias para el funcionamiento de la Central.
- Proyectar la rehabilitación de las obras civiles complementarias.
- Diseñar el grupo generador en forma adecuada a las condiciones obtenidas

por las mejoras en las estructuras complementarias.

- Estimar los costos y realizar los presupuestos, para estudiar la viabilidad del proyecto.

## 1.9. Descripción de la zona de estudio

### 1.9.1. Descripción general

La provincia de Paucartambo tiene como capital a la ciudad del mismo nombre y se ubica al Sur Este de la Cordillera de los Andes peruanos en un estrecho valle a las riberas de los ríos Mapacho y Qénqomayo, en el Departamento del Cusco: entre los paralelos 12° 15' a 13° 41' latitud sur y entre los meridianos 70° 51' a 72° 08' longitud oeste, se encuentra a una altura 3,017 m.s.n.m. y a una distancia 110 Km. de la ciudad del Cusco. Al ser una de las trece provincias que conforman el departamento de Cusco se encuentra bajo administración del Gobierno regional del Cusco y limita al norte con el departamento de Madre de Dios y parte de la provincia de La Convención, al sur y al sureste con la provincia de Quispicanchis, y al oeste con la provincia de Calca.

**Figura 1: Mapa de las provincias del Cusco**



Fuente: INEI

**Tabla 1: Provincia de Paucartambo: Datos generales**

Provincia de Paucartambo: Datos Generales (Fuente: Elaboración propia)	
Ubicación	Zona central oriental del departamento del Cusco a 110 km de distancia de la ciudad del Cusco.
Distritos	Caicay, Colquepata, Challabamba, Huancarani, Kcosñipata y Paucartambo.
Toponimia	Pawqar = General incaico. Tampu = Posada o lugar de hospedaje.
Etimología	Hospedaje o posada del inca Pawcar.
Creación	Data del decreto 21 – VI – 1825. Expedido por el libertador Don Simón Bolívar.
Pisos ecológicos	Zona montañosa con valles interandinos, bosque nublado, selva alta y selva baja.
Superficie	6 115 11 km <sup>2</sup>
Población	47 240 Habitantes (INEI 2017).
Altitud Máxima	5690 m.s.n.m. en el nevado Jollecunca.
Altitud Media	2900 m.s.n.m. en la capital de la provincia, el poblado de Paucartambo.
Altitud Mínima	570 m.s.n.m. en la boca del río Tono.

*Fuente: Elaboración propia*

Como aspectos geográficos principales la provincia de Paucartambo presenta un territorio fuertemente irregular, desigual, sucediéndose una diversidad de formas topográficas, paisajes, climas y pisos ecológicos característicos de la sierra andina y la selva baja tropical. Atravesada por la cordillera andina oriental, predominando quebradas profundas, fértiles y templadas, valles estrechos punas y declives escalonados y en el sector noreste cubre una región tropical, la cual es considerada como la puerta y/o entrada al Parque Nacional del Manu donde se destaca una abundancia de flora y fauna.

Sobre las características de la población de la provincia, Según el Sistema de Información sobre Comunidades Campesinas del Perú (Perú), Paucartambo cuenta con 124 centros poblados o comunidades campesinas repartidas en 6 distritos, de igual manera, como una característica principal de la provincia se puede observar que, en su mayoría (90,6%) la población se ubica en zona rural y un porcentaje mucho más reducido (9.6%), se ubica en zonas urbanas de la provincia lo que muestra un carácter rural en la mayoría de la población.

**Tabla 2: Paucartambo: Población urbana y rural**

Total	Porcentaje	Urbana	Porcentaje	Rural	Porcentaje
42 504	100%	3 990	9.4%	38 514	90.6%

*Fuente: INEI - Censo 2017*

### **1.9.2. Ámbito o área del proyecto**

La hidroeléctrica de Pumachaca se encuentra en el distrito de Paucartambo, la cual está ubicada a 110 km de la ciudad del Cusco a dos horas aproximadas de viaje. La vía principal de acceso es la carretera asfaltada Cusco – Huancarani – Colquepata – Paucartambo. La zona de estudio (cuenca del río Pumachaca) se ubica al sur este de la población de Paucartambo a 55 minutos de viaje por la carretera a Paucartambo, sin embargo, existen otras rutas menos usadas como Cusco – Písaq

El desarrollo geográfico del proyecto se da dentro de la quebrada o cuenca del río Pumachaca, uno de los principales afluentes del río Mapacho. La naciente de la cuenca del Pumachaca está ubicada al este de la provincia del Paucartambo, en el límite con la provincia de Quispicanchis, en el distrito de Ocongate, entre las comunidades campesinas Chua Chua, Tandara Alta y Tandara Pata pertenecientes

al distrito de Paucartambo.

**Figura 2 Distritos de Paucartambo**



*Fuente: Paucartambo info*

El proyecto de investigación se realizará tanto en la quebrada de Pumachaca, así como también, dentro del espacio que abarca la boca toma de agua en el desvío de la comunidad Huancaqocha, el canal recolector de agua y el cuarto de máquinas ubicado a 30 minutos de Paucartambo en la comunidad campesina de Carmelina.

### 1.9.3. Clima y fisiología

De manera general la provincia de Paucartambo, por su ubicación interandina de ceja de selva y de selva tropical, tiene un clima en general seco, con estaciones cálidas y frías claramente definidas. Las precipitaciones se acentúan claramente entre noviembre y marzo y los meses de mayor sequedad, en la zona alto andina de

la provincia, se dan entre abril y octubre. El distrito de Paucartambo posee características climáticas cálida y seca típica de valle interandino, con temperaturas que varían entre los 0,4°C en época de invierno hasta los 20°C en la época verano. Se tiene las siguientes variaciones de temperatura para una altitud de 3017 m.s.n.m.:

Temperatura mínima : 0.4 °C.

Temperatura media : 8.5 °C y 13.1°C.

Temperatura máxima : 19 °C y 20 °C.

La humedad promedio anual varía entre el 45 y el 60% en toda la cuenta del río Pumachaca, se registra una humedad relativa promedio de 60%. La época de lluvias está concentrada en los meses de noviembre a marzo. Como parte de su flora y fauna, el distrito de Paucartambo muestra un paisaje típico de valle interandino con bosques de eucaliptos en la mayoría de su extensión donde prima la agricultura de diferentes tubérculos especialmente la papa. De igual manera en las zonas más altas (puna) muestras grandes extensiones de pajonales propios de zonas alto andinas donde prima la crianza de auquénidos y camélidos.

#### **1.9.4. Indicadores demográficos**

La población de Paucartambo, según el Sistema de Información sobre Comunidades Campesinas del Perú (SICCAM), tiene una distribución distrital aproximada de 13435 habitantes (INEI) de los cuales únicamente el 22% vive en zonas urbanas y un 88% de la población vive en zonas rurales repartidas en 24 comunidades campesinas pertenecientes al distrito de Paucartambo.

**Tabla 3: Crecimiento de la población en la provincia de Paucartambo**

Departamento	Población		Año		
	Provincia	Distrito	2018	2019	2020
Cusco	Paucartambo	Paucartambo	13 177	13 323	13 435

Fuente: INEI

Por otro lado, la distribución demográfica en el distrito de Paucartambo en cuanto a sexo muestra una población masculina correspondiente al 49.4%, mostrando una mayor población femenina con un 50.6% de la población total del distrito.

**Tabla 4: Población Distrito De Paucartambo Por Sexo Año 2017**

Departamento	Provincia	Distrito	Indicador	2017
Cusco	Paucartambo	Paucartambo	Población total	13 151
			Población total femenina	6 501
			Población total masculina	6 650

Fuente: INEI – Sistema de información regional para la toma de decisiones.

Las lenguas: el quechua y castellano tiene vigencia simultánea dentro de la población del distrito siendo la lengua quechua la predominante entre la población del distrito, sin embargo, cerca del 80% de la población, según el INEI, hablan el castellano como segunda lengua y solo el 20 % solo puede comunicarse en lengua quechua, esto especialmente en la población rural de las comunidades campesinas más alejadas del territorio. Únicamente el 20% de la población tiene el castellano como lengua materna, esto especialmente en las zonas urbanas del distrito.

Los resultados del último Censo Nacional de Población y vivienda realizado el año 2017 (Fuente: INEI), muestran que en la provincia de Paucartambo existe cerca de 7 437 personas que no saben leer ni escribir, con una tasa de analfabetismo del 26.9%.

**Figura 3: Tasa de analfabetismo en las provincias de la cuenca del Vilcanota**

Departamento	Provincia	2007		2017		Variación intercensal 2007 - 2017	
		Población analfabeta <sup>1</sup>	Tasa de analfabetismo	Población analfabeta <sup>1</sup>	Tasa de analfabetismo	Población analfabeta <sup>1</sup> (Absoluto)	Tasa de analfabetismo (Puntos porcentuales)
Cusco	Cusco	10,224	3.9	10,893	3.2	669	-0.7
	Acomayo	4,119	25.2	3,404	21.2	-715	-4.0
	Anta	6,629	18.9	609	14.7	-620	-4.2
	Calca	9,185	22.1	8,034	18.0	-1151	-4.1
	Canas	4,767	20.7	4,612	19.9	-155	-0.8
	Canchis	10,284	16.5	9,132	13.1	-1152	-3.4
	La Convención	14,799	13.6	11,950	11.1	-2849	-2.5
	Paucartambo	8,646	33.1	7,437	26.9	-1209	-6.2
	Quispicanchi	11,535	22.9	11,339	19.4	-196	-3.5
	Urubamba	4,598	12	4,582	10.3	-16	-1.7

Fuente: Consejo de recursos hídricos: Cuenca interregional Vilcanota-Urubamba

En el distrito de Paucartambo 3134 el 26.4% de la población del distrito no sabe leer ni escribir y la mayoría de esta población (2399) más del 75% se encuentran en zonas rurales. Si bien, es cierto, que durante los últimos años ha mejorado el acceso al sistema educativo; es por la complicada geografía del distrito y provincia de Paucartambo y limitados accesos a una gran mayoría de centros poblados y/o comunidades campesinas que existe un gran porcentaje de analfabetismo el cual, en su mayoría, se encuentra en la zona rural. De esta forma para el año 2017, oficialmente, según el Censo de Población y Vivienda la tasa de

analfabetismos de mayores de 15 años en la provincia es de 26% (INEI) en el área urbana alcanza únicamente el 11%, mientras que en el área rural se eleva a un 45% para mayores de 15 años.

**Figura 4:"Sabe leer y escribir (distrito de Paucartambo)"**

AREA # 081101

Cusco, Paucartambo, distrito: Paucartambo

P: Área concepto censal	P3a+: Sabe leer y escribir		Total
	Sí sabe leer y escribir	No sabe leer y escribir	
Urbano censal	2 984	735	3 719
Rural censal	4 964	2 399	7 363
<b>Total</b>	<b>7 948</b>	<b>3 134</b>	<b>11 082</b>

No Aplica : 789

*Fuente: INEI (REDATAM)*

### 1.9.5. Indicadores socioeconómicos

Teniendo en cuenta la diversidad cultural de nuestro país y más aun de la región del Cusco, Paucartambo es un pueblo que se caracteriza por el arraigo y la conciencia de sus pobladores hacia la identidad con su realidad geográfica, histórica, ambiental, social y cultural.

En las últimas décadas, el distrito de Paucartambo, viene experimentando un acelerado proceso de migración, fenómeno por el cual se produce un desplazamiento progresivo hacia Paucartambo de habitantes provenientes de diferentes provincias altas del Cusco (Canchis, Espinar, etc.), así como también, de la zona del altiplano. De igual manera, movimientos migratorios, temporales y definitivos, se vienen dando en la misma provincia de Paucartambo lo que responde a una estrategia de supervivencia social por parte de los miembros de diferentes comunidades campesinas que aceleran los procesos de crecimiento urbano de Paucartambo en busca de mejores situaciones económicas y sociales.

Las principales actividades económicas de la zona están basadas en la agricultura, relacionados con la producción y venta de papa (producto de mayor producción y más representativo de la zona), maíz, quinua, tarwi, oca (en menores cantidades). Dentro de la actividad pecuaria la crianza de vacas y ovejas en las zonas bajas y alpaca y llamas en las zonas alto andinas. Por lo antes mencionado, podemos observar que la fuente económica principal de la zona es el comercio entre el campo y la ciudad de diferentes productos de primera necesidad.

Si bien, existen otras actividades económicas propias de la zona estas, al igual que la agricultura, se desarrollan de manera incipiente y artesanal, orientadas, en su mayoría, al consumo humano o a satisfacer al mercado interno propio del distrito o provincia.

#### **1.10. Descripción de la situación actual**

La comunidad de Pumachaca en la provincia de Paucartambo se encuentra a 20 minutos de la capital. La MCH se encuentra en operación desde el año 1985 con un grupo de 378 kvA, utilizando las aguas del río del mismo nombre, pese a que su construcción inició en 1966, demorada por distintos factores como falta de presupuesto y cambio de empresa ejecutora en varias ocasiones, siendo Electroperu S. A. el ente del gobierno que terminaría su ejecución en 1985.

Actualmente funciona de manera inadecuada, muchos años de incorrecta operación y falta de mantenimiento apropiado han hecho que las instalaciones queden prácticamente obsoletas, produciendo así energía en forma deficiente.

La Minicentral, propiedad del Municipio Distrital de Paucartambo, presenta problemas debido al desgaste y la antigüedad de las instalaciones e instrumentos. Durante todos estos años de operación la Minicentral no contó nunca con un Plan

de Mantenimiento, ni con personal capacitado para realizar las tareas diarias de operación y monitoreo de condiciones.

Las instalaciones existentes, así como los recursos y los resultados de las negociaciones que llevó a cabo el Municipio hacen que la generación de energía en estas instalaciones sea sumamente viable.

El presente trabajo muestra y es prueba de el gran potencial que la energía hidroeléctrica tiene en nuestro país. Nuestra accidentada geografía es el principal motivo para que nuestros ríos, lagunas y arroyos puedan dar a la gente de zonas rurales alejadas una mejor calidad de vida, mediante una fuente de energía ecológica y que además de ser amigable con el medio ambiente puede ayudar a dar más vida a las fuentes de agua y tener una mejor gestión del recurso.

Posee una tubería forzada, al final de la cual tiene un pantalón de derivación y de este solo se utiliza el lado derecho que utiliza  $0.25\text{m}^3/\text{s}$ . El suministro de agua es constante y muy pocas veces se ve afectado.

Estas instalaciones son de propiedad de la Municipalidad Provincial de Paucartambo, a cargo de la oficina de Servicios Eléctricos. La Minicentral provee de energía a algunas instalaciones del municipio, así como al alumbrado público de algunos distritos como: Colquepata, Sunchubamba y Challabamba.

La M. C. H. de Pumachaca tiene las siguientes características:

- En el área de la Casa de Máquinas: 900 m<sup>2</sup>
  - Equipo Electro mecánico: Mayer
    - Modelo: NR 2286
    - Potencia: 300 KW
    - Generador: Ferrostal
    - Modelo: AEG

- Potencia: 378 KVA
- Tablero de Control: 378 KVA, 380 V
- Subestación de salida
  - Transformador: 3 fases
  - Potencia: 400 KVA
  - Frecuencia: 60 Hz

Como consecuencia de las limitaciones con que las oficinas responsables de la operación cuentan, la situación actual de la Minicentral no son las mejores, a continuación, se detallan algunas de las observaciones más saltantes:

#### **1.10.1. Bocatoma**

La bocatoma se encuentra actualmente operativa y requiere mantenimiento de los muros, debido a la erosión por los años de servicio, del mismo modo con los desarenadores, el tiempo y la exposición a los elementos han deteriorado los muros.

Del mismo modo las compuertas de ingreso al canal y a los canales de limpieza de la bocatoma requieren mantenimiento.

***Figura 5: Vista general de la bocatoma y captación***



*Fuente: Propia*

### 1.10.2. Canal de Aducción

**Figura 6: Estado de algunos tramos en el canal de aducción**



Fuente: Propia

Las tapas de concreto que existían en algunos tramos necesitan ser remplazadas, ya que los derrumbes perjudican el normal funcionamiento de la Minicentral.

A lo largo del canal hay numerosos puentes que los pobladores han realizado en forma artesanal, se requiere la construcción de pasos adecuados en los caminos más transitados que cortan el canal a lo largo de su recorrido del mismo modo en algunas zonas la caída de árboles ha dañado seriamente el canal.

**Figura 7: Canal de agua motriz en operación**



Fuente: Propia

### 1.10.3. Cámara de carga

Esta estructura se encuentra actualmente operativa, de todos modos, necesita labores de mantenimiento en el acabado superficial, deteriorado por el tiempo de servicio, del mismo modo en la compuerta de cierre a la llegada del canal y la limpieza de la rejilla.

**Figura 8: Estado de la cámara de carga**



*Fuente: Propia*

### 1.10.4. Tubería de presión

Existen filtraciones a lo largo de la tubería forzada, las ubicaciones de muchas de estas coinciden con los puntos donde hay uniones entre planchas y las juntas de dilatación. Se requiere también un análisis por ultrasonido, para poder diagnosticar con mayor precisión el estado de la tubería forzada.

**Figura 9: Estado actual de tubería de presión**

*Fuente: Propia*

#### **1.10.5. Casa de Maquinas**

En la casa de máquinas todos los sistemas de protección y los instrumentos de medida están muy deteriorados y si no están inoperativos, no proporcionan información confiable, el techo presenta goteras que son más evidentes en la época de lluvias.

En lo concerniente al funcionamiento del equipamiento se refiere; la válvula esférica necesita mantenimiento, así como el sistema de regulación, es sumamente necesaria la instalación de un tablero de control para poder tener un suministro de calidad, continuo y adecuado.

Se requiere el cambio o mantenimiento de los inyectores y de los reguladores, ya que no se consigue el cierre total del flujo.

El sistema de regulación es manual, esto hace que el tiempo de respuesta a cualquier cambio en la demanda no sea atendido o sea muy lento, ya que se requiere de la presencia constante de un operario. Se tendría que actualizar a un sistema de regulación automático, como el que tendría el GRUPO N° 2.

**Figura 10: Grupo hidroeléctrico en operación dentro de la casa de máquinas**



*Fuente: Propia*

## CAPÍTULO II

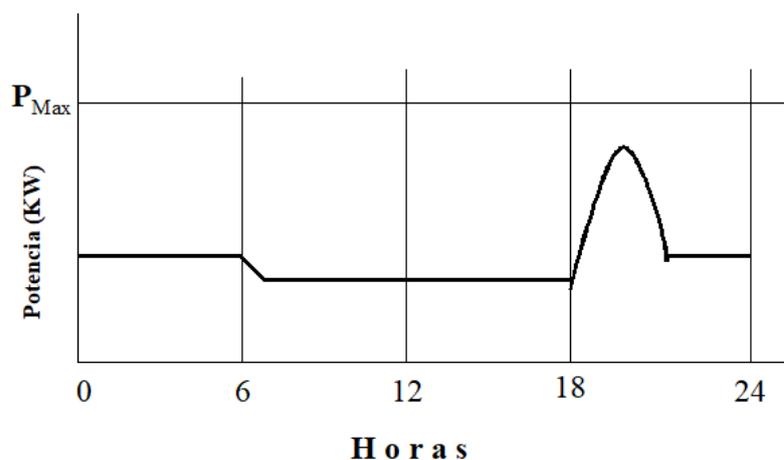
### EVALUACIÓN DE LA DEMANDA Y DESCRIPCIÓN DE LA CUENCA

#### 2.1. Evaluación de la demanda

Los requerimientos de energía en el área rural, son de diversa índole, pero normalmente con un índice energético relativamente bajo en comparación con las ciudades, los usos más frecuentes de energía están orientados a cocción de alimentos, iluminación y usos domésticos.

La energía en el área rural permite también, aunque con poca frecuencia, usos productivos para generar ingresos económicos, mediante la molienda de granos, bombeo de agua potable y para riego, funcionamiento de talleres de carpintería, artesanía y la pequeña industria. Sin embargo, el consumo de energía eléctrica en el sector rural todavía es mucho más bajo que en las ciudades adicionalmente al alto grado de dispersión de hogares. En base a experiencias de sistemas energéticos instalados en el área rural del país, se calcula una demanda de 300 W por familia. La demanda de energía de un consumidor, es representada en la curva de demanda en función del tiempo.

**Figura 11: Curva de carga diaria típica en consumidores de área rural**



Fuente: Elaboración propia

La demanda en una zona de suministro eléctrico está sujeta a:

### 2.1.1. Fluctuaciones periódicas

En el caso de las fluctuaciones periódicas pueden ser de mayor importancia las variaciones originadas en las horas del día (amanecer y puesta de sol), en el día de la semana (fin de semana y días laborables) y fluctuaciones estacionales (período de calefacción).

### 2.1.2. Cambios tendenciales

Las causas para cambios tendenciales pueden ser, por ejemplo:

- Sustitución de otras fuentes de energía por la corriente eléctrica.
- Creciente mecanización en el sector productivo o en el sector de servicios.
- Creciente tecnificación en los hogares (introducción de artefactos eléctricos).

## 2.2. Sistema eléctrico de Paucartambo

El área de concesión vigente de Electro Sur Este S.A.A. comprende las Áreas de las Sub Regiones de Cusco, Apurímac y Madre de Dios, que fue otorgada como concesión definitiva para desarrollar actividades de distribución de energía eléctrica con carácter de Servicio Público de Electricidad llegando a cubrir un área total vigente al 2017 de 8092 Km<sup>2</sup>.

**Figura 12: Área de concesión de Electro Sur Este**

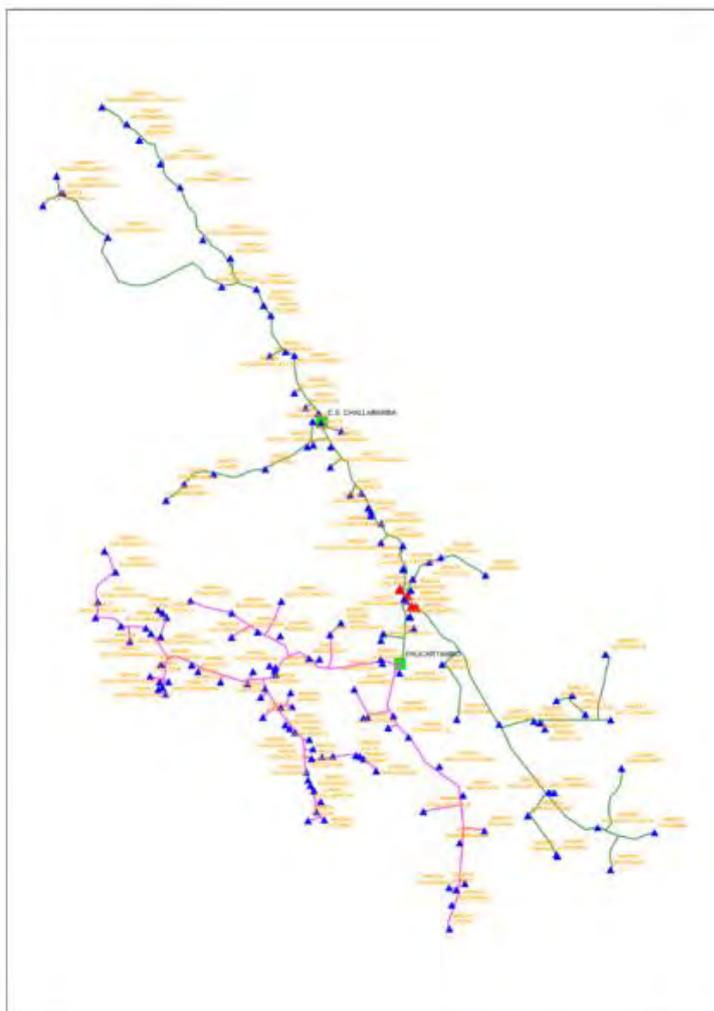
Región	Extensión geográfica (Km <sup>2</sup> )	Área Total Vigente al 2017 (Km <sup>2</sup> )
Cusco	72,104	5,709
Apurímac	20,896	2,229
Madre de Dios	85,183	154
<b>Total</b>	<b>178,183</b>	<b>8,092</b>

Fuente: Electro Sur Este S.A.A.

Electro Sur Este S.A.A. atiende a más de 210 mil clientes con más de 2800 subestaciones de distribución, las actividades más importantes se concentran en el turismo, comercio y en pequeña escala la industria y agricultura. Cuenta dentro de su infraestructura eléctrica no solo con redes de distribución en media y baja tensión, sino también con líneas de subtransmisión y centros de generación.

Para el suministro de la provincia de Paucartambo se tiene la SE Paucartambo, esta subestación es alimentada desde la subestación de Pisac, y posee dos líneas o alimentadores ambos de 22.9 Kv

**Figura 13: Subestación Paucartambo**



Fuente: OSINERGMIN

- **AMT PA01**

Alimentador de Media Tensión Paucartambo 01, presta servicio al pueblo de Paucartambo y al distrito y comunidades de Challabamba, además de tener una derivación que alimenta a las comunidades del distrito de Paucartambo.

- **AMT PA02**

Alimentador de Media Tensión Paucartambo 02, suministra de energía a todo el distrito de Colquepata, además de las comunidades aledañas.

### 2.2.1. Consumo de la provincia de Paucartambo

De las lecturas de consumo de la SE Paucartambo se pudieron obtener los consumos mensuales promedio durante el año 2022:

**Tabla 5: Promedios mensuales de consumo en la provincia de Paucartambo de enero a junio (kW)**

HORAS	ENERO		FEBRERO		MARZO		ABRIL		MAYO		JUNIO	
	PA01	PA02	PA01	PA02	PA01	PA02	PA01	PA02	PA01	PA02	PA01	PA02
00:00	166	75	174	72	173	75	170	79	175	74	174	81
01:00	152	68	160	69	149	71	159	73	165	67	160	72
02:00	147	64	150	62	139	68	150	71	159	63	154	69
03:00	146	68	147	63	143	71	151	70	153	71	146	70
04:00	142	62	151	62	141	69	152	70	156	74	152	68
05:00	158	68	168	66	160	74	163	74	161	83	184	80
06:00	153	58	186	75	196	86	192	82	184	86	192	79
07:00	146	52	225	68	216	76	183	73	204	75	212	72
08:00	159	70	251	68	221	80	198	66	185	60	223	71
09:00	167	51	210	65	214	84	187	68	192	65	215	66
10:00	172	50	208	60	230	79	180	63	207	50	205	72
11:00	184	47	198	64	210	68	186	59	213	58	200	70
12:00	159	53	201	61	220	75	167	62	178	53	210	67
13:00	156	48	193	59	223	78	198	61	222	57	186	69
14:00	174	47	195	52	162	71	172	65	216	47	207	60
15:00	170	49	185	59	162	77	175	58	205	47	206	63
16:00	184	51	197	67	168	67	167	66	204	55	220	61
17:00	155	57	208	55	275	87	193	68	230	63	222	75
18:00	223	72	249	67	320	127	321	144	361	151	308	135
19:00	359	158	389	166	424	191	387	198	413	199	428	189

20:00	373	178	414	182	411	186	372	179	412	169	437	189
21:00	309	139	361	146	345	134	310	141	321	129	376	152
22:00	249	99	266	107	267	100	259	106	245	97	270	114
23:00	192	80	205	86	189	82	199	90	196	83	205	96

Fuente: OSINERGMIN

**Tabla 6: Promedios mensuales de consumo en la provincia de Paucartambo de julio a diciembre (kW)**

HORAS	JULIO		AGOSTO		SEPTIEMBRE		OCTUBRE		NOVIEMBRE		DICIEMBRE	
	PA01	PA02	PA01	PA02	PA01	PA02	PA01	PA02	PA01	PA02	PA01	PA02
00:00	180	75	168	74	168	70	172	78	178	76	182	82
01:00	167	69	170	69	155	75	168	74	174	68	180	75
02:00	150	66	155	63	139	72	158	72	165	64	165	72
03:00	153	68	145	62	143	72	159	74	168	74	155	73
04:00	150	65	151	63	141	72	152	72	165	76	156	74
05:00	164	66	168	64	160	74	165	75	166	84	157	75
06:00	198	79	186	75	200	88	202	85	205	88	206	82
07:00	216	58	180	67	215	75	218	75	215	79	218	76
08:00	251	75	201	70	202	84	202	67	206	65	224	72
09:00	210	56	199	69	215	74	188	68	160	66	219	78
10:00	185	52	190	62	125	82	182	66	198	54	208	72
11:00	200	45	192	66	198	72	192	60	198	59	203	72
12:00	182	50	195	68	195	74	170	65	175	45	196	66
13:00	156	49	193	62	195	75	200	65	197	49	188	72
14:00	174	51	195	55	165	73	180	68	190	48	201	62
15:00	200	48	185	58	164	78	182	62	186	45	204	59
16:00	236	56	197	69	170	68	174	74	192	58	225	65
17:00	225	55	205	55	276	90	197	74	231	61	226	70
18:00	300	74	237	69	325	128	325	147	365	151	318	150
19:00	430	162	378	170	432	199	400	200	419	203	434	152
20:00	442	177	410	188	415	188	385	185	425	172	438	198
21:00	380	135	355	150	347	142	325	140	328	129	382	154
22:00	247	102	265	114	270	119	268	108	255	99	276	125
23:00	190	85	202	89	188	85	201	92	197	93	192	203

Fuente: OSINERGMIN

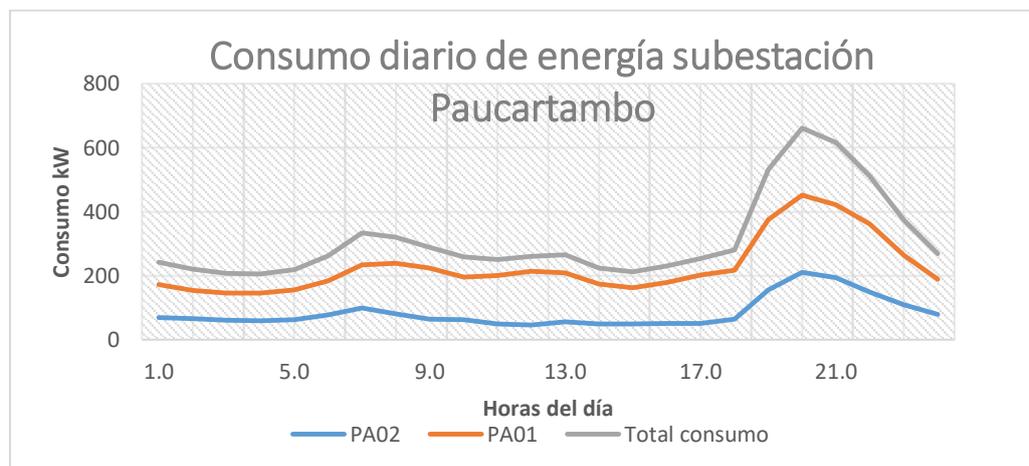
Con esta información se puede obtener un promedio del consumo anual de energía por horas en la zona, que nos permite evaluar de mejor forma la demanda de energía en la provincia de Paucartambo y obtener una curva de demanda.

**Tabla 7: Promedio anual de consumo**

HORAS	PA01	PA02	TOTAL (KW)
00:00:00	173.00	70.00	243.00
01:00:00	155.00	66.00	221.00
02:00:00	146.00	62.00	208.00
03:00:00	146.00	60.00	206.00
04:00:00	156.00	63.00	219.00
05:00:00	185.00	78.00	263.00
06:00:00	234.00	100.00	334.00
07:00:00	239.00	82.00	321.00
08:00:00	224.00	64.00	288.00
09:00:00	196.00	63.00	259.00
10:00:00	201.00	50.00	251.00
11:00:00	214.00	46.00	260.00
12:00:00	209.00	57.00	266.00
13:00:00	175.00	49.00	224.00
14:00:00	162.00	50.00	212.00
15:00:00	180.00	51.00	231.00
16:00:00	203.00	51.00	254.00
17:00:00	217.00	64.00	281.00
18:00:00	375.00	156.00	531.00
19:00:00	451.00	210.00	661.00
20:00:00	421.00	194.00	615.00
21:00:00	362.00	150.00	512.00
22:00:00	264.00	109.00	373.00
23:00:00	189.00	80.00	269.00

Fuente: OSINERGMIN

**Figura 14: Promedio de consumo diario SE Paucartambo**



Fuente: Elaboración propia

En la gráfica se ve que la carga que tiene la subestación podría ser cubierta con la MCH Pumachaca. Solamente en horas de alta demanda sobrepasa la oferta de energía que esta tendría, pudiendo ser de este modo la solución a un servicio que muy a menudo se ve interrumpido por fallas, que en la mayoría de los casos es por lo largo de la línea de transmisión que suministra la energía desde Pisac.

Como se vio en el capítulo anterior, Paucartambo tiene 124 centros poblados, y se observa una concentración del 90.6 % de la población en las zonas rurales y solo un 9.6% en zonas urbanas de la provincia. Siendo más específicos en el distrito de Paucartambo presenta un crecimiento interanual del 1.12 % (del capítulo I). Este crecimiento justifica el incremento en la demanda del sector residencial, que es normalmente el que propicia a las puntas de demanda en el sistema

Sumado a esta consideración del crecimiento poblacional es importante ver que el sector comercial e industrial también son importantes. Dentro del primero se pueden considerar los colegios, institutos, restaurantes e incluso el nivel de consumo de la población.

En el sector industrial figuran las metal-mecánicas, molinos, pequeños talleres, carpinterías y aserraderos, que la población en su afán de desarrollo impulsa a crecer y multiplicarse.

El ingeniero José Lavisqui (1998) considera que la aparición de la industria informal y la pequeña empresa, vienen generando incremento en la demanda de energía en los países latinoamericanos.

El desarrollo del hombre está sumamente atado a la energía y sobre todo a la eléctrica, cada vez más las ciudades y los pueblos requieren de mayor iluminación y los procesos laborales, comerciales e industriales, dependen del uso de aparatos y

máquinas, lo propio con los hogares, los artefactos eléctricos se han hecho de primera necesidad, haciendo que, pese a que el aumento poblacional no sea estable, sí lo es el aumento en la demanda de energía. El desarrollo de los proyectos de generación energética no es muy rápido, y en el transcurso del desarrollo de los mismos, el aumento de la demanda de energía podría hacer que la solución sea mucho más cara.

## **2.2. Descripción de la cuenca hidrográfica del río Pumachaca**

La cuenca hidrográfica altoandina del río Pumachaca actúa como un sistema; recibe la precipitación (en forma de lluvia o nieve) y la convierte en escurrimiento con pérdidas de agua en función de las condiciones climatológicas y físicas de la cuenca. El estudio de la cuenca debe permitir planificar la gestión del recurso hídrico (ingreso, depósito y salida) a fin de lograr una administración eficiente del recurso (Trasa y Tragsatec, 1994)

Al no contar con el proyecto o expediente técnico de la Mini Central Hidroeléctrica Pumachaca (MCH Pumachaca), la investigación replanteó la gestión de los datos básicos en el tema topográfico, geológico, geotécnico y, principalmente en el estudio geomorfológico – fisiográfico de la cuenca.

Se ha constatado que tanto el río Pumachaca, en su zona de deyección, como la CHP, en la zona de captación no disponen de aforo de caudales ni meteorológicos. Situación que llevó a realizar diversos intentos por conseguir el proyecto o expediente técnico que hiciera posible la construcción de la MCH Pumachaca.

### 2.2.1. Localización de la cuenca

Emplazada en el extremo NW y SE del distrito de Paucartambo, capital política administrativa de la provincia del mismo nombre, la cuenca del río Pumachaca (CRP) nace en las estribaciones occidentales del nevado Ausangate y se extiende entre los 4,935 m.s.n.m., en su parte más alta y 3,213.43 m.s.n.m., en su cota más baja. Con una superficie de 123.04 Km<sup>2</sup> (12,304 Has) que corresponden al 11.40 % de la extensión del distrito y al 0,059 de la cuenca hidrográfica del río Mapacho, de cuya red de avenamiento forma parte.

**Figura 15: Localización de la cuenca del río Pumachaca**



Fuente: Google Earth

### 2.2.2. Ubicación geográfica

La cuenca se ubica entre las coordenadas UTM y geográficas que se observan en la tabla 08.

**Tabla 8: Coordenadas de la cuenca**

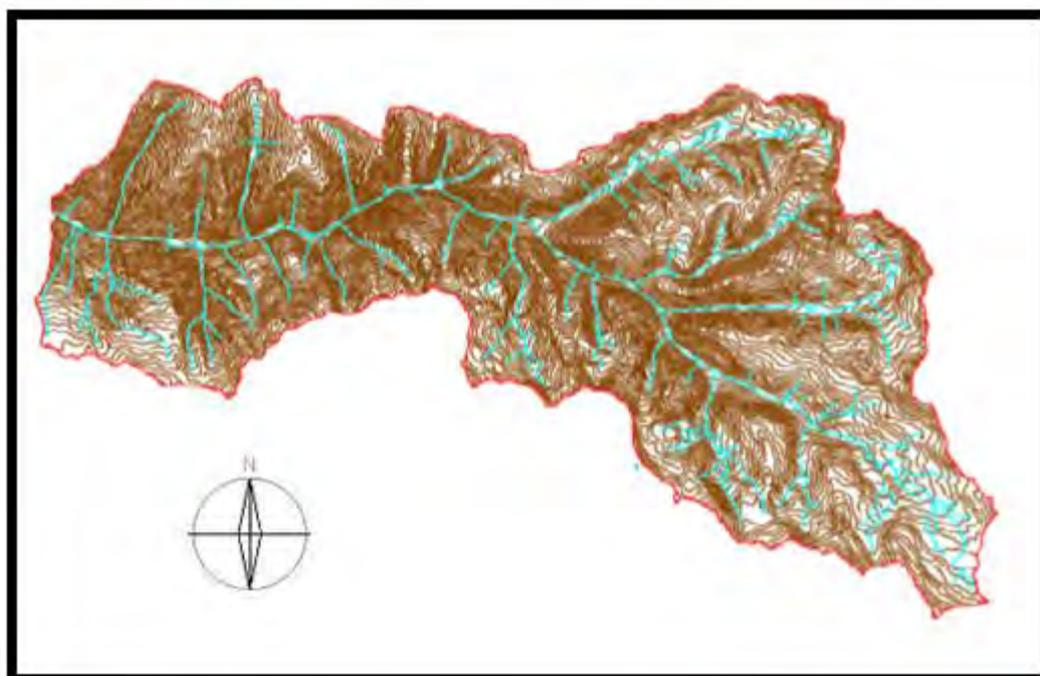
UTM (WGS84)	Unidad	Variable	Parámetro
UTM (WGS84)	m	Este (x)	238,329.72
		Norte (Y)	8,517,862.40
Coordenadas	g° m´ s”	Latitud S	13°23´43.33”
		Longitud W	72°24´58.50”

*Fuente: Elaboración propia*

### 2.2.3. Demarcación hidrográfica y política

La cuenca se delimitó en base criterios cartográficos utilizando; primero, el método tradicional o de delimitación directa sobre la carta nacional (1: 100,000) y; segundo, mediante un SIG especializado.

**Figura 16: Delimitación y límites de la cuenca**



*Fuente: Archivo SIG*

La cuenca tiene como límites geográficos:

- Por el Norte: Cuenca de los ríos Espinguni y Cachimayo
- Por el Este: Distrito de K'osñipata provincia de Quispicanchi
- Por el Sur: Cuenca del río Ccorimayo/Ttiomayo
- Por el Oeste: Río Mapacho, en su parte media baja.

### 2.2.4. Accesibilidad y vías de comunicación

El acceso a la cuenca se realiza a través de la trocha carrozable, o red vecinal de más de 40 kilómetros, que comunica a la ciudad de Paucartambo con los centros poblados, comunidades, anexos y caseríos establecidos al extremo NE del

distrito.

A la altura del kilómetro 9.600 se encuentra el caserío “La Carmelina” (3,100 m.s.n.m.), o lugar donde se ubica la “casa de máquinas” y la tubería forzada de la mini central Pumachaca. Seguidamente, 250 metros más arriba, en sentido SE, la carretera ingresa a territorio de la cuenca en cuya vertiente derecha, dirección SO kilómetro 14.200, en el lugar conocido como “saucebamba” (3,200 m.s.n.m.), se observan las diversas obras de arte de la infraestructura hídrica que conduce el flujo de agua hacia la mini - central.

***Figura 17: Saucebamba, sistema de captación***



*Fuente: Propia*

### **2.2.5. Geomorfología de la cuenca**

El tratamiento de la información en el programa SIG (Ver Anexo 1), hizo posible la obtención de diferentes productos o parámetros geomorfológicos y fisiográficos que coadyuvan al conocimiento gráfico y numérico detallado de la cuenca, lo que permite reconocer la hidrología o comportamiento del agua en el espacio de estudio.

De acuerdo a los cálculos y análisis de la geomorfología y fisiografía se analizarán tres tipos de parámetros: de forma, de relieve y los relacionados a la red

hidráulica (Tragsa y Tragsatec, 1994)

### **2.2.6. De los parámetros de forma**

Como se observa en el Anexo 1, la cuenca del río Pumachaca tiene un área total de 123.04 kilómetros y un perímetro de 68.94 kilómetros. De acuerdo a su índice de compacidad (1.75), la cuenca es de forma oblonga alargada que influye en los fuertes procesos de escorrentía e inundaciones en su parte media y baja, así como en la erosión lateral que puede presentarse tanto en el lecho del cauce como en sus tributarios. Pueden también ocurrir lluvias intensas y concentración de grandes volúmenes de agua. (Absalón Vásquez, Abel Mejía M., et al, 2016 y TRAGSA y TRAGSATEC, 1994)

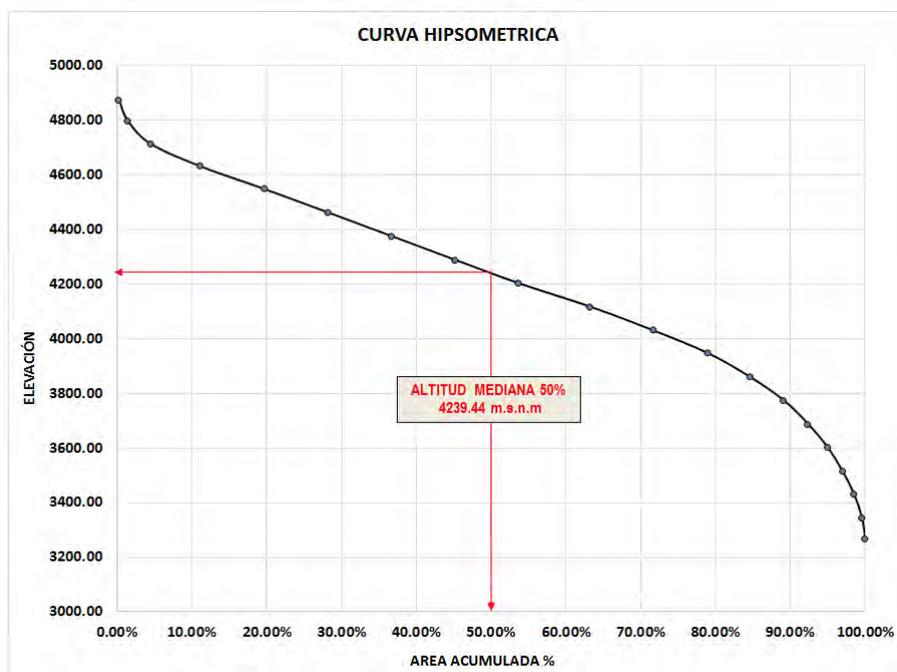
### **2.2.7. De los parámetros de relieve**

El desnivel de la cuenca es de 1.72 kilómetros (comprendidas entre los 3,200 hasta los 4,935 m.s.n.m.), configurando pendientes que oscilan entre 4 a más de 75 %. El río alcanza un desnivel total de 914.63 metros comprendidas entre 3,213.43 y 4,128.06 m.s.n.m.

De acuerdo a la curva hipsométrica se observa que el 50 % acumulado del territorio de la cuenca está comprendida entre los 4,200 a los 4,900 m.s.n.m. El 50% de área restante presenta superficies más escarpadas o encajonadas hasta su

desembocar en el río Mapacho.

**Figura 18: curva Hipsométrica**



Fuente: Archivo GIS

### 2.2.8. De los parámetros hidrográficos

Parámetro que hace referencia a la red hidrográfica o de drenaje natural permanente o temporal de la CRP. Comprende 04 órdenes de ríos cuya longitud total es de 178.12 kilómetros para un total de 368 ríos que arrojan una densidad de drenaje de 1.46 km/km<sup>2</sup> (Ver Anexo 01).

Al ser la densidad de drenaje alta, la respuesta de la CRP frente a una tormenta será rápida y evacuará sus aguas en menos tiempo produciéndose un escurrimiento mayor que provoca una relación caudal – tiempo de volúmenes acumulados de agua variados (TRAGSA y TRAGSATEC, 1994).

A lo largo y ancho de su recorrido se ubican comunidades, anexos y caseríos explotando los diversos recursos del ámbito.

### **2.2.9. Estudios de Geología y Geotecnia:**

En las visitas de campo sucesivas, se observa que la estabilidad mecánica y sostenibilidad de la infraestructura de la Central Hidroeléctrica de Paucartambo (CHP), obedece a las dinámica geológica y geotécnica que obviamente requieren de un estudio un poco más profundo para el replanteamiento de la hidráulica del sistema.

#### **2.2.9.1. Geología**

La cuenca presenta formaciones rocosas metamórficas que son parte del macro anticlinal Paucartambo o secuencia uniforme generalizado en los afloramientos de las laderas de la cuenca, conformada por pizarras y esquistos grises a negros y visibles a causas de la erosión. Existen también bancos de cuarzo de gran espesor y bloques de rocas considerables en el lecho de río (pizarras negras y esquistos cuarcítico – calcáreos).

La geodinámica externa deja ver flujos intermitentes de lodo (huaycos) en las quebradas, escasa caída de bloques medianos a grandes en las pendientes pronunciadas que, aunque no afectan el sistema de conducción, se constituye en un riesgo intermitente a tomar en cuenta y requiere de trabajos de estabilización.

Existe y existirá el riesgo de deslizamientos de suelo y roca en las zonas de ladera o de pendiente moderada a pronunciada (10 % a 30 %) y fuerte (45 % a > 70 %) o taludes elevados donde se deposita la infraestructura del canal de conducción.

En la zona de desvío y captación, por descuido en la reparación y mantenimiento de las obras, se observa que el aumento repentino de los caudales produce inundaciones y erosión fluvial de la rivera lateral del río junto a la colmatación de las obras de captación y conducción inicial (Víctor Santiago, Carlotto

et al, 2011).

### **2.2.9.2. Geotecnia**

Construida en lechos coluvio – aluviales (zona de ladera) y lecho rocoso (taludes) en un gran porcentaje (75%). Se observan deformaciones rocosas, fallas naturales, muchas de ellas inducidas por el intemperismo, gravedad, presión, desmoronamiento y fractura de las rocas, procesos que en tramos de taludes pronunciados interrumpen el flujo uniforme de agua, erosiona el revestido del canal, deposita material de sedimentación, etc., etc., afectando la calidad del agua e interrumpiendo el funcionamiento de la CHP. Los sedimentos (arcillosa con presencia de grava) han influido en el desgaste, duración y reparación continua de la turbina por lo tanto en la eficiencia del servicio (Horacio Soriano A., 2015).

### **2.2.10. Variables climáticas de la cuenca**

La data consignada en los ítems siguientes, se sustenta en los estudios, análisis, cálculos y proyecciones hidrológicas que el estudio del PER PLAN MERIS INCA (PPMI) registra y transfiere a 08 cuencas alto andinas (no controladas o carentes de información meteorológica e hidrológica), ubicadas en la zona media y alta de las vertientes del río Mapacho.

Metodología que encuentra respaldo en el estudio sobre “Similitud Hidráulica” desarrollado por Oswaldo Ortiz – Vera (2015), que consiste en la identificación de sistemas hidrológicos con “similitud hidráulica, cuyas condiciones pueden ser aprovechadas para transferir información de un sistema a otro “similar”.

OSWALDO ORTIZ – VERA, 2015. Similitud hidráulica de sistemas hidrológicos altoandinos y transferencia de información hidrometeorológica. Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM). Lima – Perú.

PROYECTO ESPECIAL REGIONAL PLAN MERIS INCA (PPMI) y MUNICIPALIDAD DE PAUCARTAMBO, 2012. Instalación y Mejoramiento de Riego Margen Derecha del río Mapacho, distritos de Paucartambo, Ccarhuayo y Ocongate, provincias de Paucartambo y Quispicanchi.

### 2.2.11. Temperatura

La temperatura media anual de la CRP puede variar entre 3.91°C y 4.60°C, la temperatura mínima entre los -3.48°C y -1.92°C y la temperatura máxima entre los 11.6°C y 9.55°C. En los tres casos debemos considerar la significativa oscilación latitudinal de nuestra cuenca.

A nivel regional, según “Estudio Hidrológico PPMI”, la relación entre temperatura y altitud, para la cuenca en estudio, las temperaturas pueden variar dentro de un amplio rango que comprende los 20°C (3,200 m.s.n.m.) y - 5°C, (4,935 m.s.n.m.).

### 2.2.12. Humedad relativa y horas sol

De acuerdo al estudio del PPMI, al no contar con información mensual de las estaciones meteorológicas locales (Ccatca y Paucartambo), se procedió a consignar datos de la estación K'ayra, similar – o aproximada – en términos de latitud a las cuencas en estudio y a la cuenca del río Pumachaca (CRP) tal como se observa en el cuadro.

**Tabla 9: Humedad relativa mensual**

Humedad Relativa (H° R)	
Humedad Relativa media mensual	74.96 %
Humedad Relativa máxima mensual	80.50 %

---

Humedad Relativa mínima mensual	64.11 %
Horas Sol (heliofanía)	
<hr/>	
Horas de sol anual (6.14 hrs/día)	2239.46 hrs.
Hora de sol media mensual	186.62 hrs.
Hora de sol máxima mensual	250.93 hrs.
Hora de sol mínima mensual	126.63 hrs.

---

*Fuente: Estudio Hidrológico PPMI*

En conclusión, la humedad relativa mensual en la CRP puede variar entre 64.11 % y 80.50 %, los valores más altos se presentan para las más de 123.63 horas sol que se observa en el mes de agosto (María E. Carbone, et al 2003).

### **2.2.13. Evaporación**

Tal como se observa en el gráfico, la evaporación regional está en función o es proporcional al incremento de la altitud, amplitud del espejo de agua, vegetación, etc., etc. Así tenemos que los rangos de evaporación para la CRP están comprendidos entre los 100 a 140 mm., para altitudes que oscilan entre e los 3,200 a 4,930 m.s.n.m.,

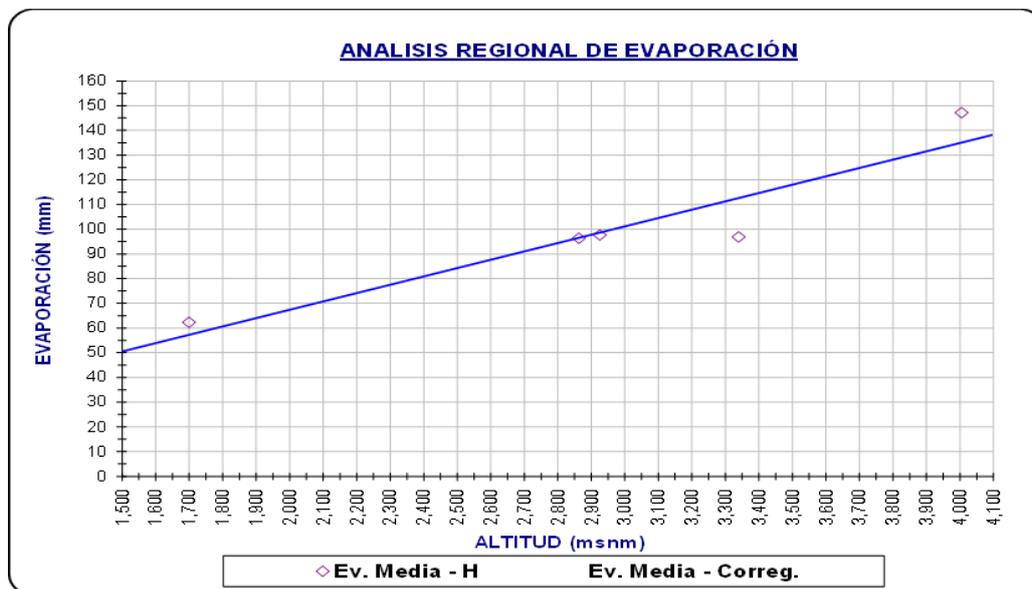
La evaporación natural de la CRP se verá afectada en la medida que existan volúmenes amplios (lagunas, huayllas o pajonales, etc.) o se construyan amplios reservorios o canales de conducción abiertos expuestos a la acción del clima, situación que no se observa en la captación y conducción de la infraestructura de la

MCH Pumachaca.

Fuente: Estudio Hidrológico PPMI

### 2.2.14. Hidrología de la cuenca

**Figura 19: Análisis regional de la evaporación**



En esta sección se comenta e intenta profundizar información relacionada con la precipitación y caudales que el año 1994 se presentará como trabajo de prácticas Pre – profesionales realizadas en la “Minicentral Hidroeléctrica de Pumachaca” y que fuera auspiciado por la Municipalidad de Paucartambo.

### 2.2.15. Precipitación

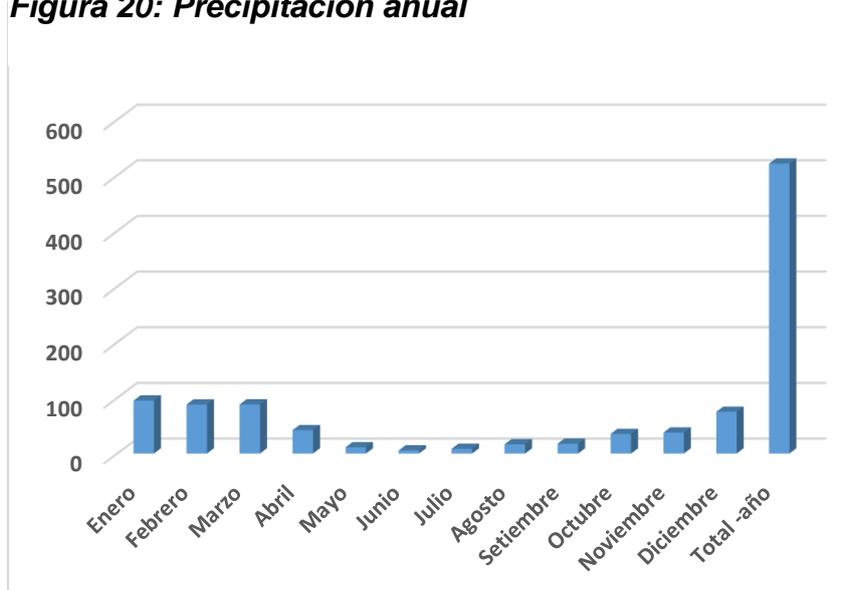
Dentro de la generalidad, el documento menciona, no presenta, que se contó con información relacionada con la precipitación mínima, máxima y frecuencia respectiva que sustentó el diseño hidráulico de la MCH Pumachaca.

Para reforzar la información se han considerado los registros de precipitación del proyecto de defensa ribereña ejecutado por la Municipalidad de Paucartambo el año 2013. La información expone los promedios de precipitación para la zona media

alta del río Mapacho que comprende la provincia de Paucartambo, dentro de ello menciona que el promedio anual de lluvias es de 510.10 mm, las lluvias más intensas se producen en los meses de enero – abril con precipitaciones de 95.23 a 41.97 mm respectivamente, el período de estiaje (mayo – agosto), registra lluvias bajas a moderadas.

*Fuente: Proyecto Defensa Rivereña en el río Mapacho, 2013. Proyecto de Inversión Pública (SNIP): “AMPLIACIÓN Y MEJORAMIENTO DE LA DEFENSA RIBEREÑA*

**Figura 20: Precipitación anual**



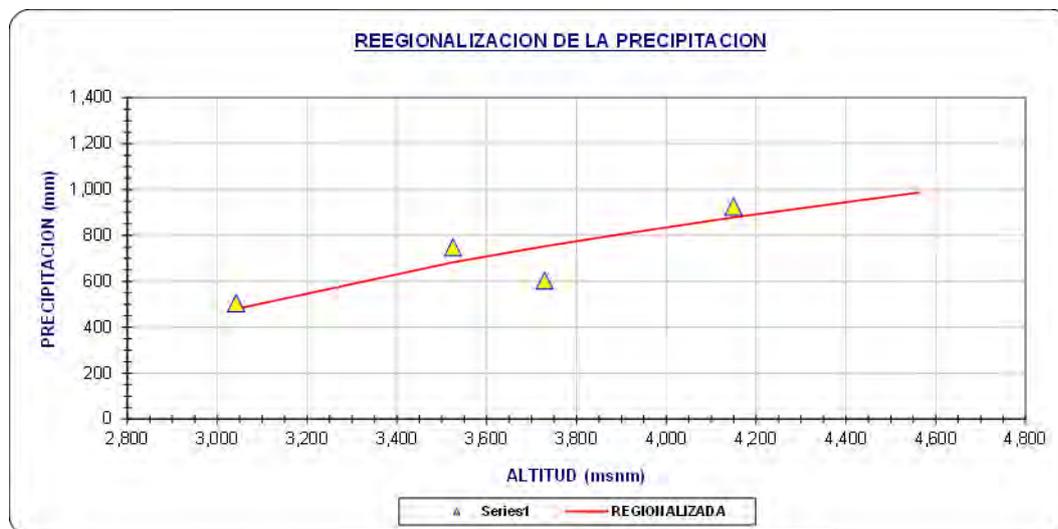
*EN LA MARGEN DERECHA DEL RIO MAPACHO PARA LA PROTECCIÓN DE ÁREAS AGRÍCOLAS DEL SECTOR SUNCHUBAMBA DE LA COMUNIDAD CAMPESINA DE JUAN VELASCO ALVARADO DEL DISTRITO DE CHALLABAMBA PROVINCIA DE PAUCARTAMBO – CUSCO, 2013*

**2.2.16. Análisis y tratamiento regional de la precipitación**

De acuerdo a los estudios hidrológicos para la cuenca del río Mapacho realizado por el PPMI el año 2012 en base a registros históricos de las estaciones meteorológicas de Ccatca y Paucartambo, y otras a nivel regional, se han generado precipitaciones para zonas carentes de registros históricos que nos permiten ubicar el rango de precipitación en la CRP. Así tenemos que para altitudes comprendidas

entre los 3,200 a los 4,000 m.s.n.m., se presentan precipitaciones entre 400 a 600 mm.

**Figura 21: Regionalización de la precipitación**



Fuente: Estudio Hidrológico PPMI

### 2.2.17. Caudal aprovechable

El documento arriba comentado, señala literalmente: “que el recurso hídrico aprovechable para el funcionamiento de la MCHP, es el río Pumachaca”, cuyas posibilidades hídricas han sido calculadas mediante aforos del caudal generados a partir de las precipitaciones ocurridas en la cuenca del río Mapacho. De esta, forma, menciona el documento; el caudal mínimo registrado para el tiempo de estiaje (junio a setiembre) es 1.1 m<sup>3</sup>/s dando a conocer que la carga o caudal extraordinario ocurrido es de 12 m<sup>3</sup>/s (enero – marzo).

Por su historial y sucesivas observaciones al comportamiento físico de la CRP, esta presenta una buena condición hidrológica derivada de la presencia de vegetación arbustiva, pastos, cultivos, bosquetes y demás formaciones agroecológicas que coadyuvan con su integridad. Situación que no niega la necesidad de realizar un estudio de transferencia hidrológica que, sustentado en los

registros pluviométricos de cuencas vecinas con características de precipitación, geomorfológicas y otras variables, determinen el actual comportamiento hidrológico del río Pumachaca (PPMI, 2012).

### **Reflexiones y recomendaciones**

La cuenca es resultado de la interacción de diversos factores físicos, ecológicos y humanos. El punto de partida para la comprensión y análisis de interrelación de estos procesos está relacionado con el conocimiento de los parámetros de forma, relieve y de la red hídrica o drenaje de la cuenca.

Si bien se cuenta con información casual y puntual acerca del comportamiento de la precipitación y caudal para la CRP, el vacío de información hidrométrica histórica siempre es una constante que dificulta el análisis hidrológico, principalmente local. Se hace necesario el uso de metodologías validadas de transferencia de datos por similitud hidráulica en base a la correlación de valores físicos (forma, relieve, drenaje, etc.) e hidrológicos para las cuencas altoandinas, principalmente.

En el cauce central de la CRP, con una pendiente de 46.39 %, el agua disponible es principalmente de uso hidroenergético. El agua producida y disponible en la cuenca para diversos usos, toma como punto de descarga la captación para la MCH Pumachaca, sin observarse mayor variación en el caudal.

Los caudales mensuales varían en relación a la pluviometría de la cuenca, los meses lluviosos varían de 95.23 a 88.19 mm/mes (diciembre a marzo) y en los meses de estío de 11.21 a 8.48 mm/mes (mayo a junio). En los meses de abril y noviembre las lluvias alcanzan promedios mensuales de 41.97 y 35.68 mm/mes respectivamente.

Se estima que el río Pumachaca tiene un caudal fluctuante entre 01 m<sup>3</sup> al estío (mayo – julio) y un promedio de 12 m<sup>3</sup> para los meses lluviosos (diciembre, enero, febrero, marzo, abril y noviembre), de los cuales se debe considerar el caudal ecológico, de acuerdo norma establecida por la Autoridad Nacional del Agua (ANA).

De la misma forma el caudal de diseño estará en función a la importancia de la infraestructura existente; de su mejoramiento y/o rediseño. Tratándose de una obra de importancia y riesgo, considerar tiempos de retorno amplios tomando en consideración una vida útil no menor a 50 años.

## **CAPITULO III**

### **OBRAS CIVILES**

#### **3.1. Introducción**

En el desarrollo de los proyectos de ingeniería intervienen y conviven diversas áreas de la ingeniería como, por ejemplo, en este trabajo las áreas de la electricidad, hidráulica, electrónica, hidráulica y mecánica desempeñan papeles sumamente importantes y cada uno imprescindible, ninguna de las disciplinas podría salir adelante si las demás no funcionan como han sido planeadas.

En este proyecto las obras civiles son de gran importancia, puesto que son el complemento y el soporte de las obras mecánicas y eléctricas. Serán también las encargadas de asegurar una adecuada captación del agua, su regulación, conducción a través de todo el canal hasta la cámara de carga. La importancia de las obras civiles se puede evidenciar también en la infraestructura que soporta la tubería de presión, la casa de máquinas, etc.

#### **3.2. Potencia de diseño**

La potencia de diseño de la M.C.H. de Pumachaca es de 600 Kw, empleando dos grupos generadores de 300 Kw cada uno, es con este valor (600 Kw) que se efectuara toda la evaluación de las obras civiles.

##### **3.2.1. Potencia al eje de la turbina**

Para el cálculo de la potencia al eje se tomará en consideración la siguiente fórmula:

$$P = \frac{\rho g Q H_N \eta}{K}$$

Donde:

- P: potencia al eje de la turbina (600 Kw)
- $\rho$ : densidad del agua (1000 Kg/m<sup>3</sup>).
- Hn: Altura neta (154 m)
- $\eta$ : Rendimiento de la turbina, (0.89)
- Q: Caudal o gasto de agua en cada turbina (0.500 m<sup>3</sup>/s).
- G: gravedad (9.8 m/s).
- K: constante de conversión (1000 W/KW).

### 3.2.2 Potencia eléctrica generada

$$P_E = \frac{\rho g Q_d H_N \eta \eta_{Tr} \eta_g}{K}$$

Donde:

- PE= Potencia eléctrica en los bornes del generador (600 Kw)
- $\eta$  = Eficiencia de la turbina (0.915)
- $\eta_{Tr}$  = Eficiencia de la transmisión (0.9)
- $\eta_g$  = Eficiencia del generador (0.92)

### 3.3. DETERMINACION DE ALTURAS

La Altura de trabajo está determinada por la diferencia de cotas entre el nivel de agua superior en la cámara de carga y el nivel inferior del agua de descarga de la turbina, esta altura corresponde a una Altura Bruta (Hb). Puesto que en todos los sistemas de conducción por tuberías se presentan pérdidas de presión, debido a la fricción en el recorrido y los accesorios, se calcula una Altura Total de Pérdidas.

La Altura Neta de Trabajo (Hn) es un valor que define todas las características de diseño del equipo electromecánico, y se calcula a partir de la

Altura Bruta ( $H_b$ ) y se le resta la pérdida de alturas total, debido a la fricción en la tubería y en los accesorios.

$$H_n = H_b - \Sigma \Delta h_f$$

Donde:

- $H_b$  = altura bruta (158.77 m).
- $H_n$  = altura neta (154 m)
- $\Sigma \Delta h_f$  = Sumatoria de pérdidas de altura debido a fricción total (4.768 m).

De los estudios previos realizados en la zona, se obtienen los datos de:

El rendimiento de la conducción o de la instalación de las tuberías está dado por:

$$\eta_c = \frac{H_n}{H_b} 100$$

Donde:

- $\eta_c$  = eficiencia de la conducción en %.

Obtenemos  $\eta_c = 97 \%$

### 3.4. DETERMINACION DE CAUDALES

#### 3.4.1. Caudal de diseño

El caudal para diseño del grupo hidroeléctrico estará en función a tres variables fundamentales:

- Potencia de diseño 600 Kw.
- Eficiencia de diseño de turbina que es 0.89
- Altura neta de 154 metros

$$Q_d = \frac{P_E K}{\rho g H \eta_{it} \eta_{tr} \eta_g}.$$

Obtenemos:

- $Q_d = 0.5 \text{ m}^3/\text{s}$ .

### 3.4.2. Variaciones de caudal

En el capítulo 2; Estudio de la Demanda y Descripción de la Cuenca Hidrográfica se determinaron los valores máximos y mínimos del caudal del río Pumachaca

- Caudal máximo de  $12 \text{ m}^3/\text{s}$  de avenida.
- Caudal mínimo  $1.3 \text{ m}^3/\text{s}$  de estiaje.

### 3.4.3. Determinación del caudal utilizable.

El caudal utilizable debe ser un caudal tal que el río pueda garantizar, ya que el equipamiento electromecánico estará diseñado de acuerdo a este parámetro. Se calculó que el caudal de  $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$  será el caudal requerido para la instalación y que está garantizado por el caudal del río Pumachaca, que supera ampliamente este requerimiento a lo largo de todo el año.

### 3.5. Obras de captación

#### 3.5.1. Bocatoma o presa de derivación

**Figura 22: Bocatoma de la MCH Pumachaca**



*Fuente: Propia*

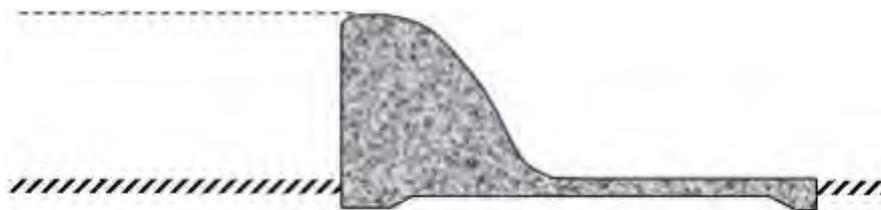
La bocatoma es una presa de derivación, con una ventana de decantación que debe tomar del río una cantidad suficiente de agua para ser conducida al canal de aducción. Esta es una estructura de retención del río y para su diseño se deben tomar las siguientes consideraciones:

- La construcción debe ser de concreto ciclópeo reforzado con acero, de operación confiable y de baja necesidad de mantenimiento.
- En época de crecida el agua debe pasar con suficiente holgura por encima de la estructura dimensionada y calculada para tal fin.
- El agua debe ser captada con la menor cantidad de sólidos posibles
- La capacidad de captación de agua deberá ser tal que en la descarga siempre haya agua, de manera que el río no quede seco aguas abajo, respetando el caudal ecológico.

- Si el caudal afluente sobre pasa del límite de la capacidad de la rejilla (en épocas de crecida) las descargas no derivadas deberán ser evacuadas por encima de la rejilla aguas abajo.
- El encauzamiento del río Pumachaca está realizado mediante muros de concreto, ubicado en la margen derecha del cauce.
- Para la construcción de la bocatoma se tomaron en cuenta condiciones básicas de toda central, siendo éstas las siguientes consideraciones:
  - El Marco de la compuerta debió ser más alto que el nivel máximo de avenidas, después de instalado el barraje.
  - Cuando el nivel de avenidas es muy bajo debe mantenerse la altura del marco de la compuerta, pues ésta es la mínima dimensión que permite la maniobra de la compuerta.
  - Para el espesor de la pared de defensa de la compuerta de limpia deben hacerse las mismas consideraciones anteriores.

La bocatoma de la MCH de Pumachaca, fue construida en el sector llamado Saucebamba, en este punto el río Pumachaca tiene un ancho de 11.5 m, consta de un barraje fijo, tipo cimacio de concreto ciclópeo de 10 m De longitud y una altura sobre el nivel del fondo del río de 1.70 m.

**Figura 23: Perfil de la bocatoma de la MCH Pumachaca**



Fuente: Diseño de obras hidráulicas de José Arbulú Ramos

Inmediatamente aguas abajo del azud se encuentra la cuenca amortiguadora o longitud del zampeado para disipar la energía cinética elevada generada por la carga hidráulica.

Su longitud calculada es de 5.0 m. Para evitar erosiones en el fondo del angostamiento, además cuenta con un solado de concreto aguas arriba de la presa del azud. Para desaguar los sedimentos acumulados, aguas arriba del parámetro de la presa. Los materiales sólidos acumulados aguas arriba del barraje se eliminan por medio de un canal de limpia de 1.0 m. De ancho, la misma que se controla por una compuerta levadiza de 1.3 m. De alto, con el fin de conservar el nivel superior de las ventanas en estiaje.

***Figura 24: Vista superior del área de captación y bocatoma***



*Fuente: Propia*

### **3.5.2. Canal de aducción**

La función del canal es la de llevar el volumen de agua desde la captación hasta la cámara de carga. Los canales de aducción y derivación deben ser dimensionados de acuerdo al caudal de diseño, es decir los canales deben ser dimensionados para que pueda conducir la cantidad de agua requerida con la

inclinación dada.

Con este criterio es posible calcular las dimensiones adecuadas, así como el desnivel correcto entre el inicio y el final del canal. Tres factores básicos deciden las dimensiones del canal:

- El tipo de canal.
- El material de construcción del canal.
- La pendiente que debe tener el canal.

El diseño ideal de un canal de aducción está basado en cinco principios básicos:

- La velocidad del agua debe ser lo bastante alta como para asegurar que los sólidos en suspensión no se asienten en el fondo del canal restando la sección del canal y limitando el caudal.
- La velocidad del agua en el canal debe ser lo bastante bajo como para asegurar que no se erosione sus paredes laterales y el fondo del canal.
- El desnivel en todo el canal debe ser reducido.
- El canal debe ser duradero y confiable, libre de sedimentos y no erosionable.
- Su costo de construcción y mantenimiento deben ser mínimos.

Según la ecuación de continuidad, el caudal  $Q$  es una función de la velocidad de escorrentía y del área de la sección transversal:

$$Q = V \times A$$

Donde:

- $Q$ :  $0.6 \text{ m}^3 / \text{s}$ .
- $A$ : Sección transversal en  $\text{m}^2$ , en el caso del canal de la MCH de Pumachaca

se considera un área de 0.94 m<sup>2</sup>

- $V = 0.64$  m/s, que es la velocidad media en el canal.

### 3.5.2.1. Velocidad de fluido

Las velocidades en los canales, varían en un rango cuyos límites son:

- Velocidades mínimas: que no produzcan sedimentación (depósitos de materiales sólidos en suspensión), valores experimentales indican que este valor mínimo es 0.30 m/s, velocidades menores, disminuyen la capacidad de conducción del canal.
- Velocidades máximas: que no produzcan erosión en las paredes y fondo del canal, valores que sobrepasan las velocidades máximas permisibles, modifican la rasante y crean dificultades al funcionamiento de las estructuras que tenga el canal.
- Valores experimentales, indican velocidades máximas recomendadas, en función del material en el cual está alojado el canal.

### 3.5.2.2. Rugosidad

Coefficientes de rugosidad  $n$ , para conducción en materiales de concreto o cemento, propuesto por Horton, para ser utilizados en la fórmula de Manning se presentan en la siguiente tabla:

**Tabla 10: Coeficientes de rugosidad de Horton**

Material	Coefficiente de rugosidad $n$
Superficie de cemento pulido	0.012
Tuberías de concreto	0.015
Canales revestidos con concreto	0.014
Superficie de mampostería con cemento	0.020

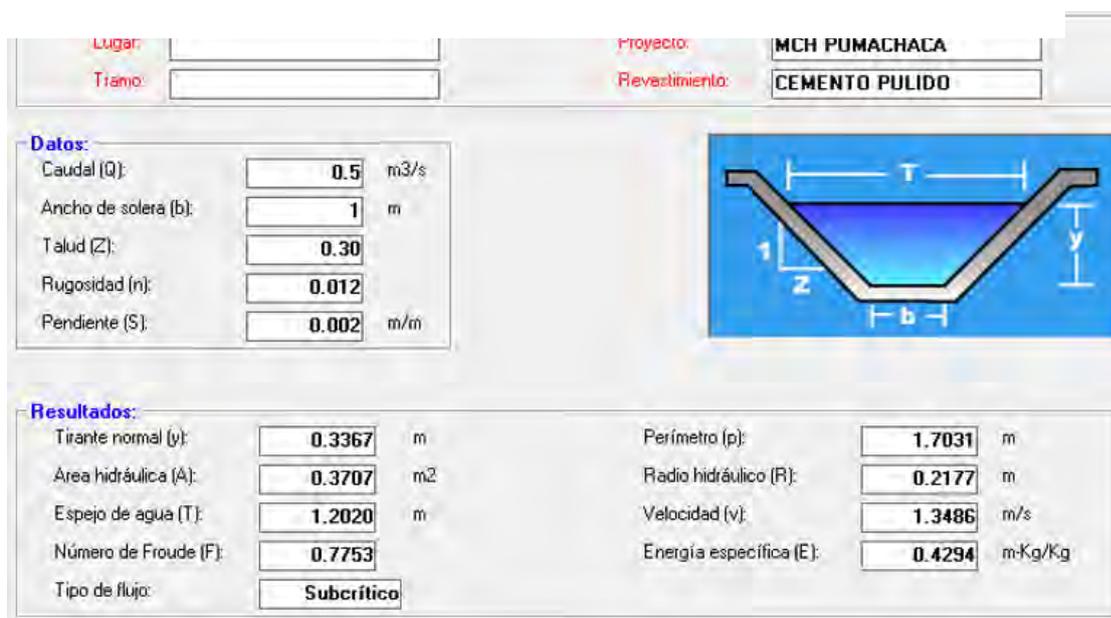
*Fuente: Elaboración propia*

El canal de aducción de la MCH de Pumachaca tiene una longitud de 5,440 desde la bocatoma hasta la cámara de carga, en su recorrido, el canal atraviesa por diferentes sectores en los que está expuesto a muchos posibles daños como los animales, las plantas de la zona, los derrumbes, todos estos causan daños e introducen residuos y desperdicios, que son arrastrados hasta la cámara de carga con efecto nocivo al mismo.

### 3.5.2.3. Pendiente

En principio, para un buen diseño de canal de conducción se debe tener en consideración que se necesita perder la menor altura posible; la velocidad del agua se ve incrementada por el tipo del revestimiento del canal. Es así que, en el canal se aprecia una velocidad muy considerable (pendiente:  $S = 0.002$ ), con lo cual se evita la acumulación de materiales en el fondo.

**Figura 25: Características del canal**

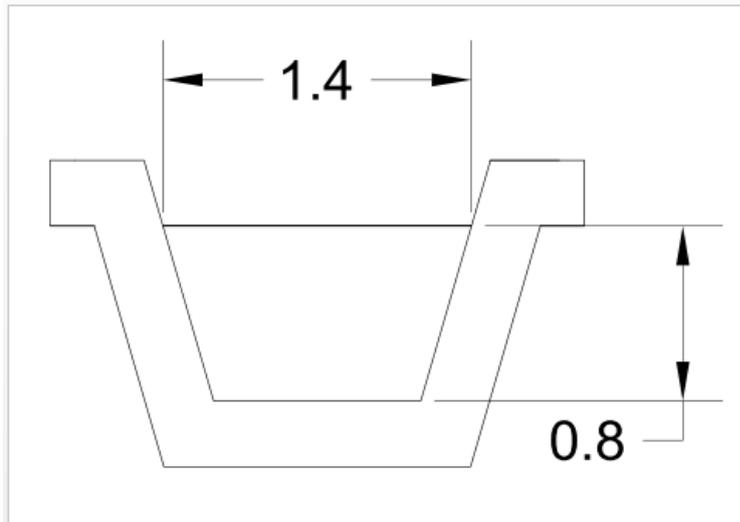


Fuente: HCANALES

El canal de aducción en toda su longitud es de sección trapezoidal. Se adoptó esta forma por su radio medio hidráulico y porque brinda mayores facilidades

en su construcción y menor costo, el revestimiento que posee, permite que la velocidad no se pierda y el sedimento sea el menor posible.

**Figura 26: Geometría del canal de aducción**



*Fuente: Elaboración propia*

Las características del canal:

- Área total del canal: 0.94 m<sup>2</sup>
- Perímetro mojado: 4.00 m
- Radio medio hidráulico: 0.23 m

Actualmente el canal conduce un caudal de 0.30 m<sup>3</sup>/s, debido a que, como se vio en la situación actual, hay partes en las que el canal ha colapsado y el flujo se ha restaurado con cilindros, esta medida es de momento suficiente, pero fue siempre pensado para el funcionamiento con los dos grupos, después de algunas obras de recuperación y mantenimiento del canal estaría en condiciones de acarrear el caudal suficiente para el funcionamiento de los dos grupos.

### 3.6. Desarenador y cámara de carga

#### 3.6.1. Desarenador

El desarenador es una estructura civil necesaria cuando el contenido de materias en suspensión en el agua del río es alto y los elementos mecánicos de la obra deben ser protegidos contra la abrasión por materiales duros en suspensión.

El principio consiste en reducir la corriente de agua a una velocidad pequeña y distribuida lo más uniformemente posible a lo largo de la sección de la cámara de carga. El tiempo de transcurso del agua por la cámara de carga no debe ser menor que el tiempo que la materia en suspensión necesite para depositarse, con estas condiciones marginales se llega a obras largas y de forma hidráulicamente favorable.

***Figura 27: Vista del desarenador y la cámara de carga***



*Fuente: Propia*

Antes de llegar a la cámara de carga el canal se ensancha y se reduce la velocidad del agua, ahí los sedimentos que trae el agua se depositan en la base, permitiendo que el agua ingrese a la tubería de presión lo más libre de partículas posible. El desarenador posee también una compuerta que permite su limpieza

durante las horas de menor demanda.

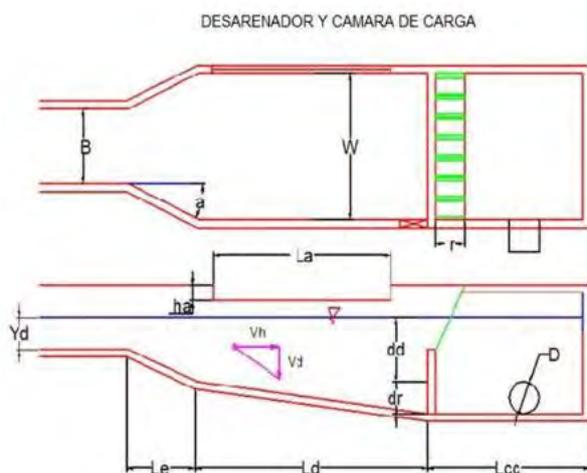
En este caso el desarenador cumple las funciones de canal de alivio durante las horas de menor consumo.

### 3.6.2. Cámara de carga

La cámara de carga es una estructura hidráulica que recibe el agua del canal de conducción y permite su ingreso a la tubería de presión, sus funciones principales son:

- Almacena un volumen de agua que satisfaga el consumo de las turbinas en cualquier condición de operación.
- Impide el ingreso de materiales sólidos que vienen por el canal hacia la tubería y luego hacia la turbina.
- Sedimenta materiales sólidos suspendidos en el agua.
- Desaloja el exceso de agua que pueda venir por el canal.
- Sirve de medio de disipación de la energía de sobre presiones ocasionada por la apertura o cierre del distribuidor de la turbina hidráulica.

**Figura 28: Vista en planta y sección de una cámara de carga**



Fuente: [www.uns.edu.pe](http://www.uns.edu.pe)

### **3.7. Canal de descarga**

Es el canal mediante el cual se descarga el agua turbinada, desde la casa de máquinas hasta el río principal,

La determinación de la gradiente del canal, se hace en función a la topografía del lugar.

La sección del canal es de preferencia rectangular y sus paredes y fondo podrán ser de concreto sin revestir o de piedra, su diseño es similar al canal normal de conducción de agua.

El canal de descarga puede tener obras adicionales y muros de defensa a fin de que las crecidas del río no la afecten o destruyan.

### **3.8. Casa de máquinas y casa del tomero**

#### **3.8.1. Casa de máquinas**

***Figura 29: Vista de la casa de máquinas***



*Fuente: Propia*

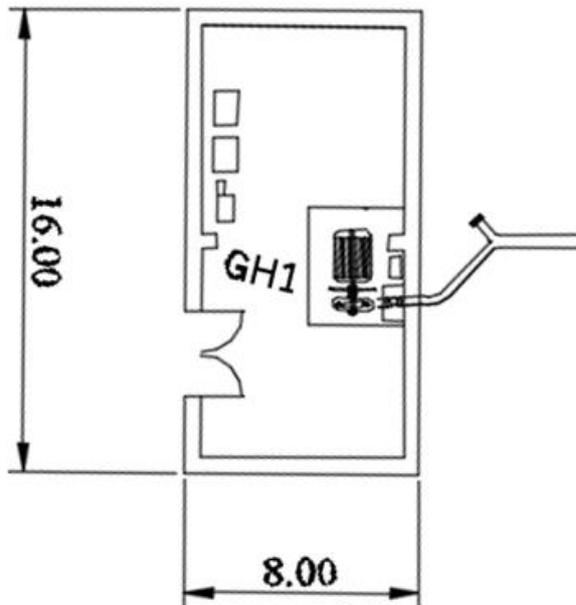
Esta construcción está pensada para albergar a los grupos generadores, los instrumentos de control y medición, en su parte exterior tiene el transformador de 400 KV.

Es una construcción de 8 x 10 m., Los materiales empleados para la construcción de la casa de máquinas son los siguientes:

- Cimientos: concreto ciclópeo
- Sobre cimientos: concreto simple
- Falsos pisos: concreto simple
- Veredas: concreto simple
- Base para maquinaria: concreto armado
- Muros: adobe aparejo de cabeza
- Techos: tijerales de madera con cobertura de calamina
- Zócalos: Cemento
- Ventanas: Metálicos con vidrios simples
- Puertas: Madera tablero rebajado
- Pintura: Al temple en muros, esmalte en carpintería, anticorrosiva elementos metálicos.

Estas construcciones están edificadas a la margen derecha de los ríos Mapacho y Pumachaca.

**Figura 30: Distribución actual de la casa de máquinas**



*Fuente: Elaboración propia*

La casa de máquinas está construida de acuerdo a diseño, especificaciones técnicas y planos requeridos en función a las características y dimensiones de la maquinaria y las viviendas del operador y tomero de acuerdo a la necesidad y posibilidad del momento.

### 3.8.2. Casa del tomero o guardián

**Figura 31: Casa del tomero en la zona de Saucebamba**



*Fuente: Propia*

Son construcciones que cumplen la función de vivienda de guardián y controladores del central hidroeléctrico, son construcciones de las mismas características de la casa de máquinas. Cuenta con dormitorio, oficina, cocina y servicios higiénicos, se encuentra en el lugar de la bocatoma, Saucebamba.

### **3.9. Bloques de anclaje**

En el trayecto de la tubería de presión hay estructuras civiles, llamadas obras de caída, que soportan y sirven de apoyo a la tubería que lleva el peso del agua y el de la misma instalación. Los bloques de apoyo y los bloques de anclaje forman parte de estas obras.

#### **3.9.1. Bloques de Apoyo**

Son los encargados de apoyar a la tubería cada cierto espaciamiento, de manera que actúan como columnas de apoyo y el tubo actúa como una viga simplemente apoyada.

Los bloques de apoyo o llamados también soportes han sido construidos de tal manera que permiten el movimiento longitudinal de la tubería a presión, al contraerse o dilatarse debido a los cambios de temperatura y deben cumplir los siguientes requerimientos:

- Los apoyos están contruidos sobre suelo firme o roca y no sobre relleno. La superficie de contacto del apoyo con el suelo de cimentación está calculada para soportar el peso sin exceder el límite de capacidad de resistencia del suelo.
- Se calculó el máximo espaciamiento entre soportes de la tubería, para que esta no falle por flexión.

### 3.9.2. Bloques de Anclajes

Se ha diseñado para absorber los esfuerzos que se originan debido al cambio de dirección en el flujo, la presión del agua dentro del tubo, el peso de la tubería de presión para que este trabaje por gravedad, es decir por peso propio de la estructura, por tanto, es el que absorbe los esfuerzos.

Se consideró para estos cálculos un peso específico del concreto de 2,200 kg/m<sup>3</sup>.

Las condiciones fundamentales para el diseño del anclaje son:

- El peso del anclaje debe absorber todas las fuerzas antes mencionadas.
- Los bloques de los anclajes y los apoyos cumplen la misma función básica de contrarrestar las fuerzas de los fluidos que podrían hacer que la tubería a presión se mueva y corra el peligro de romperse.
- Los bloques de anclaje de concreto envuelven la tubería de presión con el propósito de fijarla al terreno. Por lo tanto, deberán resistir cualquier fuerza que la tubería ejerza sobre ellos.

Para el caso de la MCHP estos se ubican en aquellos lugares donde existan cambios de dirección o de pendiente.

Para su cálculo se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Dependiendo del cambio de pendiente los anclajes pueden ser hacia afuera o hacia adentro.
- Los bloques de anclaje hacia afuera tratan de sacar al tubo hacia el aire, mientras los bloques de anclaje hacia adentro son favorables y tratan de meter el tubo hacia el terreno.

**Figura 32: Bloque de anclaje**



*Fuente: Propia*

## CAPITULO IV

### TUBERIA DE PRESIÓN

En el desarrollo de esta tesis, son los siguientes capítulos en los que se pone más énfasis, debido a que todos los componentes mecánicos existentes en cualquier planta o proyecto son el resultado del cálculo y selección a través de la aplicación de nuestra formación como ingenieros mecánicos.

El conducto forzado o tubería de presión, conduce el agua desde la cámara de carga hasta las turbinas ubicadas en el interior de la casa de máquinas.

En el caso de la Central de Pumachaca, existe un conducto forzado que llega a la casa de máquinas, que cuenta con un pantalón de derivación al ingreso a la casa de máquinas, en el que uno de los lados está cerrado, a la espera de un segundo grupo hidroeléctrico.

***Figura 33: Vista de la tubería de presión***



*Fuente: Elaboración propia*

La tubería, que es de acero rolado, debe responder a algunos requerimientos como son:

- Resistir a la tracción y compresión que proviene de la dilatación o contracción térmica, peso propio del tubo durante el transporte.
- Está fabricada con acabados que posibilitan la unión por bridas.
- Deberá resistir a la acción corrosiva de los gases disueltos en el agua a presión o ácidos y/o bases que contiene el agua.
- Deberá ser suficientemente elástica para soportar, cambios bruscos de presión, involucrados al golpe de ariete.

La tubería de presión está adaptada al terreno y a la pendiente respectiva, en su trayecto tiene 4 cambios de dirección, cuenta con 05 bloques de anclaje. Estos codos de la tubería están sujetos a esfuerzos adicionales debido al flujo del agua en el interior del conducto.

Los apoyos simples del conducto forzado consisten en bloques de concreto, estos soportes admiten pequeños desplazamientos del tubo en dirección longitudinal y estarán provistos de cintas de fijación ancladas en el zócalo.

La profundidad de cimentación de los soportes y apoyos es tal que todo deslizamiento sea imposible.

El conducto forzado está fabricado de acuerdo a los resultados de los cálculos hidráulicos y estáticos que serán revisados en este capítulo.

#### **4.1. Parámetros de diseño**

De acuerdo a los cálculos efectuados en los capítulos anteriores se determina que los parámetros de diseño de la M.C.H. de Pumachaca son:

- Potencia: 600 KW
- Caudal de diseño: 0.50 m<sup>3</sup>/s
- Altura neta: 154 m

Con estos parámetros podemos efectuar los cálculos de ingeniería, para la verificación y la posterior selección de los componentes electromecánicos.

#### 4.2.1. Cálculo y dimensionamiento hidráulico

La tubería de presión es la que unirá la estructura de la cámara de carga con la turbina hidráulica, este tubo acomodará al perfil del terreno y soportará todos los esfuerzos que se presenten en su interior y la fuerza de los elementos en su exterior.

Para efectos del recalcu y verificación hidráulica y mecánica de la tubería de presión, en la Tabla 11, se presenta las condiciones operativas del sistema:

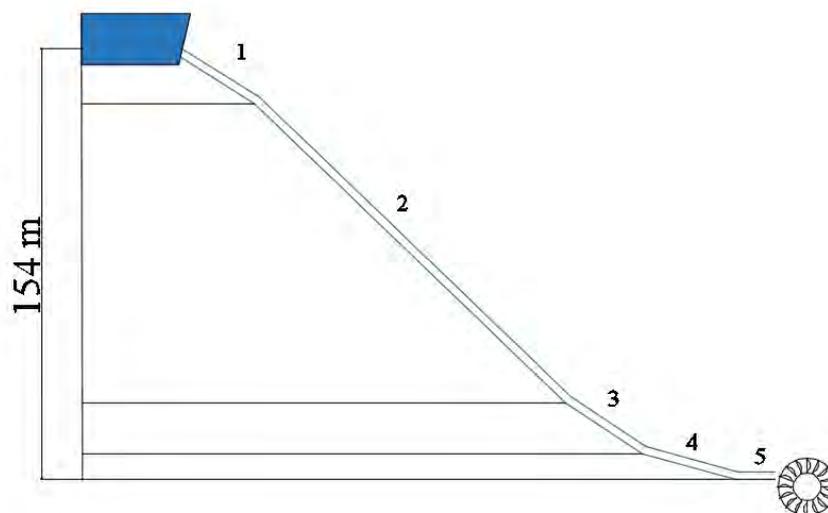
**Tabla 11: Condiciones de operación de la MCH Pumachaca**

DESCRIPCION	Notación	Unidades	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3	Tramo 4	Tramo 5
Altura bruta	Hb	m	17.460	108.270	17.880	8.520	0.710
Altura bruta acumulada	Hb	m	17.460	125.730	143.610	152.130	152.840
Longitud de tramo	Lt	m	27.080	110.450	27.210	29.080	4.080
Longitud acumulada	Lta	m	27.080	137.530	164.740	193.820	197.900
Caudal	Q	m <sup>3</sup>	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500
Diámetro interior de tubería	D	m	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41
Peso específico H <sub>2</sub> O	P	kg/m <sup>3</sup>	1.0E+03	1.0E+03	1.0E+03	1.0E+03	1.0E+03
Aceleración de la gravedad	G	m/s <sup>2</sup>	9.807	9.807	9.807	9.807	9.807
Celeridad sonido en el agua	A	m/s	1420	1420	1420	1420	1420
Modulo de compresión H <sub>2</sub> O	Ξ	kg/mm <sup>2</sup>	2.06E+02	2.06E+02	2.06E+02	2.06E+02	2.06E+02
Modulo de elasticidad acero	E	kg/mm <sup>2</sup>	2.10E+04	2.10E+04	2.10E+04	2.10E+04	2.10E+04
Resistencia a la tracción acero	Sd	kg/mm <sup>2</sup>	40.800	40.800	40.800	40.800	40.800
Eficiencia de soldadura	Hs		0.850	0.850	0.850	0.850	0.850
Coefficiente de seguridad	CS		2.500	2.500	2.500	2.500	2.500
Espesor adicional corrosión/30 años	K	mm	3.000	2.500	2.500	2.500	2.500

Temperatura de diseño	Tm	°C	13.000	13.000	13.000	13.000	13.000
Viscosidad cinemática H2O (Tabla V)	V	m <sup>2</sup> /s	1.004E-06	1.004E-06	1.004E-06	1.004E-06	1.004E-06
Rugosidad absoluta	E	mm	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007
Coefficiente del material tubo (Tabla III)	K		1.400	1.400	1.400	1.400	1.400
Coefficiente de dilatación del acero	Cd	m/m°C	1.50E-05	1.50E-05	1.50E-05	1.50E-05	1.50E-05
Densidad del acero	D	kgf/m <sup>3</sup>	7.90E+03	7.90E+03	7.90E+03	7.90E+03	7.90E+03
Velocidad después maniobra cierre	V1	m/s	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Coefficiente pérdidas entrada	K1		0.200	0.000	0.000	0.000	0.000
Coefficiente pérdidas rejilla	K2		0.136	0.000	0.000	0.000	0.000
Coefficiente de pérdidas en codos	K3		0.000	0.040	0.044	0.058	0.026
Area interior de tubo	m <sup>2</sup>		0.132	0.132	0.132	0.132	0.132

Fuente: Elaboración propia

Figura 34: Perfil del trayecto de caída de la tubería de presión



Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.2. Factores para el diseño y selección de la tubería de presión.

Se tendrán en cuenta los siguientes factores:

- Presión de diseño para cada tramo de tubería.
- Tipo de unión entre cada tramo.
- Diámetro y pérdida por fricción.
- Condiciones mecánicas del tipo de suelo.

▪ Condiciones Climáticas.

En la Tabla 12, se presenta los parámetros para realizar el cálculo del dimensionamiento hidráulico:

**Tabla 12: Parámetros para el dimensionamiento hidráulico**

DESCRIPCION	Notación	Unidades	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3	Tramo 4	Tramo 5
Tipo de tubería	Tt		Baja Pres.	Baja Pres	Baja Pres	Baja Pres	Baja Pres
Velocidad de regimen	Vo	m/s	3.787	3.787	3.787	3.787	3.787
Diámetro exterior de tubería	De	m	0.420	0.420	0.423	0.423	0.423
Velocidad media dentro tubo	V	m/s	3.787	3.787	3.787	3.787	3.787
Relación e/E	e/E	kg/mm2	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010
Relación D/es	D/es	m/m	41.000	41.000	41.000	41.000	41.000
Relación V/g	V/g	s	0.386	0.386	0.386	0.386	0.386
Celeridad onda en el agua	C	m/s	1199.181	1199.181	1199.181	1199.181	1199.181
Altura presión dinámica	Pd	mca	47.860	47.860	47.860	47.860	47.860
Altura presión dinámica (50%) Hb	Pd	mca	8.730	62.865	71.805	76.065	76.420
Altura de presión total	Hmax	m	26.190	188.595	215.415	228.195	229.260
Presión total en la tubería	Pt	kg/m2	2.62E+04	1.89E+05	2.15E+05	2.28E+05	2.29E+05
Presión total en la tubería	Pt	kg/mm2	0.026	0.189	0.215	0.228	0.229
Presión total en la tubería	Pt	Bar	2.568	18.495	21.125	22.378	22.483
Presión manométrica	Pm	lb/pulg2	24.784	178.470	203.850	215.943	216.951

Fuente: Elaboración propia

**4.2.3. Selección del Material de la Tubería Forzada**

En las tuberías de alta presión es esencial escoger el material más adecuado, ya que es muy importante poder soportar las cargas generadas por el agua en su interior y también ya que por su longitud tendrá un impacto directo en el presupuesto de nuestro proyecto. La tubería de presión se puede denominar de Alta Presión cuando se cumple la ecuación mostrada caso contrario se denomina de baja presión:

$$\frac{Hb}{Qd^{1/3}} \geq 100$$

Hb: altura bruta de 154 m.

Qd: caudal de diseño de 0.50 m<sup>3</sup>/s.

Para las características de Pumachaca esta relación nos da como resultado 194.94, por ende, es una instalación de Alta Presión, y los mejores materiales para estos fines son:

- Acero estructural laminado
- Hierro dúctil fundido centrifugado
- Acero fundido (fundición centrifugada)

En la MCH de Pumachaca la tubería de presión es de acero estructural laminado rolado y soldado.

Normas para Tubería fabricada con planchas. (Rolada y soldada)

- ASME sección VIII, material acero ASTM A-36
- ASTM A 283 GR c hasta 16 mm de espesor.
- ASTM A 285 GR A ó B
- ASTM A 515 GR 55 ó 60.
- Plancha de acero estructural laminado en caliente calidad EC-24.
- Tensión de Fluencia mínima      35,000 lb/pulg<sup>2</sup>
- Tensión de Ruptura mínima      60,000 lb/pulg<sup>2</sup>

#### **4.2.4. Número de tuberías y diámetros económicos.**

##### **4.2.4.1. Número de tuberías**

Al elegir el número de tuberías, se toma en cuenta el número de grupos a instalar, en nuestro caso se trata de una rehabilitación y repotenciamiento de una

central que cuenta con un grupo en operación y al final de la tubería de presión tiene un pantalón de derivación.

En nuestro caso tomaremos un solo tubo de diámetro de 0.41 m.

- Tipo de tubería: Un tubo acero rolado y soldado
- Diámetro interior: 0.41 m.
- Velocidad de régimen: 3.787 m/s

#### 4.2.4.2. Selección del diámetro adecuado

Partiendo de la ecuación de continuidad de caudal el diámetro de la tubería lo obtenemos con la siguiente ecuación:

$$D = 1.13 \sqrt{Qd/v}$$

- D: Diámetro (m)
- Qd: Caudal de diseño 0.50 m<sup>3</sup>/s.
- v: Velocidad dentro del tubo 3.787 m/s.

Remplazando los valores mostrados obtenemos:

$$D = 0.41 \text{ m.}$$

#### 4.2.5. Cálculo del Espesor de Tubo (t)

Para el cálculo de la tubería se considera las siguientes condiciones de operación:

- Caudal de diseño (Qd): 0.50 m/s
- Longitud tubería (Lt): 197.9 m

- Altura bruta (Hb): 152.84 m
- Altura dinámica: 76.42 m
- Altura max.(Hx): 229.26 m
- Esfuerzo de diseño (Sd): 40.8 kg/mm<sup>2</sup>
- Eficiencia de soldadura ( $\eta_s$ ): 0.85

La altura máxima (Hx), considera un factor de seguridad por sobre presión debido a los golpes de ariete, de manera que para consideraciones de diseño; se calculará el espesor de la tubería con Hx, que es la suma de altura estática o altura bruta más la altura dinámica. (hmax) producida por el golpe de ariete.

$$Hx = Hb + hmax$$

Por consiguiente, cumple también que:

### **Presión total = Presión estática + Presión dinámica**

Presión dinámica es la presión producida en la tubería por el golpe de ariete, que es producido por el cierre o la apertura de una válvula u otro dispositivo de control del flujo.

La presión dinámica está dada por la fórmula siguiente:

$$Pd = \delta * \frac{C * V}{g}$$

$$Pd = \delta * hd$$

- Pd: Máxima sobre presión producida por cierre brusco o instantáneo (mca).
- C: Celeridad de las ondas o velocidad de propagación de las mismas a lo

largo de la tubería(1199.181m/s).

- V: (Vo-V1) Velocidad media del agua dentro de la tubería(3.787m/s).
- Vo: Velocidad régimen de régimen(3.787m/s).
- V1: Velocidad final después de la maniobra de cierre (0 m/s).
- g: Aceleración de la gravedad (9.8 m/seg<sup>2</sup>).
- a: Celeridad de propagación del sonido en el agua (1420 m/s).

$$C = \frac{a}{\left(1 + \frac{\varepsilon}{E} * \frac{D}{e}\right)^{1/2}}$$

- $\varepsilon$  : Modulo de elasticidad del agua (260 Kg/mm<sup>2</sup>).
- E: Modulo de elasticidad del acero (21000 Kg/mm<sup>2</sup>).
- D: Diámetro interno de la tubería (0.41 m)
- e: Espesor mínimo según la tabla(0.01m)

La relación  $\varepsilon / E$  vale como término medio:

- Tubería de acero: 0.01
- Tubería de fundición: 0.02

Después de reemplazar tenemos:

$$Pd = \delta \frac{(V_0 - V_1)}{g} * \frac{a}{\left(1 + \frac{\varepsilon}{E} * \frac{D}{e}\right)^{1/2}}$$

El resultado de la presión dinámica en términos de altura dinámica, equivale a una H<sub>max</sub> de 47.8 m. Este dato es aceptable debido a que se está trabajando en condiciones extremas: con cierre brusco y la velocidad de 0 m/s en el cierre

completo.

Cálculo del espesor del tubo:

$$t = \left( P \frac{D}{2} * \frac{1}{Sd} * \frac{1}{ns} + 0.004 \right) * 1000$$

- P: Presión total (0.229 kg/m<sup>2</sup>).
- Sd: Esfuerzo de diseño del acero (40.8 kg/mm<sup>2</sup>).
- ηs: Eficiencia de la soldadura 0.85

Para las condiciones de Pumachaca, hallamos un espesor de tubo de 5.8 mm, pero por las normas aplicadas en la Centrales Hidroeléctricas optaremos por la medida de 6 mm mínimo.

**Tabla 13: Cálculo y verificación del espesor de la tubería**

DESCRIPCION	Notación	Unidades	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3	Tramo 4	Tramo 5
<b>CALCULO TUBERIA ACERO ROLADA/SOLDADA</b>							
Espesor de la tubería (rolada soldada)	t	mm	3.387	5.287	5.683	5.872	5.888
Espesor de la tubería	t	pulg.	3/16	3/16	1/4	1/4	1/4
Espesor normalizado de tubería	t	mm	4.763	4.763	6.350	6.350	6.350
Coefficiente de seguridad de diseño	Cs	mm	4.218	2.252	2.793	2.703	2.696
<b>SELECCIÓN DE TIPO DE TUBERIA</b>							
Tipo de tubería a utilizar			R/S	R/S	R/S	R/S	R/S
Espesor de la tubería seleccionada	t(sel)	mm	4.763	4.763	6.350	6.350	6.350
Espesor de la tubería seleccionada	t(sel)	pulg.	3/16	3/16	1/4	1/4	1/4
Presión de trabajo permitida	Pt	kg/mm <sup>2</sup>	0.192	0.192	0.290	0.290	0.290
Presión de trabajo permitida	Pt	bar	18.835	18.835	28.445	28.445	28.445
Presión de trabajo permitida	Pt	mca	192.452	192.452	290.641	290.641	290.641
Verificación de presión de trabajo			ok	ok	ok	ok	ok

Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.6. Cálculo de Pérdidas de Carga

El cálculo de la caída neta viene de resta de las pérdidas de carga a la caída

bruta, las pérdidas de carga dentro de una tubería se deben a la fricción de las partículas del fluido entre sí, y al impactar en su recorrido con los accesorios, las paredes de la cañería y los cambios de dirección que haya a lo largo de su recorrido.

Las ecuaciones utilizadas son de G. Zopetti.

$$H_n = H_b - \sum \Delta h_f$$

Se considera el inicio del recorrido del agua hacia la turbina desde la cámara de carga y se calculan las siguientes pérdidas.

- Pérdidas en la entrada a la tubería de presión.
- Pérdidas en la rejilla.
- Pérdidas por fricción en el tubo
- Pérdidas en codos
- Pérdidas en Reducción.
- Pérdidas en válvula principal.

#### 4.2.6.1. Pérdidas a la entrada de la tubería de presión.

El agua se halla en reposo en la cámara de carga, para ingresar en la tubería necesita en primer lugar adquirir una velocidad que equivalga a la altura de columna de agua capaz de engendrar dicha velocidad.

$$\Delta h_{f_1} = \frac{(k_1 * v^2)}{(2 * g)}$$

Donde:

- $\Delta h_{f_1}$ : Pérdidas en la entrada en m.

- $k_1$ : Coeficiente de pérdidas 0.20
- $v$ : Velocidad del agua en la tubería (3.787 m/s).
- $g$ : Aceleración de la gravedad (9.81m/s<sup>2</sup>).

#### 4.2.6.2. Pérdidas en la rejilla.

Utilizaremos la fórmula de Kirschmer, que se utiliza para este tipo de pérdidas y está definida de la siguiente manera:

$$\Delta h_{f_2} = \frac{(k_2 * v^2)}{(2 * g)}$$

Donde:

- $\Delta h_{f_2}$ : Pérdidas de la rejilla en metros.
- $k_2$ : Coeficiente de pérdidas 0.136
- $v$ : Velocidad del agua en la tubería (3.787m/s).
- $g$ : Aceleración de la gravedad (9.81m/s<sup>2</sup>).

Para el cálculo del coeficiente de pérdidas:

Donde:

$$k_2 = \beta * \text{sen} \alpha * (d/a)^{4/3}$$

- $\beta$ : Coeficiente de la forma de las barras de la rejilla 1.03.
- $\alpha$ : Angulo de inclinación contra la horizontal 60°
- $d$ : Separación entre barras 25.4 mm.
- $a$ : Espesor de la barra 6.35 mm.

**K2: 0.136**

#### 4.2.6.3. Pérdida por fricción en el tubo

La ecuación por pérdida por fricción en la tubería está dada por la ecuación de Darcy que es la siguientes:

$$\Delta Hf_3 = \tau \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2g}$$

- $\Delta hf_3$ : Pérdidas por fricción en tubería en metros.
- $\tau$ : Coeficiente de pérdida (0,01 (k / d) 0,314
- L: Longitud de la Tubería ( se calcula por tramos en m)
- D: Diámetro interior de la tubería (0.41 m)
- K: Coeficiente del material del tubo. (k = 1.5)

**4.2.6.4. Pérdidas en codos.**

$$\Delta hf_4 = \tau * \frac{v^2}{2 * g}$$

Donde:

- $\Delta hf_4$ : Pérdidas en codos en metros.
- $\tau$  : Coeficiente que depende de ángulo de codo.
- v: velocidad de régimen en (3.787 m/s).

Las pérdidas en codos dependen del ángulo del codo formado en el cambio de dirección, estos valores los tenemos en la tabla 14.

**Tabla 14: Coeficientes de pérdidas en codos**

Ángulo	$\tau$
10°	0.044
15°	0.062
22.5°	0.154
30°	0.165
45°	0.32
60°	0.684
90°	1.265

Fuente: *Elaboración propia*

En el desarrollo de la tubería los ángulos definen los cambios para cada tramo, resultando 4 codos, y el coeficiente de pérdida se determina interpolando a partir de la tabla 14 y se obtiene la tabla 15.

**Tabla 15: Coeficientes de pérdida para la tubería de la MCH Pumachaca**

	Entre 1 y 2	Entre 2 y 3	Entre 3 y 4	Entre 4 y 5
Ángulo	9°	10°	14°	6°
$\tau$	0.0396	0.044	0.0584	0.0264

Fuente: *Elaboración propia*

#### 4.2.6.5. Pérdidas totales

La tubería de presión en Pumachaca tiene solo 5 tramos y se podría decir que prácticamente está recta, solo presenta unas pequeñas desviaciones para alinearse con la geografía en el descenso hasta la Casa de Máquinas. Como resultado de los cálculos de pérdidas de carga primarias y secundarias se obtiene un total de 4.768 m, que comparada con la longitud total del tubo que es de 197.9 m, la pérdida total asciende al 2%.

**Tabla 16: Cálculo de pérdidas de carga**

DESCRIPCIÓN	Notación	Unidades	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3	Tramo 4	Tramo 5
Número de Reynolds	R		1.55E+06	1.55E+06	1.55E+06	1.55E+06	1.55E+06
Tipo de flujo en la tubería	Tf		Turbulento	Turbulento	Turbulento	Turbulento	Turbulento
Rugosidad relativa	e/D	m	0.017	0.017	0.017	0.017	0.017
Coefficiente de fricción	f		0.015	0.015	0.015	0.015	0.015
Pérdidas a la entrada	$\Delta hf_1$	m	0.146	0.000	0.000	0.000	0.000
Pérdidas en la rejilla	$\Delta hf_2$	m	0.099	0.000	0.000	0.000	0.000
Pérdidas por fricción metodo de Darcy	$\Delta hf_3$	m	0.710	2.897	0.714	0.763	0.107
Pérdidas por codos	$\Delta hf_4$	m	0.000	0.029	0.032	0.043	0.019
Pérdida por estrechamiento repentino	$\Delta hf_5$	m		0.000	0.000	0.000	0.000
Pérdidas por transicion	$\Delta hf_6$	m		0.000	0.000	0.000	0.000
Pérdidas en valvula	$\Delta hf_7$	m		0.000	0.000	0.000	0.015
Pérdidas por tramo de tubo	$\Sigma hf$	m	0.956	2.926	0.746	0.805	0.141

Sumatoria de pérdidas	$\Sigma h_f$	m	0.956	3.882	4.627	4.687	4.768
Diferencia de altura	(Hb-Sp)	m					148.072

*Fuente: Elaboración propia*

Esta es la altura de salto que se tiene en la tubería, a esta longitud se suma la altura del espejo de agua desde el nivel del agua en la cámara de carga hasta el nivel de la salida del agua.

#### 4.2.7. Dimensionamiento de la tubería por flexión

##### 4.2.7.1. Esfuerzo longitudinal

El esfuerzo longitudinal que soporta el tubo está dado por:

$$S_x = \frac{P * D}{4 * t}$$

Donde:

- $S_x$ : esfuerzo longitudinal en el tubo ( $\text{kg/mm}^2$ )
- P: Presión total de trabajo (189 mca)
- D: Diámetro de la tubería (0.41 m)
- t: Espesor del tubo (4.76 mm)

Obtenemos:  $S_x = 4.059 \text{ Kg/mm}^2$ , que es el más alto y se presenta en el segundo tramo de tubería.

##### 4.2.7.2. Esfuerzo tangencial

El esfuerzo tangencial al que está sometida la tubería se calcula a partir de:

$$S_y = \frac{P * D}{2 * t}$$

Con los datos de nuestra tubería obtenemos:  $S_y = 8.118 \text{ Kg/mm}^2$ , que es el valor más alto y se presenta en el segundo tramo.

Tanto el esfuerzo longitudinal como el esfuerzo tangencial deben ser menores que el esfuerzo de tracción del material de la tubería. En este caso se obtiene que tanto el  $S_x$  de 4.059 kg/mm<sup>2</sup> y el  $S_y$  igual a 8.118 Kg/mm<sup>2</sup> son menores a 40.80 kg/mm<sup>2</sup>, que es el valor de resistencia de esfuerzo a la tracción para el tubo de acero normalizado.

En el caso de la tubería de presión de la MCH Pumachaca la pendiente es bastante pronunciada. La tubería de presión, actualmente instalada, tiene apoyos simples cada 6 metros, distancia que ha sido calculada para soportar los esfuerzos de flexión.

#### 4.2.8. Juntas de dilatación

Permite la dilatación longitudinal de la tubería por acción del calor, a fin de evitar deformaciones y esfuerzos a que sería sometido en caso de no colocarse.

$$\Delta l = \alpha * L_d * \Delta T$$

Donde:

- $\Delta l$ : Dilatación longitudinal debido al cambio de temperatura (mm).
- $\alpha$ : Coeficiente de dilatación térmica (m/m°C).
- $L_d$ : Longitud de la tubería entre dos juntas de dilatación (m).
- $\Delta T$ : Variación de temperatura (20 °C).

Esta dilatación ocasionada por el cambio de temperatura deberá ser absorbida por las juntas de dilatación. Se ha tomado en cuenta que las dilataciones lineales a partir de 15 mm llevarán una junta de dilatación o montaje. En el tramo 2 que es el de mayor longitud, se da la mayor dilatación lineal.

Las dilataciones son absorbidas por las empaquetaduras localizadas en las bridas, el espesor de estas será de 4mm de espesor, también se instalaron juntas de dilatación en cada cambio de dirección

**Tabla 17: Verificación de los esfuerzos en la tubería de presión**

DESCRIPCIÓN	Notación	Unidades	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3	Tramo 4	Tramo 5
Dilatación lineal	E	mm	5.281	21.538	5.306	5.671	0.796
Esfuerzo longitudinal	Sx	kg/mm2	0.564	4.059	3.477	3.683	3.701
Esfuerzo tangencial	Sy	kg/mm2	1.127	8.118	6.954	7.367	7.401
Resistencia tracción > Esfuerzos	Sy<Sd		ok	ok	ok	ok	ok
Fuerza longitudinal	Fx	kg	3.46E+03	2.49E+04	2.84E+04	3.01E+04	3.03E+04
Fuerza tangencial	Fy	kg	3.52E+03	2.54E+04	2.90E+04	3.07E+04	3.08E+04
Sección de abrazadera	Ab	mm2	43.162	310.812	355.012	376.074	377.829

Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.9. Bridas

Para poder seleccionar las bridas correctas nos valemos a las tablas de los productos de los diferentes proveedores, en este caso la figura 35 nos presenta las características de bridas de diámetros comerciales, que nos permiten realizar la selección de los componentes necesarios, a partir del diámetro de la tubería, que es de 16 pulgadas.

**Figura 35: Características de las bridas a partir del diámetro de la tubería**

Medida Nominal		Dia. Exterior de Brida (O)	Espesor de Brida (C)	Dia. del Eje a la Base (X)	Dia. del Eje a los Agujeros (K)	Largo a través de Eje (Y)	Raised Face (RF)	Dia. de Raised Face (R)	Dia. de Agujero (B)	Dia. Agujeros	Núm. de Agujeros	Kgs. Aprox.
(pulg)	(mm)											
1/2"	12	88.9	11.1	30.2	60.4	15.7	1.5	35.0	22.3	15.7	4	0.47
3/4"	18	98.5	12.7	38.1	69.8	15.7	1.5	42.9	27.6	15.7	4	0.59
1"	25	107.9	14.2	49.2	79.2	17.5	1.5	50.8	34.5	15.7	4	0.86
12"	300	482.6	31.7	365.2	431.8	55.6	1.5	381.0	327.1	25.4	12	27.68
14"	350	533.4	35.0	400.0	476.2	57.1	1.5	412.7	359.1	28.4	12	35.20
16"	400	596.9	36.5	457.2	539.7	63.5	1.5	469.9	410.4	28.4	16	42.18
18"	450	635.0	39.6	504.9	577.8	68.3	1.5	533.4	461.7	31.7	16	49.71

Fuente: Fiorella representaciones

## **CAPITULO V**

### **TURBINA HIDRÁULICA Y GRUPO HIDROELÉCTRICO**

En una central de hidroeléctrica la turbina es el componente que hace posible la conversión de la energía hidráulica en energía mecánica, extrayendo la energía del fluido.

#### **5.1. Clasificación**

##### **5.1.1. De acuerdo al cambio de presión en el rodete o al grado de reacción.**

- **Turbinas de acción**

En estas turbinas la presión permanece constante en todo momento, por lo tanto, la altura de presión absorbida por el rodete es  $H_p$  es nula, y por consiguiente el grado de reacción de estas turbinas es igual a cero.

- **Turbinas de reacción**

En este caso la presión a la entrada del rodete es mayor que a la salida del mismo, por lo tanto, la altura de presión es diferente de cero. El grado de reacción se halla comprendido entre cero y uno.

##### **5.1.2. Según la dirección del flujo en el rodete**

- **De flujo radial**

En las turbinas de flujo radial las partículas del fluido recorren trayectorias inscritas en un plano perpendicular al eje de la máquina. La velocidad del fluido en ningún punto tiene componente axial (paralela al eje). Es el caso de las turbinas Francis puras.

- **De flujo radio-axial o diagonal**

En las turbinas de flujo radio-axial las partículas recorren en el rodete trayectorias situadas en una superficie cónica, la velocidad tiene las tres componentes: radial, axial y tangencial, como en el caso de las turbinas Francis.

- **De flujo axial**

En las turbinas de flujo axial las partículas del fluido recorren trayectorias situadas en un cilindro coaxial con el eje de la máquina. La velocidad del fluido en ningún punto del rodete tiene componente radial, solo tiene los componentes axial y tangencial. Como es el caso de las turbinas Kaplan y de Hélice.

- **De flujo tangencial**

En las Turbinas de flujo tangencial la entrada del flujo es tangente al rodete. Por ejemplo, las turbinas Pelton.

### 5.1.3. De acuerdo al diseño del rodete

Dentro de esta clasificación los tipos más importante son:

- **Turbina Kaplan**

Son turbinas axiales y el ángulo de sus paletas puede variar durante su funcionamiento. Están diseñadas para operar con saltos de agua pequeños y con grandes caudales. Es una turbina de reacción.

- **Turbina Hélice**

Son muy parecidas a las turbinas Kaplan, con la diferencia que estas no pueden variar el ángulo de sus paletas.

- **Turbina Pelton**

Son turbinas de flujo tangencial o transversal, provienen de la evolución de los antiguos molinos de agua, estos no cuentan con álabes o palas, sino con cucharas, están diseñadas para operar con grandes saltos de agua, pero con caudales pequeños. Son turbinas de acción.

- **Turbina Francis**

Son turbinas de flujo mixto y de reacción. Algunos modelos más complejos son capaces de variar el ángulo de sus álabes durante su funcionamiento, están diseñadas para operar tanto en saltos como en caudales medios.



FRANCIS



HÉLICE



PELTON



KAPLAN

Fuente: <https://doi.org/10.1016/j.esr.2019.03.0>

## 5.2. Evaluación y selección de turbina para la MCH de Pumachaca

En el proceso de selección de turbinas se debe tener en cuenta la velocidad específica ( $N_s$ ). La velocidad específica es un número adimensional que está en función al caudal, la altura neta y la velocidad de rotación de la turbina.

$$N_s = \frac{N * \sqrt{P}}{H^{\frac{5}{4}}}$$

El número de revoluciones específico ( $N_q$ ) es un número adimensional, también característico importante para las turbinas hidráulicas. Es una medida para la relación entre la velocidad del agua y el número de revoluciones. Establece la diferencia entre turbinas lentas, en las que la velocidad del agua es claramente superior a la velocidad circunferencial, y turbinas rápidas, en las que se da el caso contrario.

$$N_q = \frac{N * \sqrt{Q}}{H^{\frac{3}{4}}}$$

Para las condiciones de la MCH Pumachaca, que son:

- P: 302 Kw
- Hn: 154 m
- Q: 0.250 m<sup>3</sup>/s
- N: 900 rpm

Tenemos:

$$N_s = 28.83 \quad N_q = 10.29$$

Según estos datos y la figura 37:

**Figura 36: Selección de turbina por Nq y Ns**

TIPO DE TURBINA	Nq	Ns
Turbina Pelton de 1 tobera	hasta 9	hasta 10
Turbina Pelton de 2 toberas	4-13	14-42
Turbina Pelton de 3 toberas o más	5-22	17-73
Turbina Michell-Banki	18-60	60-200
Turbina Francis Lenta	18-18	69-125
Turbina Francis Normal	38-68	125-225
Turbina Francis Rápida	68-135	225-450
Turbina Axial	105-300	350-1000

Fuente: OLADE

Por consiguiente, la turbina adecuada para MCH de Pumachaca es:

**Una turbina Pelton de 2 toberas.**

En el “Manual Para Micro y Mini Centrales Hidráulicas” de ITDG se calcula el Ns con la potencia en HP, con este método el valor que obtenemos para el Ns es de 33.26, ingresando a la figura 38, proporcionada por el manual, coincide también con el Ns para una turbina Pelton con dos inyectores.

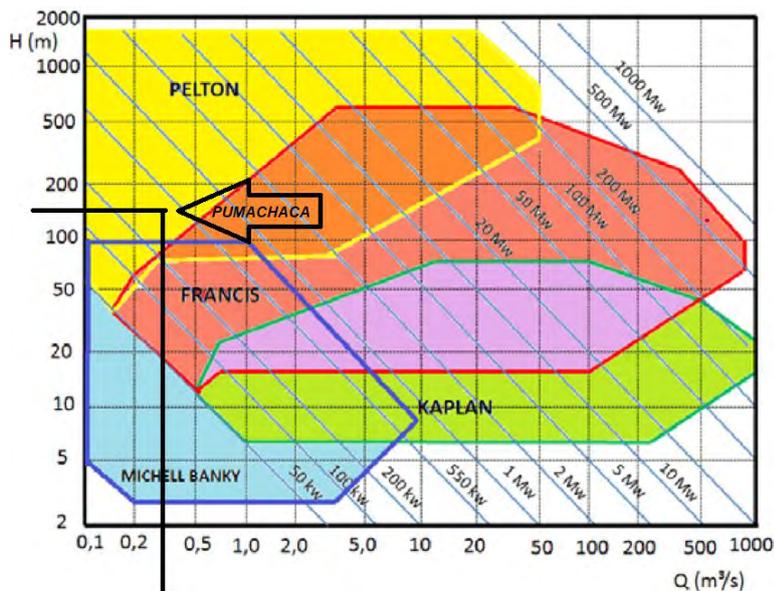
**Figura 37: Selección de turbinas usando Ns**

TURBINA		Inventor y año de patente	Ns (rpm, HP, m) rpm	Q m³/s	H m	P kW	ηmáx %
A C C I Ó N	PELTON	Lester Pelton (EE.UU.) 1880	1 Ch: 30 2 Ch: 30-50 4 Ch: 30-50 6 Ch: 50-70	0.05-50	30-1800	2-300000	91
	TURGO	Eric Creadson (G. Bretaña) 1920	60-260	0.025-10	15-300	5-8000	85
	MICHELL-BANKI	A.G. Michell (Australia) 1903 D. Banki (Hung.) 1917-1919	40-160	0.025-5	1-50 (200)	1-750	82

Fuente: “Manual Para Micro y Mini Centrales Hidráulicas” de ITDG

Podemos verificar también nuestra selección en los gráficos H-Q.

**Figura 38: Aplicación de turbinas en función de Q y H**



Fuente: IDAE España 2006

### 5.2.1. Turbina Pelton

Las turbinas Pelton son turbinas que trabajan preferentemente en saltos considerables entre los 40 y los 1700 m y caudales relativamente pequeños. En la actualidad y gracias a los avances en la ciencia de los materiales y los procesos de fabricación alcanzan una eficiencia de alrededor del 90%.

#### 5.2.1.1. Elementos de una turbina Pelton

- **Rodete**

En toda turbina hidráulica el elemento principal es el rodete, rueda o rotor, esta parte es muy importante ya que es la encargada de transformar la energía cinética del agua en energía mecánica.

Está constituido de las siguientes partes:

- **Rueda motriz**

Esta unida al eje en forma rígida, está montada al eje, por lo general, por medio de chavetas. Es importante la precisión en su diseño y en su fabricación, ya que en ella van ensamblados los álabes.

- **Álabes**

Diseñadas con forma de doble cuchara, tienen la responsabilidad de recibir la fuerza del chorro de manera directa, justo en la arista que divide las dos cucharas, y dirigirlo en forma conveniente, aprovechando de este modo toda la energía posible del agua.

***Figura 39: Álabes de una turbina Pelton***



#### **5.2.1.2. Distribuidor**

Está formado por uno o más elementos de inyección de agua, que tienen la función de dirigir el agua en un chorro cilíndrico y uniforme hacia los álabes del rodete. Regula también el paso del agua y puede llegar a cortarlo.

Dentro del distribuidor se puede encontrar a:

- **Inyector**

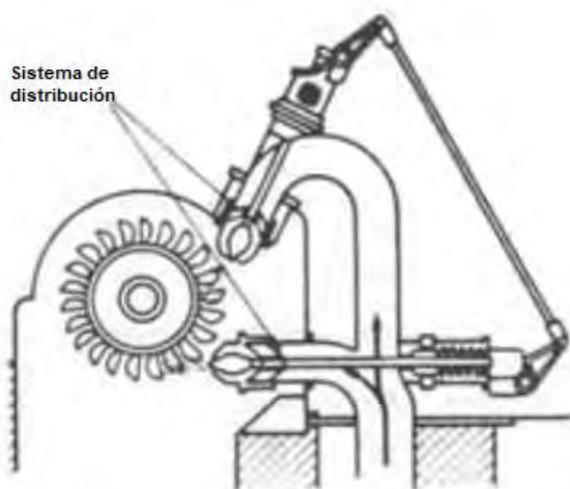
Su función es la de regular el caudal del chorro, está formado por la tobera,

instalada al final de la cámara de distribución, montado de tal forma que la prolongación de la tobera forma un ángulo de 90° con el radio del rodete.

- **Cámara de distribución**

Se encuentra al final de la tubería de presión, también se le conoce como la cámara de los inyectores, por conducir el agua hasta estos.

**Figura 40: Esquema de una turbina Pelton de dos inyectores**



Fuente: [www.nanopdf.com](http://www.nanopdf.com)

### 5.2.2. Velocidad síncrona de un grupo de generación

El grupo que está actualmente instalado en operación en la Mini Central Hidroeléctrica de Pumachaca trabaja a una velocidad de 900 rpm, es por este motivo que seleccionamos la misma velocidad para el grupo N° 2. Con la velocidad de 900 rpm pasamos a calcular el número de polos que tendrá nuestro grupo.

Para hallar el número de polos nos apoyamos de la siguiente fórmula:

$$p = \frac{120f}{N}$$

Donde:

$p$ : número de polos.

$f$ : frecuencia (60 Hz).

$N$ : velocidad de la turbina, 900 rpm.

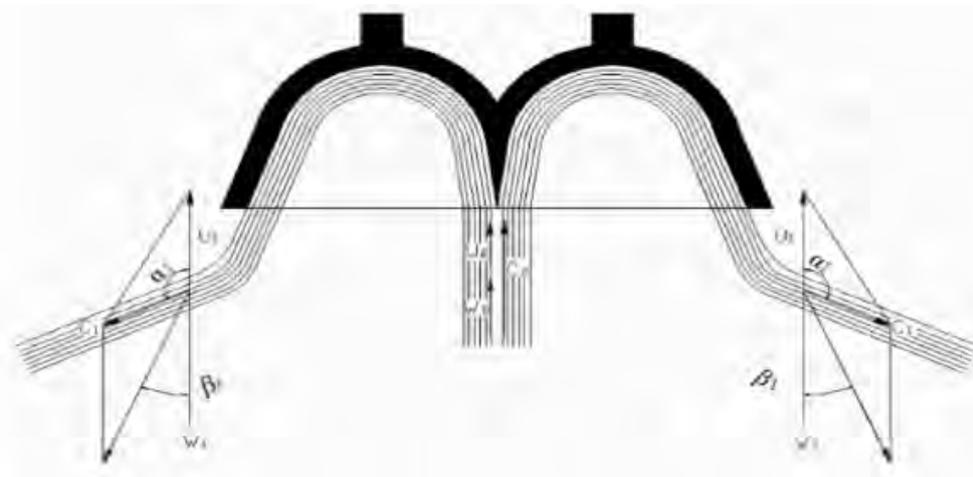
El número de polos para el grupo N° 2 será: 8

### 5.3. Diseño hidráulico

El diseño hidráulico de la turbina Pelton para el grupo N° 2 de la MCHP será realizado según el artículo de OLADE; “Apuntes para un manual técnico de Diseño, estandarización y fabricación de equipos para pequeñas Centrales Hidroeléctricas, turbinas Pelton.”

#### 5.3.1 Triángulo de velocidades

**Figura 41: Diagrama de velocidad en la cuchara de la turbina Pelton**



Fuente: OLADE

Está formado por los vectores de las tres velocidades:

$c$ : velocidad absoluta del fluido.

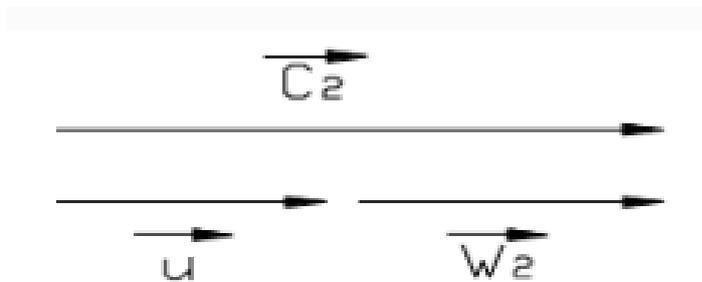
$w$ : velocidad relativa del rotor, respecto al fluido.

u: velocidad lineal del rotor.

El ángulo formado entre la velocidad absoluta (c) y relativa (w), se denomina  $\alpha$  y el formado por la velocidad relativa (w) y lineal, se denomina  $\beta$ .

### 5.3.1.1. Triángulo de velocidades de entrada

**Figura 42: Esquema de las velocidades de entrada**



Fuente: Elaboración propia

- **Velocidad absoluta (c2)**

Para hallar la velocidad absoluta se resuelve la siguiente ecuación:

$$C_2 = k_2 * \sqrt{2 * g * H}$$

Donde:

Kc: coeficiente de velocidad absoluta.

$$k_c = [0,96 - 0,98]$$

Asumiendo  $k_c = 0.97$  y resolviendo la ecuación, la velocidad absoluta resulta:

$$C_2 = 53.32 \text{ m/s}$$

- **Velocidad tangencial (u2)**

Para la velocidad absoluta utilizaremos el coeficiente de velocidad tangencial

$k_u$ .

$$k_u = [0.44 - 0.48]$$

Asumiendo  $k_u = 0.47$  y resolviendo la ecuación:

$$u_2 = k_u * c_2$$

Tenemos:

$$U_2 = 25.06 \text{ m/s}$$

▪ **Velocidad relativa ( $w_2$ )**

Esta velocidad se puede calcular de la diferencia entre la velocidad absoluta y la velocidad tangencial, por considerárseles colineales.

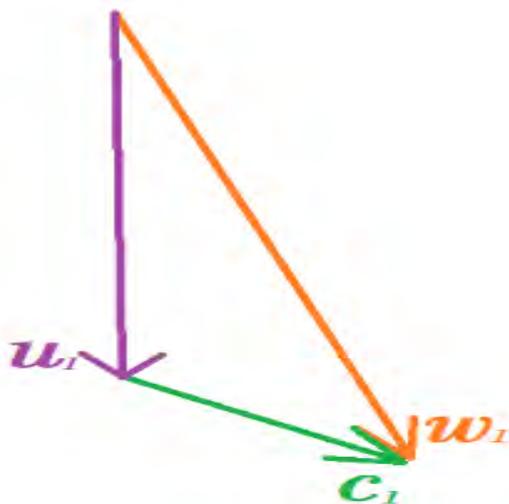
$$w_1 = c_1 - u_1$$

Tenemos:

$$W_2 = 28.26 \text{ m/s}$$

**5.3.1.2. Triangulo de velocidades de salida**

**Figura 43: Triangulo de velocidades a la salida**



Fuente: Elaboración propia

- **Velocidad relativa ( $W_1$ )**

La velocidad relativa en el triángulo de salida se calcula utilizando el coeficiente de velocidad relativa  $K_f = 0.85$  en la siguiente ecuación:

$$w_1 = k_f * w_2$$

Tenemos:

$$W_1 = 24.02 \text{ m/s}$$

- **Velocidad Tangencial ( $U_1$ )**

La velocidad tangencial a la salida es igual a la velocidad tangencial en la entrada, por estar los puntos 1 y 2 a la misma distancia del centro de giro del rodete.

$$U_2 = U_1 = 25.06 \text{ m/s}$$

- **Velocidad absoluta ( $C_2$ )**

La velocidad absoluta se puede obtener mediante la ley de cosenos y las velocidades relativa y tangencial:

$$c_1 = \sqrt{u_1^2 + w_1^2 - 2 * u_1 * w_1 * \cos\beta_1}$$

Donde:

$\beta_1$  : Es el ángulo entre la velocidad tangencial y la velocidad relativa, en el manual de OLADE, cuando se refiere al cálculo del ángulo; “ por experiencia práctica, se recomienda que para el ángulo  $\beta_1 = [5^\circ - 20^\circ]$ ”. Asumiendo un valor de  $15^\circ$ , resolvemos la ecuación.

$$C_1 = 7.36 \text{ m/s}$$

▪ **Angulo  $\alpha_1$**

Es el ángulo se forma entre la velocidad tangencial y la velocidad absoluta.

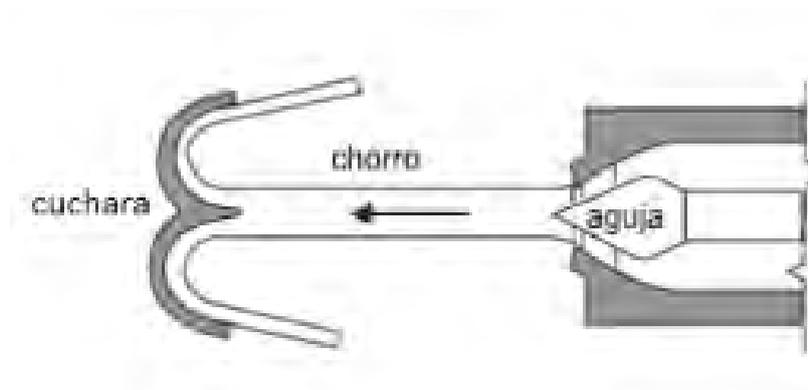
Para hallar este dato, podemos utilizar la ley de senos:

$$\frac{\sin\alpha_1}{w_1} = \frac{\sin\beta_1}{c_1}$$

Remplazando los valores, tenemos:

$$\alpha_1 = 76.84^\circ$$

**Figura 44: Diagrama del chorro en el álabe de la turbina**



Fuente: OLADE

**5.3.2. Diámetro del chorro (d)**

Para poder determinar el diámetro del chorro es necesario considerar el número de toberas, las pérdidas en el inyector y la velocidad a la salida del chorro.

Consideramos  $C_v = 0.97$  del rango de  $[0.95 - 0.99]$

$$c_1 = c_v \sqrt{2gh}$$

Resolviendo la ecuación el valor para la velocidad a la salida del chorro:

$$c_1 = 53.32 \text{ m/s}$$

Para hallar el diámetro del chorro, usaremos la fórmula:

$$d = \sqrt[1.128]{\frac{Q}{c_1}}$$

$$\mathbf{d = 0.08 \text{ m}}$$

Pero, ya que la turbina posee dos inyectores, debemos utilizar la relación, en la que Z es el número de inyectores o toberas:

$$d_1 = \frac{d}{\sqrt{Z}}$$

Por consiguiente, el diámetro del chorro para cada tobera es:

$$\mathbf{d_1 = 0.06 \text{ m}}$$

### 5.3.3. Diámetro del rodete (D)

Para el cálculo del diámetro del rodete necesitamos la velocidad de rotación de la turbina, 900 rpm.

$$D = 30 \frac{C_1}{\pi N}$$

$$\mathbf{D = 0.57 \text{ m}}$$

### 5.3.4. Número de álabes (Na)

Para el cálculo del número de álabes usamos las fórmulas:

$$\bullet \quad Na = \frac{D}{2d} + 14 \quad \mathbf{Na = 17.56}$$

$$\bullet \quad Na = \frac{D}{2d} + 16 \quad \mathbf{Na = 19.56}$$

Para poder elegir el número correcto de álabes, recurrimos al cuadro N° 19 en el que usamos la relación de nuestros diámetros  $D/d_i = 9.5$

**Tabla 18: Número de álabes en función a  $D/d$** 

$D / d$	Número de álabes	
	$Z_{min}$	$Z_{max}$
<b>15</b>	21	27
<b>14</b>	21	26
<b>13</b>	20	25
<b>12</b>	20	24
<b>11</b>	19	24
<b>10</b>	18	23
<b>9</b>	18	22
<b>8</b>	17	22
<b>7.5</b>	17	21

*Fuente: Elaboración propia*

Con la relación de diámetros igual a 9.5 vemos que el rango de número de álabes va de 18 a 22.

Seleccionamos 20 como número de álabes.

#### **5.4. Diseño mecánico**

El diseño hidráulico de la turbina Pelton será realizado según el artículo de OLADE: “Apuntes para un manual técnico de diseño, estandarización y fabricación de equipos, para pequeñas centrales hidroeléctricas, turbinas Pelton”

Para poder darle dimensión a eje que conectará la turbina con el generador, necesitamos los datos del peso del rodete que asciende a 900 kg. En este cálculo no

interviene el volante de inercia.

$$d_e^3 = \frac{16}{\pi Sd} \sqrt{(Km Mmax)^2 + (Kt Tmax)^2}$$

En donde:

- Mmax: es el momento flector máximo que se presenta en el eje en Kg-m;  
= Fr \* lo / 4
- lo: es la distancia entre rodamientos en los que se apoya el eje: 0.78 m
- $Fr = \sqrt{(Fx^2 + Fy^2)}$
- $Fx = F (\text{sen } \alpha + \cos \alpha)$
- $Fy = F (\cos \alpha + \text{sen } \alpha) + Pr$
- $F = \frac{974 Pt}{Dp N}$
- Pr: peso estimado del rodete: 280 Kg
- Pt: potencia de la turbina
- N: Número de revoluciones en RPM
- Tmax: momento torsor máximo

$$Tmax = \frac{974 Pt}{N}$$

Al resolver las ecuaciones obtenemos un diámetro de 0.106 m., que equivale a 4.18 pulgadas, por temas comerciales, se seleccionará un eje de 4 ½ pulgadas.

## **CAPÍTULO VI**

### **ESPECIFICACIONES TÉCNICAS**

#### **6.1. Introducción**

Las especificaciones técnicas tienen por objeto definir las principales características técnicas y requerimientos con las que deben cumplir los equipos, los materiales, los accesorios y los procedimientos que formaran parte de las tareas del repotenciamiento de la MCH Pumachaca.

Teniendo en cuenta que actualmente la central se encuentra en operación con el grupo generador N°1 las características que de la MCH Pumachaca son:

- Potencia de diseño: 600 Kw
- Caudal de diseño: 0.5 m<sup>3</sup>/s
- Altura Neta: 154 m
- Diámetro de tubería: 0.41 m
- Longitud de la tubería: 197.9 m
- Tipo de turbinas: Pelton de dos inyectores

#### **6.2. Normas**

Al tratar las especificaciones técnicas, nos referimos de forma indirecta a las normas generales para los equipos, materiales y accesorios necesarios para el desarrollo de este proyecto.

En paralelo, además de las normas mencionadas en los capítulos anteriores, se utilizan, también, otras normas internacionales, siempre y cuando no signifiquen una caída en la calidad, seguridad, durabilidad y ofrezcan la garantía adecuada y esperada en los materiales y equipos seleccionados. Algunos de los manuales y métodos utilizados en este proyecto se soportan y utilizan muchas de las normas

que a continuación se mencionan:

- ANSI: American National Standards Institute ó Instituto Nacional Americano de Estandares.
- ASME: American Society of Mechanical Engineers ó Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos.
- ASTM: American Society for Testing and Materials ó Sociedad Americana de Pruebas y Materiales.
- DIN: Instituto Alemán de Normas.
- SI: Sistema Internacional de Unidades.
- AISC: American Institute of Steel Construction ó Instituto Americano de Construcción en Acero.
- ISO: International Organization for Standardization u Organización International de Estandarización.

### **6.3. Unidades de medida**

Todas las dimensiones y medidas que figuran en la documentación, han sido diseñadas y calculadas en unidades del SI, y serán dadas de la misma forma. En algunos componentes, por motivos comerciales, se adopta alguna unidad diferente, pero solo por seleccionar una medida ya existente, que en ningún momento atentara contra la integridad o seguridad del proyecto.

### **6.4. Documentación técnica**

Los proveedores y fabricantes son los responsables de proporcionar los folletos descriptivos, catálogos y especificaciones técnicas, que contengan en la medida de lo posible pesos y dimensiones generales y de ser necesario los manuales y las instrucciones de servicio y mantenimiento, además de cualquier

información que considere necesaria para la identificación y operación del material o equipo.

## 6.5. Grupo hidroeléctrico

### 6.5.1. Características del grupo hidroeléctrico N°2

Para que las empresas y fábricas atiendan el requerimiento normalmente requieren de ciertos parámetros para ellos poder presupuestar y procesar la solicitud, normalmente los parámetros requeridos son:

**Tabla 19: Parámetros requeridos por el fabricante**

Parámetros requeridos	
Altura neta:	152 m
Caudal de diseño:	0.25 m <sup>3</sup> /s
Potencia:	300 kW
Altitud:	3042 msnm

Fuente: elaboración propia

De las solicitudes enviadas a los diversos productores y fábricas en el mundo, la respuesta más conveniente fue la alcanzada por la empresa: Chengdu Forster Technology Co. Ltd, una empresa especializada en la producción de Turbinas Hidráulicas, y en general el desarrollo de proyectos de generación de energía. Posee también diversas certificaciones internacionales, como a la calidad (ISO), se encuentra también en el campo de la investigación, para la mejora de los procesos y tecnología del área de generación de energía. La respuesta del fabricante:

**Tabla 20: Especificaciones técnicas de la turbina**

TURBINA	
Modelo:	CJA475-W-55/2X6
Diámetro de rueda:	550 mm
Diámetro de chorro:	60 mm
Número de chorros:	2

Velocidad de rotación:	900 r/min
Potencia nominal:	322.6 kW
Caudal de descarga:	0.24 m <sup>3</sup> /s
Eficiencia mecánica:	89%
Tipo de conexión:	Directa

*Fuente: Elaboración propia a partir de la cotización de Forsters Technology Co. Ltd*

El material de toda la corredera, la boquilla y la aguja es de acero inoxidable. El material de la aguja acero inoxidable, la superficie cuenta con un tratamiento de nitruración.

Del mismo modo el material de la turbina y el eje es acero inoxidable, como se muestra en la proforma ubicada en los anexos del presente trabajo.

**Figura 45: Ejemplos de turbinas fabricadas por la empresa**



*Fuente: Forsters Technology Co. Ltd*

Del mismo modo las características del generador, son especificadas en la proforma:

**Tabla 21: Especificaciones técnicas del generador**

<b>GENERADOR</b>	
Modelo:	SFWE-W300-8/850
Número de polos:	8
Eficiencia:	93%
Frecuencia:	60 Hz
Potencia eléctrica:	375 kVA
Voltage de generación:	400 V

---

Corriente de generación:	541.3 A
Exitación:	Sin escobillas
Cos $\phi$	0.8
Disposición:	Horizontal con dos apoyos

---

*Fuente: Elaboración propia a partir de la cotización de Forsters Technology Co. Ltd*

Y en el caso que se realice el contrato de los servicios, se encargan de suministrar la información necesaria para el montaje, instalación y preparación de esta, mediante manuales y catálogos, además de la asistencia constante.

La empresa también proporciona los manuales de usuario y de mantenimiento para el mantenimiento y revisión de los equipos.

La información completa de la propuesta realizada por la empresa Chengdu Forster Technology Co. Ltd, se encuentra en el Anexo nº 04.

### **6.5.2. Sistema de regulación de velocidad**

El papel que desempeña es de excepcional importancia cuando se produce una variación de carga en la turbina; es decir, cuando se modifica el par resistente que actúa sobre la misma, según se trate de aumento o disminución de dicho par, la turbina reducirá o aumentará el número de revoluciones con que estuviese en funcionamiento antes de producirse la variación de carga.

Es preciso, por consiguiente, adaptar el trabajo motor al resistente, y esto se lleva a cabo graduando convenientemente la entrada de agua, para que subiendo o bajando el caudal utilizado (puesto que la altura del salto no se habrá modificado), en cada momento de la potencia requerida, y con ello se obtendrá salvo ligera variación, el número de revoluciones del funcionamiento normal de la turbina. En una palabra, la misión del regulador automático, consiste en conseguir el equilibrio en todo momento.

Para realizar esta tarea el sistema depende de un gobernador de velocidad, este consta de dos componentes básicos: el gobernador propiamente que consiste en el sistema de sensado de velocidad y control con el amplificador hidráulico y la fuente de poder hidráulico que suministra la presión y caudal de aceite requerido para la operación de los servomotores hidráulicos que accionan los mecanismos de control del agua a la turbina.

Los gobernadores de velocidad son suministrados con las siguientes funciones:

- Selector de caída de velocidad entre vacío y plena carga.
- Selector de carga límite.
- Selector de velocidad de operación.
- Indicador de posición de velocidad.
- Solenoide de parada automática.
- Electromotor de control de velocidad para comando a distancia.
- Sistema de operación manual del gobernador.
- Selector de tiempo de apertura del servomotor hidráulico.
- Selector del tiempo de cierre del servomotor hidráulico.

Como funciones adicionales también puede realizar:

- Arranque automático con control a distancia.
- Sistema de parada automática con control a distancia.
- Indicación y control remoto de frecuencia, posición relativa de mecanismos de control y posición.

La operación del gobernador es sencilla y no requiere más que tres pasos

secuenciales para el arranque y la parada del equipo.

Los requerimientos de mantenimiento son reducidos y operan sin problema en medios agresivos como humedad, polvo, calor y con alta contaminación ambiental.

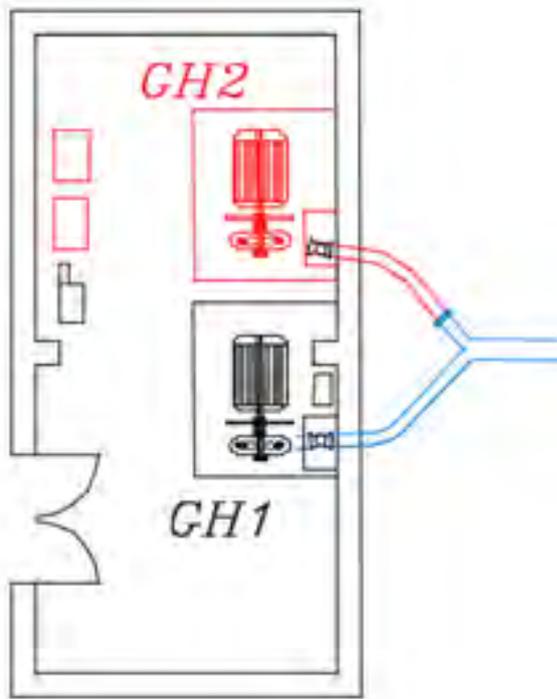
**Figura 46: Gobernador de velocidad Woodward G8**



*Fuente: Manual de instalación y operación de Woodward*

### **Montaje:**

El grupo hidroeléctrico deberá ser montado siguiendo todas las recomendaciones de los fabricantes, de acuerdo a los planos suministrados, respetando dimensiones, tipos de cimentación, distancias libres y otras recomendaciones.

**Figura 47: Esquema de distribución de la casa de máquinas**

*Fuente: Elaboración propia*

El montaje del equipo electromecánico se realizará, respetando los planos de ubicación, sobre soportes adecuados a soportar el peso y especialmente la vibración de todo el conjunto móvil. Después de realizado el montaje se procederá a pruebas estáticas, mecánicas y dinámicas, que están estipuladas en las normas nacionales e internacionales.

Para el montaje de tendrán en cuenta las siguientes recomendaciones:

- El grupo hidroeléctrico será transportado desarmado al lugar de trabajo.
- Las cimentaciones y todas las obras de concreto serán efectuadas antes del montaje.
- Las bases y cimentaciones se deberán ceñir estrictamente de acuerdo al plano proporcionados por el fabricante.

- Es importante ubicar la base metálica principal del grupo o de la turbina hidráulica que será la base para el montaje.
- Las cimentaciones y bases metálicas deben quedar completamente niveladas.
- Si la turbina debe ser armada con el generador, se procederá a montar el conjunto con ayuda de teclees mecánicos con la estructura prevista para este fin.
- El alineamiento del grupo turbina generadora es de vital importancia puesto que dará paso al montaje de los equipos restantes.
- La válvula de control deberá ser montada de acuerdo a planos y en forma posterior a la turbina hidráulica.

Pasadas satisfactoriamente las pruebas anteriores se realizarán las pruebas electromecánicas, pruebas hidráulicas y pruebas de generación.

### **6.5.3. Puesta en Servicio**

Una vez concluidas las pruebas, y la Tubería de Presión esté en condiciones de funcionar, el Contratista procederá con el inspector de la obra a realizar un examen de las obras, teniendo como fin el comprobar que todo el material y obras previsto en las especificaciones técnicas, ha sido suministrado e instalado y que está listo para continuar.

La puesta en servicios del conjunto tubería de presión y accesorios estarán sujeta a las especificaciones y normas establecidas con este fin.

## **6.6. Características de los componentes eléctricos instalados**

Físicamente la corriente eléctrica, es un flujo de electrones a través de un conductor. Si el flujo de estos electrones va en una sola dirección se denomina

“corriente continua”, si en cambio la dirección de este flujo se invierte cada cierto intervalo de tiempo, se denomina “corriente alterna”.

El sistema eléctrico de una minicentral hidráulica, se puede separar en dos grupos, que son:

- Sistema eléctrico de generación
- Sistema eléctrico de distribución.

#### **6.6.1. Sistema eléctrico de generación**

Los generadores eléctricos para estas aplicaciones, son máquinas eléctricas rotativas que se acoplan directa o indirectamente a los rodets de las turbinas y de forma conjunta produce electricidad.

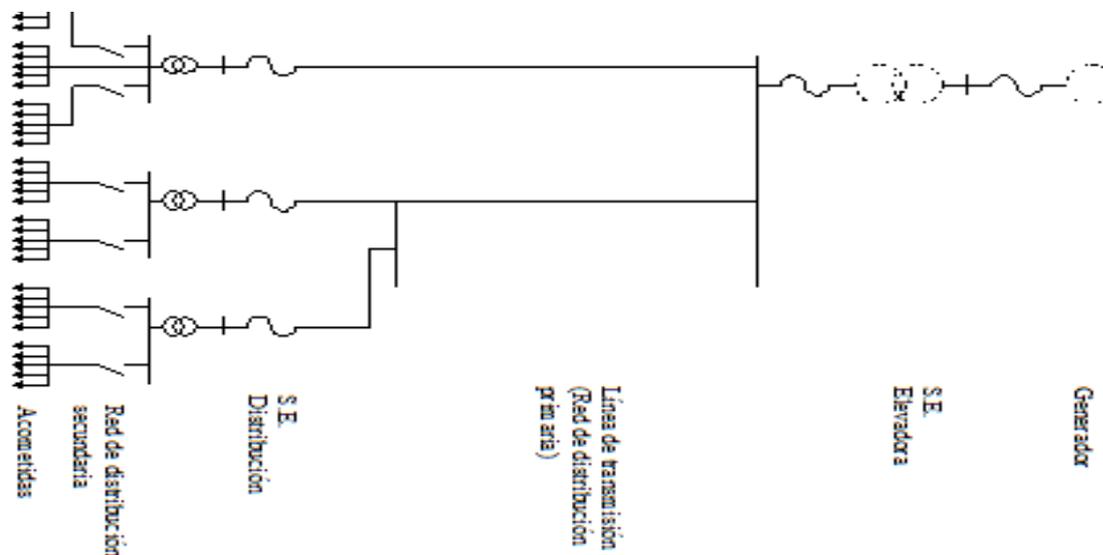
El principio de generación de electricidad en líneas generales, se explica de la siguiente manera: “Cuando un elemento conductor es sometido a la acción de un campo variable, este campo induce en el conductor una fuerza electromotriz (FEM), que básicamente es una diferencia entre los extremos del conductor. Esta FEM, provoca la circulación de corriente en el conductor creándose de esta forma una fuente de energía eléctrica. Existen diversos tipos de generadores que son utilizado de acuerdo a los requerimientos y necesidades de cada proyecto:

Generadores de corriente continua y generadores síncronos. Este últimos es la máquina de uso prioritario en las unidades de generación, tiene el bobinado de campo excitado por corriente continua y, la tensión desarrollada en la armadura es alterna, de ahí que también se denomina alternador.

### 6.7. Sistema eléctrico de generación

En minicentrales hidráulicas el sistema de distribución de energía tiene generalmente la configuración que se muestra a continuación.

**Figura 48: Distribución de energía en minicentrales**



Fuente: Elaboración propia

- **Red de distribución primaria**

Es la parte del sistema de distribución que transporta la energía desde la subestación elevadora hasta la subestación de distribución, el nivel de tensión de estas líneas puede ser 10, 10.5, 11 y 22.9 KV. La elección de cualquiera de estos valores, dependen de los estudios técnico y económico.

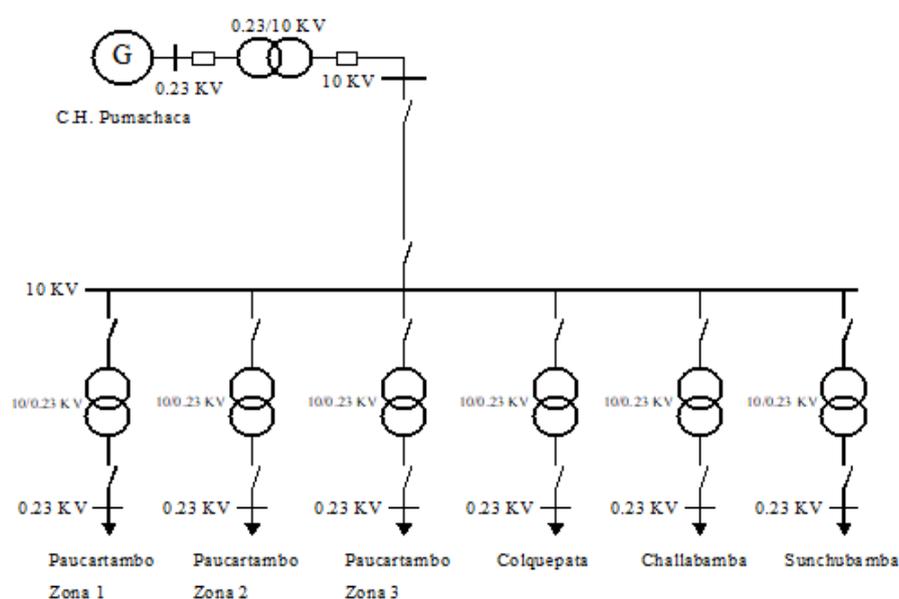
- **Red de distribución secundaria**

La red de distribución secundaria, es la parte del sistema de distribución que transporta la energía desde el transformador de distribución hasta cada uno de los usuarios, los que se conectan a la misma a través de las acometidas. Estas redes pueden ser monofásicas o trifásicas con voltaje de 220 V ó 380 V.

### 6.7.1. Transformadores

Los transformadores son máquinas estáticas que convierten energía de un determinado nivel de voltaje en energía de otro nivel de voltaje manteniendo la potencia transmitida a través de ellos. Son el nexo entre el generador y la línea de transmisión por un lado y entre la línea de transmisión y los usuarios por el otro.

**Figura 49: Líneas de transmisión en MCH Pumachaca**



*Fuente: Elaboración propia*

En pequeñas centrales y que se encuentran ubicadas próximas a los puntos de consumo, no es necesario la parte de la red de distribución primaria ni transformadores y, se conectan directamente la planta de generación con los consumidores.

Posteriormente solo se contaría con las instalaciones hasta la línea de transmisión primaria, de acuerdo a las características que el cliente solicite en el contrato de Generación Distribuida.

Los datos en la placa de características del generador son:

- EXCITATRIZ:

Potencia: 94 KV

Corriente nominal: 40 A.

Tensión nominal: 60 V

Número de revoluciones: 900 rpm

- GENERADOR:

Modelo: AEG Ferrostal

Número: KR66-45916

Conexión: Y

Tensión nominal: 400 V

Porcentaje de conmt-prim: 12 x 2.5%

Conexión en el lado prim: Triángulo

Grupo de conexión: DyN5

Frecuencia nominal: 60 Hz

Tipo de montaje: Exterior

La placa de instrucciones de operación está ubicada en un lugar visible, de esta manera indica claramente que, para efectuar una maniobra de conmutación, se debe desconectar la alimentación de alta tensión.

- TRANSFORMADOR TRIFASICO.

Número de fases: 3

Tensión Nominal Primaria: 10 kv.

Tensión Nominal secundario: 220 v.

Porcentaje de conmut-prim:  $\pm 2*2.5\%$

Conexión en el lado primario: Triángulo

Grupo de conexión.: DyN5.

Frecuencia nominal. : 60 Hz.

Tipo de montaje. : Exterior

### 6.7.2. Seccionadores fusibles

Los seccionadores fusible, son del tipo unipolar (CUT-OUT), con portafusibles de explosión para maniobras sin carga a través de una pértiga de apertura automática al fundirse el fusible y tiene las siguientes características.

- Tensión máxima: 27 KV.
- Corriente Nominal: 100 A.
- Tipo de montaje: exterior.
- Capacidad de ruptura:
  - Asimétrica: 8 KA.
  - Simétrica: 5.6 KA.
- Tensión de ensayo con onda de impulso de 1/50  $\mu$ s: 110 KV.
- Longitud de línea de fuga: 432 mm
- Capacidad de interruptor Fusible: 6 KA.

## **CAPITULO VII**

### **ANÁLISIS ECONÓMICO**

#### **7.1. Generalidades**

El desarrollo del presente trabajo comprende en esta última etapa el desarrollo del Análisis Económico para el Repotenciamiento de la MCH Pumachaca, este capítulo contempla efectuar un metrado y presupuesto de lo que significa la rehabilitación de toda la Minicentral, a fin de que esta quede operativa y que incluya el equipamiento del nuevo grupo hidroeléctrico que cuenta con las mismas características del primer grupo, de manera que el nuevo equipamiento permita llegar una producción de energía de 600 kW, trabajando con 02 grupos hidroeléctricos.

#### **7.2. Objetivo de la evaluación económica**

Como en toda evaluación económica, el objetivo del presente análisis es determinar los indicadores económicos de los costos fijos y variables de la instalación y evaluar los costos de generación de energía de la nueva planta hidroeléctrica. También se determinará el costo del kW-hora de energía generada. Posteriormente podremos determinar su rentabilidad y verificar si la inversión requerida para su implementación es recuperada a lo largo de la vida útil.

#### **7.3. Presupuesto base**

En el presupuesto base del proyecto debemos realizar el metrado de todas las obras que hemos descrito en los capítulos anteriores, es decir, todos los trabajos que se llevaran a cabo con el fin de materializar este proyecto. Los precios mostrados son precios de mercado.

A continuación, haremos un recuento de los trabajos estimados para la

rehabilitación y repotenciamiento de la MCH Pumachaca:

### **7.3.1. Presupuesto de rehabilitación de Obras Civiles:**

- Mantenimiento de la Bocatoma.
- Mantenimiento Canal de aducción.
- Mantenimiento de desarenador.
- Mantenimiento de cámara de carga.
- Mantenimiento de canal de descarga.
- Mantenimiento de casa de máquinas.

### **7.3.2. Presupuesto de Obra electromecánicas:**

- Implementación de grupo hidroeléctrico 2
- Instalación de sistemas regulador de velocidad.
- Obras electromecánicas adicionales.

La rehabilitación de la MCH Pumachaca contempla la instalación de un segundo grupo hidroeléctrico nuevo de una potencia de 300 Kw que será instalado en la actual casa de máquinas existente donde se cuenta ya con la infraestructura civil, así como la estructura hidráulica de la tubería de presión con un pantalón listo para la conexión del segundo grupo de generación. Por otra parte, las obras civiles se refieren a los trabajos de recuperación y mantenimiento de las construcciones e infraestructura ya existentes y en servicio.

En la tabla 22 se detalla los costos del repotenciamiento y la rehabilitación de la M.C.H. Pumachaca, para poder determinar el costo del kilowatt instalado kW<sub>i</sub> se suman las partidas correspondientes al grupo Hidroeléctrico, y las obras civiles y se dividen entre la potencia, obteniendo un costo de US\$ 411.945 por kW<sub>i</sub>.

**Tabla 22: Metrado y presupuesto de rehabilitación de MCH Pumachaca**

<b>M.C.H. Pumachaca 300 kW Metrado y Presupuesto Rehabilitación</b>						
<b>ITEM</b>	<b>DENOMINACION</b>	<b>UNID.</b>	<b>CANT.</b>	<b>C.UNIT</b>	<b>C.PARCIAL</b>	<b>C.TOTAL US\$</b>
<b>1</b>	<b>GRUPO HIDROELECTRICO</b>					
1.1	Turbina Pelton de 02 toberas	Unid	1	38790.00	38790.00	
1.2	Alternador síncrono	Unid	1	23480.00	23480.00	
1.3	Válvula de entrada	Unid	1	6180.00	6180.00	
1.4	Gobernador de velocidad	Unid	2	11380.00	22760.00	
1.5	Tablero de control y regulación	Unid	2	9680.00	19360.00	
1.6	Sistemas de automatización	Unid	2	1670.00	3340.00	
1.7	Gastos de embalaje	Global	1	3380.00	3380.00	
1.8	Gastos de envoi	Global	1	8200.00	8200.00	
1.9	Gastos de instalación y montaje	Global	1	8700.00	8700.00	111460.00
1.1	Gastos de desaduanaje (45%)	Global	1	50157.00	50157.00	
						<b>50157.00</b>
<b>2</b>	<b>OBRAS CIVILES Y TUBO DE PRESIÓN</b>					
2.1	mantenimiento en tubería de presión	Global	1	9850.0	9850.00	
2.2	Bocatoma	Unid	1	7200.00	7200.00	
2.3	Canal de aducción	Global	1	40000.00	40000.00	
2.4	Cámara de carga-reparación.	Unid	1	6500.00	6500.00	
2.5	Obras de caída	Global	1	11000.00	11000.00	
2.6	Casa de máquinas y casa del tomero	Global	1	11000.00	11000.00	
						<b>85550.00</b>
					<b>Costo total US\$</b>	<b>247167.00</b>

*Fuente: Elaboración propia*

Costo del kW<sub>i</sub> US\$ 411.945

Con el fin de poder realizar un análisis comparativo entre: desarrollar el proyecto de rehabilitar la M.C.H. de Pumachaca y repotenciarla usando un segundo grupo Hidroeléctrico de 300 kW o Rehabilitar las obras civiles, actualizar el grupo hidroeléctrico que actualmente se encuentra en operación y en lugar de un segundo grupo, instalar un grupo electrógeno diésel que pudiera suministrar la misma potencia este sería el presupuesto base para dicho grupo:

**Tabla 23: Presupuesto base de la rehabilitación utilizando un grupo diésel**

ITEM	DENOMINACION	UNID.	CANT.	C.UNIT	C.PARCIAL	C.TOTAL
<b>1</b>	<b>GRUPO HIDROELECTRICO</b>					
1.1	Grupo Diesel 400 Kw	Unid	1	68676.00	68676.00	
1.2	Sistemas de automatización	Unid	2	1670.00	3340.00	
1.3	Gastos de embalaje	Global	1	3380.00	3380.00	
1.4	Gastos de envío	Global	1	8200.00	8200.00	
1.5	Gastos de instalación y montaje	Global	1	8700.00	8700.00	90626.00
<b>2</b>	<b>OBRAS CIVILES Y TUBO DE PRESIÓN</b>					
2.1	mantenimiento en tubería de presión	Global	1	9850.00	9850.00	
2.2	Bocatoma	Unid	1	7200.00	7200.00	
2.3	Canal de aducción	Global	1	40000.00	40000.00	
2.4	Cámara de carga-reparación.	Unid	1	6500.00	6500.00	
2.5	Obras de caída	Global	1	11000.00	11000.00	
2.6	Casa de máquinas y casa del tomero	Global	1	11000.00	11000.00	<b>85550.00</b>
					<b>Costo total US\$</b>	<b>176176.00</b>

*Fuente: Elaboración propia*

Costo del kW<sub>i</sub> US\$ 293.63

## 7.4. Análisis económico de alternativas de suministro de energía

### 7.4.1. Consideraciones generales:

Existen dos posibilidades de tipo de suministro de energía, la generación hidráulica rehabilitando y repotenciando la MCH Pumachaca y el suministro comercial por ELSE. La comparación técnica económica entre los dos tipos de centrales de generación parte de la necesidad de obtener las mejores condiciones o el mejor precio del kW-hora final producido y que será vendido a los usuarios.

El análisis comparativo entre todas las alternativas es en base netamente a consideraciones técnicas que deberán refrendarse desde el punto de vista económico.

La zona de Paucartambo cuenta con un diagrama de carga típico de una región donde predominan las cargas domesticas con bajos consumos durante el día y consumos picos en horas nocturnas, lo que arrojará un bajo número de horas de

utilización anual y este efecto se verá reflejado en el costo del kW-hora producido.

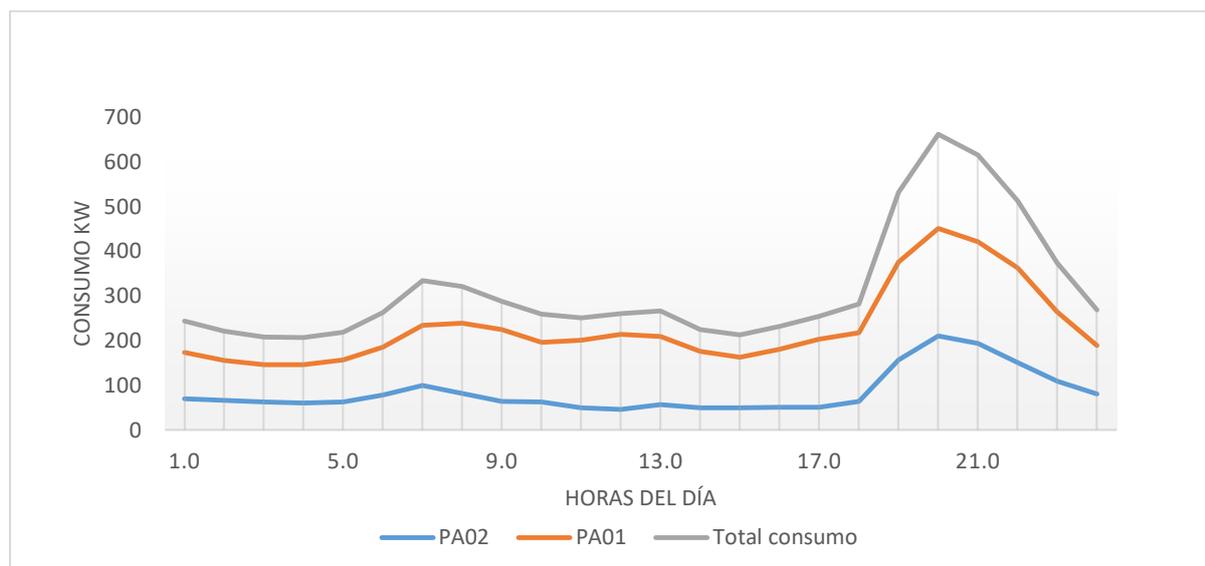
**Tabla 24: Consumo diario de energía en SE Paucartambo**

HORA	PA01 (kW)	PA02 (kW)	Total (kW)
00:00:00	173	70	243.00
01:00:00	155	66	221.00
02:00:00	146	62	208.00
03:00:00	146	60	206.00
04:00:00	156	63	219.00
05:00:00	185	78	263.00
06:00:00	234	100	334.00
07:00:00	239	82	321.00
08:00:00	224	64	288.00
09:00:00	196	63	259.00
10:00:00	201	50	251.00
11:00:00	214	46	260.00
12:00:00	209	57	266.00
13:00:00	175	49	224.00
14:00:00	162	50	212.00
15:00:00	180	51	231.00
16:00:00	203	51	254.00
17:00:00	217	64	281.00
18:00:00	375	156	531.00
19:00:00	451	210	661.00
20:00:00	421	194	615.00
21:00:00	362	150	512.00
22:00:00	264	109	373.00
23:00:00	189	80	269.00
<b>Total diario (kW-hora)</b>			<b>7,502.00</b>

*Fuente: OSINERGMIN*

Como se ve en la Tabla 24 el consumo de energía que corresponde a la subestación de Paucartambo posee un pico de demanda alrededor de las 19 horas, este consumo se puede ver de mejor manera a través de un gráfico de las líneas de conducción.

**Figura 50: Comportamiento del consumo diario en la SE Paucartambo**



Fuente: Elaboración propia

Ajustándonos a la demanda actual en la provincia, la MCH Pumachaca podría entregar 7502 Kw-hora por día de operación y 2 025 540 kW-hora anualmente, con una utilización de 4051.8 horas al año, como se muestra en la tabla 25.

**Tabla 25: Consumo de energía y utilización**

ITEM	DIARIO	MENSUAL	ANUAL
Energía (kW-hora)	7,502.00	202,554.00	2,025,540.00
Horas utilización	12.50	337.59	4,051.08

Fuente: Elaboración propia

### 7.4.2. Costos fijos y costos variables

El precio de la energía eléctrica en las líneas de salida de la central está determinado por el gasto necesario para su producción, estos gastos se componen de costo fijo y un costo variable que depende de la carga suministrada.

#### 7.4.2.1. Costos fijos

Son aquellos costos que están directamente relacionados con el costo de la

construcción y equipamiento, se debe considerar los siguientes aspectos:

**a) Servicio de capital inmovilizado**, o sea remuneración de capital y amortización del capital que considera los siguientes rubros:

- **Intereses:** de bonos y dividendo de acciones incluyendo los intereses pasivos durante el período de construcción. Para nuestro caso podemos tomar interés anual de la banca comercial o banca de fomento entre 8% al 14%.
- **Amortización:** se debe construir un fondo de amortización con el fin de establecer una reserva apta a renovar la planta en el momento que esta haya cumplido con su vida útil y quede inutilizada. Para este efecto consideramos una tasa de amortización del 2%

**b) Cargas tributarias**

Que tiene una incidencia mínima y no se tiene en cuenta para los cálculos, en todo caso la carga tributaria es asumida por el consumidor final.

**c) Gastos de operación**

Incluye los sueldos herramientas, enseres, derechos de uso de agua etc. Para nuestro caso tomaremos una tasa del 1 %.

**d) Gastos de Mantenimiento de y renovación**

Que incluye el reemplazo periódico de las piezas desgastadas, y todas las actividades que incluyen el mantenimiento preventivo y correctivo planificado tanto en obras electromecánicas y obras civiles. Estos gastos aparecen a partir del segundo o tercer año de ejercicio alcanzando una tasa entre 1 a 4% anual.

La suma de los gastos fijos detallada acumula una tasa global del 15 al 17% que es aceptable en caso de centrales eléctricas.

#### **7.4.2.2. Costos variables**

Dentro de los costos variables se consideran los siguientes aspectos:

##### **a) Gastos por combustible utilizado**

Este valor es importante en el costo de producción de las centrales térmicas, dependiendo del número de horas de utilización el costo influirá en la determinación del KWH generado. En las centrales hidráulicas este costo se hace cero.

##### **b) Gasto de lubricantes**

Comparados con los costos de combustibles el costo de los lubricantes es prácticamente despreciable.

##### **c) Consumo específico de combustible**

Depende de la eficiencia del grupo a utilizar y del tipo de combustible, los grupos térmicos utilizan diésel B5-s50, pero en las centrales hidráulicas este costo es cero.

##### **d) El número de horas de utilización**

Depende del mercado y de las características de los consumidores de energía eléctrica. En el caso del sistema de Paucartambo predominan las cargas domésticas y se tomará en cuenta las estadísticas obtenidas de OSINERGMIN.

#### **7.4.2.3. Costos totales**

Los costos totales (gastos anuales) son la suma de los gastos fijos y variables. Los gastos fijos incluirán el costo total de la central, afectado por los coeficientes de interés y amortización y depreciación debiendo tomar en cuenta los gastos de reparaciones y mantenimiento programados. Los gastos de esta clase que corresponden a un año se suponen proporcionales al capital de la instalación. Los

gastos fijos anuales que incluyen la renta del capital, amortización, etc están dados por la siguiente relación:

$$Gf = P_{\max} * i * p \dots\dots 6.1$$

Donde:

- Gf: Gastos fijos
- Pmax: Potencia máxima de la central (KW)
- p: Costo de la instalación por kW de potencia instalada (US\$/kW)
- i: Coeficiente de interés y amortización de capital

Para los gastos variables se calcula a través del gasto de US\$ de combustible que se usa para producir 1 kWh, y la duración del aprovechamiento de la central durante un año, que son el número de horas de utilización, estos gastos están dados por la siguiente relación:

$$Gv = P_{\max} * c * h \dots\dots 6.2$$

Donde:

- c: Costo de combustible en US\$/Kw-hora
- h: Número de horas de utilización anual (horas)
- Pmax: Potencia máxima de la central (Kw).

Los gastos totales que demanda el funcionamiento de las centrales durante un año serán:

$$G = Gf + Gv = P_{\max} * i * p + P_{\max} * c * h \dots\dots 6.3$$

Si referimos los gastos totales a 1 kW de potencia instalada, el gasto anual unitario en dólares por potencia instalada (US\$/kW) será:

$$\frac{G}{P_{\max}} = i * p + c * h \dots\dots\dots 6.4$$

Si a la ecuación anterior la dividimos entre el número de horas de utilización anual el gasto en US\$ por Kwh generado estará dado por:

$$g = \frac{G}{h * P_{\max}} = \frac{i * p}{h} + c \dots\dots\dots 6.5$$

También podremos evaluar el comportamiento del costo del kWh generado con la ecuación 6.5 a lo largo de un período dependiendo del número de horas de utilización de la central.

**7.4.3. Determinación de costos de kWh instalado y kWh producido**

Del análisis económico realizado de los gastos fijos y gastos variables, podemos obtener una serie de conclusiones que nos permitan decidir cuál es la mejor alternativa de suministro de energía eléctrica desde el punto de vista económico.

Una vez conocidos los costos totales de la instalación, así como definidos los factores referentes a tasa de interés y amortización bancarios de las fuentes financieras, podemos mostrar los valores para la alternativa hidroeléctrica en la Tabla 24 y graficar la ecuación 6.4 en función del número de horas de utilización anual (h) que se muestra en la Fig. 51.

Así mismo podemos efectuar la comparación de los costos de generación en función a las horas de utilización.

**Tabla 26: Costo del kWh con el segundo GH**

<b>h</b> <b>(horas)</b>	<b>i(interés</b> <b>anual)</b>	<b>p (kw</b> <b>instalado)</b>	<b>C (i*p)</b>	<b>g</b> <b>(MCH)</b>	<b>g</b> <b>(ELSE)</b>
50	0.14	412	57.67	1.153	0.21
100	0.14	412	57.67	0.577	0.21
200	0.14	412	57.67	0.288	0.21
300	0.14	412	57.67	0.192	0.21
400	0.14	412	57.67	0.144	0.21
500	0.14	412	57.67	0.115	0.21
1000	0.14	412	57.67	0.058	0.21
1500	0.14	412	57.67	0.038	0.21
2000	0.14	412	57.67	0.029	0.21
2500	0.14	412	57.67	0.023	0.21
3000	0.14	412	57.67	0.019	0.21
3500	0.14	412	57.67	0.016	0.21
4000	0.14	412	57.67	0.014	0.21
4500	0.14	412	57.67	0.013	0.21
5000	0.14	412	57.67	0.012	0.21
5500	0.14	412	57.67	0.010	0.21
6000	0.14	412	57.67	0.010	0.21
6500	0.14	412	57.67	0.009	0.21
7000	0.14	412	57.67	0.008	0.21
7500	0.14	412	57.67	0.008	0.21
8000	0.14	412	57.67	0.007	0.21
8500	0.14	412	57.67	0.007	0.21
8760	0.14	412	57.67	0.007	0.21

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 27: Costo del kWh generado por el grupo diesel**

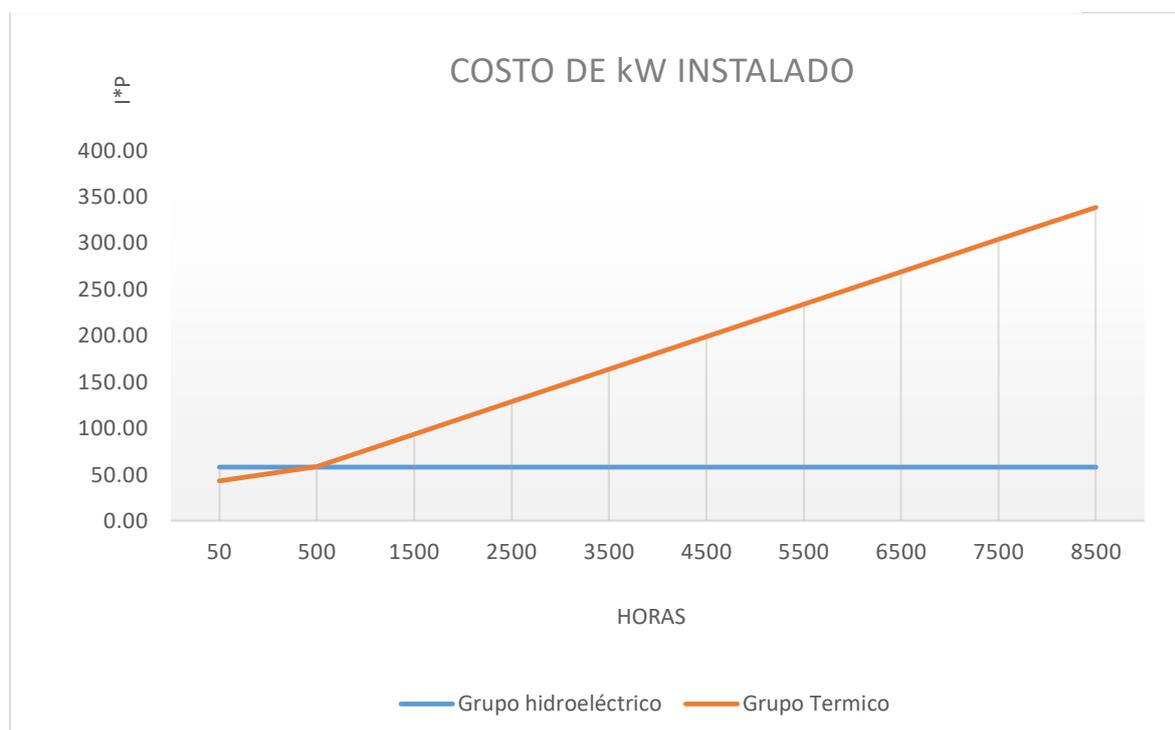
<b>h (horas)</b>	<b>i (interés</b> <b>anual)</b>	<b>p (kW<i>i</i>)</b>	<b>c</b>	<b>C (i*p+c*h)</b>	<b>g (kWh</b> <b>grupo)</b>
50	0.14	294	0.035	42.910	0.858
100	0.14	294	0.035	44.660	0.447
200	0.14	294	0.035	48.160	0.241
300	0.14	294	0.035	51.660	0.172
400	0.14	294	0.035	55.160	0.138
500	0.14	294	0.035	58.608	0.117
1000	0.14	294	0.035	76.108	0.076
1500	0.14	294	0.035	93.608	0.062
2000	0.14	294	0.035	111.108	0.056
2500	0.14	294	0.035	128.608	0.051
3000	0.14	294	0.035	146.108	0.049
3500	0.14	294	0.035	163.608	0.047
4000	0.14	294	0.035	181.108	0.045
4500	0.14	294	0.035	198.608	0.044
5000	0.14	294	0.035	216.108	0.043
5500	0.14	294	0.035	233.608	0.042
6000	0.14	294	0.035	251.108	0.042
6500	0.14	294	0.035	268.608	0.041
7000	0.14	294	0.035	286.108	0.041

7500	0.14	294	0.035	303.608	0.040
8000	0.14	294	0.035	321.108	0.040
8500	0.14	294	0.035	338.608	0.040
8760	0.14	294	0.035	347.708	0.040

Fuente: Elaboración propia

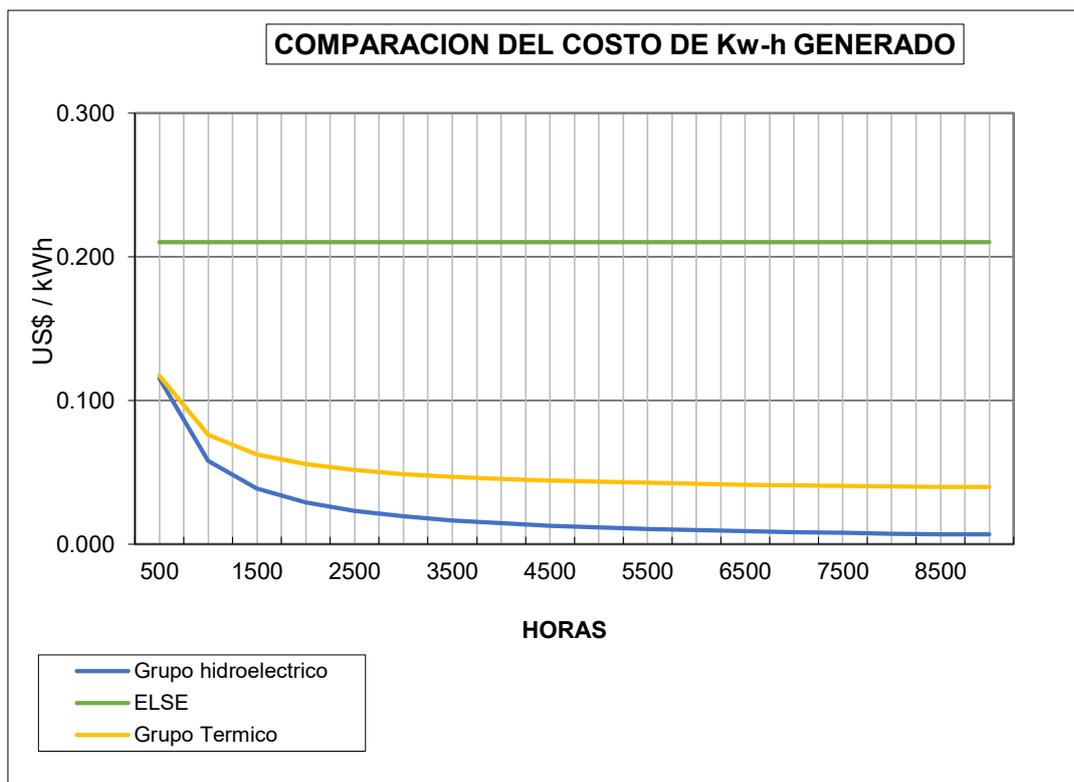
Como se puede ver en la figura 45, el costo del kW del grupo térmico que al inicio era mucho menor que el del grupo hidroeléctrico, se iguala a las 500 horas, pero a partir de ese punto solo se incrementan y dejan a la opción hidroeléctrica como la más rentable.

Figura 45: Costo del kW instalado hidroeléctrico Vs. Térmico



Fuente: Elaboración propia

**Figura 51: Comparación del costo del kWh generado**



Fuente: Elaboración propia

## 7.5. ANÁLISIS ECONÓMICO DEL PROYECTO

### 7.5.1. Indicadores económicos utilizados

Al ser el análisis económico una herramienta muy importante en la toma de las decisiones necesitamos realizar una proyección de todos los ingresos y egresos que sucedan a lo largo de la vida útil de la MCH Pumachaca, en este caso consideramos una vida útil de 15 años, sumados a un año de trabajos para el mantenimiento de las obras (16 años).

Tanto los ingresos como los egresos estimados para la vida útil de la MCH Pumachaca, teniendo en cuenta los documentos de regulación de OSINERGMIN para el kWh en barras. Los gastos corresponden a todos los gastos operativos, gastos por mantenimiento preventivo y correctivo.

En el presente análisis económico del proyecto consideramos el método

dinámico, para el cálculo de la rentabilidad, para este método todos los pagos vinculados a la inversión se actualizan a la fecha de puesta en marcha.

Las variables que entran a tallar en esta evaluación son las siguientes:

- **Tasa de descuento**

En los cálculos económicos a realizarse, tomaremos el Dólar Americano como unidad monetaria, por lo que fijaremos una tasa de interés comercial o de fomento, que en el Perú varía entre 9% al 16%. Para este proyecto tomamos una tasa del 10% de una banca de fomento.

- **Vida útil de la planta**

Este parámetro es importante y sirve para el análisis de la rentabilidad del proyecto, la vida útil de la planta se toma en cuenta por comparación con proyectos parecidos de otras plantas que están o han estado en operación, esta variable dependerá de calidad de los equipos y obras civiles. Para nuestro caso tomaremos una vida útil de 16 años por tratarse de una repotenciamiento.

- **Gastos de inversión**

Indica el volumen de las inversiones necesarias efectuadas para echar a andar el proyecto.

- **Valor residual de la planta**

Asignamos un valor residual a la totalidad de la planta, para una vez que se haya concluido la vida útil o periodo de operación previsto, que en este caso es del 10% de la inversión inicial.

- **Costos de mantenimiento y operación**

No es sencillo estimar con exactitud el gasto que se podría dar en mantenimiento y reparaciones de la planta, que es un aspecto sumamente

importante para poder mantener la central operativa. En el caso de Pumachaca estimamos que un gasto anual del 4% del costo de la inversión cubre todas estas necesidades.

- **Egresos corrientes totales**

Es la suma de todos los costos explicados anteriormente.

#### **7.5.1.1. Ingresos del proyecto de inversión**

Para este caso se obtiene los siguientes ingresos:

- **Ingresos procedentes de la comercialización**

La energía producida es el bien a comercializar. Los ingresos provenientes de este rubro, se pueden calcular efectuando una proyección de las ventas de energía durante la vida útil del proyecto.

- **Retornos Brutos**

Los retornos corrientes brutos anuales resultan del saldo de la partida ingresos y la partida de egresos. Usamos el término “bruto”, para indicar que incluyen las depreciaciones.

- **Depreciaciones**

Se refiere a las devaluaciones periódicas de los activos fijos del proyecto.

- **Utilidades**

Se refiere a la utilidad del período, asociado a la inflación y tasa de interés total de la inversión.

- **Tasa general de Inflación/tasas de interés real**

Para un cálculo teórico se parte del supuesto de que los precios actuales seguirán vigentes en el futuro (En dólares), es decir, se mantiene constantes, esta hipótesis permite realizar el cálculo de rentabilidad sobre la base de

retornos anuales constantes.

## 7.5.2. Cálculo de ingresos y desembolsos

El Poder económico financiero del proyecto se analizará desde el punto de vista de un negocio de generación teniendo en cuenta el comportamiento de la demanda de la provincia de Paucartambo, que es la población que se beneficiaría con la puesta en marcha de MCH Pumachaca.

### 7.5.2.1. Cálculo de ingresos

El cálculo de ingresos se realiza íntegramente de la proyección realizada de la venta de energía eléctrica a la red pública.

En la tabla 28 se ve la proyección de venta de energía durante los 16 años de vida útil de la planta.

**Tabla 28: Venta de energía MCH Pumachaca**

AÑOS	kW-h ANUALES	PRECIO DE VENTA kW-h EN US\$	PRECIO DE VENTA kW-h EN S/	INGRESOS EN US\$
2024	0.00	0.115	0.39675	0
2025	2,025,540.00	0.115	0.39675	232,937.10
2026	2,025,540.00	0.115	0.39675	232,937.10
2027	2,025,540.00	0.115	0.39675	232,937.10
2028	2,025,540.00	0.115	0.39675	232,937.10
2029	2,025,540.00	0.115	0.39675	232,937.10
2030	2,025,540.00	0.115	0.39675	232,937.10
2031	2,025,540.00	0.115	0.39675	232,937.10
2032	2,025,540.00	0.115	0.39675	232,937.10
2033	2,025,540.00	0.115	0.39675	232,937.10
2034	2,025,540.00	0.115	0.39675	232,937.10
2035	2,025,540.00	0.115	0.39675	232,937.10
2036	2,025,540.00	0.115	0.39675	232,937.10
2037	2,025,540.00	0.115	0.39675	232,937.10
2038	2,025,540.00	0.115	0.39675	232,937.10
2039	2,025,540.00	0.115	0.39675	232,937.10

### 7.5.2.2. Cálculo de desembolsos

Los costos totales de inversión se definen como la suma del capital fijo y el capital de explotación neta que serían invertidos en la rehabilitación de la MCH

Pumachaca.

Por ende, para el cálculo de los desembolsos del proyecto se cuenta con los siguientes activos fijos:

- Inversiones fijas
- Gastos de capital previos a la producción
- Amortización de la deuda
- Costos de Operación y Costos de Mantenimiento

### **7.5.3. Financiación del proyecto**

La asignación de recursos financieros al proyecto constituye un requisito previo, obvio y básico para hacer realidad el proyecto. El estudio de viabilidad no sería muy útil si no estaría apoyada por justificaciones razonables que la obtengan conclusiones posibles y satisfactorias.

- **Participación de capital propio**

La Municipalidad de Paucartambo puede asumir el compromiso de buscar un financiamiento, puesto que este proyecto encaja dentro de los proyectos sostenibles, recurriendo a entidades que propician el uso adecuado de las energías renovables.

- **Financiación mediante préstamos**

Se podría también acceder al financiamiento mediante un préstamo de fondos provenientes del gobierno Central, por intermedio de diferentes entidades como el Banco de la Nación y otras.

### **7.5.4. Cálculo de rentabilidad por métodos dinámicos**

- **Valor actual neto (VAN)**

El valor neto actual es una herramienta que nos permite conocer cuánto se va a ganar o perder con esta inversión.

Para simplificar el cálculo podemos extraer el saldo de los egresos o ingresos corrientes generalmente como retornos anuales. Así el VAN puede ser calculado también como resultados de la suma de los valores actuales de los retornos más el valor actual de liquidación menos el valor actual de los gastos de inversión.

$$VAN = -I_0 + \frac{BE}{(1+i)} + \frac{BE_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{BE_n}{(1+i)^n} \dots\dots 6.6$$

Donde:

- $I_0$ : Inversión inicial
- BE: Beneficios esperados
- n: períodos (años) del Proyecto.
- i: tasa de interés.
- Evaluación del van

Si:

$VAN > 0$ : La inversión es rentable.

$VAN < 0$ : La inversión no es rentable.

$VAN = 0$ : Es indiferente invertir o no.

Al aplicar el método del VAN la inversión es considerada ventajosa sólo si su valor actual es por lo menos igual a cero. Un valor actual negativo indica que no se obtendrá un rédito mínimo deseado para el capital invertido. Un valor actual mayor que

cero, que es nuestro caso, significa que la inversión será tanto más ventajosa, cuanto más alto resulte el valor actual.

- **Tasa interna de retorno (TIR)**

La Tasa Interna de Retorno es la máxima tasa de interés ( $r$ ) que hace igual a cero el VAN, quedando la ecuación anterior 6.6 de la siguiente manera:

$$VAN = -I_0 + \frac{BE}{(1+r)} + \frac{BE_2}{(1+r)^2} + \dots + \frac{BE_n}{(1+r)^n} = 0 \dots 6.7$$

Donde:

- $r$ : Tasa Interna de Retorno.

Del mismo modo que con el VAN:

TIR > 0: La inversión es rentable.

TIR < 0: La inversión no es rentable.

TIR = 0: Es indiferente invertir o no.

El cálculo del TIR está relacionado con el VAN, puesto que se utilizarán la misma tasa de interés y los mismos datos de flujo de caja, es por esto que casi siempre van de la mano. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 29.

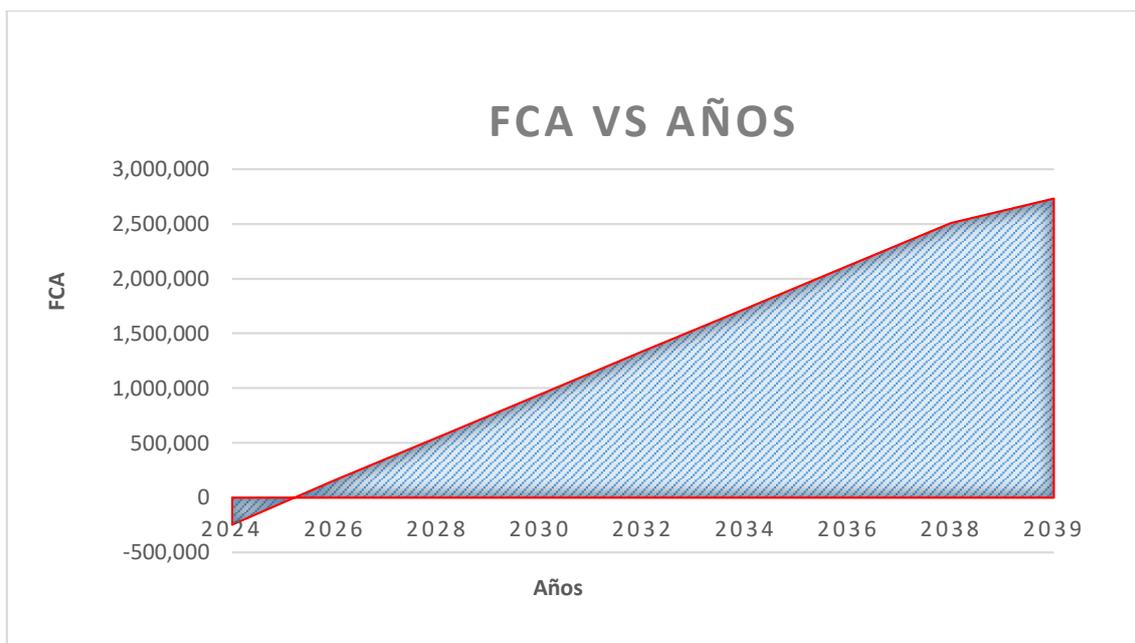
**Tabla 29: Flujo de ingresos y egresos MCH Pumachaca**

AÑO	VENTA DE ENERGÍA	VALOR DE RECUPERACIÓN	TOTAL INGRESOS US\$	INVERSIÓN	AMORTIZACIÓN	COSTO DE OPERACIÓN	COSTO DE MANTENIMIENTO	TOTAL EGRESOS US\$	FLUJO	FLUJO ACUMULADO
2024	0.00		0.00	247,167.00		0.00	0.00	247,167.00	-247,167.00	-247,167.00
2025	232,937.10		232,937.10		24,716.70	4,943.34	0.00	29,660.04	203,277.06	-43,889.94
2026	232,937.10		232,937.10		24,716.70	2,471.67	1,977.34	29,165.71	203,771.39	159,881.45
2027	232,937.10		232,937.10		24,716.70	2,471.67	9,886.68	37,075.05	195,862.05	355,743.50
2028	232,937.10		232,937.10		24,716.70	2,471.67	9,886.68	37,075.05	195,862.05	551,605.55
2029	232,937.10		232,937.10		24,716.70	2,471.67	9,886.68	37,075.05	195,862.05	747,467.60
2030	232,937.10		232,937.10		24,716.70	2,471.67	9,886.68	37,075.05	195,862.05	943,329.65
2031	232,937.10		232,937.10		24,716.70	2,471.67	9,886.68	37,075.05	195,862.05	1,139,191.70
2032	232,937.10		232,937.10		24,716.70	2,471.67	9,886.68	37,075.05	195,862.05	1,335,053.75
2033	232,937.10		232,937.10		24,716.70	2,471.67	9,886.68	37,075.05	195,862.05	1,530,915.80
2034	232,937.10		232,937.10		24,716.70	2,471.67	9,886.68	37,075.05	195,862.05	1,726,777.85
2035	232,937.10		232,937.10		24,716.70	2,471.67	9,886.68	37,075.05	195,862.05	1,922,639.90
2036	232,937.10		232,937.10		24,716.70	2,471.67	9,886.68	37,075.05	195,862.05	2,118,501.95
2037	232,937.10		232,937.10		24,716.70	2,471.67	9,886.68	37,075.05	195,862.05	2,314,364.00
2038	232,937.10		232,937.10		24,716.70	2,471.67	9,886.68	37,075.05	195,862.05	2,510,226.05
2039	232,937.10	24,716.70	257,653.80		24,716.70	2,471.67	9,886.68	37,075.05	220,578.75	2,730,804.80
			3,518,773.20		370,750.50			787,968.40		

Fuente: Elaboración propia

- VAN: \$ 985950.32
- TIR: 81 %

**Figura 52: Flujo de caja acumulado en el tiempo**



Fuente: Elaboración propia

**Tabla 30: Resultados del análisis económico**

TASA INTERES	0.14
VAN	985,950.32 US\$
IVA	3.99
TIR	0.81 %
PO TIME	2 años y 3 meses
Max Expo	247,167.00 US\$

Fuente: Elaboración propia

### 7.5.5. Comentarios

Los gastos de inversión que se requieren para la MCH Pumachaca alcanzan un total de 247 167 US\$, que dan como resultado un promedio de 411.945 US\$ por kW instalado, y es propio de las centrales hidroeléctricas de este tipo mantenerse con un comportamiento horizontal en lo que a gastos se refiere, debido principalmente a que no depende del precio de los combustibles.

Cuando analizamos el costo del kW hora generado en la MCH de Pumachaca, observamos que a partir de las 1000 horas de utilización el costo de la energía será de 0.058 US\$/kWh, que en soles viene a ser 0.2 Soles/kWh tarifa que se encuentra muy por debajo de los más de 0.6 Soles/kWh, que actualmente ELSE viene cobrando. Con esta diferencia es muy evidente que económicamente la MCH Pumachaca representa una muy buena alternativa y que bien vale la inversión que demanda.

## CONCLUSIONES

- a. El estudio técnico económico realizado para la rehabilitación de la MCH Pumachaca, nos ha llevado a analizar las obras civiles y equipos electromecánicos, por lo que hemos llegado a la conclusión que dicha rehabilitación llevara a duplicar su potencia instalada de 300 a 600 kW, lo que deviene en la necesidad de efectuar labores de rehabilitación tanto de las obras civiles, el mantenimiento de la tubería de presión, la instalación de un segundo grupo hidroeléctrico y la implementación de todo un sistema de control, protección y automatización electrónica.
- b. De la cuenca, de los caudales evaluados y parámetros estudiados, las cifras obtenidas a través del estudio hidrológico, se evidencia la presencia permanente de agua en la cuenca, esto debido fundamentalmente a los orígenes de río en el nevado Ausangate y la presencia persistente de lluvias durante todo el año, con un promedio de 510 mm anuales, se tiene además que la humedad relativa promedio de la zona es de alrededor del 74%. En conclusión, la Cuenca Hidrográfica del río Pumachaca presenta un caudal promedio de 1.2 m<sup>3</sup>/s durante el periodo de estiaje y alcanza los 12 m<sup>3</sup> durante los meses de avenida, un caudal suficiente para satisfacer las necesidades de la MCH Pumachaca.
- c. De las obras civiles, si bien las obras existentes actualmente permiten el funcionamiento del grupo hidroeléctrico instalado, para poder duplicar la potencia a los 600 Kw propuestos, es necesario que todas las construcciones reciban un mantenimiento: la bocatoma, los desarenadores y la cámara de carga requieren que todas las superficies sean mejoradas, el canal de aducción al largo de sus 5440 metros requiere entrar en un

- proceso de mantenimiento completo.
- d. La tubería de presión que está actualmente instalada y en operación, fue diseñada para la capacidad máxima de la central, que es de 600 kW, de acuerdo al recalcu realizado el diámetro de 16" y el espesor de tubería con el que cuenta (3/16 " y 1/4 " ), son adecuados para la producción de energía que se pretende. En los dos primeros tramos de la tubería se cuenta con un espesor de 3/16 " , que si bien cumple con los requerimientos del proyecto, no cumple con la norma ASME sección VIII que establece un espesor mínimo de 1/4 " , para proyectos hidroeléctricos, tema que se debería tener en cuenta para futuros trabajos de reparación, sin embargo actualmente la tubería está trabajando en forma adecuada
- e. Al calcular y seleccionar la turbina y el grupo hidroeléctrico N° 2 se concluye que contará con una turbina del tipo Pelton de 300 kW con dos inyectores, un diámetro de chorro de 0.06 m para cada inyector, que gira a 900 rpm, con un diámetro de 0.57 m, un generador síncrono de 8 polos y un sistema de regulación electrónico automático.
- f. De acuerdo a la evaluación económica se ha realizado el cálculo de los costos fijos de instalación y de operación, La rehabilitación de la CH Pumachaca costara US\$ 247167.00 contempla un nuevo grupo hidroeléctrico completo y el remplazo total de los sistemas de control y automatización del primer grupo. Para un escenario de utilizar la central 4050 horas anuales, los costos del kW instalado son 294US\$/kW y el costo del kWh generado asciende a 0.014 US\$/kWh, que comparado con el costo de un grupo elctrógeno diésel y al costo de ELSE es mucho menor.

- g. Respecto al análisis económico, fijando el precio del Kw-h en US\$ 0.115, nos genera un VAN de 985950.32 y un TIR del 81%, pagando la inversión inicial en alrededor de 21 meses desde que se inicien las obras.

## RECOMENDACIONES

- a) La reglamentación existente en nuestro país, ha otorgado la concesión de distribución y venta de energía a ciertas empresas, en el caso de la zona del Cusco la empresa encargada de la venta de esta energía es Electro Sur Este S.A. y sería esta la única que podría realizar la compra de la energía producida en la MCH Pumachaca. Con este fin, el Municipio podría crear una Empresa Municipal de Generación de Energía para poder gestionar el correcto funcionamiento y colocación de la energía producida.
- b) En el desarrollo de este proyecto los cálculos concernientes a otras áreas que no sean mecánica, fueron descriptivos y no se trataron a profundidad, quedan ideas a disposición de otras áreas de la ingeniería para efectuar investigaciones subsecuentes a la presente.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Manuel Polo Encinas – Turbomáquinas Hidráulicas 2001.

OLADE “Manual de diseño, estandarización y fabricación de equipos para pequeñas centrales hidroeléctricas” Volumen 1 1983.

HERZ, M. Werner -"Tuberías de Presión" 1975.

Tsuguo NOZAKI - "Guía para la elaboración de Proyectos de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas destinadas a la electrificación rural del Perú" 1980.

Autoridad Nacional del Agua – “Recursos Hídricos del Perú en Cifras” 2010.

Claudio Mataix – “Turbomáquinas Hidráulicas”

INEI – “Sistema de información regional para la toma de decisiones”.

MARIA E. CARBONE, MARIA C. PICCOLO Y GERARDO M. PERILLO.

“Caracterización Climática de la cuenca del Arroyo Claromecó, Argentina” 2003.

CARLOTTO CAILLAUX, VÍCTOR SANTIAGO, CÁRDENAS ROQUE, JOSÉ

DIONICIO, CARLIER, GABRIEL- “Geología del cuadrángulo de Cusco 28 – S – 1: 50,000” 2011.

TRAGSA y TRAGSATEC (Coedición) - “Restauración hidrológico forestal de cuencas y control de la erosión” 1994.

ABSALÓN VÁSQUEZ V., ABEL MEJÍA M., JORGE FAUSTINO M., RUBÉN TERÁN A., ISSAAK VÁSQUEZ R., JORGE DÍAZ R., CRISTIAN VÁSQUEZ R., ANDRÉS CASTRO A., MSC. MANUEL TAPIA M., JULIO ALCÁNTARA R. - “Manejo y Gestión de Cuencas Hidrográficas” 2016.

SORIANO ALABA HORACIO – “Gestión de un Proyecto Hidroeléctrico en el Perú” 2015.

## **ANEXOS**

## **ANEXO 1:**

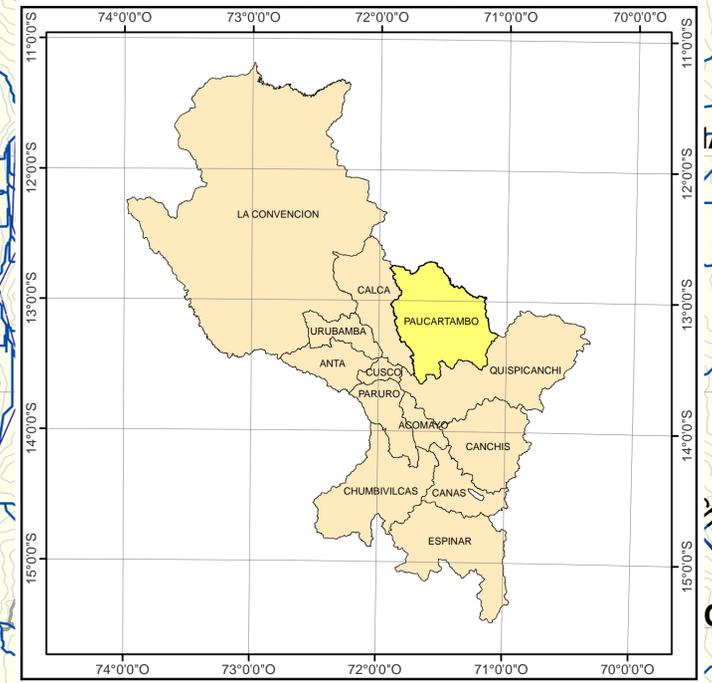
Cuenca del río Pumachaca, parámetros geomorfológicos y fisiográficos.

# CUENCA PUMACHACA

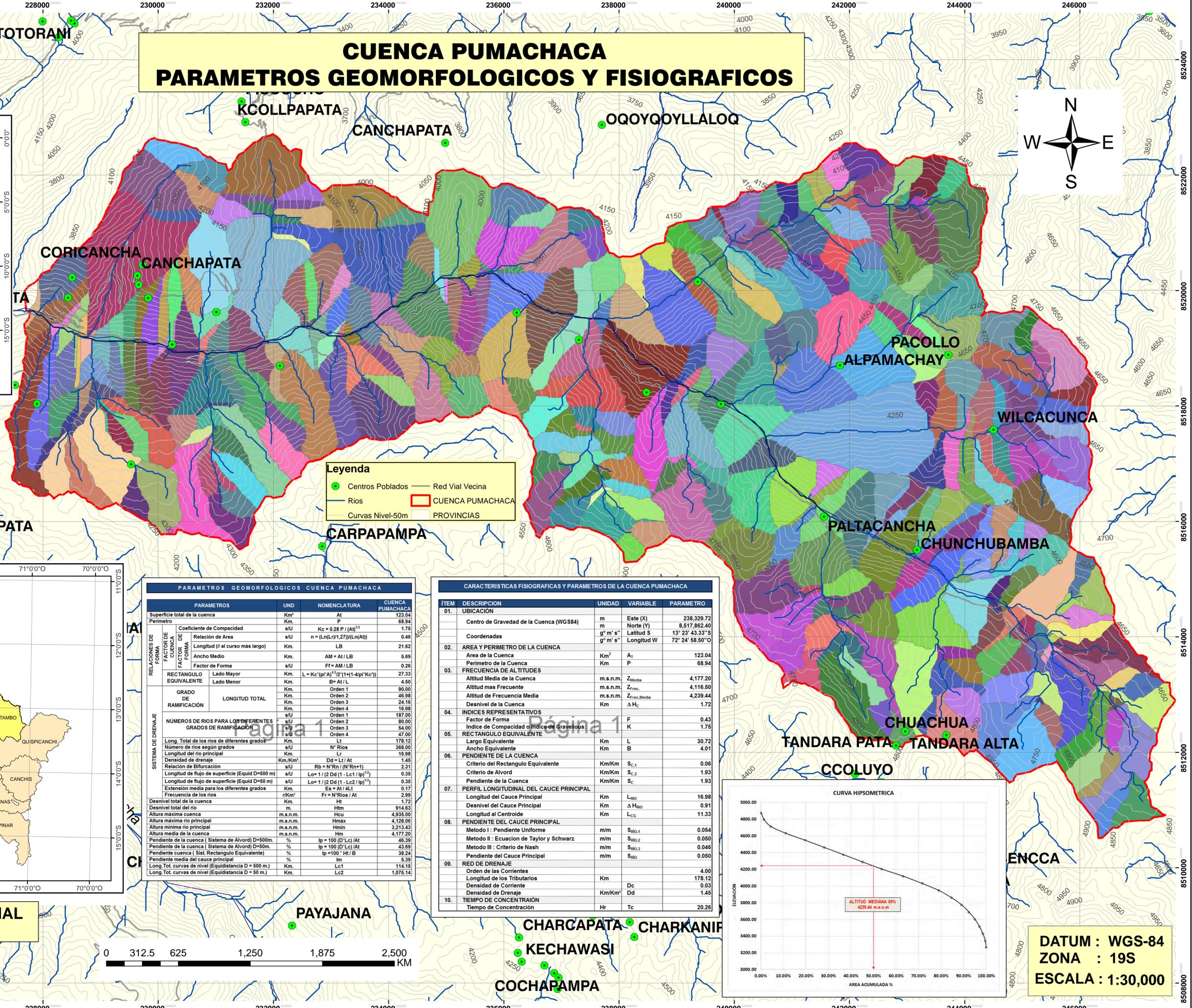
## PARAMETROS GEOMORFOLOGICOS Y FISIOGRAFICOS



**MAPA POLÍTICO DEL PERÚ**



**MAPA PROVINCIAL DEL CUSCO**

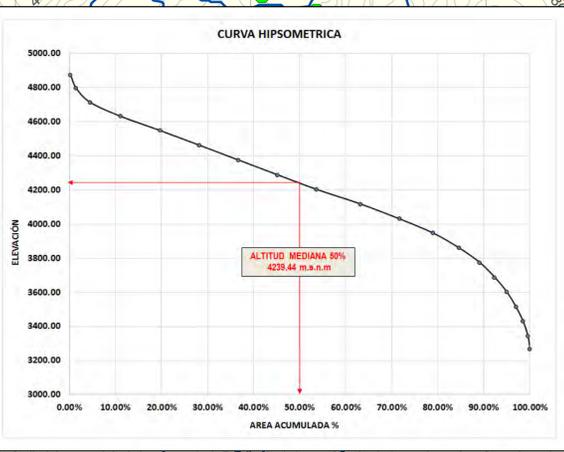


**Legenda**

- Centros Poblados
- Rios
- Curvas Nivel-50m
- Red Vial Vecina
- CUENCA PUMACHACA
- PROVINCIAS

PARAMETROS GEOMORFOLOGICOS CUENCA PUMACHACA			
PARAMETROS	UND	NOMENCLATURA	CUENCA PUMACHACA
Superficie total de la cuenca	Km <sup>2</sup>	At	123.04
Perimetro	Km	P	68.94
Coefficiente de Compacidad	s/U	$Kc = 0.28 P / (At)^{1/2}$	1.75
Relacion de Area	s/U	$n = (Lr/Lr1.27)/(Lr1(At))$	0.46
Longitud (l al curso más largo)	Km.	LB	21.62
Ancho Medio	Km.	AM = At / LB	5.69
Factor de Forma	s/U	FF = AM / LB	0.26
RECTANGULO EQUIVALENTE	Lado Mayor	Km.	$L = Kc \cdot (At)^{1/2} \cdot 2^{1/(1+4 \cdot pp \cdot Kc^2)}$
	Lado Menor	Km.	B = At / L
	Orden 1	Km.	90.00
	Orden 2	Km.	46.98
	Orden 3	Km.	24.16
	Orden 4	Km.	16.98
	Orden 1	s/U	197.00
	Orden 2	s/U	80.00
	Orden 3	s/U	54.00
	Orden 4	s/U	47.00
Long. Total de los rios de diferentes grados	Km.	Lt	178.12
Numero de rios según grados	s/U	N° Rios	368.00
Longitud del rio principal	Km.	Lr	16.98
Densidad de drenaje	Km./Km <sup>2</sup>	Dd = Lt / At	1.45
Relacion de Bifurcación	s/U	$Rb = N°Rn / (N°Rn+1)$	2.31
Longitud de flujo de superficie (Equip D=60m)	s/U	$Lo = 1 / (2 Dd (1 - Lc1 / lp)^{1/2})$	0.35
Longitud de flujo de superficie (Equip D=60 m)	s/U	$Lo = 1 / (2 Dd (1 - Lc2 / lp)^{1/2})$	0.35
Extension media para los diferentes grados	Km.	Es = At / 4Lt	0.17
Frecuencia de los rios	r/Km <sup>2</sup>	Fr = N°Rios / At	2.99
Desnivel total de la cuenca	Km.	Ht	1.72
Desnivel total del rio	m.	Hm	914.63
Altura maxima cuenca	m.s.n.m.	Hcu	4,935.00
Altura maxima rio principal	m.s.n.m.	Hmax	4,128.06
Altura minima rio principal	m.s.n.m.	Hmin	3,213.43
Altura media de la cuenca	m.s.n.m.	Hm	4,177.20
Pendiente de la cuenca (Sistema de Alford) D=60m.	%	$lp = 100 (D/Lc) / At$	46.39
Pendiente de la cuenca (Sistema de Alford) D=50m.	%	$lp = 100 (D/Lc) / At$	43.69
Pendiente cuenca (Sist. Rectangulo Equivalente)	%	$lp = 100 \cdot Ht / B$	38.24
Pendiente media del cauce principal	%	Im	5.39
Long.Tot. curvas de nivel (Equidistancia D = 600 m.)	Km.	Lc1	114.15
Long.Tot. curvas de nivel (Equidistancia D = 60 m.)	Km.	Lc2	1,075.14

CARACTERISTICAS FISIOGRAFICAS Y PARAMETROS DE LA CUENCA PUMACHACA				
ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	VARIABLE	PARAMETRO
01.	UBICACION			
	Centro de Gravedad de la Cuenca (WGS84)	m	Este (X)	238,329.72
		m	Norte (Y)	8,517,862.40
	Coordenadas	g° m' s"	Latitud S	13° 23' 43.33" S
		g° m' s"	Longitud W	72° 24' 58.50" O
02.	AREA Y PERIMETRO DE LA CUENCA			
	Area de la Cuenca	Km <sup>2</sup>	A <sub>T</sub>	123.04
	Perimetro de la Cuenca	Km	P	68.94
03.	FRECUENCIA DE ALTITUDES			
	Altitud Media de la Cuenca	m.s.n.m.	Z <sub>Media</sub>	4,177.20
	Altitud mas Frecuente	m.s.n.m.	Z <sub>Frec.</sub>	4,116.50
	Altitud de Frecuencia Media	m.s.n.m.	Z <sub>Frec.Media</sub>	4,239.44
	Desnivel de la Cuenca	Km	Δ H <sub>c</sub>	1.72
04.	INDICES REPRESENTATIVOS			
	Factor de Forma	F		0.43
	Indice de Compacidad o Índice de Gravelous	K		1.75
05.	RECTANGULO EQUIVALENTE			
	Largo Equivalente	Km	L	30.72
	Ancho Equivalente	Km	B	4.01
06.	PENDIENTE DE LA CUENCA			
	Criterio del Rectangulo Equivalente	Km/Km	S <sub>C.1</sub>	0.06
	Criterio de Alford	Km/Km	S <sub>C.2</sub>	1.93
	Pendiente de la Cuenca	Km/Km	S <sub>C</sub>	1.93
07.	PERFIL LONGITUDINAL DEL CAUCE PRINCIPAL			
	Longitud del Cauce Principal	Km	L <sub>R0</sub>	16.98
	Desnivel del Cauce Principal	Km	Δ H <sub>R0</sub>	0.91
	Longitud al Centroide	Km	L <sub>C0</sub>	11.33
08.	PENDIENTE DEL CAUCE PRINCIPAL			
	Metodo I : Pendiente Uniforme	m/m	S <sub>R0.1</sub>	0.054
	Metodo II : Ecuacion de Taylor y Schwarz	m/m	S <sub>R0.2</sub>	0.050
	Metodo III : Criterio de Nash	m/m	S <sub>R0.3</sub>	0.046
	Pendiente del Cauce Principal	m/m	S <sub>R0</sub>	0.050
09.	RED DE DRENAJE			
	Orden de las Corrientes	Km		4.00
	Longitud de los Tributarios	Km		178.12
	Densidad de Corriente	Dc		0.03
	Densidad de Drenaje	Km/Km <sup>2</sup>	Dd	1.45
10.	TIEMPO DE CONCENTRACION			
	Tiempo de Concentracion	Hr	Tc	20.26



**DATUM : WGS-84**  
**ZONA : 19S**  
**ESCALA : 1:30,000**

## **ANEXO 2:**

Canal de aducción.

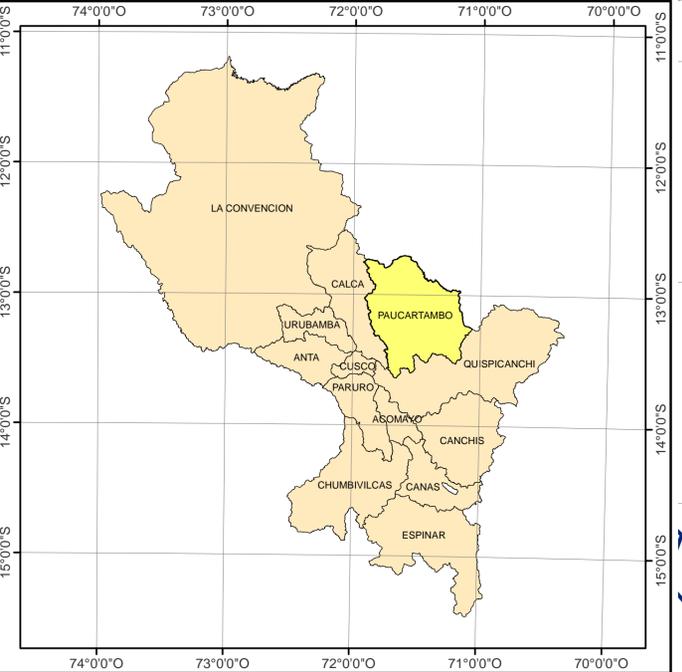
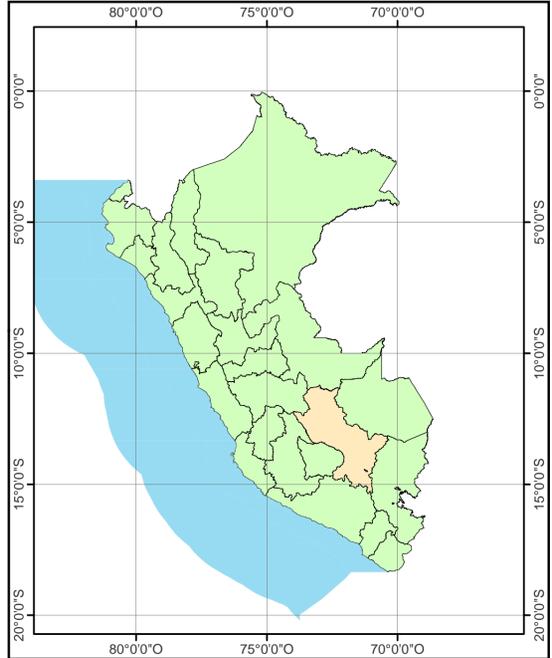
# LÍNEA DE CONDUCCIÓN A CASA DE MAQUINAS

CASA DE MAQUINAS

LÍNEA DE CONDUCCIÓN

CAPTACIÓN

CUENCA PUMACHACA



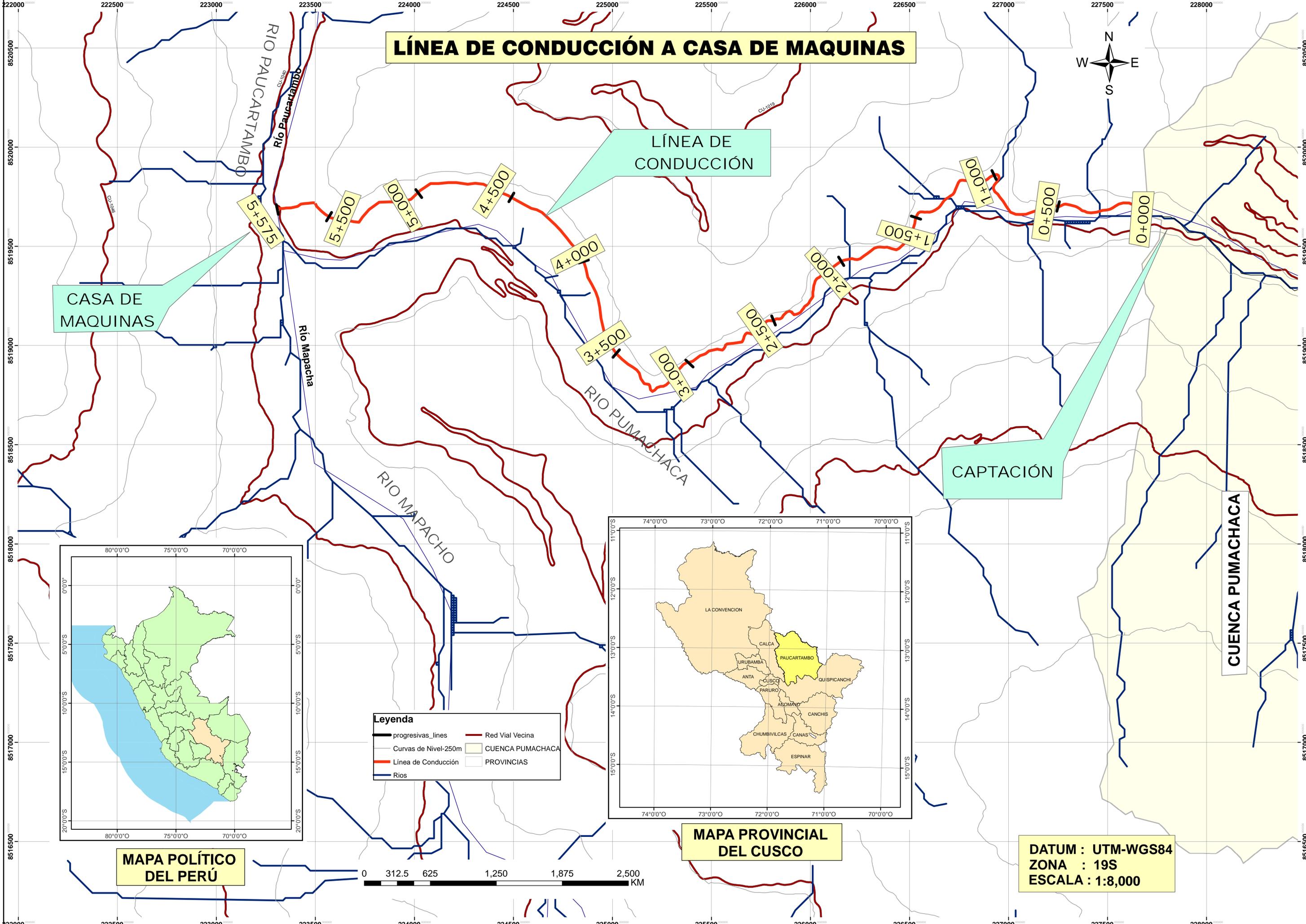
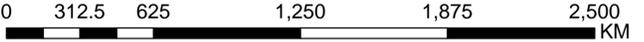
**Leyenda**

- progresivas\_lines
- Curvas de Nivel-250m
- Línea de Conducción
- Ríos
- Red Vial Vecina
- CUENCA PUMACHACA
- PROVINCIAS

MAPA POLÍTICO DEL PERÚ

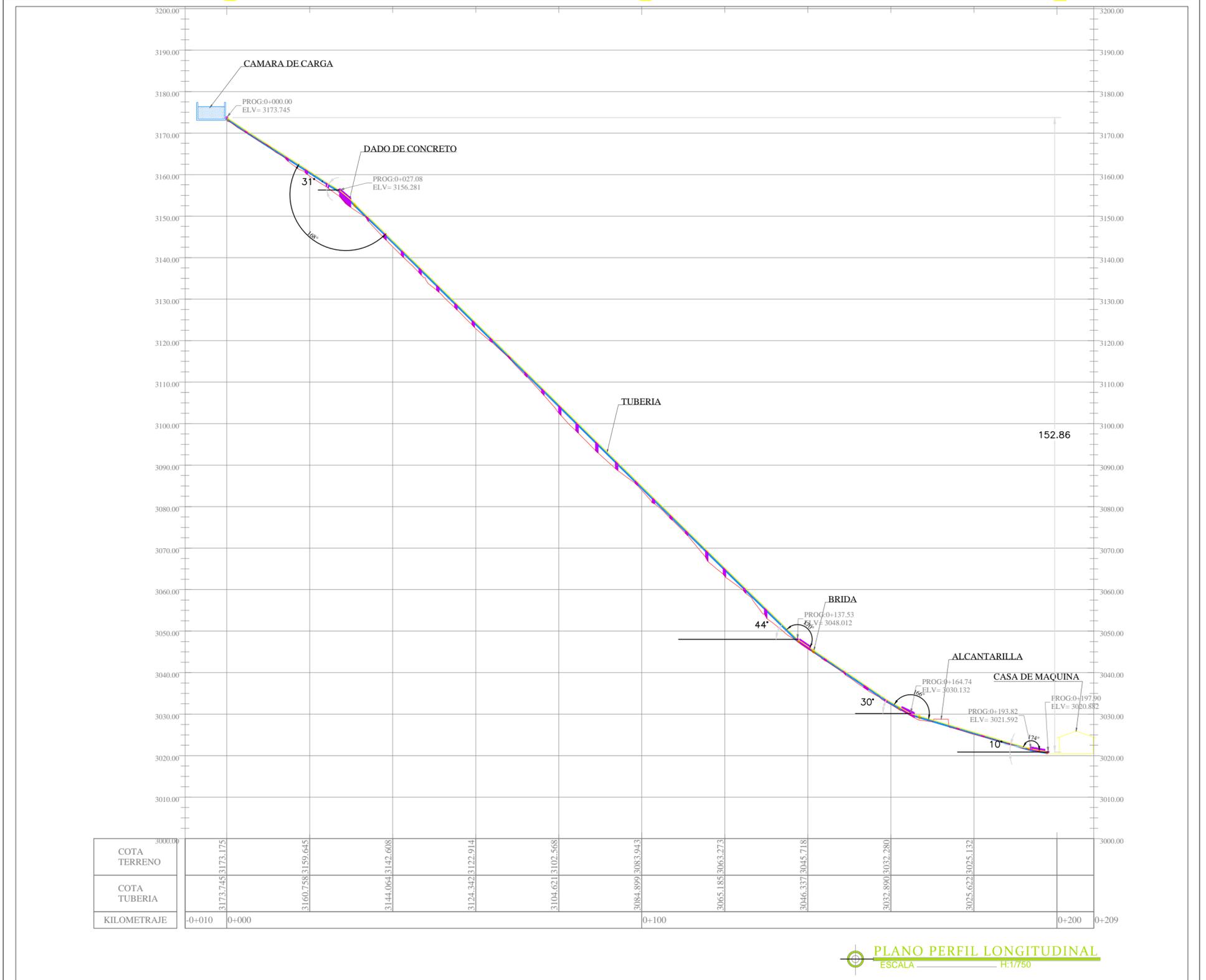
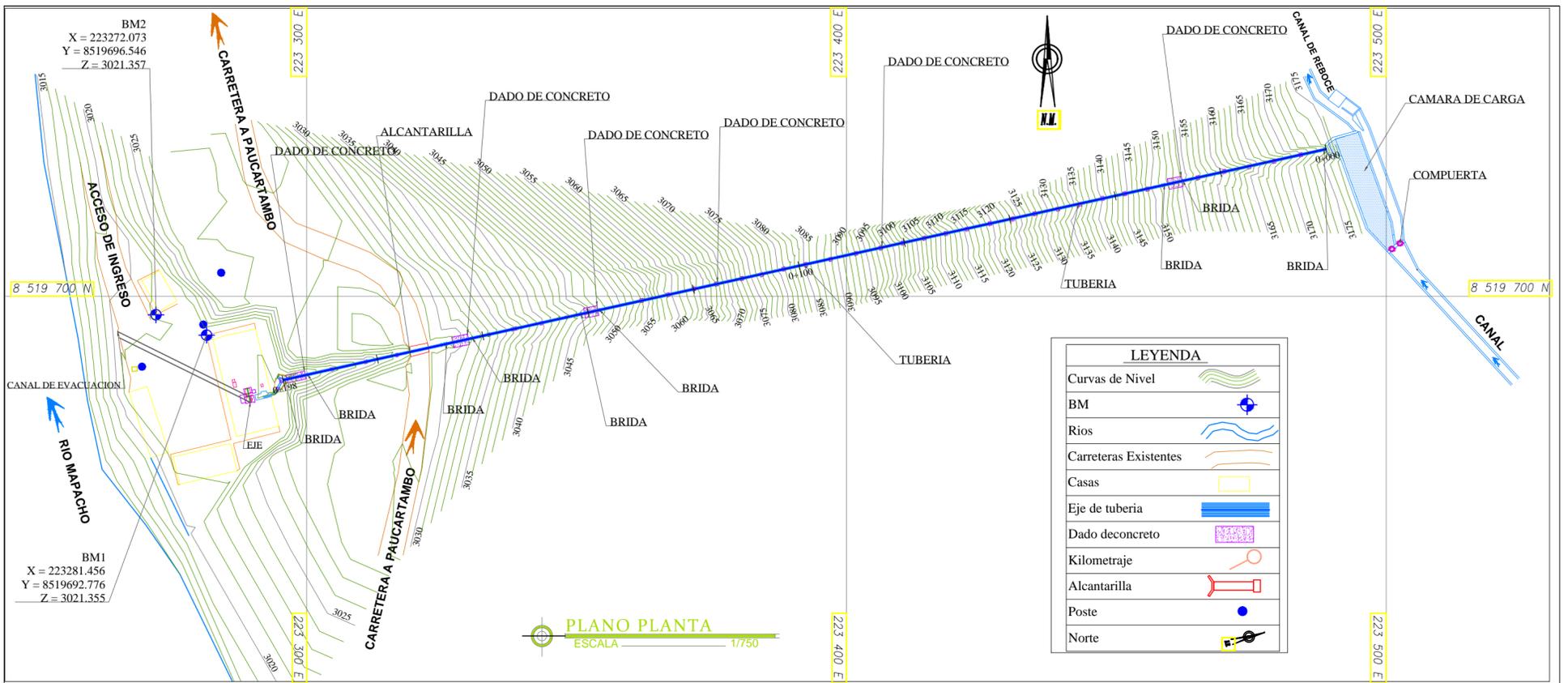
MAPA PROVINCIAL DEL CUSCO

DATUM : UTM-WGS84  
ZONA : 19S  
ESCALA : 1:8,000



### **ANEXO 3:**

Vista en planta y perfil de la tubería de presión.



## **ANEXO 4:**

Proforma y especificaciones técnicas del grupo hidroeléctrico N°2



# Chengdu Forster Technology Co.,Ltd.

<b>Supplier:</b> Chengdu Forster Technology Co., Ltd.		<b>Date:</b> Dec.8th,2020	
<b>Add:</b> Building No.4.Zhongtie Xicheng Third East Road of Guanghua, Qingyang District, Chengdu city,Sichuan,CHINA			
<b>Contact:</b>	Alison Wang	<b>Ph/Wechat/What's app:</b>	<b>Tel:</b>
<b>E-mail:</b>	<a href="mailto:forster1@forster-china.com">forster1@forster-china.com</a>	<b>Web:</b>	<b>Fax:</b>
		www.fstgenerator.com	+86-28-87362258

## Company information:

Chengdu Forster Technology is focused on design and manufacturing hydro turbines. The company was founded in 1956. Forster is the first Chinese state-owned enterprise and spares no effort to expand international market in 2013.

Foster strictly abides by IEC international standards and national standards. And has CE, ISO and TUV certificates. In the management system, we still adhere to the rigorous work style formed in the turbine industry for many years, and continuously improve and improve the management system of the enterprise. There are 12 technical research and development personnel, 45 production personnel and 13 sales teams. We have been increasing our technical strength and equipment investment, focusing on the production, manufacture and installation of hydro-generator equipment, power station auxiliary equipment and various components.



We always provide customers with technical advice, services and the best technical solutions based on customer parameters. At the same time, we provide continuous after-sales service for our products. Adhere to honesty and pragmatism, quality first, broad mind, and invest in our work with a life attitude, and strive to create a win-win situation for customers, enterprises and society.

## Certificates:



## Customer information

Customer name: Mr. Fernando Berrio

Project name:

Company Name:ORUGATECH EIRL

Company Address:Peru

Emailj:ferberrio@gmail.com

Tel: 51-992710289

Fax:

## Quotation1-1\*300kw (two jets)

**Product name: Hydro Pelton Turbine Generator**

### Technical Parameters

Net Head:	Hr	152	m
Flow Rate:	Q	0.25	m3/S
Capacity	P	1*300	kw
Altitude	▽	3042	m
Turbine		Generator	
<b>Model</b>	<b>CJA475-W-55/2 × 6</b>	<b>Model</b>	<b>SFWE-W300-8/850</b>
Runner Diameter	550mm	Poles	8
Jet Diameter:	60mm	Rated Efficiency of Generator $\eta_f$	93%
Number of nozzle:	2	Frequency of the generator f	60Hz
Rated rotating speed r	900r/min	Rated voltage of generator V	400V
Rated Output Nt	322.6kW	Rated current of the generator I	541.3A
Rated Discharge Qr	0.24m3/s	Excitation	Brushless excitation
Turbine real machine efficiency	89%	Rated power factor $\cos \phi$	0.8
Connection	Direct connection	Unit support form	Horizontal two-fulcrum

### Product Price:

Name of Commodity	Specifications	Unit price (USD/PC)	Quantity (pcs)	Total Amount (USD/PC)	Note
-------------------	----------------	---------------------	----------------	-----------------------	------

Pelton Turbine:	CJA475-W-5 5/2×6	<b>38790</b>	<b>1</b>	<b>38790</b>	The turbine is horizontal type with two jets. <b>The material of whole runner, nozzle and needle are stainless steel. The material of needle stainless steel is stainless steel ,surface with nitriding treatment.</b>
Generator :	SFWE-W300 -8/850	<b>23480</b>	<b>1</b>	<b>23480</b>	Two-fulcrum Brushless Generator <b>with excitation motor</b> 60Hz, 400v .F/F insulation
Inlet valve device :	JZH-00/Φ30 0×2.5	<b>6180</b>	<b>1</b>	<b>6180</b>	Includes main valve, expansion joint, bypass pipe, etc. <b>The main valve is a manual/electric sluice valve</b>
Governor:	CJWT-2/2	<b>11380</b>	<b>1</b>	<b>11380</b>	<b>Microcomputer governor</b>
Panel	YTP-1	<b>9680</b>	<b>1</b>	<b>9680</b>	<b>Integrated excitation panel</b>
Automation components		<b>1670</b>		<b>1670</b>	<b>Automation components</b>
Packing cost	/	<b>3380</b>	<b>All</b>	<b>3380</b>	All products, internal waterproof wooden case packing
Shipping cost		<b>8200</b>	<b>all</b>	<b>8200</b>	Callao port by sea for a 40HC container
<b>Total amount (EXW)</b>	<b>/</b>	<b>102760</b>	<b>1 unités</b>	<b>102760</b>	<b>This offer included the Turbine +Generator+ Electric sluice valve+governor +Automation components+panel +Packing cost</b>

**Remarks:**

- 1.Delivery Time: 6 Months after confirmation of remittance.
- 2.The price is EXW.
- 3.Payment: : T/Twith 50% deposit, the balance copy of P/L.
- 4.This quotation is valid before Jan.8th, 2021.
- 5.. Warranty period for main parts1years (except for vulnerable parts,switches,indicators etc.,)

**Pictures for reference:**





Other turbines:



Chengdu Forster Technology Co., Ltd.

Offerer: Alison wang



## **ANEXO 5:**

Proforma y especificaciones técnicas del grupo Diesel.



LIMA - INDUSTRIAL, 28 de  
Febrero de 2022  
2000598957-1

Señor(es):  
**QHAPHAQ INGENIEROS SCRL**  
Presente  
Atención: Sr. (a) **FERNANDO BERRIOS**  
Cargo: **INGENIERO**

Estimados Señores,

Nos es grato saludarlos y tener la oportunidad de hacerles la siguiente propuesta:

1 Caterpillar

**Cotización:**

	US\$	Soles <sup>1</sup>
Valor Venta	58,200.00	222,324.00
IGV	10,476.00	40,018.32
Precio de Venta	68,676.00	262,342.32
Cantidad	1	1
Precio de Venta Total	68,676.00	262,342.32
Plazo de entrega estimado		
Lugar de entrega	AV. REPUBLICA ARGENTINA 1300	
Forma de Pago	CONTADO	
Validez de la Oferta	30 de marzo, 2022	

Nombre **KAROL YESENIA MORA PERALES**

Teléfono **979-149-523**

E-mail **KAROL.MORA@FERREYROS.COM.PE**

Atentamente,

**KAROL YESENIA MORA PERALES**

El precio de venta en soles es referencial y ha sido calculado utilizando el tipo de cambio (1 US\$= 3.82 Soles) venta vigente en el Banco de Crédito del Perú en la fecha de la presente cotización. La facturación se realizará en dólares americanos y podrá ser pagada en soles al tipo de cambio venta vigente en el Banco de Crédito el día de su cancelación (Resolución Cambiaria 030-90-EF/90, art 7°).

## ESPECIFICACIONES TÉCNICAS



Imagen Referencial

### CAT DE400S GC, 400 kW Standby

▪ Fabricante	Caterpillar
▪ Modelo	DE400S GC
▪ Potencia Standby*	400 ekW
▪ Velocidad	1800 rpm
▪ Voltaje	440 V trifásico
▪ Frecuencia	60 Hz
▪ Desplazamiento	9.3 L
▪ N° Cilindros	6 en Línea
▪ Gobernador	ADEM A4
▪ Consumo**	77.7 L/h (20.5 gal/h)

\* A nivel del mar

\*\* Al 75% de carga

### SUMINISTRO DE GRUPO ELECTROGENO CATERPILLAR DE400S GC, 600kW STANDBY, ENCAPSULADO

Ensamblado en la planta de Caterpillar, este grupo electrógeno está compuesto de un motor diesel de 6 cilindros en línea, ciclo de cuatro tiempos con inyección directa, turboalimentado y post-enfriado, acoplado directamente a un generador de un cojinete y sin escobillas.

#### Descripción:

- ♦ Motor CAT C9.3, 1800 rpm, 60 Hz
- ♦ 400 kW Standby (A nivel del mar), 220-240 V, 440-480 V

#### Sistema de admisión

- ♦ Filtros de aire de elemento dual
- ♦ Postenfriador ATAAC

#### Panel de control

- ♦ Panel de control **GCCP1.1** con pantalla LCD e íconos retroiluminados para mostrar información al operador de forma clara y concisa.
- ♦ Controles para las siguientes funciones:
  - Arranque y parada automática
  - Ciclo de arranques
  - Liberación de alarmas
  - Prueba de luces indicadoras
- ♦ Monitoreo digital del motor para:
  - RPM
  - Voltaje DC
  - Horas de operación
  - Presión de aceite (psi, kPa o bar)
  - Temperatura del refrigerante (°C o °F)
- ♦ Medición AC en las 3 fases:
  - Voltaje (L-L y L-N)
  - Frecuencia (Hz)
  - Amperaje (fase)
  - Potencia kW, kVA, kVAR, FP
- ♦ Funciones programables de protección del generador:
  - Bajo y sobre voltaje

- Baja y sobre frecuencia
- Sobre corriente
- Registro de eventos configurable
- ♦ Funciones de protección del motor:
  - Baja presión de aceite
  - Baja temperatura del refrigerante
  - Sobrevelocidad
  - Parada de emergencia
  - Falla al arranque (exceso de intentos de arranque)
  - Bajo nivel de refrigerante
  - entradas y salidas digitales configurables (Alarma o Parada de emergencia)

### **Sistema de refrigeración**

- ♦ Radiador
- ♦ Línea de drenaje de refrigerante con válvula
- ♦ Guardas de ventilador y mando
- ♦ Refrigerante Caterpillar

### **Sistema de escape**

- ♦ Flexible de escape de acero inoxidable
- ♦ Silenciador industrial de 10 dBA de atenuación de ruido

### **Sistema de combustible**

- ♦ Filtros primario y secundario de combustible
- ♦ Líneas flexibles de combustible
- ♦ Bomba de cebado de combustible
- ♦ Indicador de nivel de combustible

### **Generador y accesorios**

- ♦ Generador Caterpillar sin escobillas, autoregulado y autoexcitado
- ♦ Protección similar a IP21
- ♦ Aislamiento clase H y aumento de temperatura clase F a 40°C (105°C prime/130°C standby)
- ♦ Regulador de voltaje digital con sensado trifásico
- ♦ Interruptor termomagnético IEC tripolar
- ♦ Resistencia calefactora del generador, 240 VAC

### **Sistema de control**

- ♦ Gobernador electrónico Caterpillar ADEM A4

### **Sistema de lubricación**

- ♦ Aceite lubricante
- ♦ Enfriador de aceite
- ♦ Filtro de aceite
- ♦ Llenado de aceite y varilla de nivel
- ♦ Líneas de drenaje de aceite con válvula
- ♦ Carter de aceite poco profundo

### **Sistema de montaje**

- ♦ Base de acero
- ♦ Aisladores vibracionales lineales entre la base y el conjunto motor-generador
- ♦ Suministro de tanque base de combustible para una autonomía de aprox. 8 horas al 75% de carga.

### **Sistema de arranque y carga**

- ♦ Alternador de carga
- ♦ Motor de arranque eléctrico, 24 VDC
- ♦ Juego de 02 baterías con rack y cables
- ♦ Cargador de baterías 5 A, 240 VAC / 24 VDC

- ♦ Calentador de agua de camisas, 240 VAC

### General

- ♦ Pintado con pintura amarillo Caterpillar
- ♦ 01 Manual de operación y mantenimiento
- ♦ 01 CD de partes

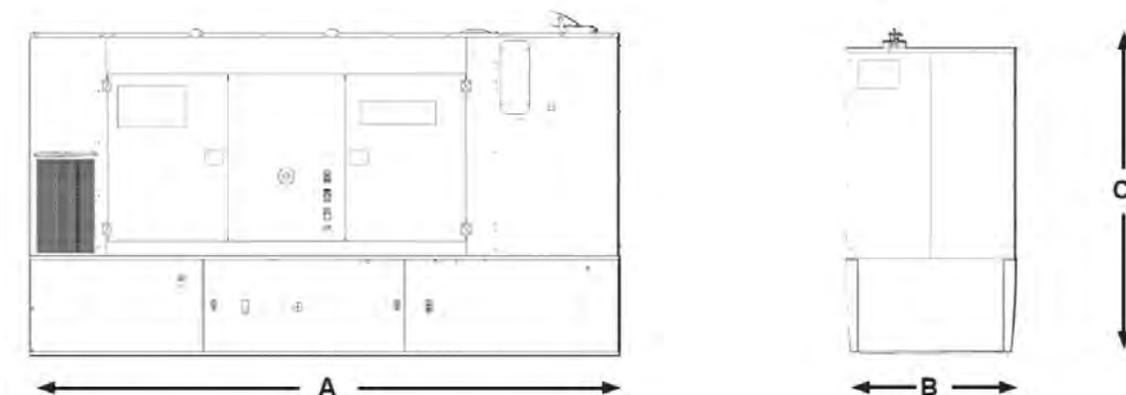
### Conectividad Product Link

- ♦ Control de Monitoreo Remoto a través de hardware Product Link
- ♦ Acceso al Remote Asset Monitoring (RAM) para visualizar el estado del grupo electrógeno y garantizar su correcto arranque y/u operación:
  - Alarmas y eventos de falla
  - Estado de funcionamiento del motor
  - Consumo de combustible
  - Consumo de energía total (activa y reactiva)
  - Horómetro
  - Nivel de combustible
  - Voltaje de batería
  - 18 parámetros de generación eléctrica
- ♦ Reducción de costos de operación
- ♦ Incremento de productividad
- ♦ Monitoreo continuo de nuestros especialistas
- ♦ Inspecciones e informes al cliente con las respectivas recomendaciones

### Encapsulado Insonorizado Tipo Paneles

- ♦ Fabricado de plancha de acero SAE 1020 1/16" de espesor (Fabricación Local Perú).
- ♦ Puertas laterales con chapa para el mantenimiento del motor.
- ♦ El sistema de ventilación asegura un barrido completo del Grupo en el sentido Generador/Motor.
- ♦ La estructura de chapa de acero plegada de 1/16" de espesor en promedio está compuesta por paneles unidos mediante tornillo ó pernos para desmontaje rápido.
- ♦ El Tablero de Control está en una posición para acceso al mantenimiento y lectura de los instrumentos, a través de una ventana.
- ♦ Forrado interno con material absorbedor de ruido y resistente a la alta temperatura del motor.
- ♦ Color del gabinete amarillo Caterpillar.
- ♦ Instalación de flexible de escape y silenciador.
- ♦ Salida de aire caliente por el techo.
- ♦ El nivel de ruido ofrecido será equivalente a **83 +/- 3 dBA** medidos a campo abierto a 7 m.

### Dimensiones y Pesos Referenciales





<b>Largo (A)</b>	4.00 m
<b>Ancho (B)</b>	1.45 m
<b>Alto (C)</b>	2.10 m
<b>Peso seco (kg)</b>	3.45 Kg

## OBSERVACIONES GENERALES

- La presente oferta es sólo por los suministros indicados, no incluye ningún suministro de accesorios, mano de obra, supervisión ni similares, salvo lo detallado en la presente oferta.
- Los suministros se entregarán en almacenes Ferreyros Lima.
- No se incluye el transporte, descarga ni manipuleo en obra.
- Se incluyen embalajes según el estándar de Caterpillar y/o Ferreyros.
- Se incluyen placas de identificación según el estándar de Caterpillar y/o Ferreyros.
- No se incluye la instalación electromecánica del presente suministro, ni de sus sistemas externos (entrada de aire caliente, salida de aire caliente, etc.).
- El cliente deberá construir una base de cimentación flotante para cada grupo electrógeno, independientes entre sí.
- El cliente deberá verificar que la frecuencia de resonancia de la base de cimentación no se aproxime a los valores de frecuencia de vibración del grupo (12 a 18 Hz).
- El cliente deberá asegurar un área de ingreso de aire fresco de 1.5 veces o más el área del radiador del grupo electrógeno.
- El cliente deberá asegurar un área de salida de aire caliente del radiador de 1.5 veces o más el área del radiador del grupo electrógeno.
- No se incluye ningún suministro, instalación, diseño, recomendaciones ni otros para cualquier sistema de inyección o extracción de aire.
- Los grupos electrógenos se ensamblan en planta Caterpillar, bajo estándar del fabricante.
- Los procedimientos de pintura de los equipos ofrecidos estarán sujetos únicamente a los estándares y/o recomendaciones del fabricante.
- No se incluye ninguna protección para ambientes químicamente agresivos, salinos, polvorientos, corrosivos, explosivos u otros.
- Se incluye resistencia deshumedecedora del generador, cargador de baterías y calentador de agua de camisas (todos con alimentación 220-240 VAC).
- El aislamiento del generador es de tipo estándar, por lo que es necesario que la resistencia deshumedecedora del generador esté alimentada por el cliente (240 VAC) mientras el grupo electrógeno esté apagado para evitar condensación de agua al interior del generador.
- No se incluye ningún suministro ni trasegado de petróleo para las pruebas en obra.
- No se incluye ningún tipo de obra civil.
- No se incluyen ningún tipo de canaletas para tuberías / mangueras de combustible.
- No se incluyen ningún tipo de canaletas ni bandejas para cables de fuerza ni de control.
- No se incluye certificación UL, NEMA, ANSI, NFPA u otras para los suministros.
- No se incluye el suministro ni la instalación de tableros de paralelo, salida, transferencia u otros suministros del sistema eléctrico.
- No se incluye el suministro, tendido ni conexionado de cables de fuerza ni de control.
- No se incluye el suministro ni el conexionado a ningún sistema de puesta a tierra.
- No se incluye el suministro de resistencia a tierra del neutro de grupos electrógenos.
- No se incluye el conexionado de ningún sistema de supervisión (tipo SCADA o similar).
- El protocolo de comunicaciones será establecido por el fabricante de acuerdo a sus estándares. De requerirse algún protocolo de comunicación en particular, será definido con el cliente y sujeto a disponibilidad y/o compatibilidad del fabricante.
- Las alarmas, paradas, dispositivos de protección y demás serán establecidas por el fabricante. De requerirse alguna característica fuera del estándar del fabricante, será definido con el cliente y sujeto a disponibilidad y/o compatibilidad del fabricante.
- La lógica de funcionamiento para el arranque automático del grupo electrógeno deberá ser suministrada por el proveedor del Tablero de transferencia automática.
- No se incluye ningún estudio, desarrollo ni expediente de Ingeniería de Detalle.
- La información técnica disponible está sujeta a estándares del fabricante.
- No se incluyen planos certificados.
- No se incluyen planos de instalación, PID u otros de los equipos suministrados.
- No se incluyen listados de materiales, componentes, instrumentos u otros.
- No se incluye la elaboración ni llenado de hojas de ruta.
- Se incluye la entrega técnica en obra dentro de la ciudad de Lima (comissioning) una vez culminada la instalación y conexionado (a cargo de terceros y no incluida en la presente oferta). Dicha entrega técnica tendrá una duración de un (01) día calendario en un solo ingreso a obra.
- No se incluye la entrega técnica o pruebas fuera de Lima, ni en operaciones mineras, lo cual se cotizará por separado como adicional en caso de requerirse.
- El cliente deberá proporcionar la carga necesaria para probar los equipos suministrados en funcionamiento con carga. No se consideran entradas adicionales a obra en caso que el cliente no disponga de carga (serán cotizadas como un adicional de ser requeridas).

- 
- No se ofrece ningún tipo de prueba que no corresponda al estándar del fabricante.
  - Se incluye el uso de EPP's adecuados para nuestro personal durante las pruebas de los equipos suministrados.
  - Se incluyen seguros SCTR, Salud y Pensión del personal de Ferreyros que realizará la entrega técnica (cualquier otro seguro solicitado será considerado como un adicional).
  - El transporte, manipuleo, almacenamiento u otros de los suministros, después de la entrega al cliente en almacenes de Ferreyros, es de exclusiva responsabilidad del cliente.
  - Cualquier paralización o retraso de los trabajos por razones no imputables a Ferreyros generará una ampliación de plazo y el reembolso de los costos del personal operativo y equipo paralizados o subutilizados por el periodo correspondiente.
  - No se incluyen ningún tipo de penalidades.
  - El orden de prevalencia en el caso de conflictos entre las especificaciones técnicas del presente proyecto, normas y estándares nacionales Perú o internacionales, especificaciones técnicas ofrecidas por Ferreyros u otras especificaciones será:
    1. Especificaciones técnicas ofrecidas por Ferreyros.
    2. Normas y estándares nacionales Perú.
    3. Normas y estándares internacionales.
    4. Especificaciones técnicas del presente proyecto.
  - **Ferreyros sólo suministrará lo incluido en la presente oferta. Cualquier ítem no incluido en la presente oferta será considerado como un adicional, previa evaluación de su factibilidad.**
  - **Ferreyros no se responsabiliza por las posibles consecuencias del no cumplimiento de las presentes observaciones generales.**



**Información adicional sobre el precio de venta incluido en esta cotización:**

- El precio de venta en nuevos soles es referencial y ha sido calculado aplicando el tipo de cambio venta vigente en el Banco de Crédito del Perú en la fecha de la presente cotización.
- El precio de venta en dólares americanos y en nuevos soles incluye el Impuesto General a las Ventas (18%).
- La facturación se realizará en dólares americanos y podrá ser pagada en nuevos soles al tipo de cambio venta, vigente en el Banco de Crédito del Perú el día de su cancelación. (Resolución Cambiaria 030-90-EF/90, art. 7°).

**Validez de oferta** : 30 días.

**Garantía** : **Veinticuatro (24) meses sólo para aplicación Standby, definiéndose aplicación Standby como uso no mayor a 500 horas al año en total. En caso de excederse las 500 horas de uso al año, se considerará una aplicación Prime o Continua, a la que corresponde una garantía de doce (12) meses.** En cualquier caso, contados a partir de la fecha de puesta en servicio del equipo, contra defectos de fabricación en materiales y mano de obra. Esta garantía no cubre las fallas ocasionadas por mala operación, mantenimiento inadecuado y/o efectos del medio ambiente.