

Universidad Nacional del Altiplano

**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
SISTEMAS**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA



TESIS

**“ESTUDIO Y DISEÑO PARA LA MINICENTRAL HIDROELÉCTRICA II
ETAPA DEL DISTRITO DE PHARA-SANDIA-PUNO”**

PRESENTADO POR:

ELVIZ JULVER GOYZUETA ARCE

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE: INGENIERO MECÁNICO
ELECTRICISTA**

*Puno - Perú
2017*

Universidad Nacional del Altiplano

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y SISTEMAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

“ESTUDIO Y DISEÑO PARA LA MINI CENTRAL HIDROELÉCTRICA II ETAPA DEL DISTRITO DE PHARA-SANDIA-PUNO”

TESIS PRESENTADA POR:

ELVIZ JULVER GOYZUETA ARCE

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE: INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

APROBADA POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

PRESIDENTE

:

M.Sc. MATEO ALEJANDRO SALINAS MENA

PRIMER MIEMBRO

:

M.Sc. JOSE MANUEL RAMOS CUTIPA

SEGUNDO MIEMBRO

:

M.Sc. ALVARO PABLO CAMACHO ASTOQUILCA

DIRECTOR

:

M.Sc. NORMAN JESUS BELTRAN CASTAÑON

Puno – Perú

2017

AREA: ENERGÍA RENOVABLES

TEMA: ENERGÍA HIDRÁULICA

AGRADECIMIENTO

Primeramente, agradezco a Dios creador del universo, que me dio y me seguirá dando la fortaleza para seguir adelante todos los días.

A mis padres Lucas y Aurelia por el apoyo incondicional que me dieron a lo largo de mi formación profesional. A mis hermanas Lisbeth y Alida por haberme apoyado en los momentos más difíciles.

A mi esposa Yaneth por su cariño, comprensión, paciencia y constante estímulo.

También mi especial consideración y gratitud a mis queridos compañeros de estudio y a todas aquellas personas que han colaborado de alguna manera en la realización de este proyecto.

Saludo y agradezco infinitamente a la plana de docentes de la escuela profesional de Ingeniería mecánica Eléctrica por haber posibilitado mi formación académica y hacer de mí un profesional eficiente y competente en las ramas de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. Para desempeñar el desarrollo tecnológico y científico de la sociedad en conjunto y así tener un país con justicia social para todos los peruanos.



DEDICATORIA

Dedico este gran trabajo, primeramente, a mi hermosa tierra Phara y a todos los pueblos aislados y postrados en su desarrollo por falta de servicios básicos indispensables, entre ellos la Energía Eléctrica.

A mis padres Lucas y Aurelia por su abnegado trabajo y ayuda constante.

A mi esposa Yaneth y a mi hijo Jeanpier Edison quienes son la razón de todo mi esfuerzo.

ÍNDICE

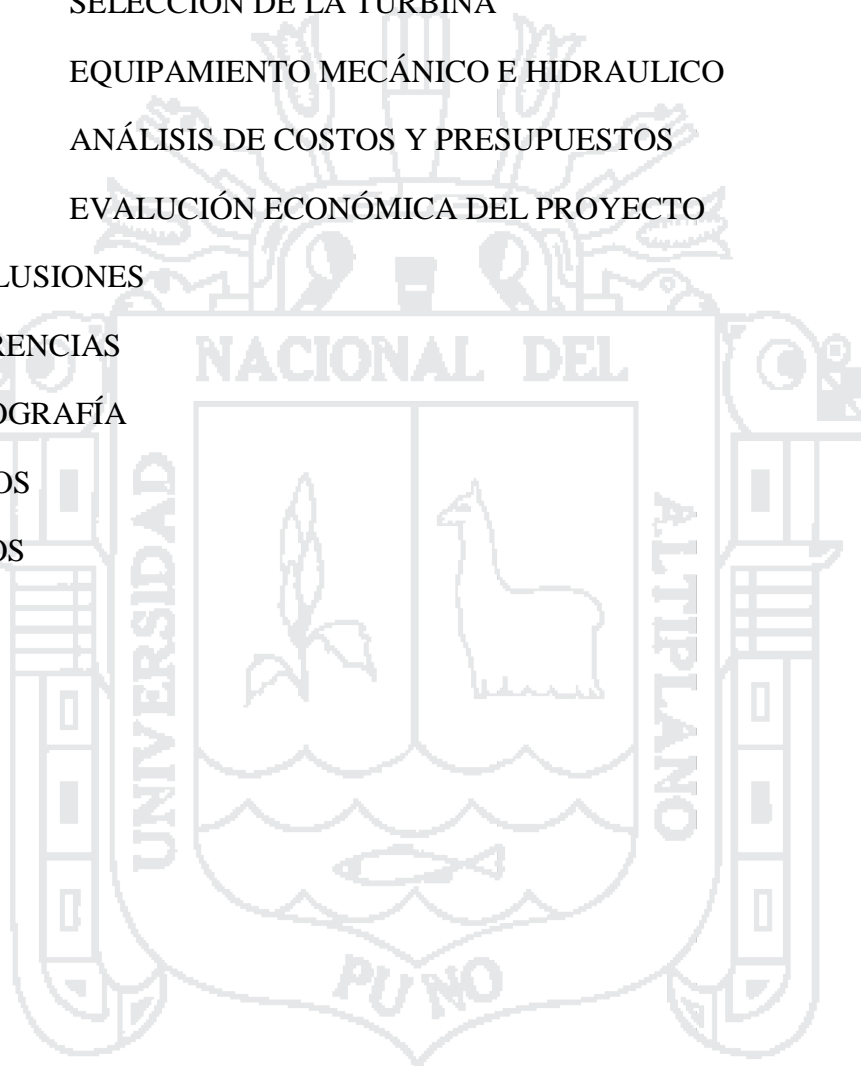
RESUMEN	12
ABSTRACT	13
INTRODUCCIÓN	14
CAPÍTULO I	16
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	17
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	17
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	17
1.2.1. PROBLEMA GENERAL	17
1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS	17
1.3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	18
1.4. OBJETIVOS DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	19
1.4.1. OBJETIVO GENERAL	19
1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
CAPÍTULO II	20
MARCO TEÓRICO	21
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	21
2.2. SUSTENTO TEÓRICO	23
2.2.1. ENERGIA HIDRÁULICA	23
2.2.2. PEQUEÑAS CENTRALES HIDROELECTRICAS	23
2.2.3. CLASIFICACIÓN DE LAS PCH	24
2.2.4. TIPOS DE CENTRALES HIDROELÉCTRICAS	24
2.2.5. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE UNA PCH	27
2.2.6. ESTUDIOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UNA PCH	27
2.2.7. ESTUDIO Y PROYECCIÓN DE LA DEMANDA	29
2.2.7.1. MÉTODO MONENCO	30
2.2.7.2. METODOLOGÍA EXPUESTA POR EL ING. RAMIRO ORTIZ	34
2.2.7.3. MÉTODO EXPUESTO POR EL ING. TSUGUO NOZAKI	36

2.2.8.	AREA DE INFLUENCIA	37
2.2.9.	EVALUACIÓN DEL RECURSO HIDROENEGÉTICO	37
2.2.9.1.	MEDICIÓN DEL SALTO	37
2.2.8.1.1.	MÉTODO DEL ECLÍMETRO Y WINCHA	39
2.2.9.2.	MEDICIÓN DEL CAUDAL	41
2.2.10.	COMPONENTES DE UNA PCH	42
2.2.10.1.	BOCATOMA	42
2.2.10.1.1.	CONSIDERACIONES PRINCIPALES	43
2.2.10.1.2.	UBICACIÓN DE LA OBRA DE TOMA	44
2.2.10.1.3.	DIMENSIONAMIENTO DE LA BOCATOMA	44
2.2.10.2.	CANAL DE CONDUCCIÓN	48
2.2.10.2.1.	SECCIÓN Y ÁNGULO DEL TALUD DEL CANAL	49
2.2.10.2.2.	VELOCIDAD DEL AGUA “ v ”	49
2.2.10.2.3.	RUGOSIDAD “ n ”	50
2.2.10.2.4.	BORDE LIBRE	52
2.2.10.2.5.	PERÍMETRO MOJADO (P)	52
2.2.10.2.6.	RADIO HIDRÁULICO	53
2.2.10.2.7.	PASOS A SEGUIR PARA EL CÁLCULO	53
2.2.10.3.	DESARENADOR.	55
2.2.10.3.1.	ANCHO Y LONGITUD DEL DESARENADOR.	56
2.2.10.3.2.	ALIVIADERO	60
2.2.10.4.	DIMENSIONAMIENTO DEL TANQUE DE PRESIÓN	61
2.2.10.4.1.	VOLUMEN DEL TANQUE DE PRESIÓN	61
2.2.10.4.2.	ALTURA MÍNIMA DEL AGUA SOBRE LA TUBERIA	62
2.2.10.4.3.	DISEÑO DE REJILLAS	64
2.2.10.5.	TUBERIA DE PRESIÓN	65
2.2.10.5.1.	PAUTAS PARA SELECCIONAR UNA TUBERIA DE PRESIÓN	66

2.2.10.5.2.	MATERIALES PARA TUBERIAS DE PRESIÓN	66
2.2.10.5.3.	TIPOS DE UNIONES	69
2.2.10.5.4.	JUNTAS DE EXPANSIÓN	72
2.2.10.5.5.	VALVULAS PARA TUBERIAS DE PRESIÓN	73
2.2.10.5.6.	CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS Y DIÁMETRO ÓPTIMO	74
2.2.10.5.7.	CALCULO DEL ESPESOR DE LA TUBERIAS DE PRESIÓN	78
2.2.10.5.8.	APOYOS Y ANCLAJES PARA TUBERIAS DE PRESIÓN	81
2.2.10.5.9.	CÁLCULO DE ANCLAJES	86
2.2.10.6.	CASA DE MÁQUINAS	94
2.2.10.6.1.	UBICACIÓN DE CASA DE MAQUINAS	94
2.2.10.6.2.	TURBINAS HIDRÁULICAS	95
2.2.10.6.3.	SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA MECÁNICA	113
2.2.10.6.4.	GENERADOR	117
2.2.11.	ANÁLISIS DE COSTOS Y PRESUPUESTOS	120
2.2.11.1.	OBRAS CIVILES	120
2.2.11.2.	EQUIPAMIENTO ELECTROMECAÁNICO	121
2.2.11.3.	LINEAS DE TRANSMISIÓN	121
2.2.11.4.	COSTO TOTAL	121
2.2.12.	EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO	121
2.2.12.1.	INGRESOS	121
2.2.12.2.	EGRESOS	122
2.2.12.3.	CUADRO DE FLUJOS	123
2.2.13.	ASPECTOS AMBIENTALES	125
2.3.	GLOSARIO DE TÉRMINOS BÁSICOS	128
2.4.	HIPOTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	129
2.4.1.	HIPÓTESIS GENERAL	129
2.4.2.	HIPÓTESIS ESPECÍFICOS	129

2.5.	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	130
CAPÍTULO III		131
DISEÑO METODOLÓGICO DE INVESTIGACIÓN		132
3.1.	TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	132
3.2.	POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN	132
3.3.	UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LA POBLACIÓN	133
3.4.	TÉCNICAS PARA RECOLECTAR INFORMACIÓN	133
3.5.	DISEÑO ESTADÍSTICO PARA LA PRUEBA DE HIPÓTESIS	134
CAPÍTULO IV		135
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS		136
4.1.	ESTUDIO DE LA DEMANDA Y EL MERCADO ELÉCTRICO	136
4.1.1.	UBICACIÓN	136
4.1.2.	CLIMATOLOGIA Y METEOROLOGIA	137
4.1.3.	ACCESOS	138
4.1.4.	POBLACIÓN Y VIVIENDA	138
4.1.5.	ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA POR EL MÉTODO MONENCO	140
4.1.6.	ESTIMACION DE LA DEMANDA POR EL MÉTODO R. ORTIZ	142
4.1.7.	ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA POR EL MÉTODO T. NOZAKI	144
4.1.8.	ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA FUTURA	145
4.1.9.	ANALISIS DE OFERTA	146
4.1.10.	BALANCE OFERTA DEMANDA	147
4.2.	ESTUDIO HIDROLÓGICO	148
4.3.	MEDICIÓN DEL SALTO	151
4.4.	DISEÑO A NIVEL PRELIMINAR DE LAS OBRAS CIVILES	152
4.4.1.	DISEÑO HIDRÁULICO DEL CANAL DE CONDCUCCIÓN	152
4.4.2.	DIMENSIONES DEL DESARENADOR	153
4.4.3.	DIMENSIONES DEL DESARENADOR–CÁMARA DE CARGA	153

4.4.4.	DIMENSIONES DE LA TUBERIA DE PRESIÓN	156
4.4.4.1.	DIMENSIONES DE LOS APOYOS	157
4.4.4.2.	DIMENSIONES DE LOS ANCLAJES	158
4.4.5.	UBICACIÓN DE LA CASA DEMÁQUINAS	159
4.4.6.	SELECCIÓN DE LA TURBINA	160
4.4.7.	EQUIPAMIENTO MECÁNICO E HIDRAULICO	160
4.5.	ANÁLISIS DE COSTOS Y PRESUPUESTOS	162
4.6.	EVALUCIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO	163
	CONCLUSIONES	165
	SUGERENCIAS	166
	BIBLIOGRAFÍA	167
	ANEXOS	169
	PLANOS	184



ÍNDICE DE CUADROS

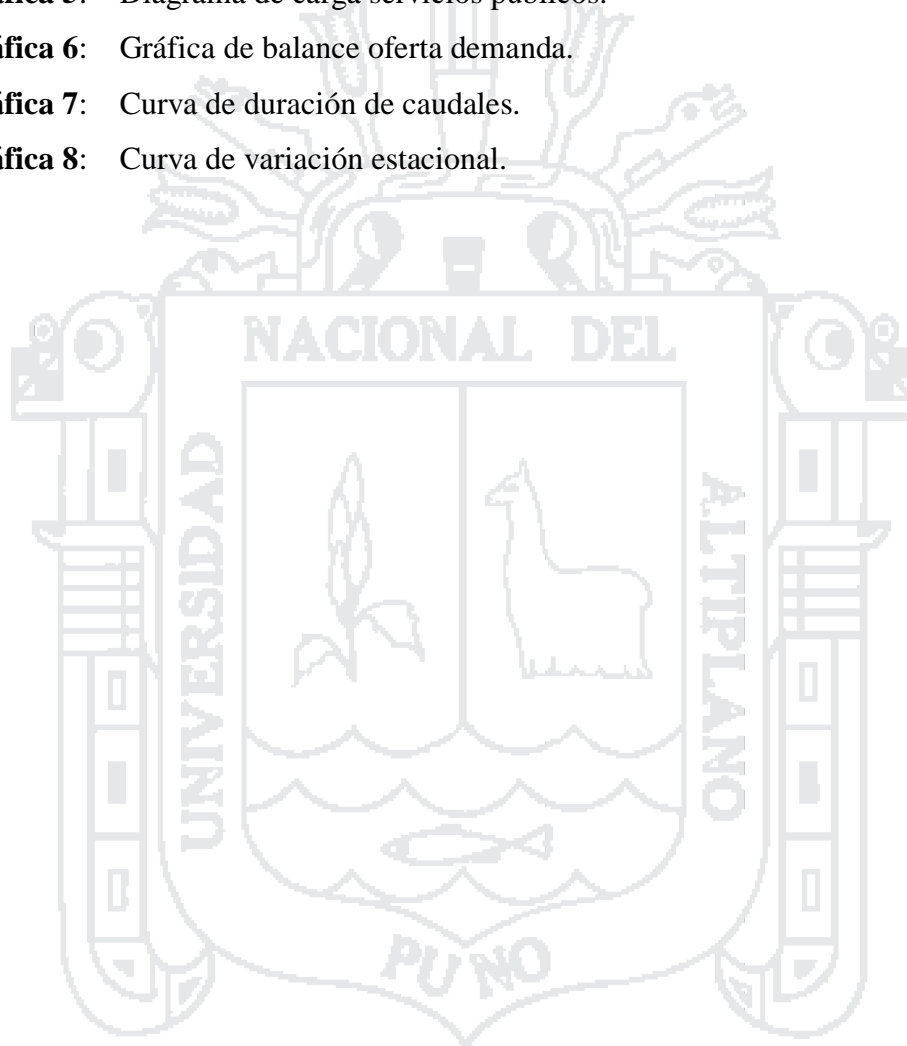
Cuadro 1:	Clasificación de PCH según potencia instalada.	24
Cuadro 2:	Clasificación de PCH según caída.	24
Cuadro 3:	Evaluación de la demanda potencial por el método de Ramiro Ortiz.	35
Cuadro 4:	Demanda actual según Tsuguo Nozaki.	36
Cuadro 5:	Comparación de técnicas para medir el salto.	38
Cuadro 6:	Registro de datos para medir la altura.	40
Cuadro 7:	Talud recomendado para canales de sección trapezoidal.	51
Cuadro 8:	Velocidad máxima del agua recomendada.	51
Cuadro 9:	Coefficiente de rugosidad “n” para canales de concreto.	51
Cuadro 10:	Características de las secciones transversales de un canal.	53
Cuadro 11:	Velocidades mínimas recomendadas para evitar sedimentación.	53
Cuadro 12:	Velocidad de decantación de partículas de arena en el desarenador.	61
Cuadro 13:	Comparación de los diferentes materiales para tuberías de presión.	70
Cuadro 14:	Propiedades físicas de materiales para tuberías	70
Cuadro 15:	Valores de velocidad específica para diferentes tipos de turbinas.	100
Cuadro 16:	Impactos ambientales durante la etapa de construcción.	126
Cuadro 17:	Impactos ambientales durante la etapa de operación.	127
Cuadro 18:	Vías de acceso al distrito de Phara	138
Cuadro 19:	Localidades integradas en el proyecto.	138
Cuadro 20:	Cantidad de viviendas con y sin electricidad.	139
Cuadro 21:	Energía demandada según MONENCO.	140
Cuadro 22:	Crecimiento del consumo unitario doméstico.	141
Cuadro 23:	Evaluación de la demanda residencial.	142
Cuadro 24:	Evaluación de la demanda industrial, comercial y servicios públicos.	143
Cuadro 25:	Energía demandada por el método de Ortiz.	144
Cuadro 26:	Demanda actual según Tsuguo Nozaki.	145
Cuadro 27:	Resumen de la demanda actual.	145
Cuadro 28:	Resumen de la demanda proyectada a 25 años.	145
Cuadro 29:	Balance oferta demanda del servicio - situación sin proyecto.	147
Cuadro 30:	Balance oferta demanda del servicio - situación con proyecto.	147
Cuadro 31:	Historial de caudales medios mensuales de los últimos 5 años.	149
Cuadro 32:	Frecuencia de caudales mensuales.	149
Cuadro 33:	Probabilidad de ocurrencia de eventos mensuales.	150

Cuadro 34:	Datos levantados en campo para calcular el salto.	151
Cuadro 35:	Cálculo de la altura bruta.	152
Cuadro 36:	Resumen de los costos de la mini central hidroeléctrica.	163
Cuadro 37:	Indicadores económicos obtenidos.	164



ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfica 1:	Diagrama de la proyección del CUD por año.	32
Gráfica 2:	Proyección del consumo unitario domestico por año.	141
Gráfica 3:	Diagrama de carga población residencial.	142
Gráfica 4:	Diagrama de carga industrial comercial.	143
Gráfica 5:	Diagrama de carga servicios públicos.	144
Gráfica 6:	Gráfica de balance oferta demanda.	148
Gráfica 7:	Curva de duración de caudales.	150
Gráfica 8:	Curva de variación estacional.	151



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1:	Centrales de pasada o filo de agua.	25
Figura 2:	Centrales de embalse o regulación.	26
Figura 3:	Centrales de almacenamiento por bombeo.	26
Figura 4:	Concepto de salto o caída.	38
Figura 5:	Determinación de la altura usando eclímetro y wincha.	41
Figura 6:	Toma tipo tirolesa-Krochin.	45
Figura 7:	Dimensiones del canal y desnivel total.	52
Figura 8:	Perímetro mojado.	53
Figura 9:	Esquema de un desarenador.	56
Figura 10:	Trayectoria de las partículas.	57
Figura 11:	Altura mínima del agua sobre la tubería de presión.	63
Figura 12:	Valores del coeficiente.	65
Figura 13:	Componentes de una tubería de presión.	65
Figura 14:	Válvula de compuerta.	73
Figura 15:	Válvulas de mariposa con diferentes mecanismos de apertura y cierre.	74
Figura 16:	Pérdidas en la rejilla por fricción.	75
Figura 17:	Coeficiente de pérdidas en la entrada de la tubería.	76
Figura 18:	Ángulo en un codo.	77
Figura 19:	Coeficiente de pérdidas en las válvulas.	78
Figura 20:	Fuerzas que intervienen en los apoyos.	82
Figura 21:	Fuerzas cuando la tubería se dilata.	86
Figura 22:	Tubería de presión.	87
Figura 23:	Cálculo de la fuerza F1 .	88
Figura 24:	Cálculo de la fuerza F2 .	89
Figura 25:	Calculo de la fuerza F3 .	89
Figura 26:	Cálculo dela fuerza F4 .	90
Figura 27:	Cálculo de la fuerza F5	91
Figura 28:	Cálculo de la fuerza F6 .	91
Figura 29:	Cálculo de la fuerza F7 .	92
Figura 30:	Cálculo de la fuerza F8 .	93
Figura 31:	Cálculo de la fuerza F9 .	93
Figura 32:	Componentes de una turbina pelton de eje horizontal.	104

Figura 33: Triángulo de velocidades.	106
Figura 34: Rango de medidas principales de la cazoleta del rodete pelton.	109
Figura 35: Elección de la turbina en función de la velocidad específica.	112
Figura 36: Selección de turbinas.	112
Figura 37: Selección del modelo de turbina pelton standard.	113
Figura 38: Sistema de transmisión en una etapa.	114
Figura 39: Mapa de ubicación del distrito de Phara.	137
Figura 40: Porcentaje de vivienda en cada localidad.	139
Figura 41: Porcentaje de vivienda con y sin electricidad.	140
Figura 42: Fotografía del equipo hidráulico mini central Phara I.	146
Figura 43: Medición del salto por el método del eclímetro.	152
Figura 44: Detalle del canal de conducción.	153
Figura 45: Detalle del desarenador.	153
Figura 46: Detalle de la cámara de carga – desarenador.	154
Figura 47: Detalle del tanque de presión.	155
Figura 48: Detalle de la rejilla.	156
Figura 49: Diámetro de la tubería de presión.	157
Figura 50: Detalle de los apoyos.	158
Figura 51: Detalle del anclaje hacia adentro.	158
Figura 52: Detalle del anclaje hacia afuera.	159
Figura 53: Ubicación de la casa de máquinas.	159

RESUMEN

La presente tesis titulada “ESTUDIO Y DISEÑO PARA LA MINI CENTRAL HIDROELÉCTRICA II ETAPA DEL DISTRITO DE PHARA – SANDIA - PUNO” trata sobre el estudio y diseño de la mini central hidroeléctrica II etapa, ubicado en el distrito de Phara provincia de Sandia departamento de Puno. Se ha realizado el estudio de mercado eléctrico con la cual se pudo cuantificar la demanda de potencia y energía eléctrica del distrito de Phara donde se obtuvo una demanda actual de 225.22 KW, también se ha evaluado para un horizonte de 25 años donde para el año 2041 se requerirá una demanda de potencia de 342.46 KW. Para determinar la factibilidad del proyecto se realiza el diseño hidráulico de la mini central hidroeléctrica II etapa, calculando la altura neta resulta igual a 134.25 m, con un caudal de diseño de 0.24 m³/s. En el diseño de obras civiles se ha dimensionado el desarenador, canal de conducción, cámara de carga con desarenador, tubería forzada y la casa de máquinas. En obras electromecánicas se ha diseñado y seleccionado el equipo electromecánico turbina – generador la cual será una turbina pelton con 2 inyectores, la velocidad de rotación de la turbina será de 900 RPM. Las obras civiles se han diseñado adecuadas a la realidad del terreno buscando la eficiencia y la economía para así obtener el mejor rendimiento de los capitales invertidos.

Palabras claves: Demanda, potencia, salto neto, caudal de diseño, turbina pelton.

ABSTRACT

This thesis entitled "STUDY AND DESIGN FOR THE MINI HYDROELECTRIC POWER STATION II PHARA DISTRICT - SANDIA - PUNO STATION" deals with the study and design of the mini hydroelectric power station II stage, located in the district of Phara province of Sandia department of Puno . The electricity market study was carried out with which it was possible to quantify the power and electrical energy demand of the district of Phara where a current demand of 225.22 KW was obtained, also has been evaluated for a horizon of 25 years where by the year 2041 A power demand of 342.46 KW will be required. To determine the feasibility of the project, the hydraulic design of the mini hydroelectric power station II is carried out, calculating the net height is equal to 134.25 m, with a design flow of 0.24 m³ / s. In the design of civil works has been dimensioned the desander, channel of conduction, chamber of load with desander, forced pipe and the engine house. In electromechanical works the electromechanical turbine generator equipment has been designed and selected, which will be a pelton turbine with 2 injectors, the rotation speed of the turbine will be 900 RPM. Civil works have been designed appropriate to the reality of the land seeking efficiency and economy to obtain the best return on capital invested.

Keywords: Demand, power, net leap, design flow, pelton turbine.

INTRODUCCIÓN

El Perú presenta mayor carencia de energía eléctrica en pueblos alejados de las principales ciudades del país, en especial en los que están ubicados en zonas rurales y que en su mayoría son las de menores recursos económicos.

La energía eléctrica es una necesidad básica que todo ciudadano merece ser satisfecho. La falta de este servicio trae como consecuencia que no se cuente con mejores condiciones de vida, sin los adelantos y la tecnología de este mundo globalizado.

Las aulas de nuestra universidad, y el déficit de energía eléctrica que existe en el distrito de Phara, fueron los que me llevaron a pensar en la posibilidad de satisfacer la demanda del servicio eléctrico exigido a través de la construcción de una mini central hidroeléctrica II etapa.

El presente proyecto de tesis desarrollado, abarca el estudio de la demanda de energía eléctrica del distrito de Phara, diseño de obras civiles a nivel preliminar, diseño hidráulico de la tubería de presión y el diseño y selección de obras electromecánicas turbina – generador, este proyecto lo que busca es garantizar y cubrir el déficit de energía en el distrito de Phara provincia de Sandia del departamento de Puno. El contenido de la presente tesis está dividido en 4 capítulos a continuación se describe el contenido de cada uno de los capítulos.

En el **capítulo I:** Se efectúa el planteamiento del problema, se formula las interrogantes de investigación, así mismo se describe la justificación y objetivos del presente proyecto.

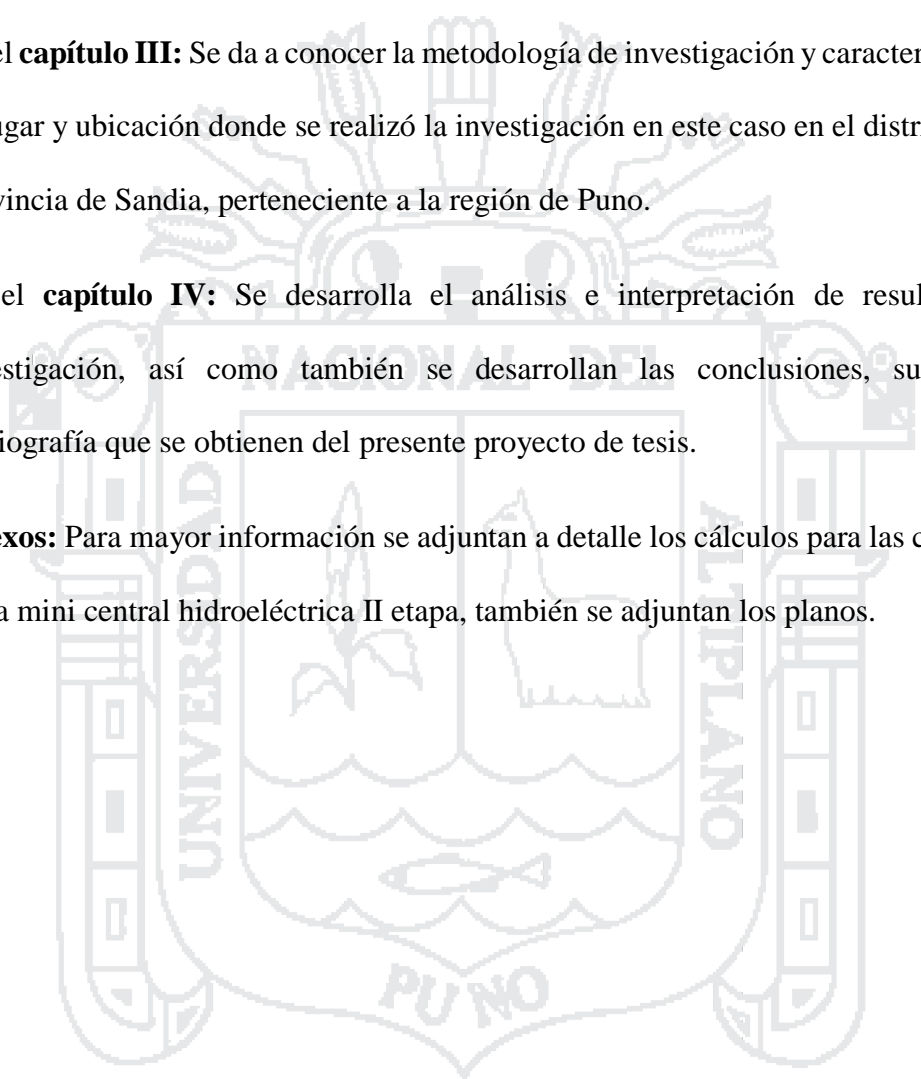
En el **capítulo II:** Corresponde al marco teórico de la investigación donde se desarrolla 3 métodos para calcular la demanda de energía eléctrica las cuales son método MONENCO, método de Ramiro Ortiz y el método del Ing. Tsuguo Nozaki; también se describen los métodos para medir el caudal y la altura, de igual manera se describe cada

uno de los componentes de la mini central hidroeléctrica, obtenidos de las revisiones bibliográficas por diferentes autores y tesis, que sirvieron de referencia en el desarrollo del proyecto, se da a conocer el glosario de términos básicos, hipótesis de investigación y operacionalización de variables.

En el **capítulo III**: Se da a conocer la metodología de investigación y características como el lugar y ubicación donde se realizó la investigación en este caso en el distrito de Phara, provincia de Sandia, perteneciente a la región de Puno.

En el **capítulo IV**: Se desarrolla el análisis e interpretación de resultados de la investigación, así como también se desarrollan las conclusiones, sugerencias y bibliografía que se obtienen del presente proyecto de tesis.

Anexos: Para mayor información se adjuntan a detalle los cálculos para las componentes de la mini central hidroeléctrica II etapa, también se adjuntan los planos.





CAPÍTULO I
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE
INVESTIGACIÓN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En la actualidad el distrito de Phara cuenta con una mini central hidroeléctrica con una capacidad de generación de 150 kw, inició su operación comercial el año 1996, en el año 2010 la mini central alcanzó su máxima capacidad de generación para la cual fue diseñada debido al requerimiento creciente de energía eléctrica por parte de la población, por lo cual a partir de ese año la distribución de energía es regularmente restringida realizándose constantemente el rechazo manual de carga, incluso desde el año 2015 no se enciende el alumbrado público en horas punta de 6 pm a 10 pm debido a que este equipo ya no cuenta con la capacidad suficiente para atender la demanda del servicio eléctrico exigido, por lo que se requiere un incremento de la potencia instalada de generación para el mejoramiento y futuras ampliaciones en las comunidades aledañas que no cuentan con este servicio fundamental.

En el distrito de Phara existe actualmente 4380 habitantes con 1123 viviendas, de las cuales 320 viviendas no cuentan con el suministro de energía eléctrica debido a que la mini central hidroeléctrica I etapa ya no cuenta con oferta disponible para atender esta demanda insatisfecha.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. PROBLEMA GENERAL

¿Cuál es la demanda insatisfecha de energía eléctrica en el distrito de Phara?

1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

- ¿Cuál es el balance de oferta y demanda de energía eléctrica en el distrito de Phara?
- ¿Cuál será el tamaño y localización de la mini central hidroeléctrica II etapa del distrito de Phara?

- ¿Cuál es el esquema, diseño y/o selección de los componentes de la mini central hidroeléctrica II etapa?
- ¿Cuál es el análisis económico y financiero de la mini central hidroeléctrica II etapa del distrito de Phara?

1.3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

El estudio y diseño de la mini central hidroeléctrica II etapa permitirá cubrir una necesidad de impulsar el presente proyecto de tesis con miras de implementarlo, a fin de garantizar y cubrir la demanda insatisfecha en el distrito de Phara.

Entre los lineamientos de política del sector energía relacionados con el presente proyecto se encuentran:

- Promover el desarrollo de infraestructura energética en los lugares aislados y lejanos del país como medio que permite un crecimiento homogéneo de la economía, de equidad social y generadora de empleo.
- Ampliar la frontera eléctrica a nivel nacional con calidad, seguridad y optimizando los costos de inversión con el fin de brindar la posibilidad de acceder al uso de la energía eléctrica.

En el contexto regional y local es el de mejorar los servicios básicos como el de energía Eléctrica. El proyecto es de interés social en el que, el mayor beneficio se obtiene por la posibilidad de generación de desarrollo de los pueblos, al mejorar las posibilidades de contar con nuevas fuentes de trabajo y mejorar las condiciones socio económicas.

El servicio de electricidad es un servicio básico, que ofrece nuevas oportunidades de desarrollo de los pueblos, aún más cuando las tarifas son razonables, implican mayor productividad y competitividad de la producción y comercialización en los mercados internos y externos.

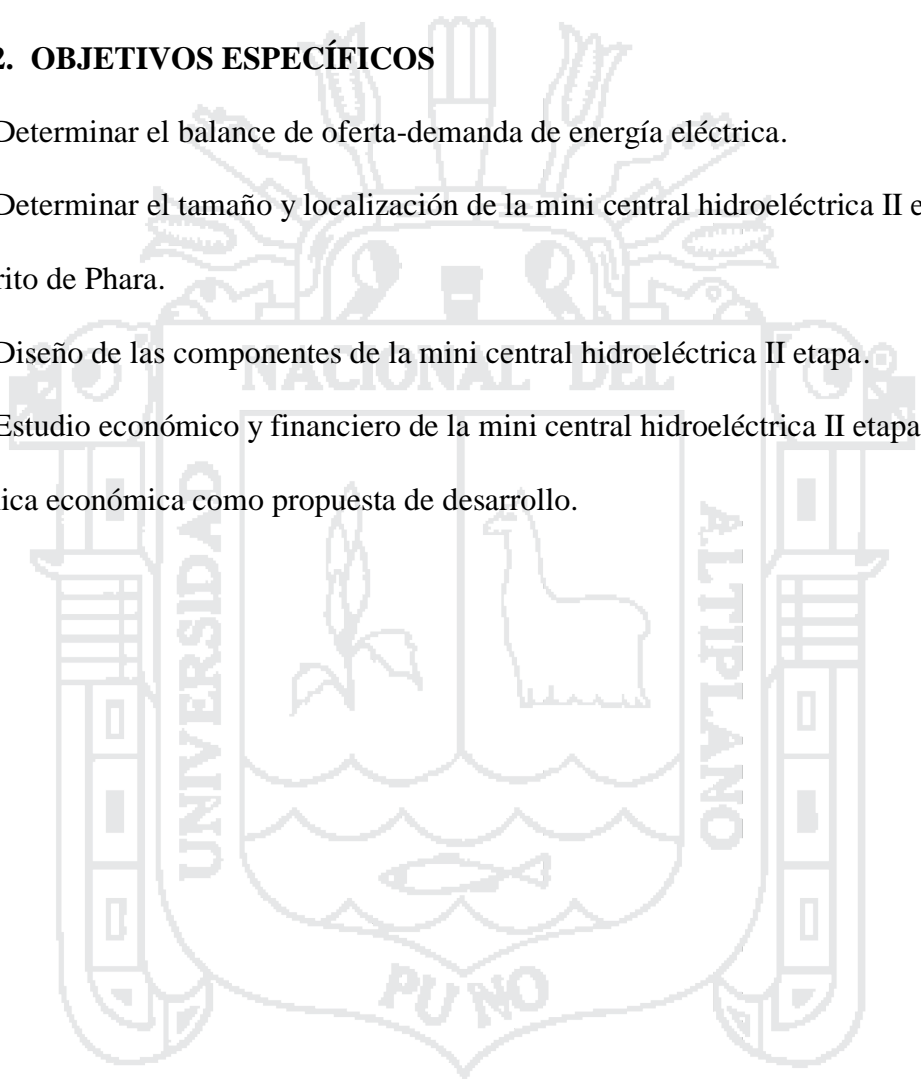
1.4. OBJETIVOS DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

1.4.1. OBJETIVO GENERAL

El objetivo general del proyecto es determinar la demanda insatisfecha de energía eléctrica en el distrito de Phara.

1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar el balance de oferta-demanda de energía eléctrica.
- Determinar el tamaño y localización de la mini central hidroeléctrica II etapa del distrito de Phara.
- Diseño de las componentes de la mini central hidroeléctrica II etapa.
- Estudio económico y financiero de la mini central hidroeléctrica II etapa, viabilidad técnica económica como propuesta de desarrollo.





MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Se cita los siguientes trabajos que anteceden a mi proyecto de investigación.

- Palma Cajas Ana Carolina, 2005, Trabajo de graduación en la Universidad de San Carlos de Guatemala en la escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, “Estudio de factibilidad del proyecto de micro hidroeléctrica para la comunidad de Chei, San Gaspar Chajul, El Quiché”, cuyo objetivo principal fue: Determinar la factibilidad del proyecto micro hidroeléctrico para las comunidades de Chel, Las Flores y Xesayí, municipio de Chajul, departamento de Quiché; desde las perspectivas de mercado, ingeniería, impacto ambiental, administrativo legal y financiero económico y su **conclusión** fue: En las comunidades de Chel, Las Flores y Xesayí la demanda de energía eléctrica es baja con 440 posibles usuarios residenciales del servicio, siendo la demanda promedio por usuario de 23 kWh/mes; por otro lado la demanda de energía para usos comerciales, institucionales y agroindustriales se estimó en 27% de la demanda residencial; sin embargo, su ocurrencia es incierta. La potencia pico estimada es 77 kW. Se diseñó una forma de pago por el servicio que consiste en una cuota fija de Q 30.00/mes por usuario que cubre 30 kWh y una cuota variable de Q 0.50/kWh extra para incentivar los usos productivos de la electricidad. Los beneficios potenciales identificados para las comunidades a través del proyecto son: capacitación y organización, crecimiento económico, descentralización en el manejo de los recursos naturales, incremento en la equidad, aprovechamiento y valoración del recurso hídrico. Actualmente por concepto de fuentes de energía tradicionales, candelas, gas, ocote y baterías, las familias gastan en promedio entre Q 10.00 y Q 30.00 por mes.
- Cáceres Vergara Julio Andres, 2006, Tesis sustentada en la UNI-Lima en la escuela profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica, “Estudio de Pre-factibilidad de la

Microcentral hidroeléctrica de San Pedro de Huacos – Canta - Lima”, Cuyo **objetivo principal** fue: Demostrar la pre-factibilidad del empleo de Microcentrales Hidroeléctricas para la electrificación de dicha zona, con la finalidad de impulsar una actividad económica en base a un moderado desarrollo agroindustrial y turístico y la **conclusión** fue: la viabilidad del proyecto desde el punto de vista económico y técnico, debido al uso de tecnologías de reducción de costos y el manejo de cuadros de sensibilidad que nos permite ver la variación de indicadores en la evaluación del proyecto.

▪ Freire Morales Edwin Geovanny, 2010, Tesis de grado en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo Riobamba – Ecuador, “Elaboración e implementación de un software para el diseño de centrales hidroeléctricas hasta 10 MW”, **cuyo objetivo principal** fue: Realizar un software para el diseño de los elementos constitutivos en obra civil de centrales hidroeléctricas hasta 10 MW y su **conclusión** fue: Los resultados obtenidos con el ejercicio de validación fueron exitosos y muy parecidos a los datos obtenidos del estudio de microcentral realizado en el sector de Chachimbiro.

▪ Pacco Vara Roger Raul, 2012, Tesis sustentada en la UNA-Puno en la escuela profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica, “Estudio de una pequeña central hidroeléctrica Marcohuno de 1.5 MW del distrito de Macusani provincia de Carabaya”, cuyo **objetivo** principal fue: el estudio de la viabilidad de ejecución para generar energía eléctrica al distrito de Macusani provincia de Carabaya y la **conclusión** principal fue: Realizando el estudio de la cuenca hidrográfica y el diseño de los componentes de la pequeña Central Hidroeléctrica Marcahuno se ha obtenido un caudal de 5.47 metros cúbicos por segundo ($Q = 5.47 \text{ m}^3/\text{s}$) y una altura neta de 32 metros ($H_n = 32 \text{ m}$) con estos datos llegamos a obtener la potencia requerida de 1.5 MW.

▪ Cansaya Cortez Christopher Raul Y Chero Valencia Luis Enrique, 2014 Tesis sustentada en la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas en la carrera de Ingeniería

Civil, “Estudio y diseño a nivel preliminar de una pequeña central hidroeléctrica en el distrito de Comas, Provincia de concepción perteneciente al departamento de Junín”, Cuyo **objetivo principal** fue: El objetivo general del proyecto es demostrar la viabilidad de un proyecto a nivel de perfil el cual consiste en la construcción de una PCH en el pueblo de Comas, Junín, cubriendo el déficit de energía eléctrica de la zona demostrando también que se genera una rentabilidad al conectar esta al Sistema Interconectado Nacional mediante la evaluación de tres escenarios y la **Conclusión** fue: Un aspecto social de la presente investigación confirma que una ciudad con déficit de energía eléctrica obliga a sus habitantes a migrar hacia las principales del país en busca de satisfacción de necesidades básicas como salud y educación, como lo demostró de la caída de la tasa de crecimiento que cuenta la región del 1.1%.

2.2. SUSTENTO TEÓRICO

2.2.1. ENERGÍA HIDRÁULICA

Un hidrosistema requiere de un caudal de agua y una diferencia de altura conocida como salto para producir potencia útil. Se trata de un sistema de conversión de energía, es decir, se toma energía en forma de caudal y salto y se entrega energía en forma de electricidad o energía mecánica en el eje. Ningún sistema de conversión puede entregar la misma cantidad de energía útil como la que absorbe, pues una parte de energía se pierde en el sistema mismo en forma de fricción, calor, ruido, etc. (Coz,1995).

2.2.2. PEQUEÑAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS

Las pequeñas centrales hidroeléctricas son centrales de generación eléctrica, con una potencia de generación mediana a baja. En su mayoría se construyen en zonas aisladas y no representan gran importancia para el sistema de interconexión nacional ya que su área de influencia es muy reducida. Se pueden definir como el conjunto de obras civiles y estructuras hidráulicas generales y específicas que complementadas con su

correspondiente equipo electromecánico aprovechan las energías potencial y cinética del agua para producir energía eléctrica. Esta energía es conducida por diferentes líneas de transmisión a los centros de consumo, en donde se utiliza en alumbrado público y residencial, operación de aparatos electrodomésticos y demás necesidades eléctricas de la zona en donde se llevará a cabo el proyecto. La demanda requerida por la PCH debe ser cubierta durante la totalidad de la vida útil del proyecto. En caso de estar interconectada, la demanda de la PCH puede ser cubierta temporalmente, y esta a su vez puede transmitir sus excedentes de potencia y energía al sistema (Flores, 2001).

2.2.3. CLASIFICACIÓN DE LAS PCH

De acuerdo con la potencia instalada, la Organización Latinoamericana de Energía OLADE ha clasificado las PCH de la siguiente forma.

Cuadro 1: Clasificación de PCH según potencia instalada.

POTENCIA	TIPO
0-50 kw	microcentral
50-500 kw	minicentral
500-5000 kw	Pequeña central

Fuente: (Flores, 2001)

Según su caída se han clasificado en:

Cuadro 2: Clasificación de PCH según caída.

CAIDA EN METROS			
	Baja	Media	Alta
Micro	H<15	15<H<50	H>50
Mini	H<20	20<H<100	H>100
Pequeña	H<25	25<H<130	H>130

Fuente: (Flores, 2001)

2.2.4. TIPOS DE CENTRALES HIDROELÉCTRICAS

Las centrales hidroeléctricas se pueden clasificar según distintos criterios, por ejemplo, según el tipo de aprovechamiento tenemos:

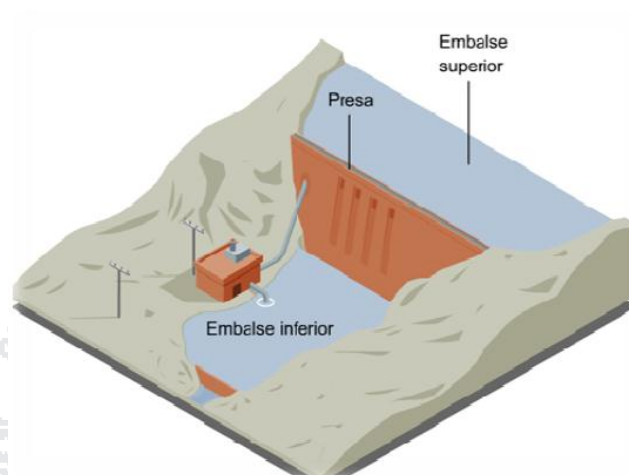
A. **CENTRALES HIDROELÉCTRICAS DE PASADA:** Utilizan el caudal de un río, tal y cual éste se encuentre, siendo prácticamente insignificante el período de llenado de su propio embalse por las aportaciones hidráulicas, también se le llama central de agua fluyente (Mallitásig Panchi, 2008).

Figura 1: Centrales de pasada o filo de agua.



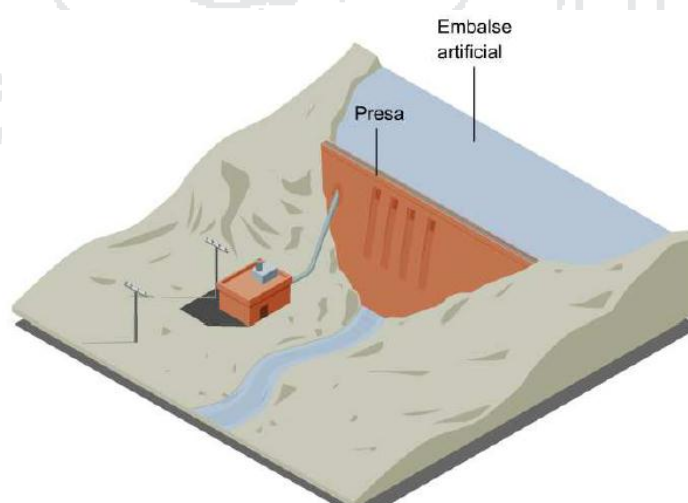
Fuente: (Mallitásig Panchi, 2008)

B. **CENTRALES HIDROELÉCTRICAS CON EMBALSE DE REGULACIÓN:** Permiten un almacenamiento de una cantidad apreciable de agua que se aprovecha posteriormente por la central en la forma más conveniente, permitiendo optimizar la generación. Los embalses en estas centrales permiten la regulación del caudal mensual y anual (Mallitásig Panchi, 2008).

Figura 2: Centrales de embalse o regulación.

Fuente: (Mallitásig Panchi, 2008).

C. CENTRALES DE ALMACENAMIENTO POR BOMBEO: El almacenamiento por bombeo consiste en que la potencia eléctrica excedente en periodos de poco consumo se utiliza para mover bombas que toman agua de un embalse construido en la parte inferior de la central hidroeléctrica y la elevan al embalse propio de la central, a un nivel superior. Al cesar los excedentes, cesa inmediatamente el bombeo y se invierten los términos (Mallitásig Panchi, 2008).

Figura 3: Centrales de almacenamiento por bombeo.

Fuente: (Mallitásig Panchi, 2008).

2.2.5. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE UNA PCH

La energía de una pequeña central hidroeléctrica se obtiene aprovechando la energía potencial que adquiere el caudal Q al final de una caída H , la cual es transformada por una turbina en energía mecánica y posteriormente en energía eléctrica por el generador (Flores, 2001).

2.2.6. ESTUDIOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UNA PCH

Para la construcción de una central hidroeléctrica se deben llevar a cabo una serie de estudios con el fin de identificar los posibles aprovechamientos hídricos y seleccionar el más viable.

Después de identificada la fuente hídrica se realizan estudios en la parte técnico-económica, si es lo más viable o no, después se realizan estudios de factibilidad en el cual se estudia si el tipo de diseño y construcción, después viene un estudio de prefactibilidad en la cual se realizan otros estudios técnicos de la central (Flores, 2001).

Los principales estudios son:

- a) **ESTUDIO DE LA DEMANDA:** Se utiliza para identificar cual es la demanda de los clientes potenciales de la central, en el tratara de medir el consumo de energía ya sea a petróleo, gas, pilas, leña, carbón y otros y el que puede ofrecer la central hidroeléctrica el cual debe ser superior al consumo de los clientes (Flores, 2001).
- b) **ESTUDIO SOCIOECONÓMICO:** Es donde se realiza la evaluación económica del proyecto, la organización y desarrollo de este además del impacto social que este causaría en la comunidad como la compra de tierras la reubicación de comunidades enteras etc., en este estudio abarca el desarrollo y construcción de la central como del mantenimiento, administración y operación de esta (Flores, 2001).

c) **ESTUDIO HIDROLÓGICO Y PLUVIOMÉTRICO:** Es el encargado del estudio hídrico de la fuente y es el que determina el caudal de diseño de la central, para el estudio hídrico se debe llevar una estadística de las fluctuaciones hídricas durante varios años para tener una idea del comportamiento de este. Pero como no hay muchos estudios hídricos de la fuente se recurre a la medición pluviométrica de las precipitaciones en la región donde estará la central hidroeléctrica, para estudiar el caudal de la cuenca que alimenta al río (Flores, 2001).

d) **ESTUDIO CARTOGRÁFICO Y TOPOGRÁFICO:** Como el principio de una central hidroeléctrica es aprovechar la energía potencial la cual se transforma en energía cinética y esta en eléctrica, y para tener una buena cantidad de energía potencial se requiere de una caída de agua o cabeza de agua y para saber esto se realizan estudios o mapas cartográficos de la región, cuando no hay estudios cartográficos se recurre a estudios topográficos que permitan obtener los datos necesarios para conocer la caída o cabeza de agua y así poder determinar el potencial hidroenergético de la fuente (Flores, 2001).

e) **ESTUDIO GEOTÉCNICO:** La ubicación y adecuación de las obras civiles se hace en relación con la estabilidad de los terrenos y las posibles fallas geológicas que este contenga es un estudio muy esencial para el diseño y construcción de la central ya que le permite a los diseñadores tener una idea de que riesgos geológicos deben tener presentes a la hora de diseñar la central (Flores, 2001).

f) **ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL:** Las obras que se construirán y la operación de la central implican un gran impacto ambiental, ya que dependiendo del área del embalse quedara una gran extensión de tierra anegada y lo que esto conlleva como las pérdidas de tierras agrícolas, selvas y su fauna y el impacto que esto causaría a el área

circunvecina a la represa, el estudio debe abarcar como atenuar este daño. Al final este estudio dará la viabilidad del proyecto o no (Flores, 2001).

2.2.7. ESTUDIO Y PROYECCIÓN DE LA DEMANDA

Es esencial establecer exactamente cuanta energía se necesita para un propósito dado, cuándo se necesita y donde se necesita. ¿Podrán los consumidores probables de la energía financiar una nueva fuente de energía y cuan dispuestos estarán a pagar por ella? Este estudio constituye la base de la evaluación financiera.

La importancia del análisis de la demanda y mercado eléctrico radica en que un análisis confiable nos permite identificar la potencial base, la cual se debe satisfacer, para que la población tenga un servicio eléctrico adecuado con fluido de manera constante, y permitir un desarrollo acorde con las exigencias en salud y educación. Para que estos cálculos de la demanda y proyecciones tengan un valor confiable se recomienda realizar confrontaciones de distintos métodos (Coz, 1995).

FUENTES DE INFORMACIÓN

Para esta parte del estudio se recopiló datos de campo, previa visita a las localidades del distrito de Phara en la cual se realizó encuestas, también se recopiló información de fuentes confiables como son de carácter demográfico, económico y productivo, incluyendo las actividades: agrícola, ganadera, comercial, industrial, forestal, minera, etc.; y de cualquier otra actividad que tenga impacto en el consumo de la energía eléctrica, ya sea por su utilización como insumo o como uso final.

El comité de administración de energía eléctrica encargada de la administración de la mini central hidroeléctrica Phara I, Instalaciones de media tensión y baja tensión, proporcionó información relacionada a consumos unitarios de las localidades del distrito de Phara.

El Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), el cual proporcionó información de Censos Nacionales 2007: XI de Población y VI de Vivienda y la tasa de crecimiento poblacional.

Guía para la Evaluación Económica de Proyectos de Electrificación de localidades Aisladas Rurales.

Las encuestas de campo tienen como finalidad obtener información social y económica de las localidades para ser utilizadas en los estudios de mercado eléctrico. Entre los principales datos a recopilados tenemos: categoría de la localidad, número y tipos de viviendas, número de lotes y tipos de abonados electrificables, cantidad de cargas de uso general, población beneficiada, principales actividades económicas, principales cultivos, servicios generales con los que cuentan.

2.2.7.1. MÉTODO MONENCO

Se trata de una metodología formulada por la compañía consultora canadiense AGRA MONENCO (Montreal Engineering Company), válida para localidades de menos de 20 000 habitantes, la metodología comprende el análisis de los siguientes rubros:

- Proyección de la población.
- Proyección del número de viviendas.
- Proyección del número de abonados domésticos.
- Proyección de los consumos de energía unitario y neto en el sector doméstico.
- Proyección del consumo de energía en el sector comercial.
- Proyección del consumo de energía en el sector alumbrado público.
- Proyección del consumo de energía en el sector industrial.
- Proyección del consumo de energía de cargas especiales.
- Proyección del consumo neto total.

- Proyección de la máxima demanda.

PROYECCIÓN DEL NÚMERO DE HABITANTES

Para determinar el crecimiento de la población de las localidades del proyecto, se toman las Tasas a nivel Distrital calculadas en base a la Información del INEI, adoptando valores según el distrito al cual pertenezcan. Se proyecta el número de habitantes para cada centro poblado con su respectiva tasa de crecimiento, para un horizonte de 25 años.

La población base para el año 2016 es la obtenida de los datos de campo, relacionándolos con los índices de crecimiento poblacional asumidos, se determinó la proyección de la población, para el horizonte de planeamiento se ha calculado con la siguiente relación:

$$P_n = P_0(1 + T_{\text{crec}})^n \dots\dots\dots (\text{Ec. 1})$$

Donde:

P_n = Población al año “n”

P_0 = Población al año inicial (2016).

T_{crec} = Tasa de crecimiento de la población, constante en el periodo de análisis.

n = Año a proyectarse la población.

PROYECCIÓN DEL NÚMERO DE VIVIENDAS

Sobre la base de los resultados de la visita de campo, en donde se contabiliza la población y el número de vivienda, se determina número de viviendas tomando como base la proyección de la población y la densidad familiar que se encontró durante las encuestas realizadas en los trabajos de campo para todo el horizonte de planeamiento.

Los valores asumidos de la densidad familiar para el análisis de la demanda, se mantiene constante para todo el período de análisis y se muestra por cada localidad, El número de viviendas se determina en función a la siguiente relación:

$$N_{viv} = \frac{N_{hab}}{(Hab/Viv)} \dots\dots\dots (Ec. 2)$$

Donde:

N_{viv} = Número de Viviendas.

N_{hab} = Número de habitante de cada año (resultado de la proyección).

Hab/Viv = Relación de Habitantes por viviendas.

CRECIMIENTO DEL CONSUMO UNITARIO

Determinación de la Tasa de Crecimiento del Consumo de Energía Para obtener el consumo unitario final se requiere contar con información estadística de años pasados de localidades similares en desarrollo socio económico y de región, determinando la curva de tendencia del crecimiento, para ello se obtiene el promedio de CUD de cada año (Monenco,1996).

El consumo unitario doméstico inicial (CUDi) y el consumo unitario doméstico final (CUDf) se obtiene con la ecuación potencial por tipo de localidad AX^B , la cual se obtiene del registro histórico de los consumos unitarios de energía.

Gráfica 1: Diagrama de la proyección del CUD por año.



Elaboración: Propia.

Fuente: (Monenco, 1996).

PROYECCIÓN DE NÚMERO DE ABONADOS COMERCIALES

La proyección del número de abonados comerciales se determina de la relación entre abonados domésticos y comerciales obtenidos en campo, los valores de abonados comerciales varían según la localidad y está dado como sigue:

$$N^{\circ} \text{ Abonados Comerciales} = N^{\circ} \text{ Abon. Dom.} \times (AC/AD) \dots\dots\dots (\text{Ec. 3})$$

Donde:

AC/AD = Es variable y depende de la localidad de análisis (Datos de encuestas).

PROYECCIÓN DE CONSUMO COMERCIAL

Se determina a partir del consumo unitario del sector doméstico (CUC/CUD), asumiendo un porcentaje adicional al consumo unitario doméstico, estas cargas comerciales están conformados básicamente por pequeñas bodegas (tiendas).

PROYECCIÓN DEL CONSUMO POR CARGAS DE USO GENERAL

Para la proyección del consumo debido a la existencia de cargas de uso general que están conformadas por escuelas, colegios, iglesias, locales comunales, municipalidades, postas médicas, etc, se ha cuantificado la cantidad de artefactos y las horas de utilización mensual, asimismo se ha determinado los consumos unitarios por cada tipo de carga.

La proyección del consumo de energía de abonados de uso general se determina a partir del consumo neto doméstico, como:

$$CG = \%CG * CD \dots\dots\dots (\text{Ec. 4})$$

Dónde: %CG es el porcentaje del consumo neto de las cargas de uso general con respecto al consumo neto de las cargas domésticas. Este porcentaje se utiliza para calcular el Consumo de uso general para todos los años.

PROYECCIÓN DEL CONSUMO POR CARGAS DE ALUMBRADO PÚBLICO

Para la determinación del consumo de alumbrado público se aplicará la Resolución Ministerial N° 074-2009-MEM/DM, donde se describe la siguiente metodología.

Determinar el consumo de energía mensual por alumbrado público considerando el factor de alumbrado público y el número de usuarios de la localidad, mediante la aplicación de la siguiente fórmula:

$$\text{CMAP} = \text{KALP} * \text{NU} \quad \dots\dots\dots (\text{Ec. } 5)$$

Donde:

CMAP = Consumo mensual de alumbrado público en kWh.

KALP = Factor de AP en kW.h/usuario-mes.

NU = Número de Usuarios de la localidad.

El Factor KALP es el correspondiente al sector típico 5: KALP = 6,3.

2.2.7.2. METODOLOGÍA EXPUESTA POR EL ING. RAMIRO ORTIZ

Esta metodología consiste en el cálculo de la demanda potencial, es decir se toma inclusive a la población que no cuenta con energía eléctrica. Lo que se hace es identificar un usuario promedio, tanto doméstico como pequeña industria y servicios públicos, y en base a este se calculará la demanda potencial actual (Flores, 2001).

Para esto se obtiene datos de las potencias medias de los artefactos eléctricos e iluminarias más comunes y se va evaluando las horas en que estos se utilizan.

En este método se proyecta el crecimiento de la demanda potencial doméstica, comercial, industrial y de servicios públicos a diferentes tasas durante todo el periodo de vida de la MCH, de manera que el crecimiento de la demanda empieza alrededor del 3% y conforme transcurre el tiempo esta va disminuyendo en algunos casos hasta los 0.5% en el final del periodo de los 25 o 30 años (Flores, 2001).

Cuadro 3: Evaluación de la demanda potencial por el método de Ramiro Ortiz.

UTILIDAD Unidades	POTENCIA Vatios	CS %	N °	HORARIO DE USO (horas)							Energía kwh		
				0 - 5	5 - 7	7- 1 1	11 - 13	13 - 17	17 - 19	19 - 21	21- 14	Día	Año
RESIDENCIAL (Usuario representativo)													
Iluminación													
Conservación y preparación de alimentos													
Recreación y comodidades													
Otros usos													
Total residencial													
INDUSTRIAL Y COMERCIAL													
Motores													
Refrigeradores													
Hornos													
Iluminación													
Otros													
Total industrial/comercial													
SERVICIOS PÚBLICOS													
Salud													
Educación													
Comunicaciones													
Alumbrado público													
Otros servicios públicos													
Total servicios públicos													
TOTAL													

Fuente: (Flores, 2001).

la cual se ha venido empleando en algunos proyectos al norte del país, se proyecta el crecimiento de la demanda potencial doméstica, comercial, industrial y de servicios públicos a diferentes tasas durante todo el periodo de vida de la PCH, de manera que el crecimiento de la demanda empieza alrededor del 3% y conforme transcurre el tiempo

esta va disminuyendo en algunos casos hasta los 0.5% en el final del periodo de los 25 años. Los resultados obtenidos con este método se muestran con más detalle en el Anexo.

2.2.7.3. MÉTODO EXPUESTO POR EL ING. TSUGUO NOZAKI

Método empírico basado en el análisis de experiencias pasadas puede servir para realizar una estimación rápida de la demanda actual. El método asume que la potencia instalada per cápita tiene un rango total que depende del número de habitantes. Para calcular la demanda promedio, se promedia el valor más alto y el más bajo de los rangos establecidos por poblaciones (Nozaki, 1983).

El método expuesto en la guía elaborada por el Ing. Tsuguo Nozaki, en la cual se obtiene la demanda de la población de la siguiente tabla.

Cuadro 4: Demanda actual según Tsuguo Nozaki.

DEMANDA ACTUAL PARA DISTINTAS POBLACIONES					
POBLACIONES (habitantes)			DEMANDA DE POTENCIA (kw)		
500	a	1,000	15 kw	a	35 kw
1,000	a	2,000	35 kw	a	80 kw
2,000	a	4,000	80 kw	a	180 kw
4,000	a	10,000	180 kw	a	500 kw
10,000	a	20,000	500 kw	a	1200 kw

Fuente: (Nozaki, 1983).

Para el presente proyecto la tasa de crecimiento anual de demanda de energía será del 2% y el periodo de vida del proyecto 25 años se obtiene la demanda requerida aplicando la siguiente fórmula:

$$P_n = P_0 * (1 + 0.02)^n \dots\dots\dots (Ec. 6)$$

2.2.8. AREA DE INFLUENCIA

Las localidades que se beneficiarán con el proyecto son 5 localidades del distrito de Phara.

La población total alcanza 4380 pobladores y con un total de 803 viviendas electrificadas, la población beneficiaria con el proyecto alcanza a 1248 con 320 viviendas.

VIVIENDAS CON ELECTRICIDAD		VIVIENDAS SIN ELECTRICIDAD	
SAN MIGUEL	372	SAN MIGUEL	54
CULLUCACHI	145	CULLUCACHI	83
LOS CLAVELES	109	LOS CLAVELES	91
VISTA ALEGRE	94	VISTA ALEGRE	42
TOLDOQUERI	83	TOLDOQUERI	50

2.2.9. EVALUACIÓN DEL RECURSO HIDROENEGÉTICO

Luego de haber hecho la estimación de la demanda, el siguiente paso consiste en hacer una evaluación del potencial de generación de energía de la zona, tratando de que la casa de fuerza se encuentre lo más próxima posible a la carga a servir.

La capacidad de generación de energía mediante el empleo de agua está determinada por el salto o caída (energía potencial) que se puede obtener y del caudal disponible.

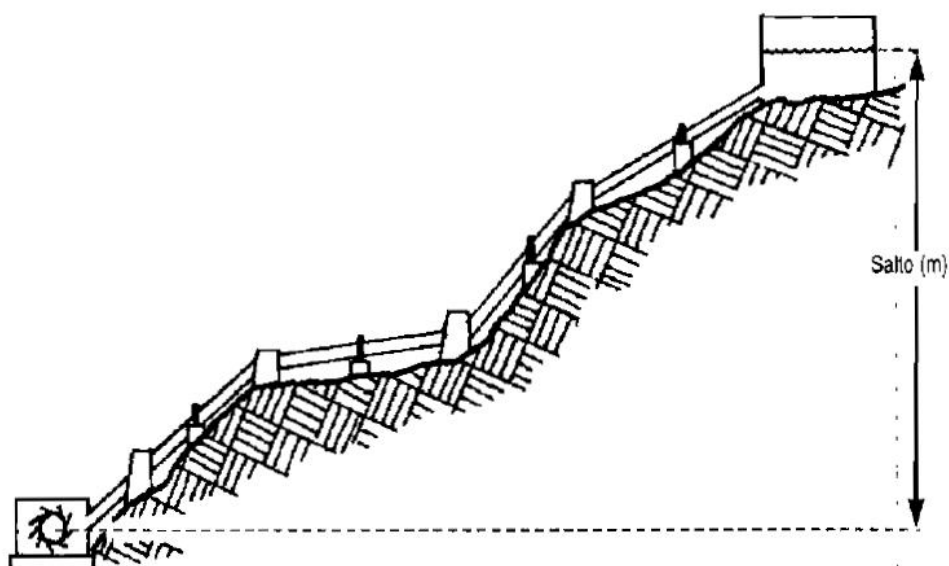
El salto depende de la topografía del terreno, y el caudal de las características del río o arroyo que se va utilizar (Sanchez & Bruno,1995).

2.2.9.1. MEDICIÓN DEL SALTO

Los mapas con curvas de nivel sirven para hacer una primera estimación de salto disponible y pueden utilizarse para estudios de pre factibilidad de micro o mini centrales hidroeléctricas (MCH). En los estudios de factibilidad y en los definitivos se hace necesario realizar mediciones en el lugar a fin de obtener una mayor precisión. Por lo general, se requiere precisiones de 3% o más, puesto que la caída es un parámetro importante en el diseño del sistema. Como se puede apreciar en el siguiente cuadro,

existen varios métodos para medir el salto o caída. En este cuadro se incluyen también algunas observaciones sobre la precisión y otros detalles de cada método (Soluciones Prácticas ITDG, 2010).

Figura 4: Concepto de salto o caída.



Fuente: (Sanchez & Viani,1995).

Cuadro 5: Comparación de técnicas para medir el salto.

MÉTODO	VENTAJAS Y LIMITACIONES	PRECISIÓN	OBSERVACIÓN
Manguera de nivelación	Agotador para caídas altas. Rápida para pequeñas caídas.	Aprox. 5%	Es recomendable hacerlo entre 2 personas
Manguera y manómetro	Rapido, seguro. Da la posibilidad de medir la longitud de la tubería de presión a la vez	< 5%	Calibrar instrumentos
Nivel de carpintero y tablas	Inapropiado para pendientes suaves y largas. Lento.	Aprox. 5% en pendientes pronunciadas. Poca precisión en pendientes suaves. (1:10) (10 - 20%)	Usar solo para caídas muy pequeñas cuando no se dispone de otro método.
Altimetro	Usado en caídas altas y medianas (> 40 m) rápido.	Probabilidad de grandes errores (30%)	Necesita calibración de instrumentos y destreza.

			Tomar 3 o más medidas.
Eclímetro	Rápido. Peso: Liviano. Costo: Moderado	Buena 5%	Recomendable en terrenos despejados. Usado en todo los lugares especialmente donde los otros métodos son muy lentos.
Nivel de Ingeniero	Rápido. Costo: alto.	Muy buena	No es bueno en lugares con demasiados árboles.
Mapa	Solo para caídas altas. No necesita viajar al lugar. Peso: liviano. Costo: bajo	Aceptable para pre factibilidad.	Se necesita destreza para leer planos.

Fuente: (Soluciones Prácticas ITDG, 2010).

Es necesario estudiar las características de cada uno de estos métodos a fin de utilizarlos adecuadamente aprovechando las ventajas que ofrecen en cada caso particular.

En el presente proyecto solo se describirá el método utilizado por el autor (método del eclímetro).

2.2.8.1.1. MÉTODO DEL ECLÍMETRO Y WINCHA

Para aplicar este método es necesaria la participación de dos personas: una persona A, que usará el eclímetro y la persona B, que apoyará en la medición. Es recomendable que la talla de ambos sea lo más parecida posible a fin de no incurrir en errores por diferencia de tamaños. No obstante, la busca de tallas similares no debe ser causa de postergación o cancelación de la evaluación del lugar; si el caso se presentara, nos podemos ayudar de una regla (de tamaño mayor a la persona A), donde previamente debe marcarse la visual, colocando el eclímetro en la posición de 0°. El grado de precisión del método depende de la habilidad del operador en el uso del eclímetro (Soluciones Prácticas ITDG, 2010).

EQUIPO NECESARIO

- Eclímetro.
- Wincha de 50 m.
- Estacas.
- Machete.
- Comba de 3 libras.
- Libreta de notas y lapicero.

Calcular las alturas parciales, aplicando la siguiente fórmula:

$$H_1 = L_1 * \text{sen}\alpha_1 \dots\dots\dots (Ec. 7)$$

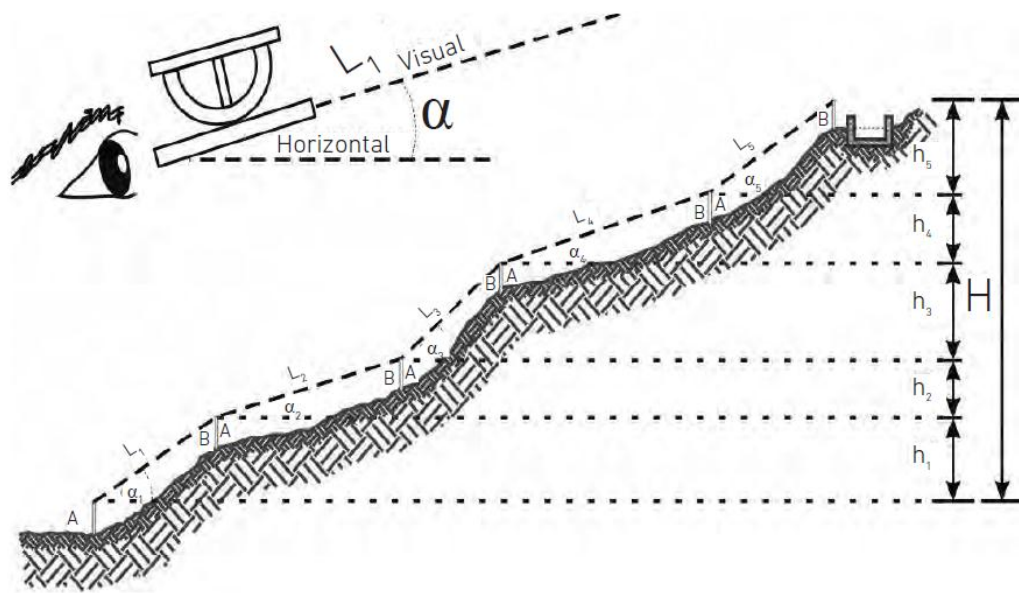
- Calcular la altura total o salto sumando las alturas parciales obtenidas previamente.

$$H = H_1 + H_2 + \dots + H_n$$

Cuadro 6: Registro de datos para medir la altura.

ESTACAS	L (m)	α	$H_i = L * \text{sen}\alpha$
1-2			
2-3			
3-4			
4-5			
TOTAL			

Fuente: (Soluciones Prácticas ITDG, 2010).

Figura 5: Determinación de la altura usando eclímetro y wincha.

Fuente: (Soluciones Prácticas ITDG, 2010).

2.2.9.2. MEDICIÓN DEL CAUDAL

En razón de que el caudal de los ríos varía a lo largo del año, realizar una medida del caudal instantáneo resulta un registro aislado cuya utilidad es relativamente pequeña.

Es probable que algunas veces no exista información para hacer un estudio de hidrología, entonces nos veremos forzados a recolectar nuestros propios datos a partir de mediciones instantáneas del caudal. Lo ideal es hacer mediciones a diario, aunque también se usan mediciones semanales y mensuales (Soluciones Prácticas ITDG, 2010).

Los métodos de medición de caudal son los siguientes:

- Método de la solución de la sal.
- Método del recipiente.
- Método del área y velocidad (flotador).
- Medidores de corriente o correntómetros.
- Método de la sección de control y regla graduada.
- Método del vertedero de pared delgada.

Es necesario estudiar las características de estos métodos a fin de utilizarlos adecuadamente aprovechando las ventajas que ofrecen en cada caso particular.

2.2.10. COMPONENTES DE UNA PCH

2.2.10.1. BOCATOMA

Según Cortez & Valencia (2014) “es la estructura hidráulica que va a tener como función captar y derivar el caudal necesario del río para la obtención de la potencia deseada”.

Existen varios tipos de bocatomas entre los cuales destacan.

- **Toma directa:** La cual capta el caudal directamente de un canal lateral al río, por tal razón no requiere construcción de barraje alguno haciéndolo menos costosa, sin embargo, es propensa a quedar obstruida en épocas de crecida.
- **Toma mixta o convencional:** La cual realiza la captación por medio de una ventana, mediante el cierre del río con una estructura llamada azud o presa de derivación, la cual puede ser fija cuando se utiliza un elemento rígido o móvil cuando se utilizan compuertas.
- **Toma móvil:** La cual crea la carga hidráulica mediante un barraje móvil, es decir necesitan de compuertas que le den el nivel de agua adecuado, su principal ventaja es que permite el paso de los materiales de arrastre por encima de la cresta del barraje vertedero o azud.
- **Toma tirolesa o caucasiana:** Son tomas cuyas estructuras de captación se encuentran dentro de la sección del azud, protegido por una rejilla que impide el ingreso de materiales gruesos.

Según Barreno (1985) se denomina obras de toma o captación a toda estructura hidráulica construida sobre el cauce del río o canal con el fin de captar parcialmente el agua que acarrea.

Existen diferentes tipos de obras de captación, pero fundamentalmente se los puede agrupar en dos: por derivación directa y con almacenamiento.

- **Obras de embalsamiento:** Consisten en presas que sierran el cauce de un río formando un reservorio o embalse hacia aguas arriba de esta estructura, este reservorio permite regular el caudal del río, almacenándolo en épocas de creciente para ser utilizado durante la sequía. Las presas pueden ser de tierra, piedra u hormigón y trabajar a gravedad o como arco; o en todo caso son obras muy costosas.
- **Obras de captación directa:** El agua se capta sin ningún tipo de almacenamiento, por lo tanto, no son necesarios obras de regulación; para que esto sea posible, el caudal que está circulando por el río debe ser casi constante durante todo el año y mayor que el caudal de captación, asimismo el nivel del agua en el río debe permanecer aproximadamente constante. Este tipo de obra de toma no representa mayor costo.

2.2.10.1.1. CONSIDERACIONES PRINCIPALES

Según Barreno (1985) para el diseño de bocatomas se deben considerar los siguientes:

- Asegurar la derivación permanente del caudal de diseño.
- Captar el mínimo de sólidos y disponer de medios apropiados para su evacuación.
- Proveer de un sistema adecuado que permita el paso de las avenidas que tienen gran cantidad de sólidos y material flotante.
- Estar ubicada en el lugar que presenten condiciones favorables desde el punto de vista de funcionamiento hidráulico y de facilidades de construcción.
- Presentar aguas abajo suficiente capacidad transporte para evitar la sedimentación.

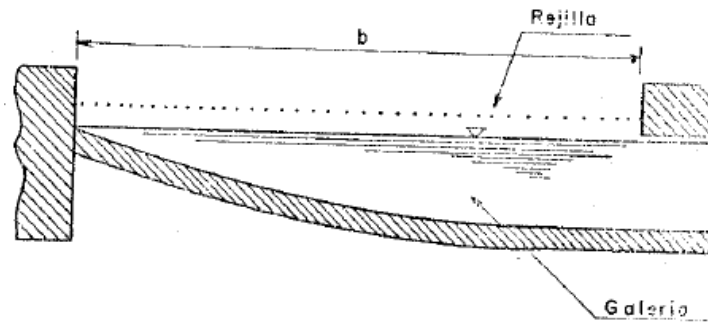
2.2.10.1.2. UBICACIÓN DE LA OBRA DE TOMA

Es conveniente ubicar la bocatoma en tramos rectilíneos del río, en este caso se puede localizar el eje de la misma formando un ángulo de 60 a 90 grados con la dirección de la corriente; pero en tramos en que el río forma ondulaciones se deben hacer varias consideraciones, así por ejemplo es conveniente ubicar la bocatoma en donde termina la concavidad (zona de barranco) y comienza la parte convexa (zona de playa). Si se ubica la obra de toma en el tramo convexo al cauce, se corre el riesgo de que durante las avenidas entren arenas y piedras, mientras que después de aquellas se forma frente a la bocatoma un banco de arena que impide o hace difícil el paso del agua para la derivación. Por otro lado, si se ubica la obra de toma en el lado cóncavo (barranco) del río, durante la avenida los materiales flotantes grandes y las piedras impactan directamente contra la estructura del azud de derivación y de la bocatoma, ocasionando fuertes erosiones que pueden constituir un peligro. Para la ubicación de la obra de toma, a más del trazo del cauce, habrá que considerar las condiciones geológicas y topográficas del sitio, pues es necesario disponer de un terreno de condiciones geológicas aceptables y relativamente plana (Barreno, 1985).

2.2.10.1.3. DIMENSIONAMIENTO DE LA BOCATOMA

Para el caso de micro y mini centrales hidroeléctricas generalmente se diseñará la toma tipo tirolesa-Krochin.

Figura 6: Toma tipo tirolesa-Krochin.



Fuente: (Barreno, 1985).

AZUD

El ancho de la rejilla *b* se calcula con la siguiente fórmula:

$$b = \frac{0.313 * Q}{(CK)^{3/2} * L^{3/2}} \dots\dots\dots (Ec. 8)$$

Donde:

b = Ancho de la rejilla (m).

Q = Caudal de diseño (m³/s).

C = Coeficiente de contracción de la rejilla.

K = Coeficiente que reduce el área total en área efectiva disponible para el paso de agua.

L = Longitud de la rejilla (m).

K = Está dado por:

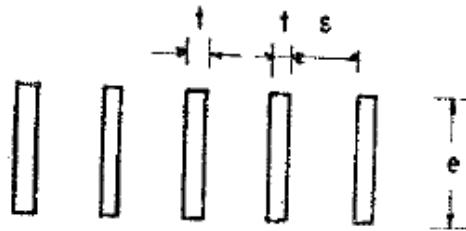
$$K = (1 - f) * \frac{S}{S + t} \dots\dots\dots (Ec. 9)$$

Donde:

f = Porcentaje de obstrucción por arenas y gravas (%).

S = Espaciamiento entre barrotes (cm).

t = Ancho de los barrotes (cm).



El coeficiente de contracción que varía en función de la disposición de los hierros de la rejilla; entonces depende de la inclinación ϕ de la rejilla con la horizontal y está dado por:

$$C = C_0 - 0.325i \quad \dots\dots\dots (\text{Ec. 10})$$

$$i = \text{tg}\phi$$

$$C_0 = 0.6 \text{ para } e/s > 4$$

$$C_0 = 0.5 \text{ para } e/s < 4$$

GALERIA

Para calcular la galería se sigue los siguientes pasos:

- dividir la longitud total b de la galería en partes iguales.
- determinar Qx en cada parte de la galería mediante la siguiente fórmula:

$$Q_x = \frac{Q}{b} x \quad \dots\dots\dots (\text{Ec. 11})$$

Siendo x la distancia desde el comienzo de la galería.

- Calcular la velocidad al final de la galería V_f .

$$V_f = 3\sqrt{gS} \quad \dots\dots\dots (\text{Ec. 12})$$

- Asumir una velocidad inicial $V_0 = 1 \text{ m/s}$.
- Determinar la velocidad en cada punto.

$$V_x = \frac{V_f - V_0}{b} * x + V_0 \dots\dots\dots (\text{Ec. 13})$$

- Calcular el área.

$$A = \frac{Q}{V} \dots\dots\dots (\text{Ec. 14})$$

- Determinar el calado de agua d para cada punto de la galería.

$$d = \frac{A}{L} \dots\dots\dots (\text{Ec. 15})$$

- Calcular el valor del perímetro mojado P .

$$P = L + 2d \dots\dots\dots (\text{Ec. 16})$$

- Determinar el radio hidráulico R .

$$R = \frac{A}{P} \dots\dots\dots (\text{Ec. 17})$$

- Calcular la gradiente hidráulica I mediante la fórmula.

$$I = \frac{V^2}{C^2R} \dots\dots\dots (\text{Ec. 18})$$

$$C = \frac{1}{n} * R^{1/6} \dots\dots\dots (\text{Ec. 19})$$

$n =$ coeficiente de rugosidad = 0.025 – 0.035

- Calcular las pérdidas del nivel h_f .

$$h_f = xI \dots\dots\dots (\text{Ec. 20})$$

- Realizar el sumatorio de pérdidas $\sum h_f$.

- Calcular la relación $V^2/2g$ que es la carga de velocidad.
- En cada parte x del azud sumar los valores correspondientes a calado, perdidas y carga de velocidad.

$$d + \sum h_f + \frac{V^2}{2g}$$

El perfil de fondo se establece restando de un plano de referencia cada uno de los valores obtenidos en la suma anterior.

2.2.10.2. CANAL DE CONDUCCIÓN

El canal permite conducir el caudal requerido del río mediante la toma de agua hacia la cámara de carga para posteriormente llegar a la casa de máquinas mediante una tubería (Segura & Rodríguez, 1985).

El diseño del canal va de la mano con una evaluación de la topografía del terreno. Es importante también tener en cuenta algunos aspectos del tipo de suelo como el material predominante, el talud natural, etc., con lo que obtendremos las limitaciones correspondientes al terreno sobre los diseños que vayamos a realizar (Segura & Rodríguez, 1985).

Los factores a considerar en el diseño de canales son:

- Material.
- Pendiente.
- Talud.
- Margen libre.
- Velocidad mínima permisible.

En una instalación se puede adecuar diferentes tipos de canales, estos son:

- Canal de tierra sin revestimiento.
- Canal de tierra con sello o revestimiento.
- Canal de mampostería o concreto.
- Acueductos: hechos de planchas de acero galvanizado, madera o tubos cortados por la mitad.

Es muy importante elegir correctamente el tipo de canal para cada parte de la ruta. Una vez que se ha elegido el tipo de canal y el material de revestimiento correspondiente, es posible calcular las dimensiones adecuadas, así como el desnivel correcto entre el inicio y el final de este.

2.2.10.2.1. SECCIÓN Y ÁNGULO DEL TALUD DEL CANAL

El flujo de agua en un canal hecho de material suelto como suelo arenoso hará que las paredes se desmoronen hacia adentro, a menos que los lados estén inclinados ligeramente y el ancho del canal esté en relación a su profundidad. La ventaja de revestir los canales es que resultan más angostos para el mismo caudal. De allí que no se necesita una gran excavación horizontal en una ladera angosta. Normalmente, se prefiere perfiles trapezoidales porque son muy eficientes hidráulicamente, aunque dependiendo del material, los rectangulares son a veces más fáciles de construir. El cuadro 3 da algunos valores del ángulo del talud recomendado para diferentes materiales (Segura & Rodríguez, 1985).

2.2.10.2.2. VELOCIDAD DEL AGUA “v”

Un flujo de agua excesivamente rápido erosionará las paredes de un canal, mientras que las velocidades demasiado bajas permitirán el depósito de sedimento y la obstrucción del mismo. El cuadro 4 proporciona las velocidades recomendadas para canales de diferentes materiales (Segura & Rodríguez, 1985).

2.2.10.2.3. RUGOSIDAD “n”

Cuando el agua pasa por el canal, pierde energía en el proceso de deslizarse por las paredes y el lecho. Mientras más rugoso es el material del canal, hay más pérdidas por fricción y mayor será la pendiente o desnivel que se requerirá entre la entrada y la salida del canal (Segura & Rodríguez, 1985).

Según Segura & Rodríguez (1985) el diseño ideal de un canal de aducción estará basado en los cinco siguientes principios básicos.

1. La velocidad del agua debe ser lo bastante alto como para asegurar que los sólidos en suspensión no se asienten en el fondo del canal o ingresen a la tubería de presión.
2. La velocidad del agua en el canal debe ser lo bastante bajo como para asegurar que no se erosionen sus paredes laterales. Si esto es imposible, sin entrar en conflicto con el punto.
3. Se deberá considerar el uso de un revestimiento más resistente.
4. El desnivel en todo el canal deberá ser reducido (lo que también implica velocidad mínima del agua) el cuadro 9 da los valores del coeficiente de la rugosidad “n” para distintos materiales.
5. El canal debe ser duradero y confiable. Asimismo, no solo estar libre de sedimentación sino también protegido de efectos destructores debidos a escurrimientos causados por las lluvias, rocas que caen en su cauce o derrumbes. También debe protegerse frente a caudales inusualmente elevados en caso de que la estructura de la bocatoma no lo haga adecuadamente. Los caudales de avenida pueden ser regulados mediante aliviaderos.
6. Sus costos de construcción y mantenimiento deben ser mínimos. Es necesario evaluar la disponibilidad de los técnicos de construcción requeridos, así como el precio de la mano de obra.

Cuadro 7: Talud recomendado para canales de sección trapezoidal.

MATERIAL	TALUD (Z = Cotan θ)
Arena	3.0
Arena y greda	2.0
Greda	1.5
Greda y arcilla	1.0
Arcilla	0.58
Concreto	0.58

Fuente: (Segura & Rodríguez, 1985).

Cuadro 8: Velocidad máxima del agua recomendada.

MATERIAL	VELOCIDAD MÁXIMA	
	Menos de 0.3m de profundidad	Menos de 1m de profundidad
Arena	0.3 m/s	0.5 m/s
Greda arenosa	0.4 m/s	0.7 m/s
Greda	0.5 m/s	0.8 m/s
Greda de arcilla	0.6 m/s	0.9 m/s
Arcilla	0.8 m/s	2.0 m/s
Mampostería	1.5 m/s	2.0 m/s
Concreto	1.5 m/s	2.0 m/s

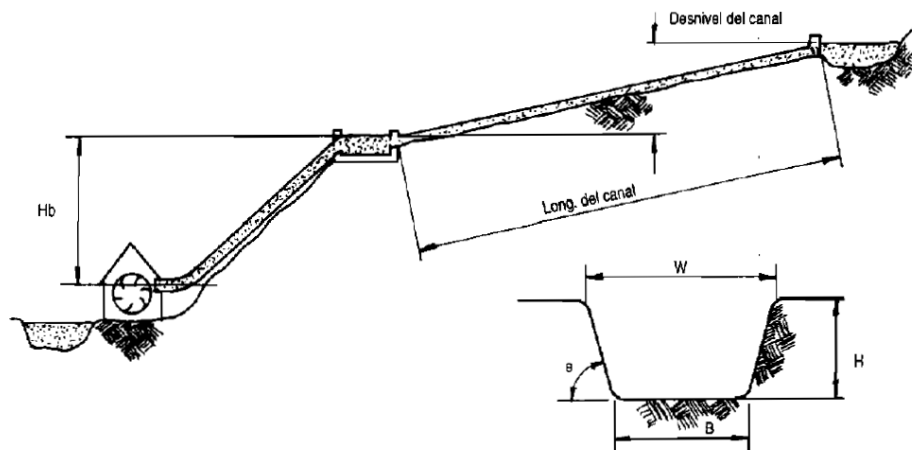
Fuente: (Segura & Rodríguez, 1985).

Cuadro 9: Coeficiente de rugosidad “n” para canales de concreto.

CANALES DE CONCRETO	n
Buen acabado con cemento (enlucido)	0.0100
Acabado con yeso o concreto suave con alto contenido de cemento	0.0118
Concreto no enlucido	0.0149
Concreto con superficie suave	0.0161
Revestimiento de concreto irregular	0.0200
Superficie de concreto irregular	0.0200

Fuente: (Segura & Rodríguez, 1985).

Figura 7: Dimensiones del canal y desnivel total.



Fuente: (Segura & Rodríguez, 1985).

También se definen algunos términos que se emplean en el diseño de canales:

2.2.10.2.4. BORDE LIBRE

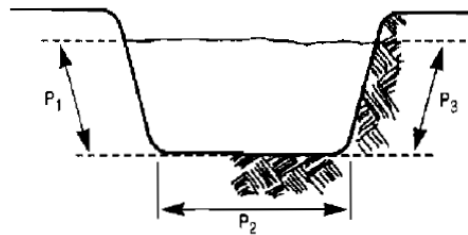
El borde libre es la distancia vertical que hay entre el nivel normal del agua al extremo superior de las paredes del canal. Su objetivo es evitar que el canal se rebalse cuando ingrese mayor cantidad de agua que la proyectada, ya que ello podría producir daños en la ladera del cerro sobre la que ha sido construido. El borde libre es normalmente un tercio del tirante de agua o 0.15m escogiéndose el mayor por seguridad (Segura & Rodríguez, 1985).

2.2.10.2.5. PERÍMETRO MOJADO (P)

El perímetro mojado es la longitud en que la sección transversal moja el lecho y lados del canal.

$$P = P_1 + P_2 + P_3 \dots\dots\dots (Ec. 21)$$

Figura 8: Perímetro mojado.



Fuente: (Segura & Rodríguez, 1985).

2.2.10.2.6. RADIO HIDRÁULICO

El radio hidráulico ($R = A/P$) es una cantidad que describe la eficiencia del canal. Si el canal tiene una gran área de sección transversal y un perímetro mojado relativamente pequeño, entonces con un borde libre normal esto implica que es eficiente y que el agua tendrá la velocidad requerida con una pérdida relativamente pequeña. Antes de empezar a calcular las dimensiones de cualquiera de las secciones del canal, primero hay que determinar su longitud (L) y el material con el que estará hecho o revestido (Segura & Rodríguez, 1985).

Cuadro 10: Características de las secciones transversales de un canal.

TIPO DE SECCIÓN TRANSVERSAL	PERÍMETRO MOJADO (P)	BASE MAYOR (W)
Rectangular	$B + 2H$	B
Trapezoidal	$B + 2H\sqrt{1 + Z^2}$	$B + 2HZ$
Triangular	$2H\sqrt{1 + Z^2}$	$2HZ$

Fuente: (Segura y Rodríguez, 1985).

Cuadro 11: Velocidades mínimas recomendadas para evitar sedimentación.

CALIDAD DEL AGUA	VELOCIDAD MÍNIMA
Con sedimentos finos	0.3 m/s
Con arena	0.5 m/s

Fuente: (Segura & Rodríguez, 1985).

2.2.10.2.7. PASOS A SEGUIR PARA EL CÁLCULO

Según Segura & Rodríguez (1985) se debe seguir los siguientes pasos para el cálculo.

1. Seleccionar una velocidad adecuada (v). no exceder las velocidades máximas o mínimas recomendadas.

2. A partir del cuadro 11 hallar el ángulo del talud del canal. Para canales rectangulares usar $Z = 0$, que implica un canal con un ancho que es dos veces su altura. Escoger del cuadro 5, la rugosidad de las superficies mojadas (n), seleccionar un nivel de borde libre adecuado. Calcular la sección transversal (A) a partir de la ecuación:

$$A = Q/v \dots\dots\dots (Ec. 22)$$

3. Calcular la altura (H), el ancho de la plantilla del canal (B), y el ancho de la lámina del agua (W) de la sección más eficiente del canal.

Cálculo de la sección más eficiente:

$$H = \sqrt{\frac{A}{2\sqrt{(1 + Z^2)} - Z}} \dots\dots\dots (Ec. 23)$$

$$B = H(2\sqrt{1 + Z^2} - 2Z) \dots\dots\dots (Ec. 24)$$

$$W = B + 2HZ \dots\dots\dots (Ec. 25)$$

$$W = 2H\sqrt{1 + Z^2} \dots\dots\dots (Ec. 26)$$

Obsérvese que para canales rectangulares $Z = 0$, luego:

$$H = \sqrt{\frac{A}{2}} \dots\dots\dots (Ec. 27)$$

$$B = 2H \dots\dots\dots (Ec. 28)$$

$$W = B = 2H \dots\dots\dots (Ec. 29)$$

4. Utilizando el cuadro 6, calcular el perímetro mojado (P).

Calcular el radio hidráulico (R) a partir de la ecuación:

$$R = \frac{A}{P} \dots\dots\dots (\text{Ec. 30})$$

La pendiente (S) se calcula mediante:

$$S = \left(\frac{nv}{R^{2/3}} \right)^2 \dots\dots\dots (\text{Ec. 31})$$

Ahora es posible construir la sección de canal con la pendiente y las dimensiones requeridas por la sección transversal. Observar primero que el desnivel a lo largo del canal (“L”) es la longitud por la pendiente del canal.

$$\text{desnivel del canal} = L * S \dots\dots\dots (\text{Ec. 32})$$

5. Seguir los pasos 1, 2, 3, 4 para las otras secciones del canal.
6. Sumar todos los desniveles del canal para cada una de las secciones a fin de obtener el desnivel total. Si este es demasiado grande o demasiado pequeño, repetir todo el paso, pero con una velocidad diferente.

2.2.10.3. DESARENADOR

El agua captada de río y conducida a la turbina transporta pequeñas partículas de materia sólida en suspensión compuesta de materiales abrasivos (como arena) que ocasionan el rápido desgaste de los alabes de la turbina. Para eliminar este material se usan los desarenadores. En ellos la velocidad del agua es reducida con el objeto de que las partículas de arena o piedras se asienten en el fondo de donde podrán ser removidas oportunamente. Es necesario que el sedimento se asiente tanto a la entrada del canal como a la entrada de la tubería o cámara de carga (Segura & Rodríguez, 1985).

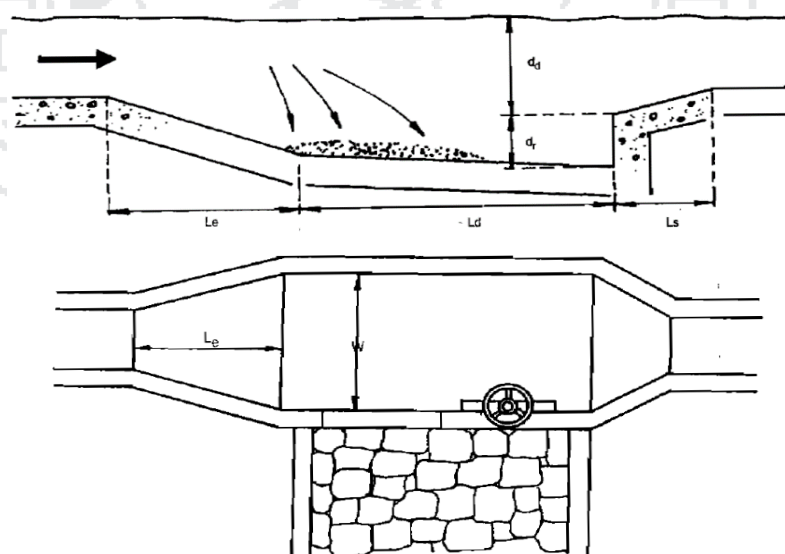
Según Segura & Rodríguez (1985) ambos depósitos deben cumplir estos cinco principios importantes:

- A. Deben tener una longitud y un ancho adecuados para que sedimentos se depositen, sin ser demasiado voluminosos o caros.
- B. Deben permitir una fácil eliminación de los depósitos.
- C. La eliminación de sedimentos a través de la compuerta debe hacerse cuidadosamente para evitar la erosión del suelo que rodea y soporta la base de la tubería y el depósito, es mejor construir una superficie empedrada similar al canal de desagüe del aliviadero.
- D. Se debe impedir la turbulencia del agua causada por cambios de área de recodos que harían que los sedimentos pasen hacia la tubería de presión.
- E. Tener capacidad suficiente para permitir la acumulación de sedimentos.

2.2.10.3.1. ANCHO Y LONGITUD DEL DESARENADOR

Según Segura & Rodríguez (1985) la longitud total del desarenador se divide en tres partes: entrada (L_e), decantación (L_d) y salida (L_s).

Figura 9: Esquema de un desarenador.



Fuente: (Segura & Rodríguez, 1985).

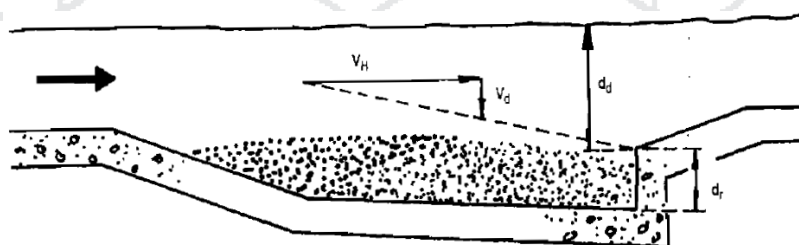
La profundidad del desarenador se divide en dos partes: decantación (d_d) y de recolección (d_r). Es muy importante saber distinguir entre estas dos profundidades, ya que el desarenador funcionará correctamente solo si no se permite que la sedimentación que se va formando exceda el borde del área de recolección que se encuentra en el límite superior de la zona de recolección (d_r).

La velocidad horizontal del agua (V_H) será baja, puesto que la zona de decantación del desarenador tiene una gran sección transversal (A). Para diseñar un desarenador se elige una velocidad de agua adecuada. Se recomienda un valor de 0.2 m/s en la mayoría de los casos, pero también pueden adaptarse valores más altos, hasta de 0.5 m/s. El siguiente paso es escoger un valor de profundidad de decantación (d_d).

Se recomienda no seleccionar valores mayores a 1 metro para fines de diseño. Otra razón práctica para ello es que el drenaje de la sedimentación del desarenador puede ser difícil de realizar si este es muy profundo.

Si el terreno sobre el cual se va a construir el desarenador es muy escarpado, entonces puede ser impracticable construir uno ancho. Los valores de (V_H) y de (d_d) pueden seleccionarse nuevamente para conseguir un desarenador más angosto, pero más largo.

Figura 10: Trayectoria de las partículas.



Fuente: (Segura & Rodríguez, 1985).

La trayectoria seguida de las partículas de arena. Inicialmente, al estar el desarenador limpio de depósitos, la velocidad del agua tendrá valores menores que la velocidad calculada.

Cuando el tanque recolector está lleno la velocidad del agua será mayor y las partículas viajarán hacia adelante del desarenador. La velocidad con que las partículas caen depende de su tamaño, forma, densidad y del grado de turbulencia del agua.

Cuando el flujo del agua no es turbulento, la velocidad de decantación V_d (vertical) de partículas pequeñas es conocida. En la mayoría de microcentrales hidráulicas es suficiente eliminar partículas que tengan más de 0.3 mm de diámetro, las cuales tienen velocidades de decantación mayores de 0.03 m/s. El desarenador debe ser lo suficientemente largo como para permitir que se decanten las partículas más livianas cuando la zona de decantación este llena.

La longitud de decantación se calcula fácilmente:

$$L_d = \frac{V_H}{V_d} * d_d * f \dots\dots\dots (Ec. 33)$$

El ancho del desarenador se calcula con la siguiente fórmula:

$$W = \frac{Q}{V_H * d_d} \dots\dots\dots (Ec. 34)$$

Donde:

W = Es el ancho del desarenador (m).

L_d = Longitud del desarenador (m).

Q = Caudal de diseño (m³/s).

V_H = Velocidad horizontal del agua en el desarenador (m/s).

V_d = Velocidad de decantación de la partícula (m/s).

d_d = Profundidad de decantación (m).

f = Factor de seguridad, se recomienda de 2 a 3.

Para el cálculo de la profundidad mínima de recolección d_r , con una inclinación recomendada para el diseño de desarenadores que oscila entre 2 a 6°.

$$d_r = L_d * \tan\varphi \dots\dots\dots (Ec. 35)$$

La cantidad de sedimentos dado por:

$$C_s = Q * T * S \dots\dots\dots (Ec. 36)$$

Dónde:

Q = Caudal (m³/s).

T = Tiempo (s).

S = Cantidad de sedimentos que transporta (Kg/m³).

Entonces diremos que el volumen de sedimento es:

$$V_s = \frac{C_s}{\rho} \dots\dots\dots (Ec. 37)$$

Donde:

ρ = Densidad de la arena (2600 Kg/m³).

En lo que tiene que ver con la longitud de entrada L_e se recomienda que sea lo mejor diseñada posible para conseguir una corriente uniforme es decir para evitar la turbulencia, a partir de la longitud de entrada L_e en donde se recomienda la inclinación de 12° a 30°.

$$L_e = \frac{W - b}{2 * \tan\alpha} \dots\dots\dots (Ec. 38)$$

Donde:

W = Ancho del desarenador en m.

b = Ancho del canal de conducción en m.

α = Ángulo de transición de entrada.

2.2.10.3.2. ALIVIADERO

Según Segura & Rodríguez, (1985) el aliviadero se combina con las compuertas de control para el desagüe del mismo, con frecuencia hay emergencia en épocas de avenidas donde el caudal aumenta.

Cálculo del aliviadero con la ecuación:

$$H_v = \frac{Q_e}{V * b} \dots\dots\dots (\text{Ec. 39})$$

Donde:

Q_e Caudal de avenida (m³/s).

V Velocidad del agua (m/s).

b Ancho del canal (m).

Cálculo de la longitud del aliviadero:

$$L_v = \frac{Q_e}{C_w(h_c)^{1.5}} \dots\dots\dots (\text{Ec. 40})$$

Donde:

Q_e = Es la diferencia entre el caudal constante y el caudal de avenida (m³).

C_w = Coeficiente de descarga.

1.84 en el caso de cresta aguda.

2 para el caso de perfil creager.

h_c = Carga sobre la cresta del vertedero (m).

Cuadro 12: Velocidad de decantación de partículas de arena en el desarenador.

TAMAÑO DE PARTICULA (mm)	$v_d \left(\frac{m}{s}\right)$
0.1	0.01
0.3	0.03
0.5	0.05
1.0	0.10

Fuente: (Segura & Rodríguez, 1985).

2.2.10.4. DIMENSIONAMIENTO DEL TANQUE DE PRESIÓN

La cámara de carga cumple las funciones de amortiguación de sobrepresiones en la tubería forzada además de ser una transición entre el canal de conducción y la tubería de presión.

El tanque de presión o de carga debe cumplir con las siguientes funciones:

- Permitir la conexión entre el sistema de conducción y la tubería de presión.
- Producir la sedimentación y eliminación de materiales sólidos que vienen por la tubería de conducción.
- Impedir la entrada en la tubería de presión, materiales sólidos de arrastre y flotantes.
- Mantener sobre la tubería de presión una altura de agua suficiente para evitar la entrada de aire a la misma.

En el dimensionamiento del tanque de presión se debe considerar principalmente el volumen y la altura mínima del agua sobre la tubería de presión.

2.2.10.4.1. VOLUMEN DEL TANQUE DE PRESIÓN

Necesitamos determinar el volumen del tanque de presión con el fin de mantener constante el caudal que entra a la tubería de presión, para evitar el ingreso de aire a la misma, y lo determinamos con la siguiente fórmula de E. J. Low:

$$V = \frac{0.693 * A * V_T^2}{i * g} \dots\dots\dots (Ec. 41)$$

Donde:

V = Es el volumen del tanque (m3).

A = Sección de la tubería de presión (m2).

V_T = Velocidad de agua en la conducción (m/s).

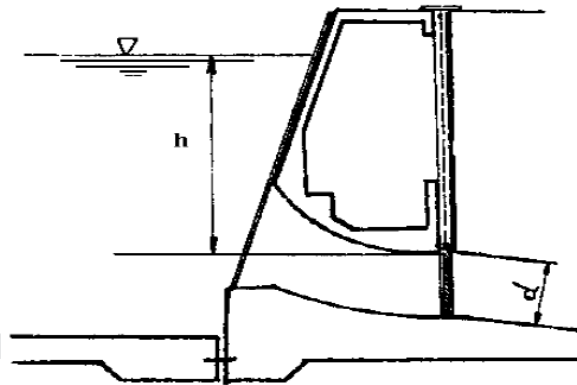
g = Aceleración de la gravedad 9.81 (m/s²).

i = Pendiente del canal de conducción.

2.2.10.4.2. ALTURA MÍNIMA DEL AGUA SOBRE LA TUBERIA

El costo de la estructura del tanque de presión aumenta con el incremento de la profundidad a la que está colocada la salida de la tubería de presión, por esta razón para una máxima economía esta debe estar lo más alta posible. Pero por otro lado, esta situación es poco peligrosa debido a que se pueden formar remolinos que permitan la entrada de aire a la tubería ocasionando problemas en la misma y afectando la eficiencia de la turbina. El problema entonces consiste en establecer que la altura bajo el nivel del agua debe quedar la parte superior de la tubería considerando al aspecto económico y evitando la zona en que se producen remolinos para alcanzar una eficiencia hidráulica (Amaguaya & Herrera, 2009).

Figura 11: Altura mínima del agua sobre la tubería de presión.



FUENTE: (Amaguaya & Herrera, 2009)

La altura mínima de agua sobre la tubería de presión se puede calcular con las siguientes ecuaciones:

Para salida frontal de flujo.

$$h = 0.543 * V * \sqrt{D} \text{ (m)} \dots\dots\dots \text{(Ec. 42)}$$

Para salida lateral de flujo.

$$h = 0.724 * V * \sqrt{D} \text{ (m)} \dots\dots\dots \text{(Ec. 43)}$$

Donde:

h = Altura mínima (m).

V = Velocidad en la tubería de presión (m/s).

D = Diámetro interior de la tubería de presión (m).

Debido a que en nuestro proyecto se construirá el desarenador seguido inmediatamente el tanque de presión, determinamos el largo del mismo con la siguiente ecuación.

$$l_t = \frac{V}{w * h_t} \dots\dots\dots (Ec. 44)$$

Donde:

V = Volumen del tanque (m3).

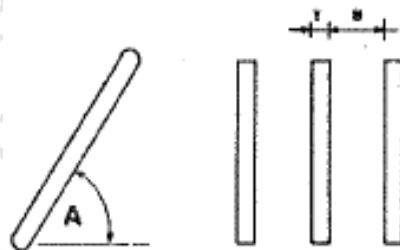
l_t = Longitud del tanque (m).

w = Ancho del tanque (m).

h_t = Altura total del tanque (m).

2.2.10.4.3. DISEÑO DE REJILLAS

Para evitar la entrada de materiales flotantes en la tubería, entre esta y el tanque de presión se instala rejillas finas (Barreno, 1985).



A es la inclinación de la rejilla con respecto a la horizontal, para facilitar la limpieza.

A = 50° - 55° para limpieza a mano.

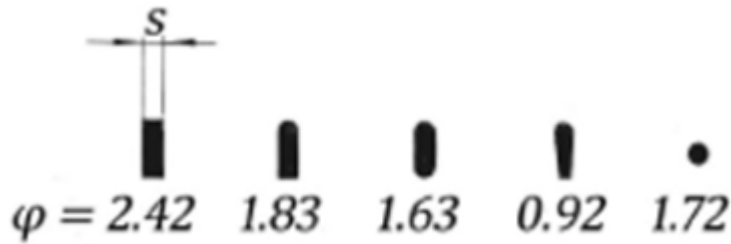
A = 70° - 76° Para limpieza mecánica.

El coeficiente de pérdida de Kischmer para secciones rectangulares, mediante la siguiente fórmula:

$$\xi = \varphi * \left(\frac{S}{a}\right)^{\frac{4}{3}} * \sin\alpha \dots\dots\dots (Ec. 45)$$

El valor de φ se obtuvo del siguiente esquema:

Figura 12: Valores del coeficiente.



Fuente: (Cortez & Valencia, 2014).

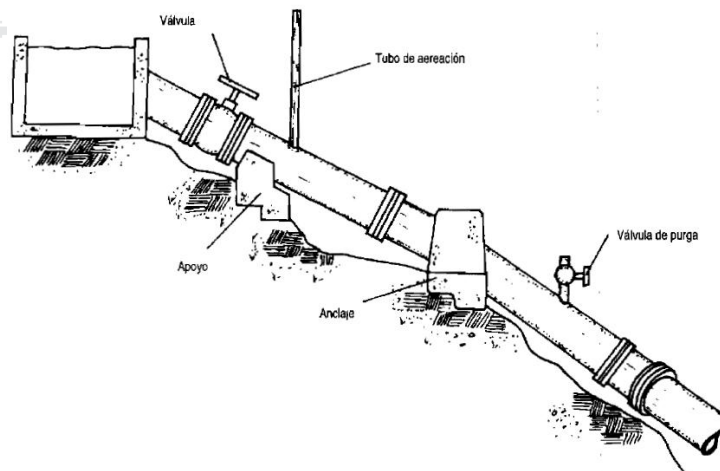
Finalmente se calcula la pérdida de carga según la fórmula de Krischmer y Mosonyi:

$$\Delta h = \xi * \frac{v^2}{2 * g} \dots\dots\dots (Ec. 46)$$

2.2.10.5. TUBERÍA DE PRESIÓN

Es la tubería que transporta agua bajo presión hasta la turbina los principales componentes de una estructura de tubería de presión pueden ser apreciados en la figura 15. Debido a que el costo de esta tubería puede representar gran parte del presupuesto de toda la microcentral, es prioritario, pues, optimizar su diseño para reducir no solo el costo de mantenimiento sino la inversión inicial (Segura & Rodríguez, 1985).

Figura 13: Componentes de una tubería de presión.



Fuente: (Segura & Rodríguez, 1985).

2.2.10.5.1. PAUTAS PARA SELECCIONAR UNA TUBERIA DE PRESIÓN

Según Segura & Rodríguez (1985) dan las siguientes pautas para seleccionar una tubería de presión.

1. Considerar las diferentes clases de material disponible, tipo de uniones; comparar formas y costos de mantenimiento. Anotar también los diámetros de tubería y los espesores de la pared disponibles.
2. Calcular la pérdida de altura por fricción del 4-10% para una serie de materiales y diámetros, tabular los resultados.
3. Calcular la probable presión adicional por golpe de ariete en caso de un cierre brusco del paso de agua a la tubería, y sumarla a la presión estática. Calcular espesores de pared adecuados para tamaños de tubería que se prefieran tabular.
4. Diseñar los soportes, anclajes y uniones para la tubería de presión.
5. Preparar una tabla de opciones calculando el costo total de cada una y ver si los componentes están disponibles en el mercado.
6. La selección del diámetro se hará tratando de obtener el menor costo y las menores pérdidas de energía.

2.2.10.5.2. MATERIALES PARA TUBERIAS DE PRESIÓN

Según Segura & Rodríguez (1985) tienen que ser considerados los siguientes factores:

- Presión de diseño.
- Tipo de unión.
- Diámetro y pérdida por fricción.
- Peso y grado de dificultad de la instalación.
- Accesibilidad al sitio.

- Terreno y tipo de suelo.
- Mantenimiento y vida esperada de la instalación.
- Condiciones climáticas.
- Disponibilidad.
- Costo relativo.

Los materiales frecuentemente utilizados en las tuberías de presión son:

- Acero comercial.
- Policloruro de vinilo (PVC).
- Polietileno de alta densidad.
- Hierro dúctil centrifugado.
- Asbesto-cemento.
- Resina poliéster con fibra de vidrio reforzado.

A continuación, nos referiremos brevemente a estos materiales.

a) Acero comercial

El acero comercial ha sido uno de los materiales para tuberías de presión. Estas tuberías pueden ser fabricadas con maquinaria común en la mayoría de talleres de regular tamaño que trabajen con acero. Se fabrican con planchas de acero roladas y soldadas. Sus diámetros y espesores son variados. Tienen un factor de pérdida por fricción regular y si están protegidas por una capa de pintura u otra capa de protección pueden durar hasta 20 años. Además, en resistencia a impactos son relativamente pesadas, pero en caso de ser necesario pueden ser fabricados en longitudes adecuadas para su transporte e instalación. Se unen mediante bridas, soldadura o juntas metálicas. Las tuberías de presión de acero que son enterradas corren el riesgo de corroerse (Segura & Rodríguez, 1985).

b) Policloruro de vinilo (PVC)

La tubería de PVC es una de las más empleadas en las microcentrales hidráulicas. Es relativamente económica, se produce en diámetros que van hasta cerca de 400 mm, y es adecuada para presiones elevadas (100 a 150m). Al variar el espesor de la pared de la tubería se obtienen diferentes niveles de presión. Es liviana y fácil de transportar e instalar. Tiene un factor de pérdidas por fricción bajo y resistente a la corrosión.

No obstante, es relativamente frágil y puede ser dañada por golpes o impactos de rocas, especialmente a bajas temperatura. La principal desventaja es que el PVC se detiora cuando se expone a la luz ultravioleta, la cual raja la superficie afectando seriamente la resistencia de la tubería. Por ello, siempre debe estar protegida de la luz solar directa ya sea enterrándola, cubriéndola con vegetación, envolviendo o pintándola. Las tuberías de PVC tienen uniones tipo espiga y campana, las cuales unen mediante pegamento o también con un anillo flexible de sellado (Segura & Rodríguez, 1985).

c) Hierro dúctil centrifugado

El hierro dúctil ha reemplazado en gran medida al hierro fundido, aunque este último todavía se utiliza en sistemas antiguos. En ocasiones, las tuberías de hierro dúctil están revestidas en su interior con cemento, lo que los dota de protección contra la corrosión y de una baja pérdida por fricción. Es un material pesado, de allí que sea difícil de instalar además costoso. Estas tuberías por lo general unidas mecánicamente (casquillo empernado), con espiga campana y un sello flexible o bien puede ser embridadas (Segura & Rodríguez, 1985).

d) Asbesto-cemento

Las tuberías hechas de cemento reforzado con fibra de asbesto son frágiles y adecuadas para trabajar a una presión moderada. Su transporte e instalación requiere cuidado. Son más pesadas que las de PVC y tienen una apreciable pérdida por fricción. El

polvo producido al cortar estas tuberías puede ser dañino para la salud; por tal razón quienes trabajan con ella tienen que usar ropa de protección adecuada además de máscaras (Segura & Rodríguez, 1985).

e) Resina de poliéster con fibra de vidrio reforzado

Las tuberías hechas con resina reforzada con fibra de vidrio insertada en forma de espiral son livianas y poseen bajo coeficiente de fricción. Son frágiles y hay que instalarlas con bastante cuidado.

Pueden ser utilizadas con presiones elevadas a condición de que estén bajo tierra y se rellene el espacio donde se colocan con material fino seleccionado. Se unen con una espiga campana y un sello flexible. Dependiendo de su disponibilidad y costo relativo, estas tuberías pueden ser una buena alternativa, pero aún no tienen mayor aceptación (Segura & Rodríguez, 1985).

f) Polietileno de alta densidad

Las tuberías fabricadas con este material son una buena alternativa frente a las de PVC. Son particularmente útiles para pequeños debido a su fácil instalación. Tienen un coeficiente de pérdidas de fricción bajo, son resistentes a la corrosión y no se deterioran cuando están expuestas a la luz solar. Estas tuberías con frecuencia se unen calentando los extremos y fusionándolos a presión utilizando un equipo especial, lo cual es una desventaja (Segura & Rodríguez, 1985).

2.2.10.5.3. TIPOS DE UNIONES

Las tuberías, por lo general, vienen en longitudes estándar y deben ser unidas in situ. Hay muchas maneras de hacerlo. Al escoger el mejor método de unión para un sistema determinado, hay que considerar los siguientes aspectos (Segura & Rodríguez, 1985).

1. Adecuación al material de tubería seleccionado.
2. Grado de destreza del personal que instala las tuberías.
3. Grado de flexibilidad requerido en las uniones.
4. Costos relativos.
5. Grado de dificultad de la instalación.

Cuadro 13: Comparación de los diferentes materiales para tuberías de presión.

Materia	pérdida por fricción	peso	corrosión	costo	presión de trabajo
Hierro dúctil	4	3	2	1	5
Asbesto cemento	3	3	4	4	4
PVC	5	5	4	4	4
Acero comercial	3	3	3	2	5
Polietileno	5	5	5	3	4

Fuente: (Segura & Rodríguez, 1985).

Rango: malo = 1
Bueno = 5

Cuadro 14: Propiedades físicas de materiales para tuberías.

Material	Módulo de Young (GN/m^2)	Coef. Exp. Lineal ($m/m\ ^\circ C$)	Esfuerzo de rotura (MN/m^2)	Densidad (KN/m^3)
Acero de bajo %C	207	$12 * 10^{-6}$	350	78.6
PVC	2.75	$54 * 10^{-6}$	28	14
Polietileno	0.19-0.78	$140 * 10^{-6}$	5.9-8.8	9.4
Hierro dúctil	170	$11 * 10^{-6}$	310-520	70

Fuente: (Segura & Rodríguez, 1985).

Los tipos de uniones de tuberías pueden clasificarse en 4 categorías:

1. Embridadada.
2. Espiga y campana.
3. Mecánica.

4. Soldada.

a) Uniones con bridas (embridada)

Al fabricar las tuberías individuales se colocan bridas en sus extremos y después cada una de las bridas es empernada a la otra durante la instalación. Se necesita poner una empaquetadura de caucho entre cada par de bridas. Las tuberías unidas con bridas son fáciles de instalar, pero estas pueden aumentar el costo de la tubería. Las uniones embridadas con frecuencia se utilizan en tuberías de acero pero también ocasionalmente de hierro dúctil. Las bridas deben fabricarse de acuerdo a las normas establecidas (Segura & Rodríguez, 1985).

b) Espiga y campana

Las uniones de espiga y campana vienen preparadas de fábrica, de manera que el diámetro interno de la campana es igual al diámetro externo de la tubería. El extremo de cada tubería puede así ser empujado en la campana de la siguiente. Se necesita sellar cada sección de tubería, lo que se logra empleando un buen sello de caucho o un pegamento especial (Segura & Rodríguez, 1985).

Las uniones con sello de caucho son de 2 tipos: sellos de anillo "O" y sellos de labio V simples o múltiples. Estas uniones permiten generalmente unos pocos grados de deflexión.

c) Uniones mecánicas

Las uniones mecánicas rara vez son usadas en las tuberías de presión debido a su costo. Su principal aplicación es para unir tuberías de diferente material (por ej. Acero y PVC), o cuando se necesita una ligera deflexión en una tubería que no garantiza la colocación de un codo. Algunos tipos de unión mecánica no pueden tolerar fuerzas en la

dirección de la tubería y tienen que ser fijados con bloques de anclajes (Segura & Rodríguez, 1985).

d) Uniones soldadas

Se emplea uniones soldadas en tuberías de acero y apelando a técnicas especiales en el caso de las de polietileno. Se trata de un método relativamente barato, pero tiene la desventaja de que requiere de personal especializado, sin contar con los problemas que presenta el llevar un soldador de arco y una fuente de energía (que puede ser un generador) a un terreno remoto y de difícil acceso. Es imprescindible contar con una persona competente para realizar la soldadura a fin de asegurar una buena unión. Con este tipo de unión se pueden aceptar pequeñas desalineaciones (Segura & Rodríguez, 1985).

2.2.10.5.4. JUNTAS DE EXPANSIÓN

Según Segura & Rodríguez, (1985) en las tuberías de presión de acero tiene que haber juntas de expansión o dilatación, generalmente existe una inmediatamente debajo de la cámara de la cámara de carga o del anclaje superior, La dilatación de la tubería debe ser calculado como sigue:

$$E = \alpha * \Delta T * L \dots\dots\dots (Ec. 47)$$

Donde:

E Dilatación en metros.

α Coeficiente de dilatación (m/m °C).

ΔT Cambio de temperatura experimentada por la tubería (°C).

L Longitud de la tubería (m).

2.2.10.5.5. VALVULAS PARA TUBERIAS DE PRESIÓN

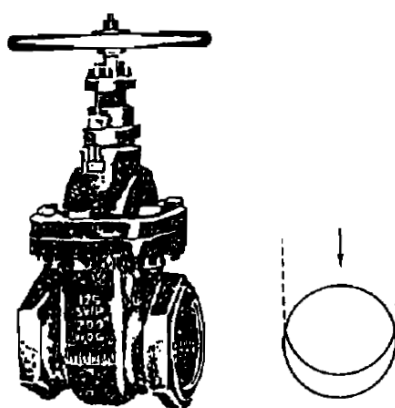
Según Segura & Rodríguez, (1985). Las válvulas controlan el paso del agua en la tubería de presión y las hay de diferentes tipos, para el caso de las microcentrales hidráulicas nos limitaremos tan solo a las válvulas de compuerta y de mariposa.

a) Válvula de compuerta

Una válvula de compuerta consiste básicamente de un disco metálico que sube y baja a voluntad y está ubicado en el cuerpo de la válvula a presiones elevadas o con válvulas de gran diámetro se precisa de una fuerza importante para operarlas y vencer las fuerzas de fricción en la válvula por esta razón, cuando se coloca también una pequeña válvula de by pass para conectar el lado de alta presión con el de baja presión.

Si el lado de baja presión no está abierto a la atmosfera, habrá un aumento de presión que eventualmente evaluará igualará a la presión a ambos lados de la válvula, facilitando su apertura (figura 17).

Figura 14: Válvula de compuerta.



Fuente: (Segura & Rodríguez, 1985).

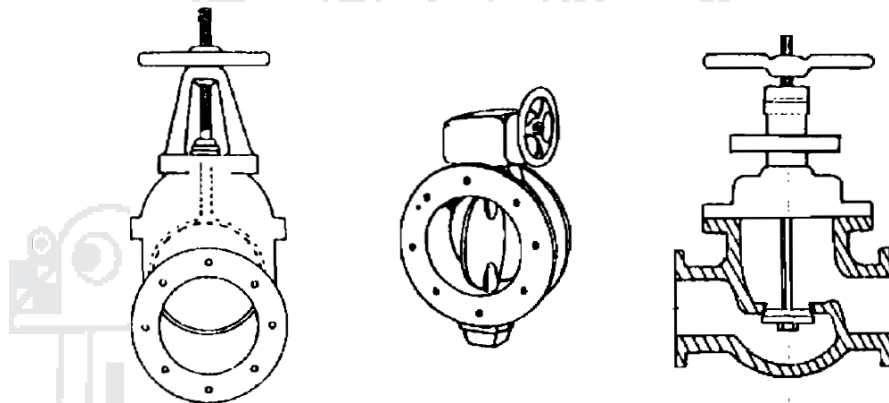
b) Válvula de mariposa

Básicamente se trata de una extensión de la tubería dentro de la cual se coloca un disco en forma de lente montado en un eje central, para operar este tipo de válvulas se

requiere de poca fuerza ya que la presión de contracorriente en cada mitad del disco está prácticamente balanceada.

Debido a su diseño, una válvula de mariposa puede ser cerrada con facilidad, es importante que sea cerrada lentamente, a fin de originar un golpe de ariete en la tubería.

Figura 15: Válvulas de mariposa con diferentes mecanismos de apertura y cierre.



Fuente: (Segura & Rodríguez, 1985).

2.2.10.5.6. CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS Y DIÁMETRO ÓPTIMO

El diámetro de la tubería de presión según Fahlbusch se calcula de la siguiente manera:

$$D = \left(\frac{5.2 * Q_d^3}{H_B} \right)^{1/7} \dots\dots\dots (Ec. 48)$$

Donde:

Q_d Es el caudal de diseño.

H_B Es la altura Bruta.

Esta expresión fue elaborada por Fahlbusch en 1982 en función al capital invertido y la pérdida de energía. Esta fórmula tiene un margen de error de +/- 10%.

La velocidad del fluido que pasa por la tubería de presión es igual a:

$$V_T = \frac{4 \cdot Qd}{\pi \cdot D^2} \dots\dots\dots (Ec. 49)$$

Las pérdidas en la tubería constituyen la suma de todas las pérdidas por fricción:

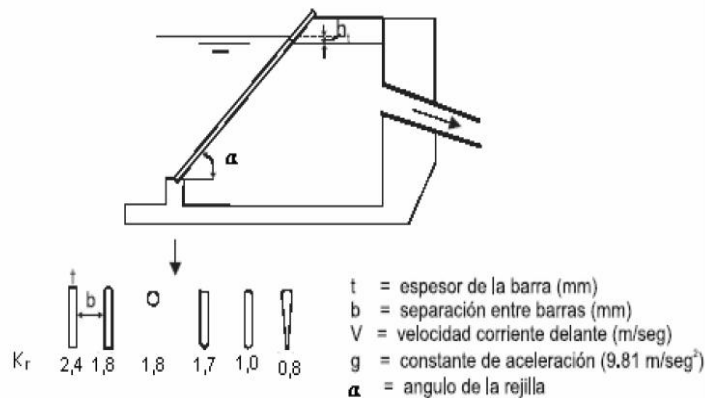
$$h_t = h_r + h_E + h_k + h_f + h_v + h_{ram} + h_{estr}$$

Las pérdidas por fricción en la tubería de presión son las más importantes de todas aproximadamente 90% debido a la longitud de tubería, y pueden ser 10% de la caída bruta.

Estas pérdidas se determinan de la siguiente forma:

PÉRDIDAS EN LA REJILLA h_r

Figura 16: Pérdidas en la rejilla por fricción.



Fuente: (Association, 1998).

Utilizando la fórmula de Kirchner:

$$h_r = K_r * \left(\frac{t}{s}\right)^{\frac{4}{3}} \frac{v^2}{2g} * sen\alpha \dots\dots\dots (Ec. 50)$$

Donde:

K_r = Coeficiente de pérdidas según figura.

t = Espesor de la barra (m).

s = Separación entre barras (m).

α = Angulo de inclinación de la rejilla.

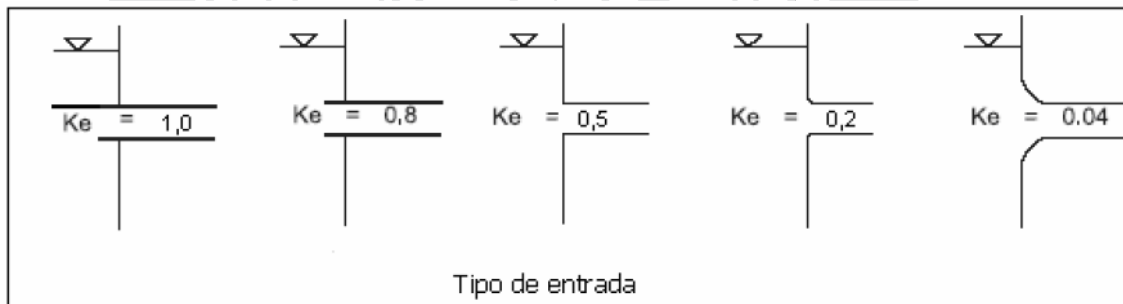
v = velocidad antes de la rejilla (m/s).

PÉRDIDAS DE ENTRADA h_E

$$h_E = K_e * \frac{V^2}{2 * g} \dots\dots\dots (Ec. 51)$$

Donde k_e es el coeficiente de pérdidas que depende de la forma de entrada al tubo como se muestra en la figura y V es la velocidad de agua en la tubería en m/s.

Figura 17: Coeficiente de pérdidas en la entrada de la tubería.

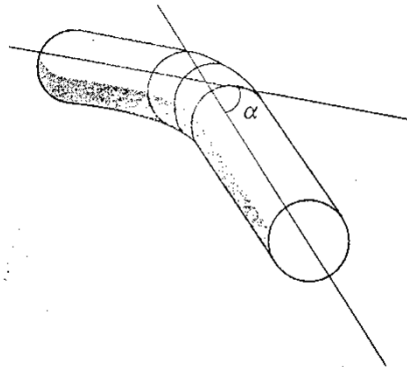


Fuente: (Association, 1998).

PERDIDAS EN CODOS h_o

$$h_o = \sum \gamma \frac{v^2}{2g} \text{ Si } \gamma = 0.000067(\alpha)^{2.17} \dots\dots\dots (Ec. 52)$$

Figura 18: Ángulo en un codo.



Fuente: (Flores, 2001).

PÉRDIDAS POR FRICCIÓN EN EL TUBO h_f

Pérdida de fricción en la tubería por la ecuación de Darcy Weisbach.

$$h_f = f * \frac{L V^2}{D 2g} \dots\dots\dots (Ec. 53)$$

Donde:

f = Es el factor de fricción.

L = Es la longitud de tubo (m).

D = Es el diámetro de la tubería (m).

V = Es la velocidad dentro del tubo (m/s).

g = Es la constante Gravitacional (m/s²).

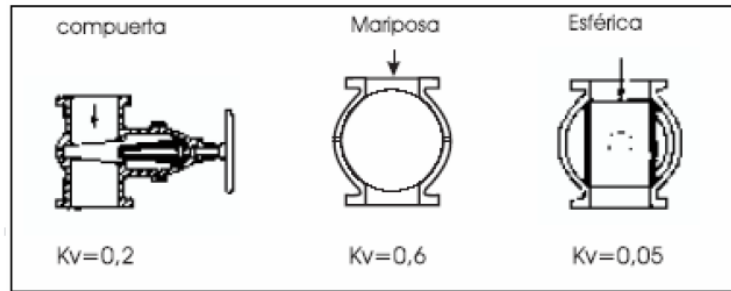
El factor de fricción equivale a:

$$f = 0.01 * \left(\frac{K}{D}\right)^{0.134} \dots\dots\dots (Ec. 54)$$

PÉRDIDAS EN LA VALVULA h_v

$$h_v = K_v \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots (Ec. 55)$$

Figura 19: Coeficiente de pérdidas en las válvulas.



Fuente: (Association, 1998).

Para calcular la perdida porcentual de caída debida a la fricción se utiliza la siguiente relación:

$$perdidas \% = \frac{h_p * 100}{h_B} \dots\dots\dots (Ec. 56)$$

Si ésta no está entre 4 y 10 %, seleccionar un diámetro de tubería más adecuado y repetir.

2.2.10.5.7. CALCULO DEL ESPESOR DE LA TUBERIAS DE PRESIÓN

Al calcular el espesor requerido de pared es necesario para tener en cuenta 2 cosas:

- a) Las presiones más altas que se esperan que resista la tubería.
- b) Los efectos corrosivos que tienden a adelgazar sus paredes con el transcurso del tiempo, la rigidez para darle resistencia, las limitaciones de la soldadura allí donde sean relevantes y los cambios de espesor u ondulación ocurridos durante su fabricación.

En cuanto al punto a, las presiones altas se dan por corto tiempo en determinadas situaciones, como por ejemplo al cerrar la válvula. Como son temporales, se conocen con

el nombre de presiones transitorias. Tal como se explicó antes, las presiones pueden ser expresadas como altura del agua.

La presión transitoria se sumará a la presión normal de funcionamiento (altura bruta).

$$H_t = h_B + \Delta h_{trans} \dots\dots\dots (Ec. 57)$$

El método recomendado para calcular h se da como parte del cálculo completo del espesor de la pared de la tubería. En vista de que el método está simplificado, no es lo suficientemente exacto en todos los casos de diseños de tuberías.

SECUENCIA DE CÁLCULO

1. Establecer la velocidad del flujo en la tubería y hacer una tabla con diferentes posibilidades de tubería de presión. Incluir en la tabla el valor del espesor de pared para cada opción.
2. La presión transitoria puede expresarse como caída del agua (Δh).

$$\Delta h = \frac{a * \Delta v}{g} \dots\dots\dots (Ec. 58)$$

Donde: g es 9.8 m/s^2 ; v es la velocidad del agua; y a es la velocidad de propagación de la onda de presión que depende del material, del diámetro y del espesor de la pared de la tubería. Una aproximación simple se haría empleando los siguientes valores:

Tubería de acero blando $a = 900 \text{ m/s}$.

Tubería de hierro fundido $a = 1250 \text{ m/s}$.

Tubería PVC $a = 300 \text{ m/s}$.

En algunos casos el cálculo de la sobrepresión por golpe de ariete puede dar valores excesivamente altos. Si se piensa emplear una turbina pelton multichorros, no es probable que haya altas presiones transitorias. En ese caso sería recomendable aproximarla.

3. Calcular la caída total en la tubería cuando ocurren golpes de ariete:

$$h_t = \Delta h + h_B \dots\dots\dots (Ec. 59)$$

4. Elegir los factores de corrección pertinentes:

Factor por tipo de junta: soldadura $K_j = 1.1$

Plancha rolada y soldada $K_j = 1.2$

Factor por corrosión: $K_c = 1 \text{ mm}$ (Por 10 años de vida).

$K_c = 2 \text{ mm}$ (Por 20 años de vida).

Obsérvese que en una primera aproximación la tubería de PVC tiene un factor de multiplicación igual a 1.

5. Calcular en milímetros el espesor teórico de pared (T) considerando los factores de espesor y la presión total según la fórmula de ITDG soluciones prácticas.

$$e = \frac{5 * f_s * h_t * 10^6 * d * K_j}{S} + K_c \dots\dots\dots (Ec. 60)$$

Donde:

f_s = Factor de seguridad.

S = Representa el esfuerzo de rotura del material de la tubería en *newton/m²*. o pascales.

d = Diámetro de la tubería (m).

h_t = Altura de la sobrepresión por golpe de ariete más la altura bruta.

6. Seleccionar el espesor de pared más delgado disponible y que exceda el espesor de pared calculado e incluirlo en la tabla de distintas opciones de tubería de presión. Si ello no es posible, hacer un cálculo más completo de la velocidad de onda “a” basada en el diámetro, o seleccionar un diámetro de tubería que resultara en una “caída transitoria” y un espesor de pared menores.

7. Si se piensa emplear una tubería de PVC, comparar los resultados de este cálculo con el espesor de pared y la recomendación del nivel de presión hecha por el fabricante.
8. Repetir los pasos 2 al 6 para diferentes materiales de tuberías de presión.

2.2.10.5.8. APOYOS Y ANCLAJES PARA TUBERIAS DE PRESIÓN

Los pilares de soporte, los anclajes y los bloques de empuje cumplen la misma función básica: dar el peso necesario para contrarrestar las fuerzas de los fluidos que podrían hacer que la tubería se mueva y corra el peligro de romperse. El soporte de la tubería sostiene el peso de esta y del agua que contiene. Los anclajes sirven para mantener en tierra a la tubería, así como para fijarla y evitar los movimientos laterales. El bloque de empuje se usa en codos de tuberías enterradas a fin de transmitir las fuerzas a la tierra circundante (Soluciones Prácticas ITDG, 2010).

ESPACIAMIENTO DE SOPORTES

Hay que calcular el máximo de espaciamiento entre los soportes de una tubería a fin de que esta no se fracture o flexione excesivamente.

TUBERÍAS DE ACERO

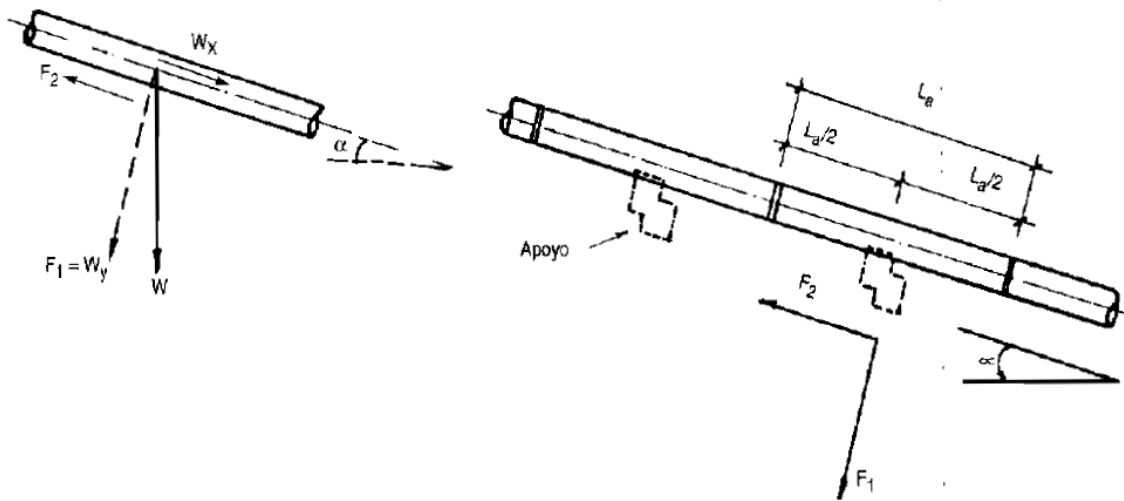
Lo importante en este caso es el sistema de unión. Para cualquier método de acoplamiento flexible se requiere de un soporte por pieza. Para bridas que siguen la norma ISO, las tuberías pueden ser consideradas como si fueran de una pieza.

TUBERIAS UNIDAS CON ESPIGA Y CAMPANA

Las tuberías de hierro fundido, hierro dúctil y concreto emplean por lo general uniones de espiga y campana. Estas pueden tener una flexión mínima, de allí que haya que usar un soporte por unidad.

CÁLCULO DE APOYOS

Figura 20: Fuerzas que intervienen en los apoyos.



Fuente: (Segura & Rodríguez, 1985).

a) Fuerzas que intervienen en los apoyos (figura 20).

W = (Peso del tubo más peso del agua) por unidad de longitud.

Esta a su vez tiene 2 componentes W_x y W_y .

W_x = Fuerza longitudinal, paralela al tubo.

W_y = Fuerza perpendicular al tubo.

F_2 = Fuerza de fricción entre tubo y apoyo, originada por W_y .

b) Fuerzas que intervienen para el cálculo

$F_1 = W_y =$ Componente del peso del tubo con agua por unidad de longitud perpendicular al tubo.

$F_2 =$ Fuerza de fricción entre apoyo y tubo.

La componente W_x no actúa para el apoyo sino para el cálculo del anclaje.

c) Valor de F_1 y F_2 .

$$F_1 = W * L_a * \cos\alpha \dots\dots\dots (\text{Ec. 61})$$

Pero: $W = W_t + W_a$

Reemplazando en F_1 :

$$F_1 = (W_t + W_a) * L_a * \cos\alpha \dots\dots\dots (\text{Ec. 62})$$

$$F_2 = \mu * F_1 \dots\dots\dots (\text{Ec. 63})$$

Donde:

W_t = Peso del tubo por unidad de longitud (N/m) o (Kg*f/m).

W_a = Peso del agua en el tubo por unidad de longitud (N/m) o (Kg*f/m).

μ = Coeficiente de fricción entre tubo y concreto (acero y concreto) ($\mu = 0.5$ o 0.6).

L_a = Distancia entre los apoyos o entre los puntos medios de 2 tramos consecutivos.

α = Angulo de inclinación de la tubería.

Operando en las formulas, haciendo intervenir el concepto de peso, en función del peso específico, volumen y características geométricas del tubo y agua, tenemos:

$$W_t = \gamma_t * V_t \dots\dots\dots (\text{Ec. 64})$$

$$W_t = \gamma_t * \frac{\pi}{4} (D_e^2 - D^2) \dots\dots\dots (\text{Ec. 65}) \quad (kg/m)$$

$$W_a = \gamma_a * \frac{\pi}{4} * D^2 \dots\dots\dots (\text{Ec. 66}) \quad (kg/m)$$

Donde:

γ_t = Peso específico del material de la tubería, (N/m³ o Kg-f/m³).

D_e = Diámetro exterior del tubo en m.

D = Diámetro interior del tubo en m.

L_a = Longitud entre apoyos en m.

Esta longitud no debe causar deflexiones excesivas, ni esfuerzos de flexión mayores a los admisibles en la tubería.

Generalmente, se aconseja que:

$$L_a \leq 8 m.$$

La flecha máxima Δ se calcula mediante:

$$\Delta = 5/384 * W * L_a^4 / (E * I) \dots\dots\dots (Ec. 67)$$

Y el momento flector máximo es (como viga simplemente apoyada).

$$M = W * L_a^2 / 8 \dots\dots\dots (Ec. 68)$$

Donde:

$$W = W_t + W_a .$$

E = Módulo de elasticidad del material de la tubería.

I = Momento de inercia de la sección.

d) Cálculo de las fuerzas.

Se presentan 2 casos:

1. Cuando la tubería se está dilatando.
2. Cuando la tubería se está contrayendo.

Para el primer caso:

La figura 21 muestra las fuerzas y observamos que F_2 es hacia arriba.

$$W = \text{peso del apoyo: } W = V * \gamma_c \dots\dots\dots (Ec. 69)$$

Donde:

V = Volumen de concreto de apoyo.

γ_c = Peso específica del concreto = 2300 kg/m^3 .

R_x = Reacción horizontal del suelo contra el apoyo.

R_y = Reacción vertical del suelo contra el apoyo.

X = Distancia R_x al punto 0.

Para asegurar la estabilidad del apoyo se debe cumplir tres condiciones:

- $\sum F_x < u_t * \sum F_y$ (Ec. 70)

Donde:

u_t = Coeficiente de fricción entre el apoyo de concreto y terreno.

$\sum F_x$ = Sumatoria de fuerza en X.

$\sum F_y$ = Sumatoria de fuerza en Y.

- $S_{base} < S_{adm.}$ del terreno.

S_{base} = Esfuerzo de compresión sobre el terreno.

$S_{adm.}$ = Esfuerzo de compresión admisible sobre el terreno.

$$S_{base} = R_y/A * (1 \pm 6 * e/b) \text{ (Ec. 71)}$$

El doble signo significa que habrá $S_{m\acute{a}x}$, $S_{m\acute{i}n}$.

R_y = Reacción vertical del suelo contra el apoyo.

b = Largo de la base del apoyo.

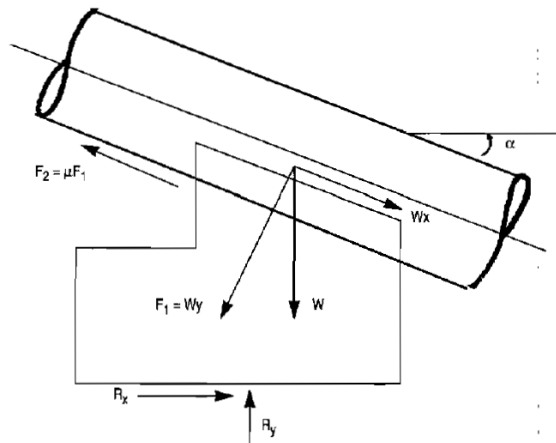
$A =$ Área de la base del proyecto.

$e =$ Excentricidad de la reacción vertical.

$$e = x - b/2.$$

3. El S_{base} mínimo debe ser positivo; en caso contrario significara que se produce el volteo del apoyo.

Figura 21: Fuerzas cuando la tubería se dilata.

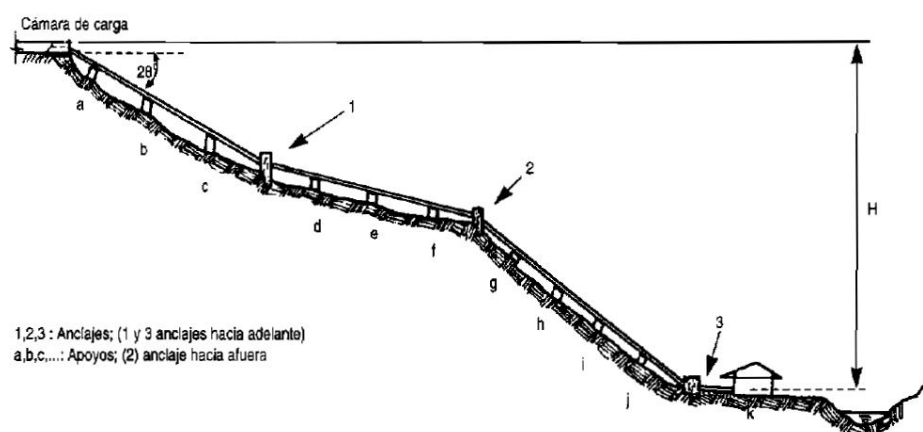


Fuente: (Segura & Rodríguez, 1985).

2.2.10.5.9. CÁLCULO DE ANCLAJES

Los anclajes son bloques de concreto que envuelven la tubería de presión con el propósito de fijarla al terreno. Por lo tanto, deben resistir cualquier fuerza que la tubería ejerza sobre ellos.

Generalmente, estos se ubican en aquellos lugares donde hay cambios de dirección o de pendiente, o donde existen cambios de sección (figura 22).

Figura 22: Tubería de presión.

Fuente: (Segura & Rodríguez, 1985).

Al diseñar los anclajes, es necesario tener en cuenta los cambios de pendiente. Dependiendo de la idea de pendiente que se trate, hay dos tipos de anclajes hacia afuera y hacia adentro.

Los anclajes hacia adentro incluyen favorablemente en su estabilidad, ya que los esfuerzos debidos a la desviación del movimiento del agua actúan contra el terreno. En cambio, en los anclajes hacia afuera, estos esfuerzos actúan en el otro sentido: en dirección al aire o espacio.

Para estos últimos, es importante conocer bien la magnitud de los ángulos y el tipo de suelo donde se ubican. En ocasiones habrá que acoplar a la tubería otros elementos de fijación (armaduras, anillos, etc.) que garanticen que el concreto no se desprenda por encima del tubo.

Para ambos casos, las fuerzas que actúan sobre los anclajes son:

a) Componentes del peso de la tubería con agua perpendicular a ella (F_1)

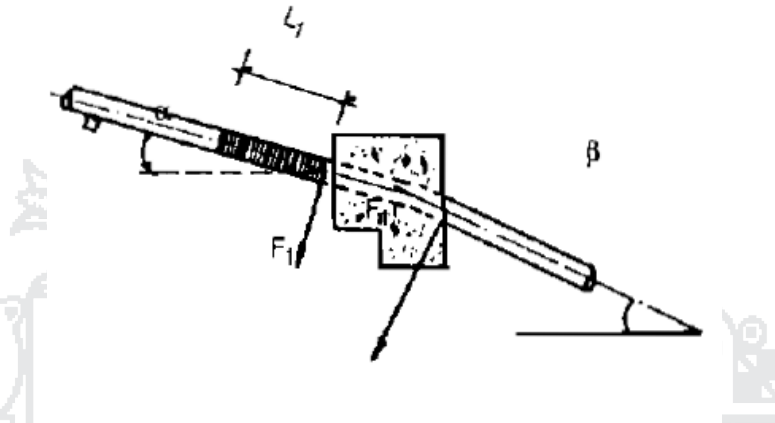
Esta fuerza es similar a la fuerza F_1 considerada para los apoyos.

Para el cálculo del anclaje, deben considerarse los dos tramos de tubería: el que está aguas arriba y el que está aguas abajo del anclaje (Fig. 21).

$$F1 = (W_t + W_a) * L_1 * \text{Cosa} \dots\dots\dots (\text{Ec. 72})$$

(para aguas arriba) L_1

Figura 23: Cálculo de la fuerza F1.



Fuente: (Segura & Rodríguez, 1985)

Donde:

L_1 = Distancia del anclaje al punto medio del tramo.

α = Ángulo de inclinación del tramo de tubería analizado aguas arriba de anclaje.

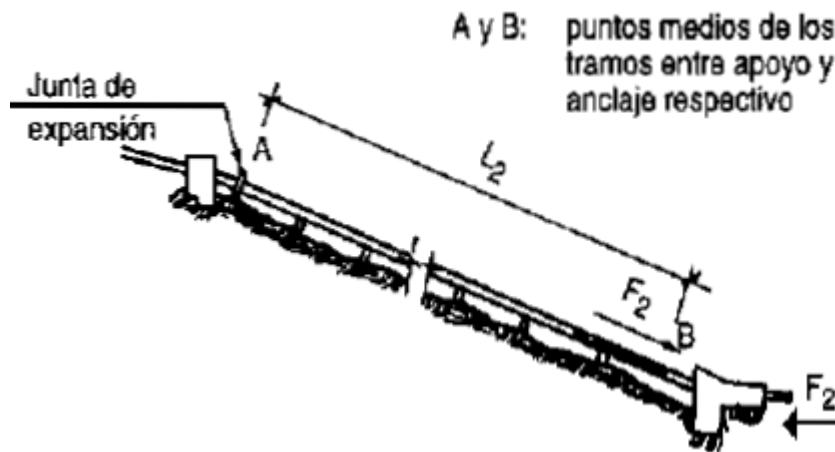
β = Idem, en el caso del tramo de tubería aguas abajo del anclaje.

b) Fuerza de fricción entre la tubería de apoyos (F2)

Esta fuerza existe solo en el caso de que existan uno o más apoyos entre el anclaje y la junta de dilatación (Fig. 21).

$$F_2 = \mu * (W_t + W_a) * L_2 * \text{Cosa} \dots\dots\dots (\text{Ec. 73})$$

Figura 24: Cálculo de la fuerza F_2 .



Fuente: (Segura & Rodríguez, 1985).

Donde:

L_2 = Longitud de la tubería sujeta a movimiento.

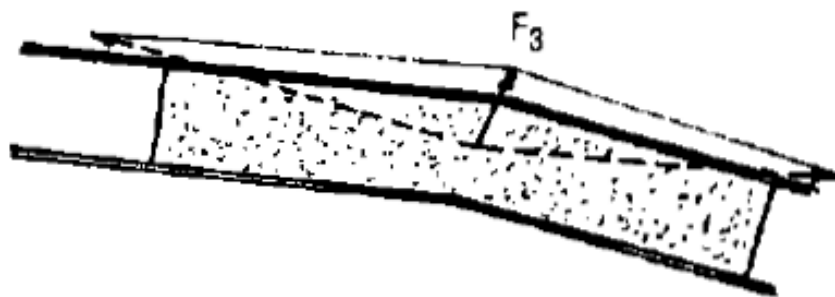
α = Ángulo de inclinación de la tubería aguas arriba del anclaje.

Usar β para aguas abajo del anclaje.

c) **Fuerza en los cambios de dirección debido a la presión hidrostática F_3** (Fig. 28).

$$F_3 = 1.6 * 10^3 * H * D^2 * \text{Sen} \frac{(\beta - \alpha)}{2} \dots\dots\dots (\text{Ec. 74})$$

Figura 25: Calculo de la fuerza F_3 .



Fuente: (Segura & Rodríguez, 1985).

Donde:

H = Presión estática en la tubería a la altura del anclaje en m.

D = Diámetro interno de la tubería en m.

α = Ángulo de inclinación de la tubería con respecto a la horizontal en el tramo aguas arriba de anclaje.

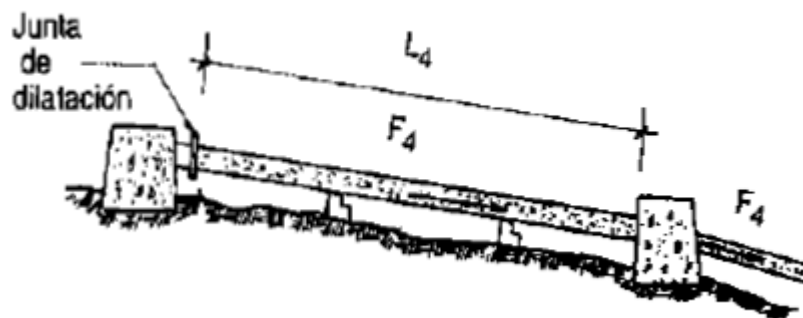
β = Ángulo de inclinación de la tubería con respecto a la horizontal aguas abajo del anclaje.

d) Componentes del peso de la tubería paralela a ella (F_4)

El tramo de tubería de aguas arriba del anclaje tratará de empujar a este, mientras que tramo aguas abajo del anclaje tratará de jalarlo en la dirección de la pendiente (Fig. 27).

$$F_4 = W_t * L_4 * Sen\alpha \quad \dots\dots\dots (Ec. 75)$$

Figura 26: Cálculo de la fuerza F_4 .



Fuente: (Segura & Rodríguez, 1985).

Donde:

L_4 = La longitud de tubería a considerar en cada tramo. Generalmente, es el tramo entre la junta de dilatación y el anclaje.

α = Ángulo de inclinación de la tubería (usar β cuando se está analizando el tramo aguas abajo del anclaje).

e) Fuerza debida a cambios de temperatura en la tubería (F_5)

Esta fuerza se origina cuando la tubería no tiene juntas de dilatación y cuando esta se encuentra en la superficie (Fig. 28).

$$F_5 = 31 * D * t * E * a * \Delta T \dots\dots\dots (Ec. 76)$$

Figura 27: Cálculo de la fuerza F_5 .



Fuente: (Segura & Rodríguez, 1985).

Donde:

D = Diámetro del tubo en m.

t = espesor de la pared del tubo en mm.

a = Coeficiente de dilatación lineal de la tubería ($^{\circ}C^{-1}$).

ΔT = Máxima variación de la temperatura ($^{\circ}C$).

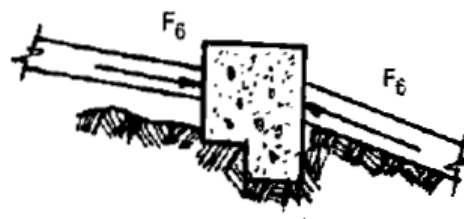
E = Módulo de elasticidad de Young ($Kg-f/cm^2$).

f) Fuerza de fricción en la junta de dilatación (F_6)

Esta fuerza se origina entre la empaquetadura y las partes de la junta de dilatación, cuando se contrae o se dilata la tubería (Fig. 28).

$$F_6 = 3.1 * D * C \dots\dots\dots (Ec. 77)$$

Figura 28: Cálculo de la fuerza F_6 .



Fuente: (Segura & Rodríguez, 1985).

Donde:

D = Diámetro interior de la tubería en m.

C = Fricción en la junta de expansión por unidad de longitud de circunferencia en Kg-f/m

(un valor aproximado es $F_6 = 10 * D$ en Kg-f, en este caso D en mm).

g) Fuerza debido a la presión hidrostática dentro de las juntas de expansión (F_7)

Esta fuerza es debido a la presión hidrostática que trata de separar en dos la junta de dilatación (Fig. 32).

$$F_7 = 3.1 * H * D * t \dots\dots\dots (Ec. 78)$$

Figura 29: Cálculo de la fuerza F_7 .



Fuente: (Segura & Rodríguez, 1985).

Donde:

H = presión estática en la tubería a la altura del anclaje en m.

D = Diámetro interior de la tubería.

t = Espesor de la pared de la tubería en mm.

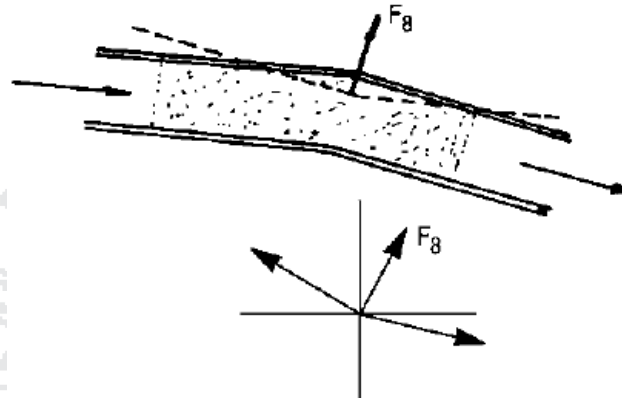
h) Fuerza debida al cambio de dirección de la cantidad de movimiento (F_8)

En los codos o cambios dependiente, la velocidad del agua cambia de dirección. Ello ocasiona una fuerza resultante sobre el codo, la cual tiene la misma dirección y sentido que F_3 (Fig. 33).

Generalmente la magnitud de esta fuerza es mínima, por lo que no se toma en cuenta.

$$F_8 = 250 * \left(\frac{Q}{D}\right)^2 * \text{Sen} \frac{(\beta - \alpha)}{2} \dots\dots\dots (\text{Ec. 79})$$

Figura 30: Cálculo de la fuerza F_8 .



Fuente: (Segura & Rodríguez, 1985).

Donde:

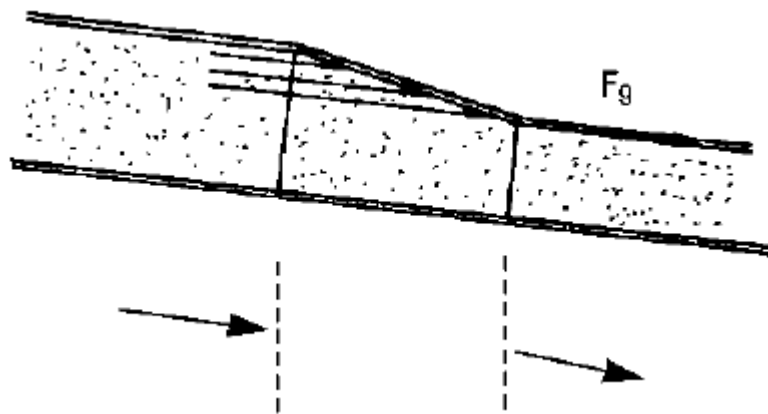
Q = Caudal en m^3/s .

i) Fuerza debida al cambio del diámetro en la tubería cuando hay reducción (F_9)

Esta fuerza actúa en el sentido de reducción, es decir, hacia la tubería de menor diámetro. (Fig. 34).

$$F_9 = 1 * 10^3 * H * \Delta A \dots\dots\dots (\text{Ec. 80})$$

Figura 31: Cálculo de la fuerza F_9 .



Fuente: (Segura & Rodríguez, 1985).

Donde:

H = Presión estática en la tubería a la altura de la reducción en m.

ΔA = Cambio de las áreas de las tuberías en m^2 .

Las figuras que se han mostrado anteriormente, indican la dirección de las fuerzas para el caso en que la tubería se esté dilatando.

Si la tubería se estuviera contrayendo, las fuerzas F_2 , F_5 y F_6 tienen sentido contrario.

Una vez calculada la magnitud de las fuerzas, se procede al cálculo de la estabilidad del anclaje siguiendo el mismo procedimiento que para el cálculo de los apoyos, es decir considerando los dos casos: dilatación y contracción de la tubería.

2.2.10.6. CASA DE MÁQUINAS

2.2.10.6.1. UBICACIÓN DE CASA DE MÁQUINAS

La ubicación de la casa de máquinas se corroboró después de la visita a la zona del estudio. Para lo cual se consideró los siguientes criterios para el diseño.

Principales criterios a considerarse en el diseño de la casa de máquinas:

Según Barreno (1985) los principales criterios a considerarse en el diseño de la casa de máquinas es la siguiente:

- Dimensiones de los equipos mecánicos.
- Zona en la que se construirá la PCH; se tendrá que pensar que las características del lugar tales como el clima, para proyectar la casa de máquinas de acuerdo a estas condiciones.
- Materiales de construcción disponibles en el lugar.
- Facilidades de acceso.

- Simplicidad de la construcción, mínimo uso de estructuras de acero o concreto armado.
- Ubicación de la casa de máquinas en relación al río, investigando la elevación de la creciente máxima y el comportamiento del río en relación a su cauce, pues el río puede cambiar su cauce erosionando sus orillas.
- Para la fundación de la casa de máquinas hay que considerar entre otros factores el esfuerzo admisible del suelo y los materiales existentes en la zona.
- La fundación de los equipos tendrá que complementar su diseño de acuerdo a datos de los fabricantes y cuando estos proporcionen sus esquemas. En ocasiones el diseño final deberá hacerse durante la construcción y después de recibir un esquema definitivo de las maquinas que están suministrando, ya que se necesita a un anclaje sólido para evitar vibraciones o rupturas durante la operación.
- Los planos de construcción deberán contener todos los detalles posibles, para que un albañil o maestro de obra pueda fácilmente interpretarlos.
- Prever vivienda para el operador.
- Considerar la necesidad de colocar un sistema de izaje para el montaje y mantenimiento de los equipos.

2.2.10.6.2. TURBINAS HIDRÁULICAS

Una turbina hidráulica es una máquina que transforma la energía de un fluido (energía cinética y potencial), normalmente agua, en energía mecánica de rotación. La energía del agua puede ser por la caída en un salto de agua o por la propia corriente de agua (Gutierrez & Mastache, 2014).

Esquema: Transformación de la turbina hidráulica.

Fuente: Elaboración propia.

CLASIFICACIÓN DE LAS TURBINAS HIDRAULICAS

Una turbo máquina consta fundamentalmente de una rueda con álabes, rodete, que gira libremente alrededor de un eje cuando pasa un fluido por su interior, la forma de los álabes obliga al flujo a variar su cantidad de movimiento lo que provoca una fuerza, esta fuerza al desplazarse el álabe provoca un trabajo. (Mataix, 1982).

CLASIFICACIÓN SEGÚN EL GRADO DE REACCIÓN

Según el grado de reacción se clasifican en dos grupos, en la turbina de acción y turbina de reacción.

TURBINAS DE ACCIÓN.

Se llaman así cuando la transformación de la energía potencial en energía cinética se produce en los órganos fijos anteriores al rodete (inyectores o toberas), en consecuencia, el rodete solo recibe energía cinética. La presión a la entrada y salida de las cucharas (o alabes) es la misma e igual a la atmosférica.

El sentido de la proyección del chorro de agua y el sentido de giro del rodete coincide, en el punto de empuje o choque de aguas sobre los álabes. En el rodete, la velocidad de salida del agua es prácticamente igual a la de entrada, por lo que, al no ser apreciables las pérdidas de carga, la potencia transmitida a éste es función exclusivamente de la energía potencial o lo que es lo mismo del salto existente, por consiguiente, se

deduce que la energía cinética, originada por el desplazamiento del agua, es cedida íntegramente al rodete. (Gutierrez & Mastache, 2014).

A esta clase de turbinas pertenecen las turbinas Pelton, Turgo, y Michell – Banki.

TURBINAS DE REACCIÓN.

En estas turbinas, la energía potencial se transforma en energía cinética, al pasar el fluido a través de una rueda de álabes directrices situada antes del rodete.

El agua, en su recorrido entre los álabes del rodete cambia de dirección, velocidad y presión. Todo ello, provoca una reacción en el rodete, dando origen a la potencia producida en la turbina cuyo valor paradójicamente está en función de la carga perdida por el líquido en su desplazamiento.

Tratándose de turbinas grandes, las turbinas de reacción tienen mayor rendimiento que las turbinas de acción, pero cuando se tiene turbinas pequeñas, las turbinas de acción tienen mayor rendimiento que las turbinas de reacción. Si se tiene una misma potencia e igual altura de salto, la turbina de reacción gira a mayor velocidad específica que una de acción, proporcionando mayor rendimiento la turbina de reacción (Gutierrez & Mastache, 2014).

Como ejemplos de turbinas de reacción, están las Francis y Kaplan.

POR LA DIRECCIÓN DEL AGUA DENTRO DE LA TURBINA RESPECTO AL EJE DE ROTACIÓN, O DIRECCIÓN DE ENTRADA DEL AGUA

TURBINAS RADIALES.

Las turbinas hidráulicas radiales requieren algún mecanismo como pueden ser toberas o paletas de guía para impartir al líquido magnitud y ángulo correcto a la entrada.

Corresponden a esta clasificación, las turbinas que reciben de forma radial, respecto al

eje, la proyección de los chorros de agua que inciden sobre los álabes del rodete. Conviene hacer la observación de que tal proyección, puede ser centrípeta o centrífuga, según que los chorros de agua se acerquen o se alejen del eje de la turbina. A esta clasificación pertenecen determinados tipos de turbinas Francis de velocidad específica muy lenta, o instaladas con el eje en posición horizontal. Siempre que se trata de turbinas Francis, la proyección es centrípeta (Gutierrez & Mastache, 2014).

TURBINAS AXIALES.

Las turbinas axiales tienen mayor eficiencia, pueden estar provistas de caracol o paletas de guía a la entrada. Las paletas de guía sirven para ajustar el ángulo de la velocidad de entrada a los caudales. Las turbinas axiales más utilizadas son las de tipo Francis (axial - mixta) y Kaplan (axial) en orden de la velocidad específica, se incluyen en esta clasificación, las turbinas en las que la dirección de la proyección de los chorros de agua, sobre los álabes del rodete es paralela al eje de rotación. Tal es el caso de las turbinas de hélice y Kaplan (Gutierrez & Mastache, 2014).

TURBINAS RADIALES – AXIALES.

En estas turbinas el fluido recorre trayectorias sobre el receptor que pasan gradualmente de la dirección radial a la dirección axial, las trayectorias son líneas de doble curvatura, de esta manera las turbinas en las que la incidencia de las masas de agua, hacia el rodete se inicia en dirección radial cambiando posteriormente a una dirección paralela al eje, como resultado del desplazamiento del fluido a través de los álabes de la turbina (Gutierrez & Mastache, 2014).

Este tipo de turbinas corresponden a las Francis normales, rápidas y extra -rápidas.

TURBINAS TANGENCIALES.

En las turbinas tangenciales, el agua entra lateral o tangencialmente contra las palas, cangilones o cucharas de la rueda.

Entre las más utilizadas están las turbinas Pelton.

POR EL NÚMERO DE REVOLUCIONES ESPECÍFICAS

La velocidad específica (N_s) de una turbina se obtiene de la siguiente ecuación:

$$N_s = \frac{n * \sqrt{P}}{H^{5/4}} \dots\dots\dots (Ec. 81)$$

Donde:

N_s = Es el número específico de revoluciones.

n = Son las revoluciones por minuto.

P = Es la potencia del eje o potencia al freno.

H = Es la altura neta.

La velocidad específica N_s es el número de revoluciones que daría una turbina semejante a la que se trata de buscar y que entrega una potencia de un caballo, al ser instalada en un salto de altura unitaria, analizando la ecuación se puede decir que, a grandes alturas, para una velocidad y una potencia de salida dadas, se requiere una máquina de velocidad específica baja, como una rueda de impulso.

En cambio, una turbina de flujo axial con una alta velocidad específica, N_s es la indicada para pequeñas alturas. Pero una turbina de impulso con una instalación de poca altura si el caudal es pequeño el tamaño de la rueda de impulso llega a ser exagerado. De acuerdo al número de revoluciones se clasifican en:

- Turbinas lentas.

- Turbinas Normales.
- Turbinas rápidas.
- Turbinas ultrarrápidas.

A continuación, se muestra en la siguiente tabla los valores de la velocidad específica para diferentes tipos de turbinas.

Cuadro 15: Valores de velocidad específica para diferentes tipos de turbinas.

Velocidad específica N_s	Tipo de Turbina
De 5 - 30	Pelton con un inyector
De 30 - 70	Pelton con varios inyectores
De 40 - 160	Michell - Banki
De 60 - 150	Francis Lenta
De 150 - 250	Francis Normal
De 250 - 450	Francis Rápida
De 450 - 600	Francis doble gemela rápida
Más de 500	Kaplan o Hélice

Fuente: (Mallitásig Panchi, 2008).

POR LAS CARACTERÍSTICAS DE LA CÁMARA

TURBINA DE CÁMARA ABIERTA.

En este tipo de turbinas el fluido de agua llega libremente hasta la turbina, quedando la cámara sumergida en el agua, son instaladas en saltos de muy poca altura, este tipo de turbinas son de tipo Francis, tanto vertical como horizontal, cada una dependiendo del salto.

TURBINA DE CAMARA CERRADA.

A este tipo de turbinas el fluido de agua se alimenta, generalmente, por medio de una conducción cerrada o tubería forzada, y la tubería forzada está unida a la cámara que conduce al agua alrededor del distribuidor, llenando todas las aberturas de paso hacia el

rodete. Las cámaras son de diversas formas y sección, la más común, es la cámara espiral de sección circular, o secciones trapeziales.

Se utilizan para saltos de gran altura ya que ésta sometida a grandes presiones; en éste tipo de turbinas se encuentran las Francis y Kaplan. (Franzini & Finnemore, 1999)

SEGÚN LA POSICIÓN DEL EJE

TURBINAS HORIZONTALES.

Las turbinas de eje horizontal tienen cojinetes normales, la transmisión es directa a los ejes horizontales, tienen una mejor vigilancia ya que todos los elementos están en la misma altura, pero las instalaciones requieren de una mayor extensión superficial por lo tanto son más caras, y además existen mayores pérdidas de carga ya que el agua reingresa al canal de desagüe a través de uno o más codos a 90°.

Las turbinas Francis de eje horizontal están separados completamente del generador, y la turbina, el generador están situados al mismo nivel, es de fácil montaje y mantenimiento, el costo de la turbina y el generador es bajo. Las turbinas Pelton de eje horizontal facilita la colocación de alimentación en un plano horizontal, lo cual nos permite aumentar el número de chorros sin aumentar el caudal y tener mayor potencia por unidad, la longitud entre la turbina y el generador es corta, se disminuyen las excavaciones, y el diámetro de la rueda para aumentar la velocidad de giro (Gutierrez & Mastache, 2014).

TURBINAS VERTICALES.

Las turbinas de eje vertical tienen la posibilidad de montar los generadores por encima del nivel de agua, hasta una altura más conveniente, por pequeño que sea el salto, la instalación de esta turbina es económica.

Las turbinas Francis de eje vertical presentan algunos inconvenientes, ya que la turbina y en generador no son independientes, ya que están soportadas por un cojinete axial común, causando un montaje difícil.

Las turbinas Pelton de eje vertical se puede instalar uno o dos chorros como máximo, ya que la instalación y mantenimiento de los inyectores es complicada, pero la inspección de la rueda es más sencilla, dando una facilidad en la reparación sin necesidad de desmontar la turbina.

Las turbinas Hélice y las Kaplan se construye de eje vertical y de un solo rodete, en el caso de pequeña potencia y pequeño desnivel se dispone de eje horizontal.

POR EL MODO DE ADMISIÓN DEL AGUA

TURBINAS DE ADMISIÓN PARCIAL.

Las turbinas de admisión parcial son también turbinas de acción es decir que el agua entra por uno o más puntos de la periferia del rotor. Las turbinas Pelton son de admisión parcial ya que el agua entra sólo por una parte de la periferia del rodete. (Mataix, 1982).

TURBINAS DE ADMISIÓN TOTAL.

Las turbinas de admisión total, son también turbinas de reacción ya que el agua ingresa en todo el contorno del rotor. Las turbinas Francis son de admisión total muy útiles en saltos de altura media, equipados con un distribuidor de álabes regulables y un rodete de álabes fijos; las turbinas tipo Kaplan también son de admisión total ya que el agua entra por toda la periferia del rodete (Mataix, 1982).

TIPOS DE TURBINAS

Existen varios tipos de turbinas hidráulicas, que son utilizados con grandes resultados y una mejor eficiencia; cada tipo de turbina tiene su respectiva característica técnica y de aplicación.

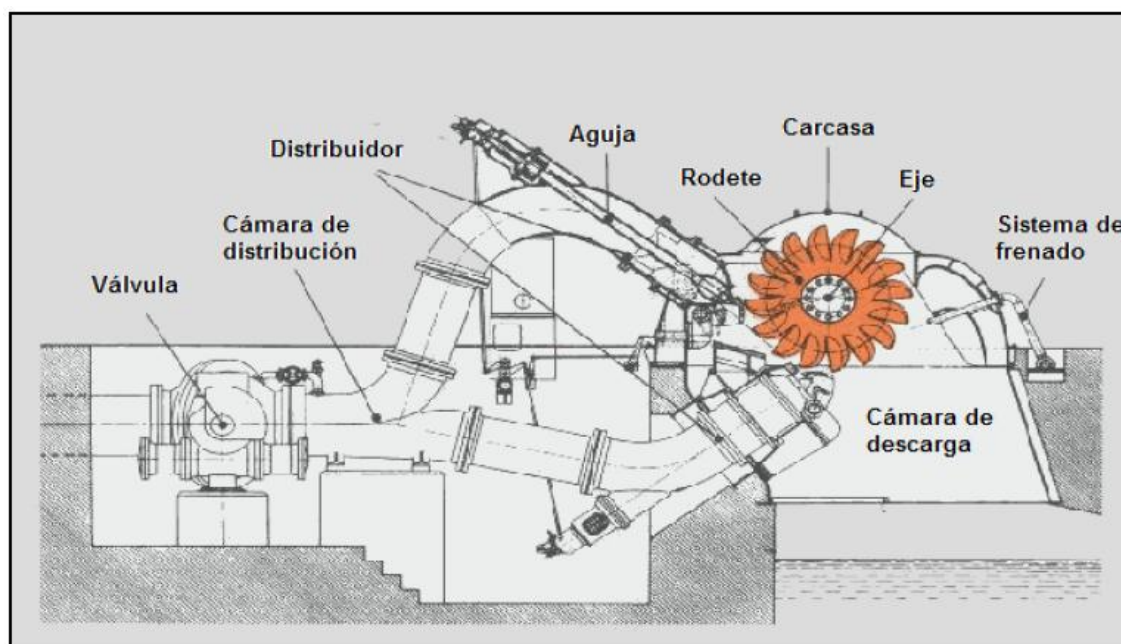
En la actualidad, las turbinas que más se utilizan en las centrales de generación y PCH, ya que su rendimiento supera el 90%, son los siguientes:

- Pelton.
- Michell Banki.
- Francis.
- Hélice y Kaplan.

TURBINA PELTON.

A las turbinas Pelton, se les conoce como turbinas de presión, porque ésta es constante en la zona del rodete, de chorro libre, de impulsión o de admisión parcial. En la turbina Pelton actúa la energía cinética del agua, en forma de chorro libre, se genera en una tobera colocada al final de la tubería de presión. La tobera esta provista de una aguja de cierre para regular el gasto, constituyendo el conjunto, el órgano de alimentación y de regulación de la turbina (Mataix, 1982).

Las turbinas Pelton pueden ser de eje horizontal cuando el número de chorros por rueda se reduce generalmente a uno o dos, ya que resulta complicada la instalación en un plano vertical de las tuberías de alimentación y las agujas de inyección. En las turbinas Pelton de eje vertical se facilita la colocación del sistema de alimentación en un plano horizontal, lo que permite aumentar el número de chorros por rueda de 4 a 6 chorros; y de esta manera se puede incrementar el caudal y tener mayor potencia por unidad (Mataix, 1982).

Figura 32: Componentes de una turbina pelton de eje horizontal.

Fuente: (Mataix, 1982).

DISTRIBUIDOR.

Se compone de varios equipos de inyector de agua, el inyector tiene como misión dirigir, convenientemente un chorro de agua que se proyecta sobre el rodete, pero también regula el caudal preciso que ha de fluir hacia dicho rodete.

El número de inyectores que se pongan alrededor de un rodete, depende de la potencia y característica del grupo, según las condiciones del salto de agua. Los equipos de inyección pueden ser 6, si la turbina Pelton es de eje vertical, y uno o dos, inyectores si la turbina es de eje horizontal.

La cámara de distribución es la que conduce el caudal del agua y también sirve como soporte, a los demás mecanismos que integran el distribuidor. La tobera, es una parte del inyector, tiene un orificio de sección circular de un diámetro aproximado entre 5 y 30 cm, instalada en la terminación de la cámara de distribución.

La aguja está formada por un vástago que está situado concéntricamente en el interior del cuerpo de la tobera, guiado mediante cojinetes sobre las cuales tienen un libre movimiento de desplazamiento longitudinal en dos sentidos.

RODETE.

El rodete consta de diferentes partes; la rueda motriz, es la que está unida rígidamente al eje, montada por medio de chavetas y anclajes adecuados, su periferia esta mecanizada apropiadamente para ser soporte de los cangilones.

A los cangilones también se los llama, álabes, cucharas o palas, están diseñados para recibir el empuje directo del chorro de agua. El tamaño y el número de cucharas dependen de las características de la instalación o de la velocidad específica N_s . Cuando menor sea el caudal y mayor la altura del salto, menor será el diámetro del chorro. Las dimensiones de la cuchara vienen ligadas directamente por el diámetro del chorro.

CARCASA.

La carcasa de una turbina Pelton, es una envoltura metálica que cubre los inyectores, rodetes, y demás elementos mecánicos de la turbina, la carcasa impide que el agua salpique al exterior, después de incidir el agua sobre los álabes, para luego abandonarla.

CÁMARA DE CARGA.

La cámara de descarga (Figura 35), es la zona donde cae el agua libremente hacia el desagüe, después de haber movido el rodete. Para evitar deterioros debido a la acción de los chorros de agua, especialmente de los originados por la intervención del deflector, se dispone, en el fondo de la cámara de descarga una bóveda con una altura de 2 a 3 metros de profundidad para acumular el agua, o se pueden instalar blindajes o placas situados adecuadamente para proteger la obra de hormigón.

CÁLCULOS PARA EL DISEÑO DE RODETE PELTON

En la turbina Pelton, el salto neto se convierte en energía cinética, para determinar la velocidad del chorro como se muestra en la figura 32 se utiliza la siguiente ecuación:

$$C_0 = K_{ch} * \sqrt{2 * g * H} \dots\dots\dots (Ec. 82)$$

Donde:

C_0 = Es la velocidad de chorro (m/s).

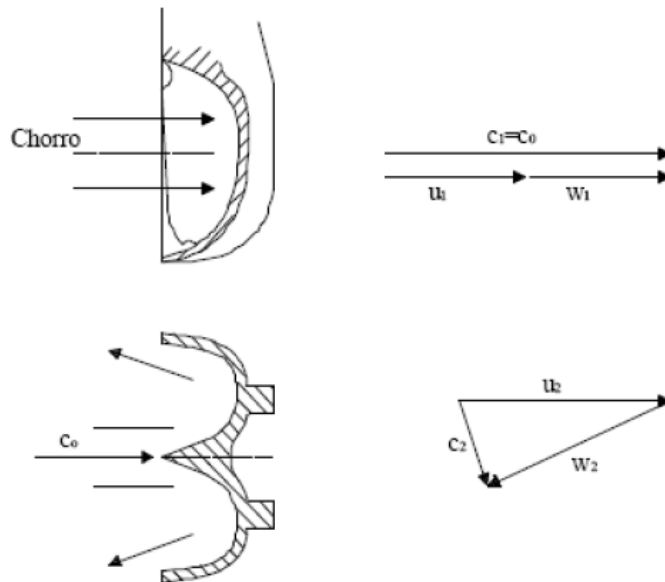
K_{ch} = Es el coeficiente de tobera.

H = Es la altura neta.

g = Es la aceleración de la gravedad.

$K_{ch} = 0.95 - 0.98$.

Figura 33: Triángulo de velocidades.



Fuente: (Gutierrez & Mastache, 2014).

Para determinar el Diámetro del Chorro (figura 33) se utiliza la siguiente ecuación:

$$d = \left(\frac{4}{\pi} * \frac{Q_{ch}}{C_0}\right)^{1/2} \dots\dots\dots (Ec. 83)$$

Donde:

d = Es el diámetro del chorro (m)

C_0 = Es la velocidad del chorro.

Q_{ch} = Es el caudal de cada chorro o inyector

Para determinar el diámetro del rodete pelton en el punto de choque del chorro en la cuchara se utiliza la siguiente ecuación:

$$D = \frac{60 * U_t}{\pi * n} \dots\dots\dots (Ec. 84)$$

Donde:

D = Es el diámetro de pelton (m).

U_t = Es el diámetro de chorro.

n = Es la velocidad de rotación de la turbina.

Para determinar el número de cazoletas se utiliza la ecuación:

$$Z = 14 + \frac{D}{2d} \dots\dots\dots (Ec. 85)$$

Donde:

Z = Es el número de cazoletas.

D = Es el diámetro de pelton.

d = Es el diámetro de chorro.

Las proporciones de la cazoleta, referidas al diámetro del chorro sirven para tener un rango de las principales medidas para el diseño final de la cazoleta. Para obtener los rangos de las medidas se reemplaza el valor del diámetro del Chorro (d) y se puede obtener el rango para la altura de la cazoleta (A), el largo de la cazoleta (B), el ancho de filo de ataque (C) y el ancho de la cazoleta (D) mediante las ecuaciones. (Gutierrez & Mastache, 2014).

$$A = (0.8 - 1) * d \dots\dots\dots (Ec. 86)$$

Donde:

A = Es la altura de la cazoleta que puede estar en el rango de $0.8d$ hasta $1d$ expresado en (mm).

$$B = (2.25 - 2.8) * d \dots\dots\dots (Ec. 87)$$

Donde:

B = Es el largo de la cazoleta que puede estar en el rango $2.25d$ hasta $2.8d$ expresado en (mm).

$$C = (1.2 - 1.25) * d \dots\dots\dots (Ec. 88)$$

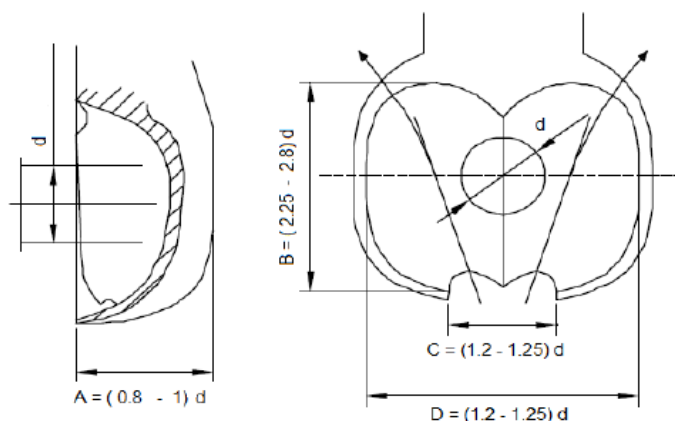
Donde:

C = El ancho de filo de ataque que puede estar en el rango de $1.2d$ hasta $1.25d$ expresado en (mm).

$$D = (2.6 - 3) * d \dots\dots\dots (Ec. 89)$$

Donde:

D = Ancho de cazoleta que puede estar en el rango de $2.6d$ hasta $3d$ expresado en (mm).

Figura 34: Rango de medidas principales de la cazoleta del rodete pelton.

Fuente: (Gutierrez & Mastache, 2014).

SISTEMA DE CONTROL DE LA TURBINA

REGULACIÓN DE VELOCIDAD.

La misión del regulador de velocidad es ejercer control sobre la velocidad de la turbina para que el generador suministre energía eléctrica con una frecuencia constante, aún cuando se presenten perturbaciones tales como: variaciones de carga, disparo de otros generadores, etc. Es importante mantener la frecuencia constante dentro de un valor establecido para evitar problemas que pueden ocasionar en los equipos conectados al sistema. En nuestro país la frecuencia es de 60Hz.

- Cuando se produce un cambio de carga en el sistema ΔP_i , produce una variación de frecuencia que debe ser corregida a través de un control en el sistema motriz del generador, permitiendo mayor entrada de agua y aumentando el torque mecánico de la turbina, esto produce un aumento de potencia activa en el generador, efectuado a través del regulador de velocidad. (Miranda & Viani, 1995).

REGULACIÓN DE VELOCIDAD POR MEDIO DEL CAUDAL DE AGUA EN LA TURBINA.

Para obtener una velocidad constante del grupo generador, existiendo una variación de carga en el sistema ΔP_i , es necesario que en todo momento la potencia disponible al ingreso del grupo generador deba ser igual a la potencia eléctrica a la salida del generador más las pérdidas internas del grupo. Este equilibrio se logra regulando la cantidad de agua que ingresa a la turbina, de tal manera que si se produjera un aumento en la demanda, se abrirá una válvula que permita el mayor ingreso de agua a la turbina, ocasionando que la potencia generada se iguale a la demanda. Este tipo de regulación se realiza de dos maneras: manual o automáticamente.

- **Regulación Manual:** La regulación manual se utiliza principalmente para micro centrales con una potencia menor a 50kW, se emplean donde no existen grandes fluctuaciones en la demanda de energía. Para la utilización de este sistema, es necesario tener un operador en la casa de máquinas, que vigile en la variación de frecuencia del sistema y que compense estas variaciones haciendo variar el caudal de agua en la turbina. Esto se realiza por medio de la válvula de aguja o de álabes directrices, según el tipo de turbina que se instale.
- **Regulación Automática:** La regulación automática proporciona un sistema con frecuencia y voltaje estable, y se utiliza cuando en el sistema eléctrico existen grandes fluctuaciones instantáneas en la demanda. Por su elevado costo este sistema resulta poco apropiado en micros centrales y es más utilizado en centrales de más de 100kW de potencia.

REGULACIÓN DE LA VELOCIDAD POR REGULACIÓN DE CARGA.

En la regulación por carga, el grupo generador entrega una potencia constante, por lo cual no existe la regulación de caudal de agua. Pero se debe cuidar que el grupo genere una potencia mayor o igual a la máxima potencia esperada en la demanda. El exceso de

potencia generada se disipa en forma de calor, a través de banco de cargas como pueden ser: resistencia sumergida en agua o al aire, o empleando tiristores que deriva la energía no consumida por la demanda. Este tipo de regulación se puede realizar de manera manual o automática.

▪ **Regulación manual de carga:** La función del regulador de carga consiste en conectar o desconectar el excedente de carga según aumente o disminuya la frecuencia del sistema a causa de la variación de la demanda. El banco de cargas que pueden utilizar son los siguientes: resistencias, tiristores, focos incandescentes, baterías, etc. La ventaja de este tipo de regulación es:

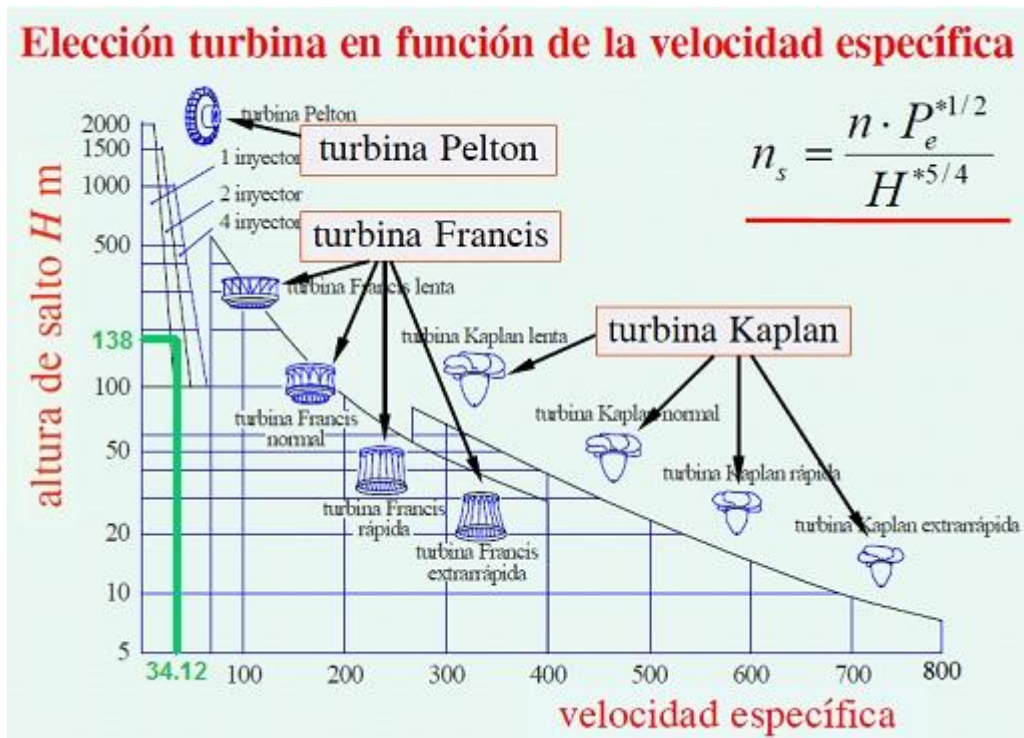
▪ El operador puede realizar esta regulación fuera de la casa de máquinas, ya que el banco de cargas a instalarse puede estar alejado de la misma (Miranda & Viani, 1995).

▪ **Regulación automática de carga:** La regulación automática de carga ha encontrado su campo de aplicación principalmente en el rango de las pequeñas centrales hidroeléctricas, para potencias menores de 100 kW. Las principales ventajas de estos reguladores son: simplicidad del diseño de las turbinas al no existir la necesidad de regular el caudal, menor costo, operación y mantenimiento sencillos, no produce sobrepresiones en la tubería de presión, mayor rapidez en la respuesta a cambios de carga (Miranda & Viani, 1995).

SELECCIÓN DE TURBINA

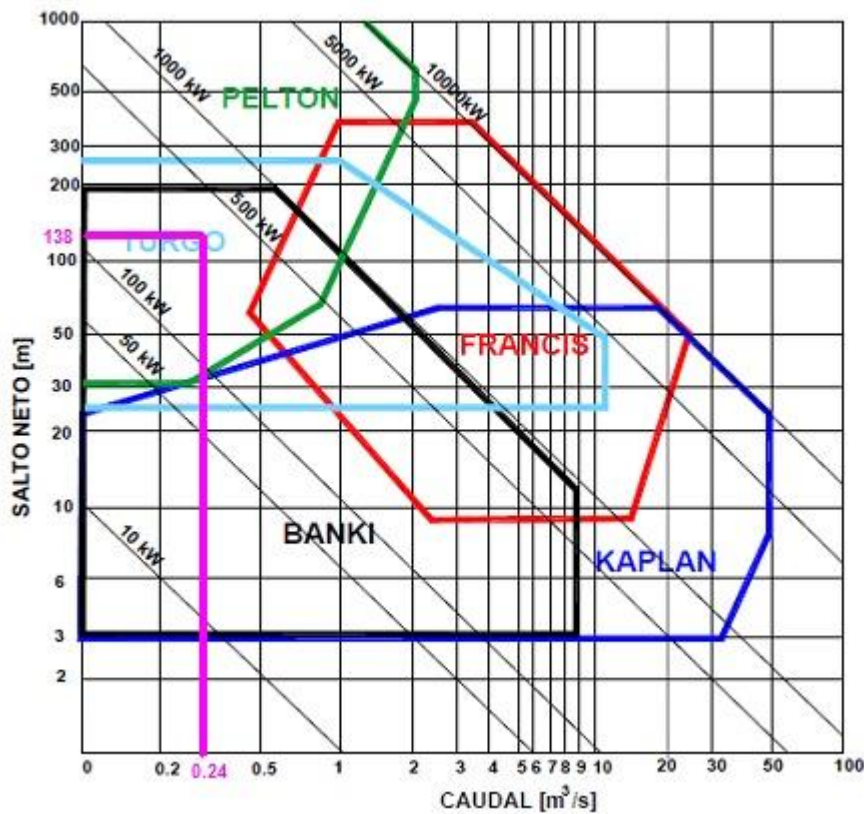
Para la selección de la turbina se recurrió al criterio del Ing Nozaki, y el manual de diseño del ITDG.

Figura 35: Elección de la turbina en función de la velocidad específica.



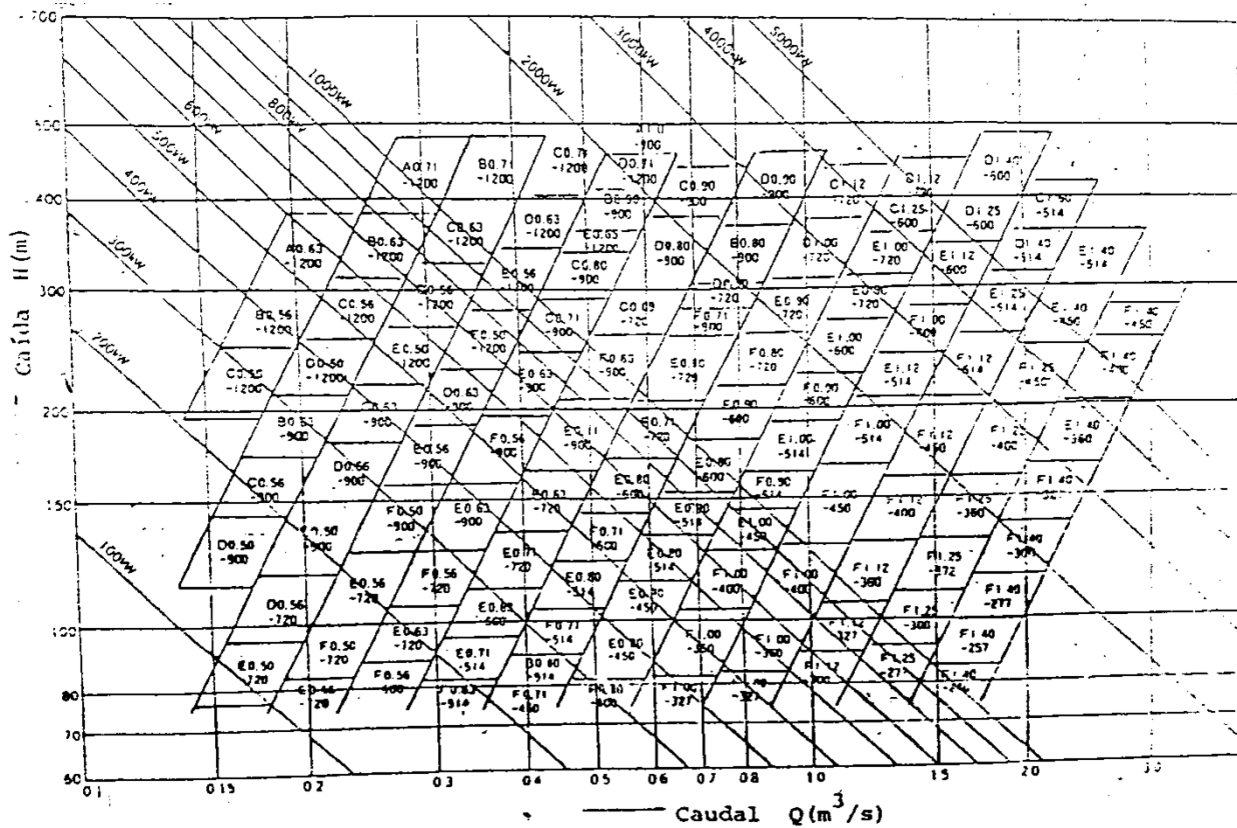
Fuente: (Agüera, 2010).

Figura 36: Selección de turbinas.



Fuente: (Soluciones Prácticas ITDG, 2010).

Figura 37: Selección del modelo de turbina pelton standard.



FUENTE: (Nozaki, 1983).

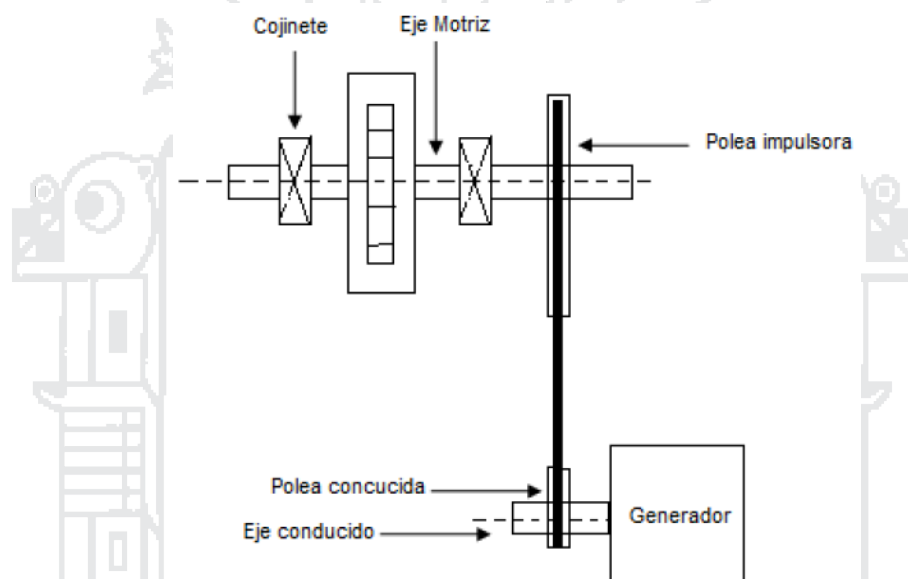
2.2.10.6.3. SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA MECÁNICA

La velocidad de giro de la turbina está relacionada con la caída neta, el caudal y las dimensiones del rodete. En las grandes centrales hidroeléctricas se justifica construir los rodetes de las turbinas con dimensiones que permitan garantizar una velocidad de giro igual a la del generador y permitiendo su acoplamiento directo. En las pequeñas centrales hidroeléctricas se pueden emplear rodetes con dimensiones normalizadas por los fabricantes, en consecuencia, la velocidad de la turbina rara vez coincide con la velocidad de los generadores. Por esta razón deben emplearse sistemas de transmisión de movimiento y potencia mecánica entre la turbina y el generador (Flores, 2001).

Los elementos mecánicos involucrados en la transmisión de movimiento y potencia mecánica son:

- Una rueda impulsora.
- Una rueda conducida.
- Ejes que soportan las ruedas y giran con ellas.
- Soportes de ejes (cojinetes de rodamiento o deslizamiento)
- Acoplamientos.

Figura 38: Sistema de transmisión en una etapa.



Fuente: (Flores, 2001).

Existen varios tipos de transmisiones mecánicas:

- Transmisiones por bandas.
- Trasmisiones por cadenas de rodillo.
- Transmisiones por engranajes.

TRANSMISIÓN POR BANDAS

La capacidad de transmisión de potencia depende de la fricción entre las bandas y las ruedas que, a su vez, depende del coeficiente de rozamiento y del ángulo de contacto de la faja con la polea menor. (Flores, 2001).

Las ventajas son las siguientes: Posibilidad de unir el árbol conductor con el conducido; aparte de los cojinetes no se requiere lubricación; el funcionamiento es relativamente suave sin golpes originado por la propia transmisión; el costo es bajo.

La longitud requerida de la banda se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$L = 2C + \frac{\pi(D + d)}{2} + \frac{(D - d)^2}{4C} \dots\dots\dots (Ec. 90)$$

Donde:

L = Longitud requerida de la banda.

C = Es la distancia entre centros.

D = Es el diámetro de paso de la polea mayor.

d = Es el diámetro de paso de la polea menor.

La distancia entre centros C se determina de acuerdo con las restricciones de espacio impuestas por los equipos motriz y conducido. En caso de que no haya restricción alguna, la distancia entre centros puede tomarse como el mayor valor entre las expresiones:

$$C = \frac{(D + 3d)}{2} \dots\dots\dots (Ec. 91)$$

Para determinar el número de bandas, se calcula la capacidad de transmisión de potencia por faja. Se emplea la siguiente ecuación:

$$P_{nom} = \left[2.19 * a * \left(\frac{10^3}{V} \right)^{0.09} * \frac{6.2 * c}{kd * d} - \frac{26.6 * e * V^2}{10^6} \right] * \frac{V}{1000} \dots\dots\dots (Ec. 92)$$

Donde:

P_{nom} = Es la capacidad de cada faja (Kw/banda).

a, c, e = Constantes que corresponden a una sección de banda determinada.

V = Velocidad tangencial (m/min).

d = Diámetro de la polea menor.

La capacidad nominal obtenida debe corregirse para la longitud de correa y el arco de contacto.

$$P_{nom\text{ajustada}} = P_{nom} * k\theta * kl \dots\dots\dots (\text{Ec. 93})$$

Donde:

$k\theta$ = Es el coeficiente de corrección por un arco de contacto diferente a 180°.

kl = Corrige el efecto de longitud.

El número de bandas se obtiene con la siguiente ecuación:

$$\# \text{ de bandas} = \frac{\text{potencia de diseño}}{P_{nom.ajustada}} \dots\dots\dots (\text{Ec. 94})$$

TRANSMISIÓN POR CADENA DE RODILLOS

Son transmisiones que tiene flexibilidad ya que están constituidas por articulaciones de eslabones metálicos que, al entrar en contacto con los dientes de las ruedas, permiten una transmisión sincronizada. Los eslabones cuentan con rodillos, elementos que entran en contacto directo con los dientes de las ruedas (Flores, 2001).

Las ventajas son las siguientes:

- Se puede tener grandes distancias entre ejes.
- Es posible transmitir movimiento a varios ejes con una misma cadena.
- Mayor vida útil.

TRANSMISIÓN POR ENGRANAJE

Las cajas reductoras de engranajes pueden significar una opción para la transmisión de movimiento entre el eje de la turbina y el generador, con las ventajas de ocupar poco espacio, originar menores pérdidas por fricción y evitar cargas fuertes en los cojinetes del generador. Los engranajes tienen la ventaja de poder adoptarse adecuadamente tanto a transmisiones de baja velocidad como de altas velocidades. (Flores, 2001)

2.2.10.6.4. GENERADOR

Existen dos tipos de generadores, los sincrónicos y los asíncrónicos o de inducción, ambos son empleados en micro centrales hidráulicas con un aceptable grado de confiabilidad y calidad de energía. Los generadores sincrónicos son capaces de suministrar la energía reactiva de la carga, por lo cual, pueden utilizarse para redes aisladas al sistema o conectadas al sistema, son más complejos debido a que posee un sistema de control de la excitación (Ochoa, 2014).

Los generadores de inducción no pueden suministrar energía reactiva por lo que, tanto el reactivo de la excitación propia como el reactivo de la carga, debe ser suministrado por capacitores, los cuales pasan a formar parte esencial de la instalación. La gran ventaja de este tipo de generador es que se encuentra en el mercado a un menor precio.

Las especificaciones del generador deben ser tanto eléctricas como mecánicas; como la capacidad del generador, los soportes, temperatura de operación, etc. A continuación, se presentan una lista de características y componentes del equipo de generación.

- Continuidad de trabajo.
- Características de frecuencia, voltaje y velocidad.
- Sobre velocidad relacionadas con la turbina.

- Numero de fases, si es monofásico o trifásico.
- Los KVA, KW, factor de potencia y su eficiencia.
- Temperatura ambiente, humedad, altitud.
- Equipo de monitoreo como medidores de frecuencia, de voltaje, de corriente, de potencia.
- Regulador automático de voltaje.
- Sistema de gobernador.
- Protecciones de sobre velocidad, baja velocidad, sobrecarga, cortocircuito.
- Dimensiones físicas y peso.
- Expectativas de vida de los componentes y posibilidad de reemplazarlos.

GENERADOR SINCRÓNICO

El generador síncrono es la máquina de uso prioritario en las unidades de generación. Con el tiempo ha tenido una tremenda evolución en su análisis, magnitud de potencia, y métodos de enfriamiento; sin embargo, su estructura básica sigue siendo la misma que cuando fue introducida en el siglo pasado.

La refrigeración del generador que se va a instalar en la turbina del presente proyecto se realizará por aire en circuito abierto, dado que se trata de una máquina pequeña. Para potencias mayores se emplea agua en circuito cerrado, refrigerándose ésta posteriormente en intercambiadores agua-aire.

VELOCIDAD SÍNCRONA.

Es la velocidad de giro de la máquina en rpm, que permanece invariable y origina en la corriente alterna la frecuencia síncrona normalizada. La velocidad rotativa es dada por la máquina, en este caso la turbina hidráulica.

- a) Frecuencias síncronas normalizadas 50 Hz y 60 Hz.

- b) Velocidades síncronas deducibles de la frecuencia f y el número de polos p de la máquina.

$$n(RPM) = 120 * f(Hz)/p \dots\dots\dots (Ec. 95)$$

Donde:

n = Velocidad sincrónica (RPM).

f = Frecuencia de la red (Hz).

p = Número de Polos.

EXITACIÓN DE LOS GENERADORES SÍNCRONOS.

Se hace circular una corriente continua, que no representa más del 1% de la potencia del generador, por el circuito de los polos inductores del rotor.

Se tienen tres tipos de excitatrices, si bien la tendencia actual es a emplear excitatrices estáticas:

- **Excitatrices de corriente alterna sin escobillas:**

Basadas en un pequeño generador de alterna cuyo inducido se monta en el rotor. La corriente de salida se emplea para alimentar el rotor del generador. No se emplean escobillas con este método.

- **Excitatrices estáticas:**

La corriente de excitación se extrae de la que sale del propio generador, se rectifica y se envía al rotor a través de escobillas y anillos rozantes. El arranque de estas máquinas se realiza aprovechando el magnetismo remanente y unas baterías hasta que sea capaz de suministrar por sí solo la corriente de excitación.

- **Excitatrices rotativas de corriente continua:**

El inducido de la excitatriz va montado en el eje del generador principal. Se pueden emplear excitatrices en cascada para aumentar la potencia que pueden suministrar.

GENERADOR ASÍNCRONOS.

Se trata de máquinas con rotor devanado o de jaula de ardilla, que a diferencia de los generadores síncronos, no giran a la velocidad de sincronismo. La relación entre la velocidad de sincronismo y la velocidad de giro la da un factor llamado deslizamiento.

Estos generadores no tienen la posibilidad de regulación de tensión.

Dado que toman de la red la corriente de excitación y la potencia reactiva necesaria para su magnetización, este tipo de máquina no puede funcionar en isla, el elevado consumo de potencia reactiva puede llevar al proyectista plantearse su utilización si se requiere que actúen como correctores del factor de potencia de la red.

2.2.11. ANALISIS DE COSTOS Y PRESUPUESTOS

2.2.11.1. OBRAS CIVILES

Las obras civiles abarcan las siguientes partidas: Obras de toma (desarenador), obras de conducción, cámara de carga, tubería forzada y casa de máquinas. Los precios básicos han sido referidos a los precios en el lugar de las obras al mes de noviembre del 2016, los mismos que han sido calculados para el caso de las Obras Civiles teniendo en cuenta los precios básicos del lugar de procedencia, considerando el costo de transporte terrestre a la zona del proyecto. En la estimación de los costos directos, se ha utilizado los precios básicos y costos unitarios de los acápites anteriores para las obras civiles.

2.2.11.2. EQUIPAMIENTO ELECTROMECAÁNICO

Para el caso del equipamiento electromecánico se consideró además de la fabricación los costos de transporte terrestre, montaje y pruebas. Toda la cotización del fabricante HIDROSATUR S.AC., para el equipo electromecánico presentados corresponde al periodo de noviembre del 2016.

2.2.11.3. LINEAS DE TRANSMISIÓN

Para estimar el costo de las líneas de transmisión se hace un análisis de precios unitarios, esto debido a que se dispone de información presupuestal de líneas de transmisión.

2.2.11.4. COSTO TOTAL

El Costo Total del Proyecto resulta de considerar los costos directos e indirectos.

2.2.12. EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO

La evaluación económica del proyecto tiene por objeto presentar los resultados de los estudios económicos del proyecto. El estudio se desarrolla dentro del marco de los dispositivos legales vigentes en relación a la regulación y reajuste de las tarifas eléctricas, es decir, Ley de Concesiones Eléctricas Decreto Ley N° 25844, su Reglamento D.S. N 009-93-EM y modificatorias.

Cabe resaltar que la vida útil del proyecto es de veinte y cinco (25) años y la evaluación se realiza a precios de mercado.

2.2.12.1. INGRESOS

INGRESOS POR VENTA DE ENERGIA A LAS LOCALIDADES BENEFICIADOS CON EL PROYECTO

Es el ingreso anual que se produce desde la entrada en servicio de la mini central hidroeléctrica hasta el fin de su vida útil u horizonte del proyecto.

Se determina a partir de la energía que se venderá cada año, según lo previsto en el estudio en el estudio de mercado; y de una tarifa por Kwh que pagarán los usuarios o abonados.

Se calcula con la siguiente expresión.

$$B_n = E_n * t \quad \dots\dots\dots (Ec. 96)$$

Donde:

B_n = Es el ingreso por venta de energía, en el año n, en US\$.

E_n = Es la energía vendida durante el año n, en KWh.

t = Es la tarifa de venta de energía, en US\$/KWh.

2.2.12.2. EGRESOS

EGRESOS POR CONSTRUCCIÓN

En el año cero se realiza el gasto por concepto de construcción, lo cual es el único flujo negativo en ese periodo (revisar el cuadro de flujo). Este monto incluye los costos fijos como materiales, mano de obra, equipos e incluye también los gastos generales.

EGRESOS POR OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO.

EGRESOS POR OPERACIÓN.

- Gastos de personal.
- Lubricantes y grasas.
- Equipo e implementos de seguridad.
- Materiales de oficina.
- Gastos misceláneos.

EGRESOS POR MANTENIMIENTO.

- Materiales y repuestos de generación, transformación y transmisión.
- Herramientas.
- Otros.

2.2.12.3. CUADRO DE FLUJOS

Las técnicas del presupuesto de capital mayormente usadas son el TIR (Tasa Interna de Retorno) y el VAN (Valor Actual Neto). Para la aplicación del VAN se considera el valor del dinero en el tiempo ya que al valor presente de las entradas de efectivo se le resta la inversión inicial; esto a una tasa de descuento de 12%, el cual es el rendimiento mínimo que debe generar el proyecto y que emplean empresas del sector de energía y minas para financiar proyectos a largo plazo, esto incluye el riesgo país y el costo de acciones preferentes. Se considera como año cero el año de construcción. Teóricamente se acepta un proyecto si el VAN es mayor a cero, ya que la empresa ganará un rendimiento mayor al de su costo de capital.

La tasa interna de retorno TIR es la tasa de rendimiento anual compuesta que la empresa ganará si invierte en el proyecto y recibe las entradas de dinero esperadas.

Los ingresos y egresos del proyecto se obtienen de la multiplicación de la potencia y energía del proyecto por sus respectivos precios, que muestra el flujo de caja del proyecto.

VALOR ACTUAL NETO (VAN)

El valor actual neto, también conocido como valor actualizado neto o valor presente neto, es un procedimiento que permite calcular el valor presente de un determinado número de flujos de caja futuros, originados por una inversión. La metodología consiste en descontar al momento actual (es decir, actualizar mediante una tasa) todos los flujos

de caja futuros o en determinar la equivalencia en el tiempo 0 de los flujos de efectivo futuros que genera un proyecto y comparar esta equivalencia con el desembolso inicial. Dicha tasa de actualización (k) o de descuento (d) es el resultado del producto entre el coste medio ponderado de capital (CMPC) y la tasa de inflación del periodo. Cuando dicha equivalencia es mayor que el desembolso inicial, entonces, es recomendable que el proyecto sea aceptado.

La fórmula que nos permite calcular el Valor Actual Neto es:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t} - I_0 \dots\dots\dots (Ec. 97)$$

F_t = Representa los flujos de caja en cada periodo t.

I_0 = Es el valor de desembolso inicial de la inversión.

n = Es el número de periodos considerado.

k = Es el tipo de enteres.

Cuando el VAN toma un valor igual a 0, k pasa a llamarse TIR (tasa interna de retorno). La TIR es la rentabilidad que nos está proporcionando el proyecto.

LA TASA INTERNA DE RETORNO O TASA INTERNA DE RENTABILIDAD (TIR)

de una inversión es la media geométrica de los rendimientos futuros esperados de dicha inversión, y que implica por cierto el supuesto de una oportunidad para "reinvertir". En términos simples, diversos autores la conceptualizan como la tasa de descuento con la que el valor actual neto o valor presente neto (VAN o VPN) es igual a cero.

$$VAN = \sum_{t=0}^n \frac{F_t}{(1 + TIR)^t} - I_0 = 0 \quad \dots\dots\dots (Ec. 98)$$

RELACIÓN BENEFICIO/COSTO

La relación B/C, está representada por la relación ingreso/egreso en donde los ingresos y los egresos deben ser calculados por un modo que no genere pérdidas por el contrario tenga un criterio de ganancias cumpliendo un objetivo como el de generar beneficios para los propietarios del proyecto. El análisis de la relación beneficio costo (B/C) toma valores mayores, menores o iguales a 1, lo que implica que B/C >1 implica que los ingresos son mayores que los egresos, entonces el proyecto aconsejable.

B/C = 1 implica que los ingresos son iguales que los egresos, en este proyecto es indiferente.

2.2.13. ASPECTOS AMBIENTALES

Los impactos ambientales varían con la ubicación del aprovechamiento y con la solución tecnológica escogida. Desde el punto de vista tecnológico, los aprovechamientos con embalse generan impactos, cuantitativa y cualitativamente diferentes a los generados por los aprovechamientos de agua de pasada, dentro de los cuales cabría aún distinguir, a estos efectos, entre los que derivan el agua y los que no la derivan (Vergara, 2006).

A continuación, se presenta una relación detallada de los impactos ambientales previsibles en cada fase del proyecto

Cuadro 16: Impactos ambientales durante la etapa de construcción.

GRAVAMEN	RECEPTOR	IMPACTO	IMPORTANCIA
Construcción de caminos/ y tráfico rodado	Publico General	Ruidos	baja
		Accidentes	baja
		Efecto de las emisiones	baja
		En salud	baja
	Calidad de aire	Emisiones de los vehículos	baja
	Cambio climático	Emisiones de los vehículos	baja
	Animales Salvajes	Disturbios por ruidos	baja
		Accidentes por colisión	baja
	Bosque	Mejor acceso al bosque	baja
		Perdida producción futura	baja
Accidentes	Trabajadores	Heridas Leves	media
		Heridas Graves	Alta
		Muertes	Alta
Creación de empleo	Público general	Beneficios para la localidad	alta
		Beneficios a escala nacional	media

Fuente: (Vergara, 2006).

Los impactos de mayor importancia durante la época de construcción son los accidentes que lleven a la muerte o a heridas graves. Una forma de mitigar estos efectos es cumpliendo normas de seguridad y una minuciosa supervisión durante la realización del proyecto. Un impacto positivo alto es la creación de puestos de trabajo para algunos miembros de la localidad.

A continuación, veamos los impactos que se pueden generar durante la operación de la mini central hidroeléctrica.

Cuadro 17: Impactos ambientales durante la etapa de operación.

GRAVAMEN	RECEPTOR	IMPACTO	IMPORTANCIA	
Por excesivo nivel de ruidos	trabajadores	sobre la salud	media	
	habitantes	sobre la salud	media	
Por modificación de caudal	Peces	Pérdida de hábitat	Alta	
	Plantas acuaticas	Pérdida de hábitat	media	
	Aves	Pérdida de hábitat	media	
	Fauna	Pérdida de hábitat	media	
	Calidad del agua	dilución contaminantes	Baja	
	Público en general		efectos estéticos	Alta
			Culturales y arqueológicos	Alta
		Eliminación de Cascadas	Alta	

Fuente: (Vergara, 2006).

Los impactos que pueden ocurrir en nuestra central son mínimos debido a que no afecta alguna zona arqueológica. No existe una cascada que se vaya a eliminar y no hay algún ecosistema que se afecte en el tramo de la tubería forzada.

IMPACTO SÓNICO

El nivel de ruido permitido dependerá de los núcleos de población o viviendas aisladas localizadas en el entorno, y del existente antes de realizar el proyecto. Los ruidos proceden fundamentalmente de las turbinas y sobre todo, cuando existen, de los reductores.

IMPACTO PAISAJÍSTICO

El problema es particularmente agudo en aquellos aprovechamientos hidráulicos ubicados en una zona de sierra media o alta, ambientalmente sensitiva, o en una zona urbana de carácter histórico. Es indudable que cada uno de los componentes que configuran el aprovechamiento tiene potencial para producir cambios en el paisaje.

Es necesario tomar conciencia del problema y buscar, desde nivel de anteproyecto, aquellas soluciones capaces de provocar el mínimo rechazo.

Finalmente se puede afirmar que el impacto ambiental negativo será mínimo en la zona a desarrollar el proyecto, y en el aspecto positivo no garantizará la demanda insatisfecha con una energía limpia y segura.

2.3. GLOSARIO DE TÉRMINOS BÁSICOS

A continuación, se listan algunos conceptos referentes al contenido de la presente tesis de pre-grado, relacionados al presente proyecto, entre otros que merecen ser aclarados para el desarrollo y para un mejor entendimiento del trabajo por parte de los lectores.

DEMANDA: Es una medida de la tasa promedio del consumo eléctrico, la demanda hace referencia a la cantidad de energía eléctrica que se necesita una determinada población.

HIDROGRAMA: Figura que representa la variación del caudal con el tiempo en un sitio determinado, que describe usualmente la respuesta hidrológica de un área de drenaje a un evento de precipitación.

CAUDAL DE DISEÑO: Caudal estimado con el cual se diseñan los equipos, dispositivos y estructuras de un sistema determinado.

ENERGÍA CINÉTICA: energía que ocurre por el movimiento del líquido.

ENERGÍA HIDRÁULICA: es la energía que tiene una masa de líquido por su elevación, velocidad y por la presión a la que está sometido.

ENERGÍA POTENCIAL: es la energía que tiene una masa de líquido por su elevación, velocidad y por la presión a la que está sometido.

ENERGÍA DE PRESIÓN: La energía interna del fluido que puede producir un desplazamiento.

ENERGIA: Forma de energía que resulta de la existencia de una diferencia de potencial entre dos puntos, lo que permite establecer una corriente eléctrica entre ambos. Se mide en vatios hora (Wh).

POTENCIA: Es la relación de paso de energía de un flujo por unidad de tiempo; es decir, la cantidad de energía entregada o absorbida por un elemento en un tiempo determinado. Se mide en vatios (W), que es el equivalente a 1 julio por segundo (1 J/s).

SALTO BRUTO: Diferencia de altura entre la lámina de agua en la toma y el nivel del río en el punto de descarga del agua turbinada.

SALTO UTIL: Diferencia entre el nivel de la lámina de agua en la cámara de carga y el nivel de desagüe de la turbina.

SALTO NETO: Es el resultado de restar al salto útil las pérdidas de carga originadas por el paso del agua a través de la embocadura de la cámara de carga, de la tubería forzada y sus accesorios.

COEFICIENTE DE RUGOSIDAD: Medida de la rugosidad de una superficie, que depende del material y del estado de la superficie interna de una tubería.

2.4. HIPOTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL

En el distrito de Phara existe déficit de energía eléctrica.

2.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICOS

- La demanda actual por parte de la población supera la oferta de energía eléctrica suministrada por la mini central hidroeléctrica I etapa.
- Con la potencia de generación obtenida para la mini central hidroeléctrica II etapa, se podrá cubrir y garantizar la demanda insatisfecha en 5 localidades del distrito de Phara

- El esquema propuesto, los resultados obtenidos del pre-dimensionamiento y/o selección de los componentes para la mini central hidroeléctrica II etapa del distrito de Phara son adecuados.
- El presente proyecto es viable.

2.5. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

En la siguiente tabla se muestran las diferentes variables e indicadores referentes al estudio.

Nombre de la Variable	Variable	Definición Operacional	Indicadores	Simbología
Variable independiente	Caudal	Volumen de fluido por unidad de tiempo	Metros cúbicos por segundo (m ³ /seg)	Q
Variable independiente	Altura	Salto bruto	Metros (m)	H
Variable dependiente	Potencia	Capacidad de generación	Watt (w)	P
Variable dependiente	TIR	Tasa interna de retorno	Porcentaje	%
Variable dependiente	VAN	Valor Actual neto	Unidad de soles	S/



DISEÑO METODOLÓGICO DE INVESTIGACIÓN

3.1. TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El presente trabajo de tesis es del tipo descriptivo, por el grado de abstracción es investigación aplicada y por el grado de generalización es investigación acción, descriptivo por que se refiere a la presentación de todos los resultados del estudio, investigación aplicada debido a que el objetivo se basa en resolver problemas prácticos, con un margen de generalización limitado e investigación acción debido al tratamiento matemático planteado que permite un validamiento cuantitativo de los resultados, este método se aplica con el propósito de establecer las conclusiones y generalizar los resultados de la investigación.

En cuanto se refiere al aspecto descriptivo, se determinará las bondades que brindara la mini central hidroeléctrica II etapa, para el cubrir el déficit y garantizar la demanda de energía eléctrica en el distrito de Phara, ello gracias a que se estableció propuestas bien definidas para cumplir con los objetivos que se planteó.

Se recurrió a la bibliografía establecida, normas, leyes, catálogos, tablas, diagramas, con la finalidad de desarrollar el presente proyecto de la mini central hidroeléctrica II etapa del distrito de Phara.

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN

En el proyecto de investigación la población a investigar es las centrales hidroeléctricas para efectos del tema en estudio.

La muestra para el presente proyecto es las componentes de una mini central hidroeléctrica.

3.3. UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LA POBLACIÓN

El lugar donde se instalará el proyecto de investigación se encuentra ubicado en el distrito de Phara Provincia de Sandia departamento de Puno, ubicado a 3450 msnm aproximadamente.

Mi proyecto consiste en el estudio y diseño a nivel preliminar de la mini central hidroeléctrica II etapa del distrito de Phara a fin de cubrir el déficit y garantizar la demanda de energía eléctrica en dicho distrito.

La mini central hidroeléctrica II etapa constará de los siguientes componentes:

- Desarenador.
- Canal de conducción.
- Desarenador – Cámara de carga.
- Tubería de presión.
- Casa de máquinas donde estará ubicado el equipo electromecánico (turbina – generador).

3.4. TÉCNICAS PARA RECOLECTAR INFORMACIÓN

Para la ejecución de la presente investigación se vió por conveniente utilizar la siguientes técnicas e instrumentos:

TÉCNICAS	INSTRUMENTOS
Observaciones directas	Diario anecdótico, cuadro de registros, cuaderno de notas.
Mediciones directas	Eclímetro CST/Berger 5 1/4 para medir el salto, wincha de 50 m, y GPS Garmin colorado 400i para georreferenciar las posibles ubicaciones de los componentes de la mini central

Cálculos justificativos para el diseño	Calculadora y software de cálculos como son el MS Excel y el HidroEsta, que nos ayudan a realizar los cálculos para el dimensionamiento de la mini central hidroeléctrica II etapa.
Diseño de planos	Software como el Autocad 2014, Google Earth, Global Mapper V18, Arcgis 10.3 y MapSource
Selección de equipos y accesorios	Catálogos, tablas y diagramas de diversos fabricantes y proveedores.

Para ello, daremos los siguientes pasos, intentando en todo momento aprovechar los medios existentes:

- Recopilar, preparar e interpretar la información para diseñar la mini central hidroeléctrica II etapa del distrito de Phara.
- Investigación bibliográfica. Investigación en internet, Manuales, catálogos entre otros.
- Consultas con el director de tesis y profesores.
- Desarrollo de cálculos, dibujos. Realizar un diseño a nivel preliminar de todos los componentes de la mini central hidroeléctrica II etapa, tanto las obras civiles como el equipo electromecánico.
- Desarrollar un presupuesto orientativo del proyecto y analizar su viabilidad.

3.5. DISEÑO ESTADÍSTICO PARA LA PRUEBA DE HIPÓTESIS

Para el presente proyecto de investigación tipo descriptivo no corresponde el diseño estadístico para la prueba de hipotesis.



ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. ESTUDIO DE LA DEMANDA Y EL MERCADO ELÉCTRICO

El análisis de la demanda tiene por objetivo cuantificar la demanda de potencia y energía eléctrica del distrito de Phara, considerando la demanda actual atendida, demanda no atendida y cargas especiales, para un horizonte de evaluación de 25 años. Efectuando según los sectores de consumo industrial, comercio, residencial y alumbrado público. Para que estos cálculos de la demanda y proyecciones tengan un valor confiable se realizaron confrontaciones de distintos métodos, las cuales al final fueron dando resultados que llegaron a demostrar la coherencia.

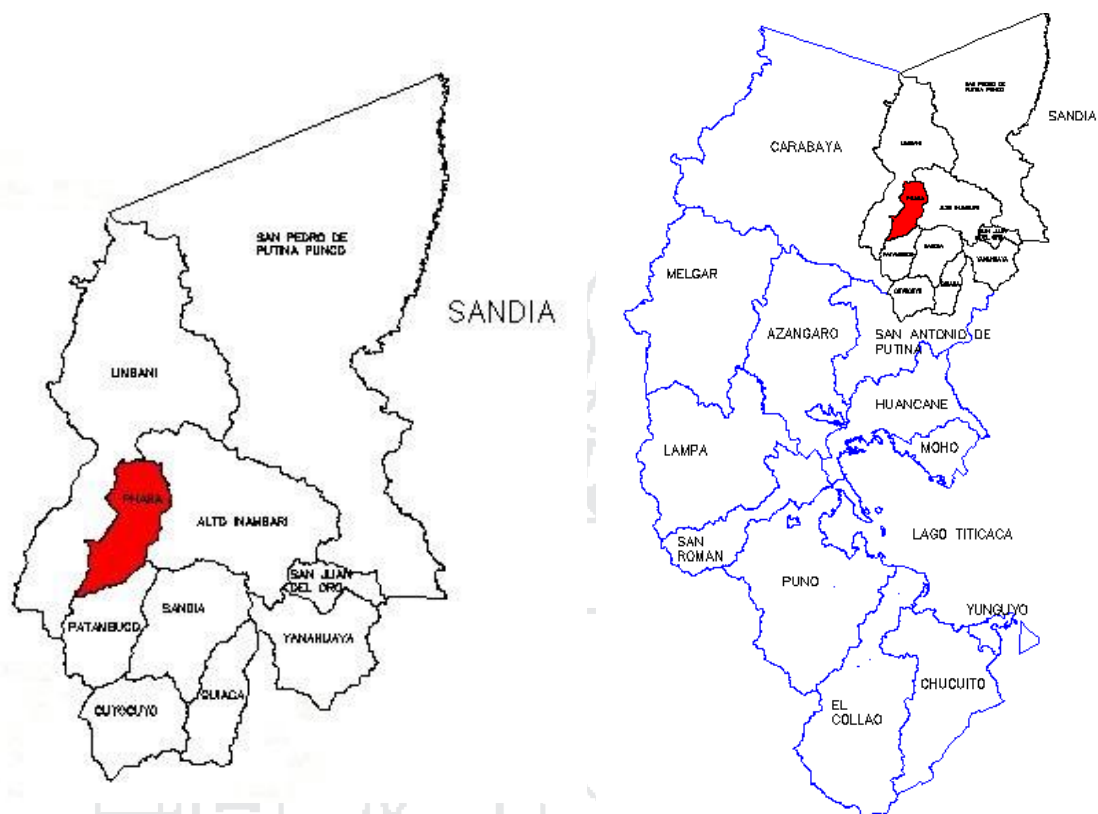
4.1.1. UBICACIÓN

El distrito de Phara está ubicado en la provincia de Sandía Departamento de Puno en las coordenadas UTM WGS 84.

Zona de Toma	Zona de casa de Máquinas
X = 428330.22	X = 427666.44
Y = 8435329.12	Y = 8436379.71
Altitud = 3489 msnm	Altitud = 3343 msnm

La población en general del distrito de Phara es de 5212 habitantes, en esta localidad el objetivo es reforzar la capacidad de generación eléctrica de la mini central hidroeléctrica I etapa ya que esta provee de forma limitada al pueblo de Phara.

En la figura vemos la ubicación de la localidad.

Figura 39: Mapa de ubicación del distrito de Phara.

Fuente: <http://www.geogpsperu.com>

4.1.2. CLIMATOLOGIA Y METEOROLOGIA

Las localidades comprendidas para el proyecto se caracterizan por presentar condiciones de clima variado de cálido frígido, húmedo y con constantes neblinas. en la parte alta de las comunidades.

TEMPERATURA MÁXIMA: La temperatura registrada en la estación climatológica ordinaria de las comunidades muestran un valor promedio de 12,4 °C a 19 °C máximo.

TEMPERATURA MÍNIMA: La temperatura mínima también se registra en la misma muestra un promedio general de -1.8 °C.

PRECIPITACIÓN: Presenta lluvias casi todo el año más frecuencia de Noviembre a Marzo, registrándose una precipitación anual de 1230 mm. Humedad relativa es de 70 %.

EVAPORACIÓN: Se considera una evaporación de media mensuales de 760.5 mm.

4.1.3. ACCESOS:

Las vías de acceso al distrito de Phara son las siguientes:

Cuadro 18: Vías de acceso al distrito de Phara

TRAMO	DIST. Km	TIPO DE VÍA	TIEMPO
Puno – Juliaca	45	Asfaltada	1 Hrs.
Juliaca -Azángaro	55	Asfaltada	1 Hrs.
Azangaro – Asillo	35	Asfaltada	45 Mn.
San Anton – Crucero – Limbani – Phara	300	Afirmado	5 Hrs.

Fuente: Ministerio de Transportes y comunicaciones y Trabajo de campo.

4.1.4. POBLACIÓN Y VIVIENDA

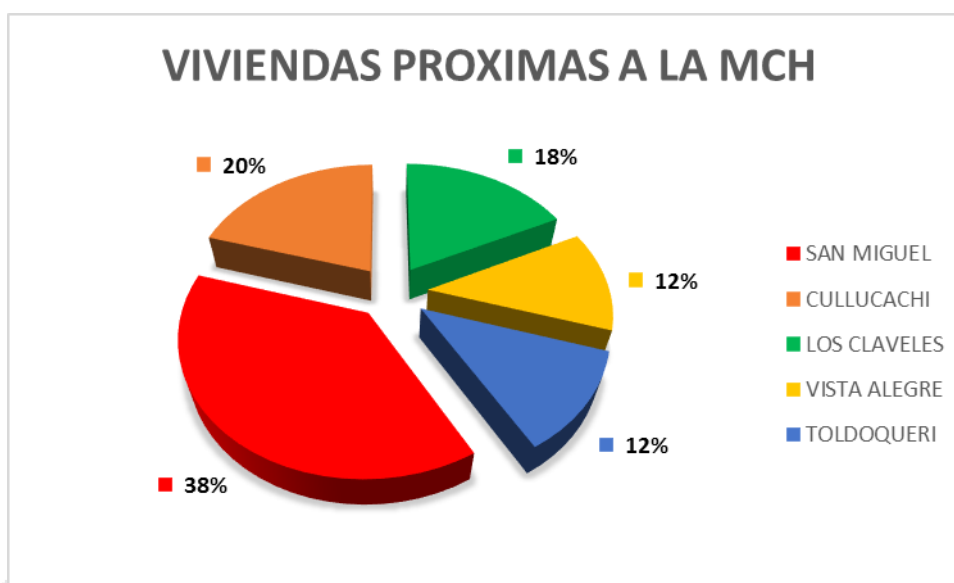
Con los datos obtenidos de la municipalidad y el trabajo en campo se determinó la cantidad de viviendas obteniéndose la siguiente tabla:

Cuadro 19: Localidades integradas en el proyecto.

LOCALIDADES INTEGRADAS EN EL PROYECTO							
ITEM	DEPARTAMENTO	PROVINCIA	DISTRITO	LOCALIDAD	DENOMINACIÓN	POB.	VIV.
1	PUNO	SANDIA	PHARA	SAN MIGUEL	CAPITAL DE DISTRITO	1661	426
2	PUNO	SANDIA	PHARA	CULLUCACHI	CENTRO POBLADO	889	228
3	PUNO	SANDIA	PHARA	LOS CLAVELES	BARRIO	780	200
4	PUNO	SANDIA	PHARA	VISTA ALEGRE	BARRIO	530	136
5	PUNO	SANDIA	PHARA	TOLDOQUERI	COMUNIDAD	519	133

Fuente: Elaboración Propia en base a información de la municipalidad y trabajo de campo.

Figura 40: Porcentaje de vivienda en cada localidad.



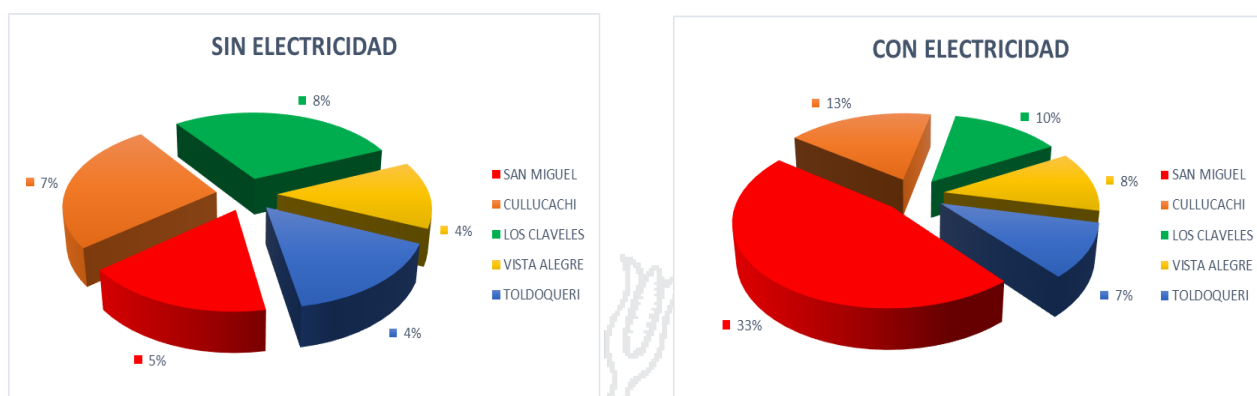
Elaboración: Propia en base a información de la municipalidad y trabajo de campo. Se estableció 1123 viviendas de los cuales 803 viviendas tienen electricidad y 320 viviendas no tiene electricidad.

Cuadro 20: Cantidad de viviendas con y sin electricidad.

LOCALIDAD	VIVIENDAS CON ELECTRICIDAD	VIVIENDAS SIN ELECTRICIDAD
SAN MIGUEL	372	54
CULLUCACHI	145	83
LOS CLAVELES	109	91
VISTA ALEGRE	94	42
TOLDOQUERI	83	50

Elaboración: Propia en base a información del comité de administración de energía eléctrica de Phara y trabajo de campo.

Figura 41: Porcentaje de vivienda con y sin electricidad.



Elaboración: Propia en base a información del comité de administración de energía eléctrica de Phara y trabajo de campo.

4.1.5. ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA POR EL MÉTODO MONENCO

La estimación de la demanda de energía por este método se detalla en la siguiente tabla.

Cuadro 21: Energía demandada según MONENCO.

	2016	2041
Consumos Totales	Kwh	Kwh
Consumo Doméstico	314237.28	508410.33
Consumo Comercial	52070.00	66776.23
Consumo Pequeña Industria	37864.00	48558.01
Consumo General	22990.00	29483.11
Consumo Carga Especial	0.00	0.00
Consumo de Alumbrado Público	84898.80	108876.94
Energía Neta (Kwh)	512060.08	762104.62
Pérdidas de Energía (Kwh)	46085.41	68589.42
Energía Total (kwh)	558145.48	830694.04
Maxima demanda requerida (Kw)	235.48	354.45

Elaboración: Propia.

Fuente: (Monenco,1996).

Como se puede apreciar según esta metodología MONENCO, la energía demandada actual es de 558,145.48 Kwh con una potencia de 235.48 Kw. Y para el año 2041 será de 354.00 Kw los cálculos se muestran en los anexos.

CRECIMIENTO DEL CONSUMO UNITARIO DOMÉSTICO

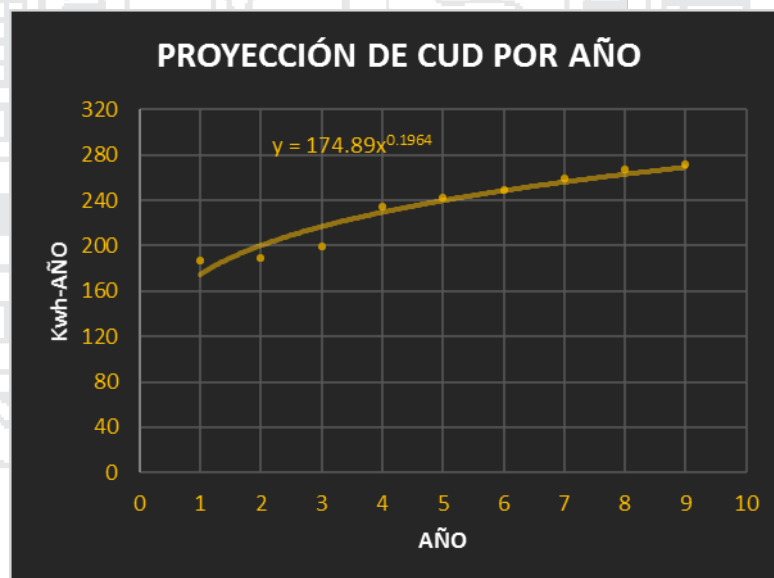
Cuadro 22: Crecimiento del consumo unitario doméstico.

Año	X	Nro. Usuarios	Consumo kW.h	CUD/mes kW.h	CUD/año kW.h
2006	1	637	9937	15.6	187.2
2007	2	644	10175	15.8	189.6
2008	3	652	10823	16.6	199.2
2009	4	664	12948	19.5	234
2010	5	790	15958	20.2	242.4
2011	6	798	16598	20.8	249.6
2012	7	806	17410	21.6	259.2
2013	8	805	17952	22.3	267.6
2014	9	810	18387	22.7	272.4

Elaboración: Propia.

Fuente: (Monenco, 1996).

Gráfica 2: Proyección del consumo unitario domestico por año.



Elaboración: Propia.

Fuente: (Monenco, 1996).

Y=A*X^B	
A	174.89
B	0.196

4.1.6. ESTIMACION DE LA DEMANDA POR EL MÉTODO R. ORTIZ

La demanda de energía por este método se detalla en las siguientes tablas.

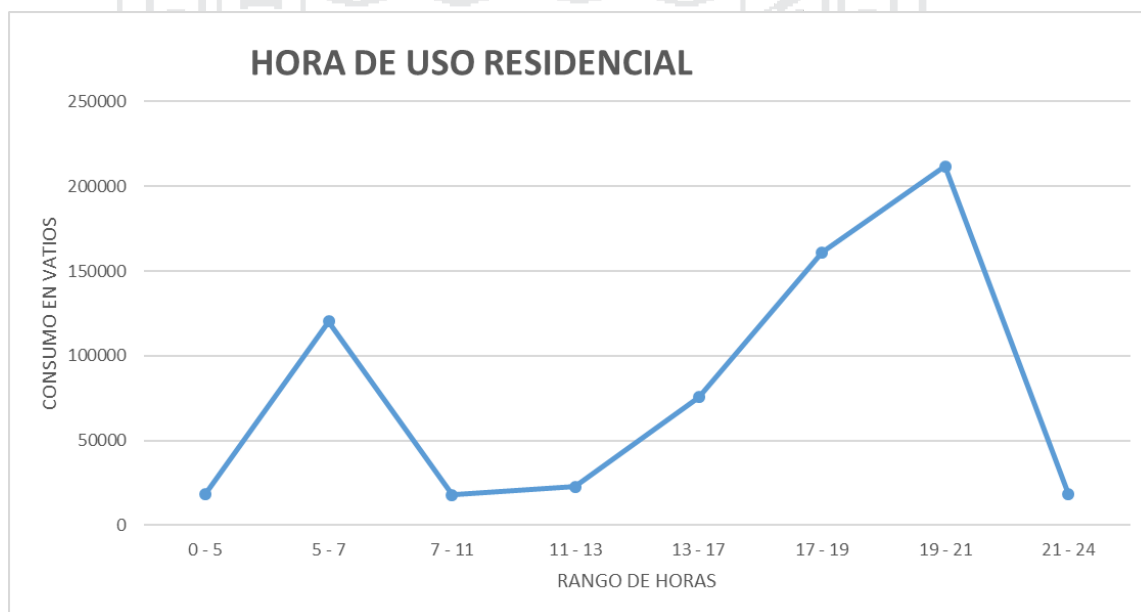
Cuadro 23: Evaluación de la demanda residencial.

DEMANDA RESIDENCIAL														
UTILIDAD (Usuario representativo)	POTENCIA Vatios	N°	CS %	HORARIO DE USO (Horas)								Energía kwh		
				0 - 5	5 - 7	7 - 11	11 - 13	13 - 17	17 - 19	19 - 21	21 - 24	DÍA	AÑO	
Iluminación														
Cocina-Comedor	100	1123	0.4							44920	44920		179.68	65583.2
Alcoba N° 1	100	1123	0.3							33690	33690		134.76	49187.4
Alcoba N° 2	100	820	0.3								24600		49.2	17958
Alcoba N° 3	100	485	0.3								14550		29.1	10621.5
Baño	100	1123	0.1								11230		22.46	8197.9
Puerta de entrada	100	240	0.1	2400							2400	2400	24	8760
Preparación y preservación de alimentos														
Refrigerador	250	315	0.2	15750	15750	15750	15750	15750	15750	15750	15750	15750	378	137970
Licuada	100	700	0.1				7000						14	5110
Recreación														
Televisor	100	994	0.6		59640			59640	59640	59640	59640		596.4	217686
Radio	15	1100	0.3		4950				4950	4950			29.7	10840.5
Otros														
Máquina de coser	100	100	0.2			2000			2000				8	2920
Plancha	1000	400	0.1		40000								80	29200
TOTAL	1166050			18150	120340	17750	22750	75390	160950	211730	18150		1545.3	564034.5

Elaboración: propia.

Fuente: (Flores, 2001).

Gráfica 3: Diagrama de carga población residencial.



Elaboración: propia.

Fuente: (Flores, 2001).

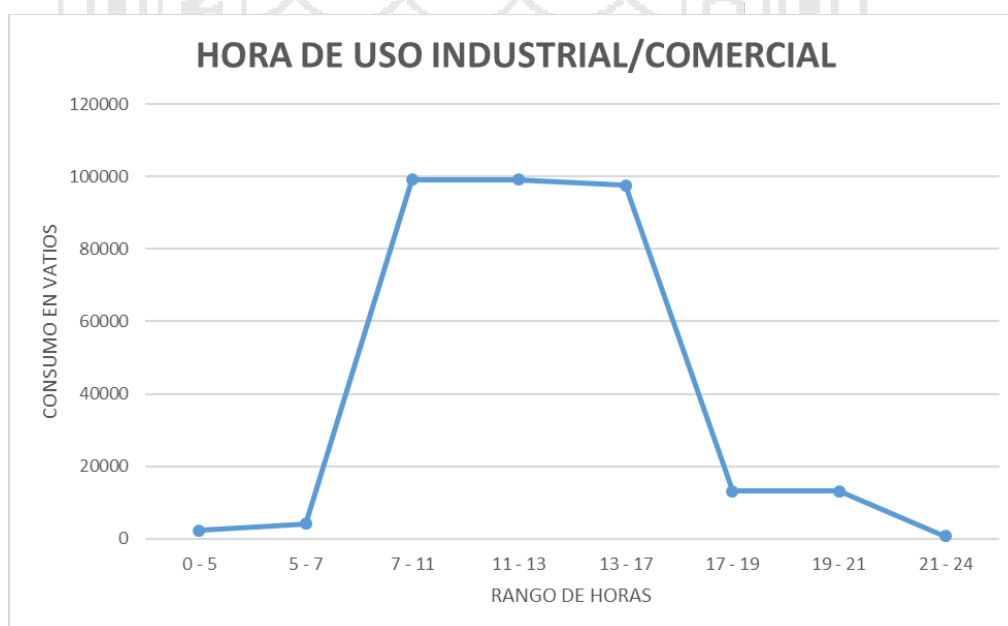
Cuadro 24: Evaluación de la demanda industrial, comercial y servicios públicos.

DEMANDA INDUSTRIAL, COMERCIAL Y POR SERVICIOS PÚBLICOS														
UTILIDAD (Usuario representativo)	POTENCIA Vattos	N°	CS %	HORARIO DE USO (Horas)								Energía kwh		
				0 - 5	5 - 7	7 - 11	11 - 13	13 - 17	17 - 19	19 - 21	21 - 24	Día	AÑO	
Industrial Comercial														
Mercados/ferias	3000	1	0.5	1500	1500	1500	1500						19.5	7117.5
Bodegas	500	39	0.5			9750	9750	9750	9750	9750			117	42705
Restaurantes	700	4	0.6		1680	1680	1680	1680	1680	1680			23.52	8584.8
Hospedaje	600	2	0.6	720					720	720	720		8.64	3153.6
Farmacia	500	4	0.5		1000	1000	1000	1000	1000	1000			14	5110
Carpintería	7000	1	0.6			4200	4200	4200					42	15330
Taller Metal mecánica	30000	3	0.7			63000	63000	63000					630	229950
Taller de Mecánica Automotriz	10000	3	0.6			18000	18000	18000					180	65700
TOTAL	155500			2220	4180	99130	99130	97630	13150	13150	720		1034.66	377650.9
Servicios Públicos														
Municipalidad	2000	2	1			4000	4000	4000					40	12680
Gobernación	1000	2	0.5			1000	1000	1000					10	3170
Local comunal, sindical ó Cooperativa	1000	5	0.5			2500	2500	2500					25	7925
Juzgado de Paz	1000	2	0.6			1200	1200	1200					12	3804
Club de Madres, deport., almacén ó Com. Pop.	1000	4	0.6			2400	2400	2400					24	8760
Comisaría	2000	1	1			2000	2000	2000	2000				20	6340
Iglesia	500	3	0.2		300	300							1.8	86.4
Intituciones Educativas	1500	12	0.3			5400	5400						32.4	8715.6
Centro de Salud	3000	1	0.6	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800		43.2	15768
Alumbrado Público	16450	1	1	16450					16450	16450	16450		197.4	72051
TOTAL	57950			18250	2100	20600	20300	14900	20250	18250	18250		405.8	139300

Elaboración: Propia.

Fuente: (Flores, 2001).

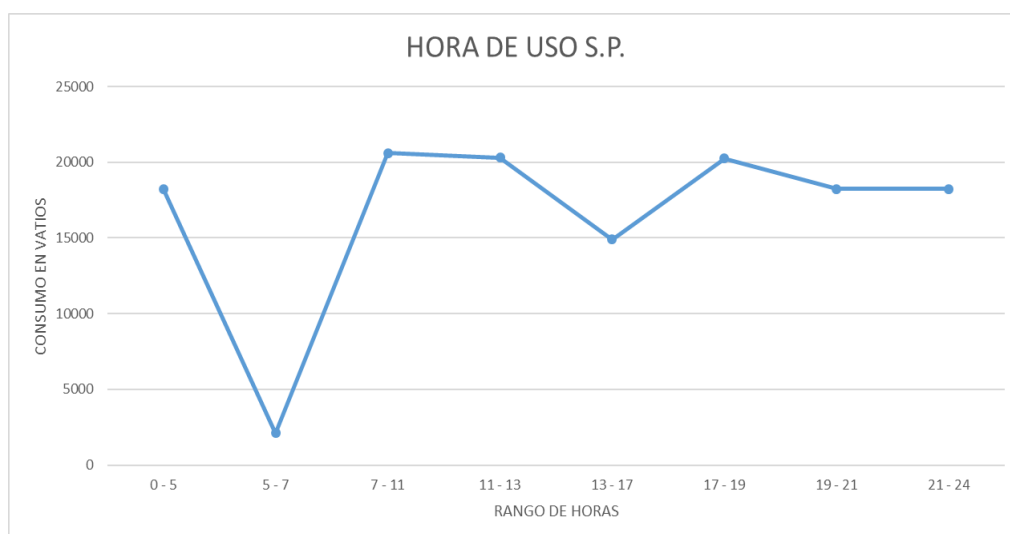
Gráfica 4: Diagrama de carga industrial comercial.



Elaboración: propia

Fuente: (Flores, 2001).

Gráfica 5: Diagrama de carga servicios públicos.



Elaboración: propia
Fuente: (Flores, 2001).

Cuadro 25: Energía demandada por el método de Ortiz.

Crecimiento de la demanda														
Año	Demanda residencial				Demanda Industrial/Comercial				Demanda Servicios públicos				Demanda total	
	%	Potencia Vatios	%	Energía Kwh-año	%	Potencia Vatios	%	Energía Kwh-año	%	Potencia Vatios	%	Energía Kwh-año	Potencia Vatios	Energía Kwh-año
0	0	208730.00	0	560019.50	0	12950.00	0	131604.40	0	18250.00	0	139300.00	239930.00	830923.90
1	3	214991.90	3	576820.09	0	12950.00	0	131604.40	1.3	18487.25	1.3	141110.90	246429.15	849535.39
24	0.5	301771.59	0.5	809648.72	2	15887.25	2	161454.22	1.5	24515.26	1.5	187121.95	342174.10	1158224.89
25	0.5	303280.45	0.5	813696.96	2	16205.00	2	164683.30	1.5	24882.99	1.5	189928.78	344368.44	1168309.05

Elaboración: propia.
Fuente: (Flores, 2001).

Con los datos obtenidos por este método la energía demandada actual es 830,932.90 kwh con una potencia de 239.93 Kw y para el año 25 será 344.37Kw los cálculos se muestran en el anexo.

4.1.7. ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA POR EL MÉTODO T. NOZAKI

La estimación de la demanda de energía por este método se detalla en la siguiente tabla.

Cuadro 26: Demanda actual según Tsuguo Nozaki.

DEMANDA ACTUAL PARA DISTINTAS POBLACIONES	
POBLACIONES (habitantes)	DEMANDA DE POTENCIA (Kw)
500 - 1000	15 kw - 35 kw
1000 - 2000	35 kw - 80 kw
2000 - 4000	80 kw - 180 kw
4000 - 10000	180 kw - 500 kw
10000 - 20000	500 kw - 1200 kw

Fuente: (Nozaki, 1983)

Debido a que la población es de 4380 habitantes se tuvo que interpolar para tener la demanda de potencia.

Con la cual se obtiene una potencia actual de 200.27 Kw.

Como se puede apreciar los 3 resultados guardan cercanía.

Cuadro 27: Resumen de la demanda actual.

MÉTODO	DEMANDA DE POTENCIA (Kw)		
ORTIZ	239.93	PROMEDIO	225.22
MONENCO	235.48		
NOZAKI	200.27		

Elaboración: Propia.

4.1.8. ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA FUTURA

El pronóstico del crecimiento de la demanda potencial en energía y/o potencia se ha preestablecido y proyectado para un periodo de 25 años.

Cuadro 28: Resumen de la demanda proyectada a 25 años.

MÉTODO	DEMANDA DE POTENCIA (Kw)		
ORTIZ	344.37	PROMEDIO	342.46
MONENCO	354.45		
NOZAKI	328.56		

Elaboración: Propia.

4.1.9. ANALISIS DE OFERTA

La oferta de servicio de energía eléctrica se brinda actualmente a través de una mini central hidroeléctrica Phara I de 150 kw de potencia para 803 viviendas conectadas, actualmente la prestación del servicio de energía es regularmente restringida debido a que la mini central hidroeléctrica Phara I alcanzó su máxima capacidad de generación para la cual fue diseñada.

La mini central cuenta con una infraestructura en buen estado de conservación, instalado en un área de 400 m², el equipo Hidráulico se encuentra en un ambiente de 15 x 10 x 4m de las siguientes características:

- Año 1996.
- Serie TP 96004.
- Altura nominal 82 m.
- Caudal Nominal 0.27 m³/s.
- Potencia en 150 Kw.
- Velocidad 1200 RPM.

Figura 42: Fotografía del equipo Hidráulico mini central Phara I.



Elaboración: propia.

Cabe indicar que este equipo no cuenta con la capacidad suficiente para atender a la demanda de servicio eléctrico exigido, por lo que se requiere un incremento de la capacidad de generación para el mejoramiento y ampliación en las localidades donde las viviendas no cuentan con este servicio fundamental, cuenta con el tendido de Línea-red primaria y red Secundaria en regular estado de mantenimiento, las cuales serán ampliadas.

4.1.10. BALANCE OFERTA DEMANDA

En la situación “con proyecto” el Balance de Oferta Demanda (Mini central hidroeléctrica II Phara), considerando que se cuenta con una potencia instalada de 150 Kw.

Cuadro 29: Balance oferta demanda del servicio - situación sin proyecto.

DESCRIPCIÓN	Años					
	0 2016	1 2017	2 2018	23 2039	24 2040	25 2041
Demanda (kW)	235.5	240.5	245.5	344.7	349.6	354.5
Oferta (kW)	150.0	150.0	150.0	150.0	150.0	150.0
Deficit	-85.48	-90.55	-95.52	-194.71	-199.57	-204.45

Elaboración: Propia.

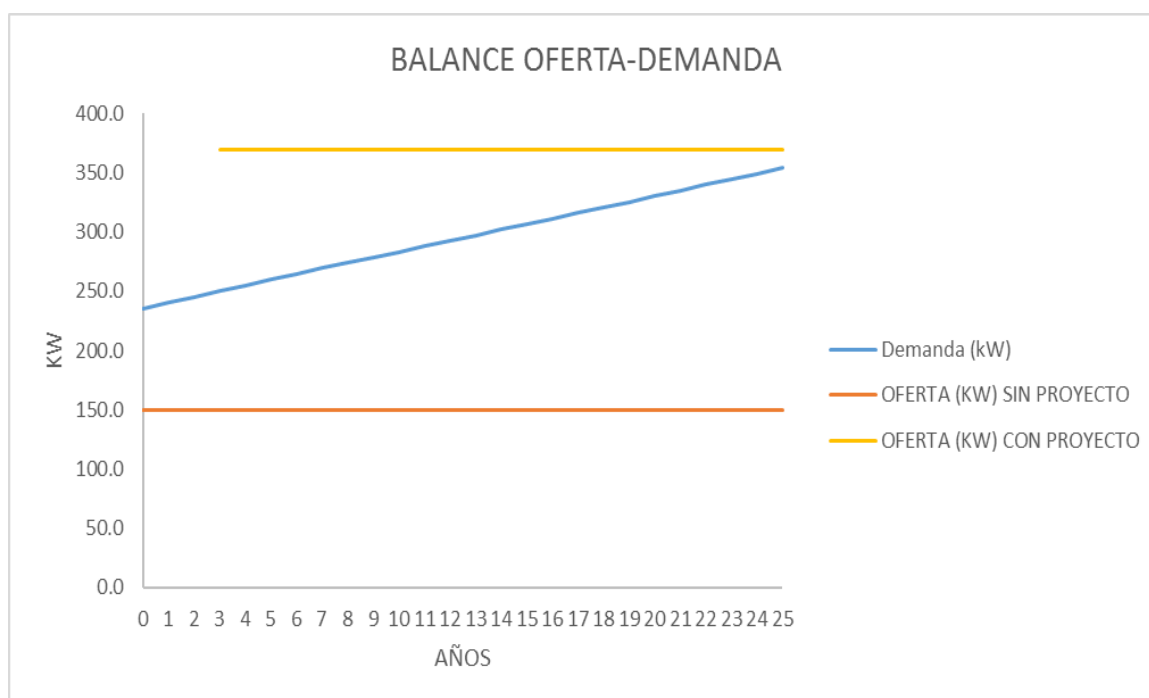
Fuente: (Monenco, 1996).

Cuadro 30: Balance oferta demanda del servicio - situación con proyecto.

DESCRIPCIÓN	Años					
	0 2016	1 2017	2 2018	23 2039	24 2040	25 2041
Potencia Requerida (kW)	235.5	240.5	245.5	344.7	349.6	354.5
Oferta (kW)	370.0	370.0	370.0	370.0	370.0	370.0
Superávit	134.5	129.5	124.5	25.3	20.4	15.5

Elaboración: Propia.

Fuente: (Monenco, 1996).

Gráfica 6: Gráfica de balance oferta demanda.

Elaboración: Propia.

4.2. ESTUDIO HIDROLÓGICO

En general, para una Mini central Hidroeléctrica debe buscarse el aseguramiento de un caudal de agua mínimo con una permanencia del 90%. Cuando el caudal disponible es superior al necesario en todas las épocas del año, no es necesario tomar mayores recaudos.

Cuadro 31: Historial de caudales medios mensuales de los últimos 5 años.

HISTORIAL DE CAUDALES MEDIOS MENSUALES (m3/s)					
MES	AÑO				
	1	2	3	4	5
ENERO	1.71	1.76	1.55	1.67	1.94
FEBRERO	1.53	1.58	1.82	1.46	1.17
MARZO	1.48	1.87	1.84	0.93	0.81
ABRIL	1.42	1.39	1.51	1.31	0.63
MAYO	0.66	0.84	0.77	0.59	0.5
JUNIO	0.54	0.65	0.53	0.38	0.42
JULIO	0.31	0.28	0.26	0.29	0.33
AGOSTO	0.29	0.27	0.25	0.26	0.3
SEPTIEMBRE	0.37	0.35	0.38	0.32	0.32
OCTUBRE	0.59	0.42	0.47	0.4	0.48
NOVIEMBRE	0.66	0.57	0.69	0.49	0.55
DICIEMBRE	0.85	0.96	1.43	1.11	0.86
PROMEDIO	0.8675	0.91	0.96	0.77	0.69
MÁXIMO	1.71	1.87	1.84	1.67	1.94
MÍNIMO	0.29	0.27	0.25	0.26	0.30

Fuente: Proporcionada por el comité de administración de energía eléctrica Phara.

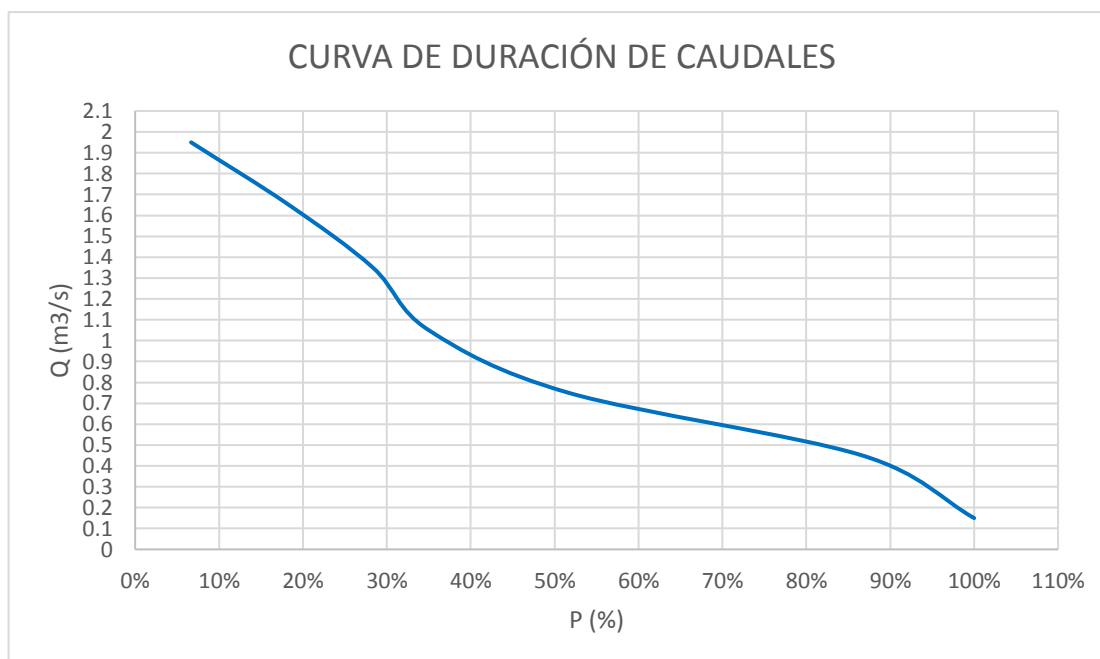
Cuadro 32: Frecuencia de caudales mensuales.

RANGO			Qp (m3/s)	n	N	P (%)
0	a	0.3	0.15	8	60	100%
0.3	a	0.6	0.45	21	52	87%
0.6	a	0.9	0.75	10	31	52%
0.9	a	1.2	1.05	4	21	35%
1.2	a	1.5	1.35	6	17	28%
1.5	a	1.8	1.65	7	11	18%
1.8	a	2.1	1.95	4	4	7%

Elaboración: Propia.

Fuente: (Soluciones Prácticas ITDG, 2010)

Gráfica 7: Curva de duración de caudales.



Elaboración: Propia.

Fuente: (Soluciones Prácticas ITDG, 2010).

CURVA DE VARIACIÓN ESTACIONAL

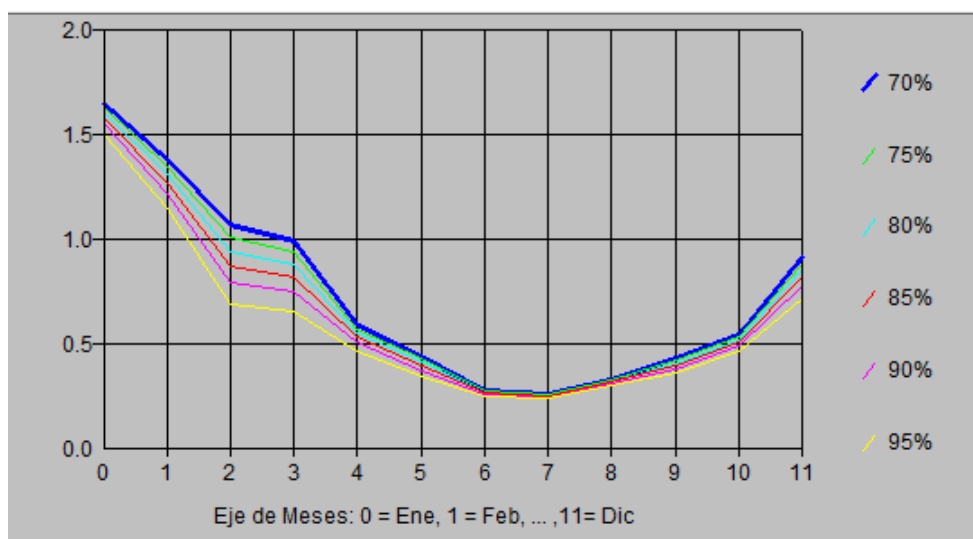
Probabilidad de que los eventos mensuales sean igualados o superados se ha calculado utilizando el software para cálculos hidrológicos HidroEsta.

Cuadro 33: Probabilidad de ocurrencia de eventos mensuales.

MESES	70%	75%	80%	85%	90%	95%
ENERO	1.65	1.63	1.61	1.58	1.55	1.5
FEBRERO	1.38	1.34	1.31	1.27	1.22	1.15
MARZO	1.07	1.01	0.94	0.87	0.79	0.69
ABRIL	0.99	0.94	0.88	0.82	0.75	0.66
MAYO	0.59	0.57	0.56	0.53	0.51	0.47
JUNIO	0.44	0.43	0.41	0.4	0.38	0.35
JULIO	0.28	0.28	0.27	0.27	0.26	0.25
AGOSTO	0.26	0.26	0.26	0.25	0.25	0.24
SEPTIEMBRE	0.33	0.33	0.32	0.32	0.31	0.3
OCTUBRE	0.43	0.42	0.41	0.4	0.39	0.37
NOVIEMBRE	0.55	0.53	0.52	0.51	0.49	0.47
DICIEMBRE	0.91	0.88	0.85	0.82	0.77	0.72

Fuente: Software HidroEsta

Gráfica 8: Curva de variación estacional.



Fuente: Software HidroEsta

Por los cálculos realizados se selecciona un caudal de diseño igual a 0.24 m³/s.

4.3. MEDICIÓN DEL SALTO

El cálculo de la altura se calculó mediante el método del eclímetro de donde se obtiene una altura bruta de 138.38 m.

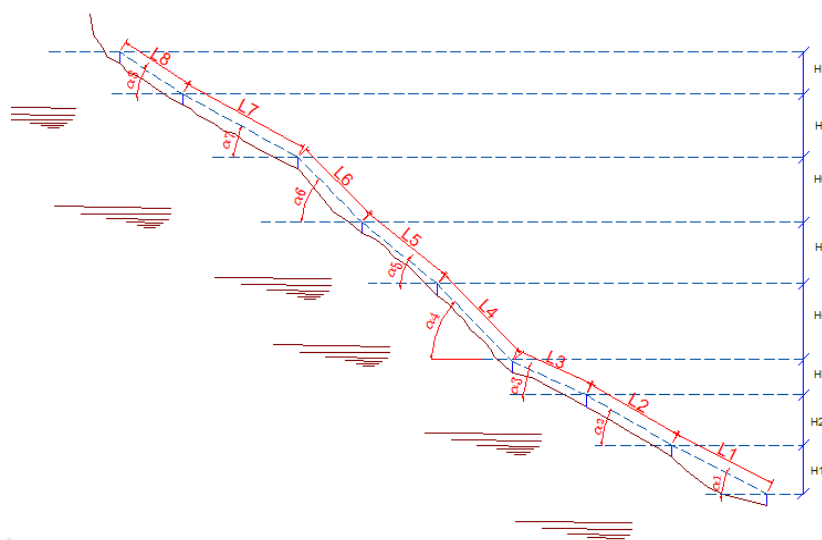
Cuadro 34: Datos levantados en campo para calcular el salto.

LONGITUD (m)		ÁNGULO (o)	
L1	34.11	α1	27
L2	31.58	α2	30
L3	25.84	α3	24
L4	34.36	α4	45
L5	30.95	α5	38
L6	28.79	α6	45
L7	42.07	α7	28
L8	24.11	α8	33

Elaboración: Propia.

Fuente: (Soluciones Prácticas ITDG, 2010).

Figura 43: Medición del salto por el método del eclímetro



Fuente: Elaboración Propia.

Cuadro 35: Cálculo de la altura bruta.

ALTURA PARCIAL	
H1	15.49
H2	15.79
H3	10.51
H4	24.30
H5	19.05
H6	20.36
H7	19.75
H8	13.13
ALTURA TOT.	138.38

Fuente: Elaboración propia.

4.4. DISEÑO A NIVEL PRELIMINAR DE LAS OBRAS CIVILES

4.4.1. DISEÑO HIDRÁULICO DEL CANAL DE CONDUCCIÓN

Será de tipo rectangular de concreto para un caudal de diseño $Q_d = 0.24 \text{ m}^3/\text{s}$ de las siguientes dimensiones.

Altura del Canal $H = 0.30 \text{ m}$.

Ancho del canal $B = 0.60 \text{ m}$.

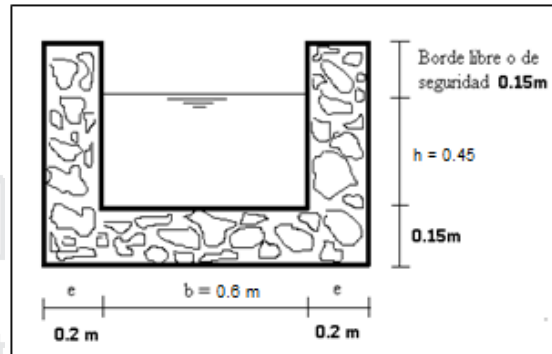
Radio Hidraulico $R = 0.1519$.

Perímetro mojado $P = 1.2 \text{ m}$.

Pendiente $S = 0.005$.

Desnivel del canal = 7 m .

Figura 44: Detalle del canal de conducción.



Fuente: Elaboración propia.

Borde libre o de seguridad = 0.15 m .

4.4.2. DIMENSIONES DEL DESARENADOR

El desarenador será de las siguientes dimensiones:

Ancho del desarenador $W = 2.40 \text{ m}$.

Longitud de decantación del desarenador $L_d = 10 \text{ m}$.

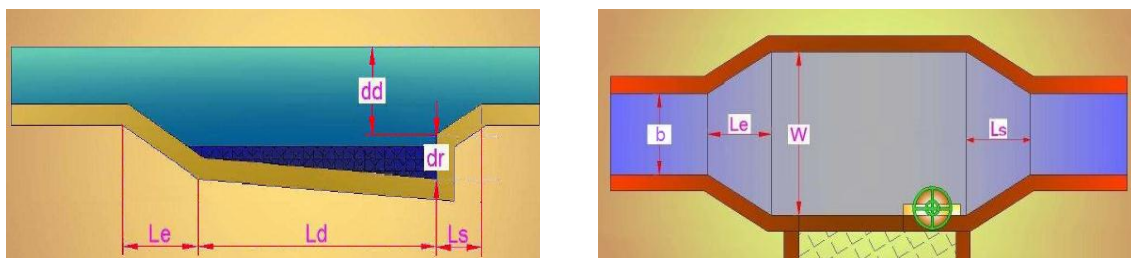
Longitud de entrada $L_e = 1.90 \text{ m}$.

Longitud de salida $L_s = 1.30 \text{ m}$.

Profundidad de decantación $d_d = 0.50 \text{ m}$.

Profundidad de recolección $d_r = 0.60 \text{ m}$.

Figura 45: Detalle del desarenador.



Fuente: (Mallitásig Panchi, 2008).

4.4.3. DIMENSIONES DEL DESARENADOR – CÁMARA DE CARGA

El desarenador – cámara de carga será de las siguientes dimensiones:

Ancho del canal $b = 0.60$ m.

Ancho del desarenador $W = 1.50$ m.

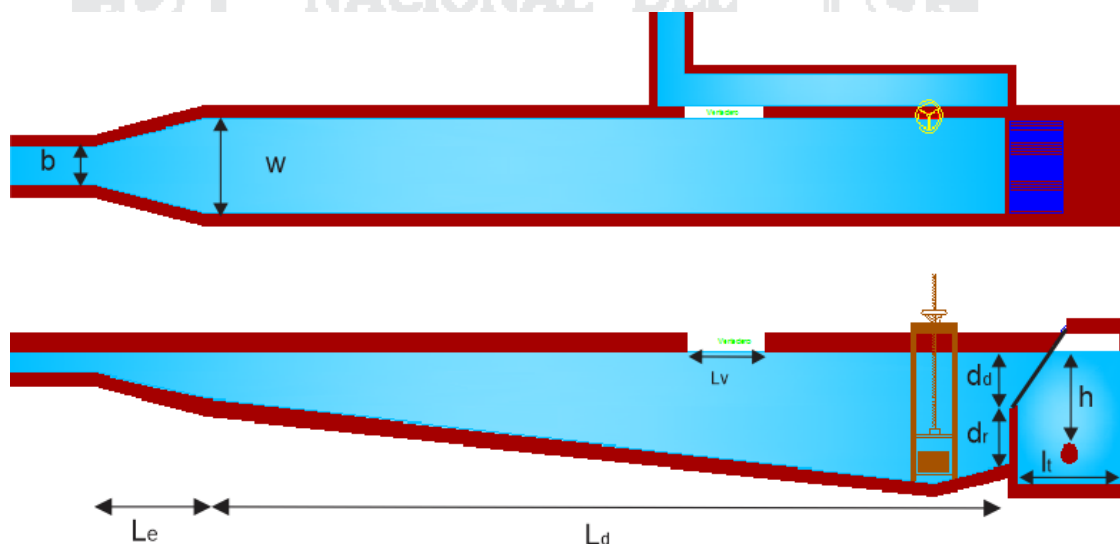
Longitud de decantación del desarenador $L_d = 16$ m.

Longitud de entrada $L_e = 2.10$ m.

Profundidad de decantación $d_d = 0.80$ m.

Profundidad de recolección $d_r = 0.90$ m.

Figura 46: Detalle de la cámara de carga – desarenador.



Elaboración: Propia.

Fuente: (Cortez & Valencia, 2014).

DIMENSIONAMIENTO DEL TANQUE DE PRESIÓN

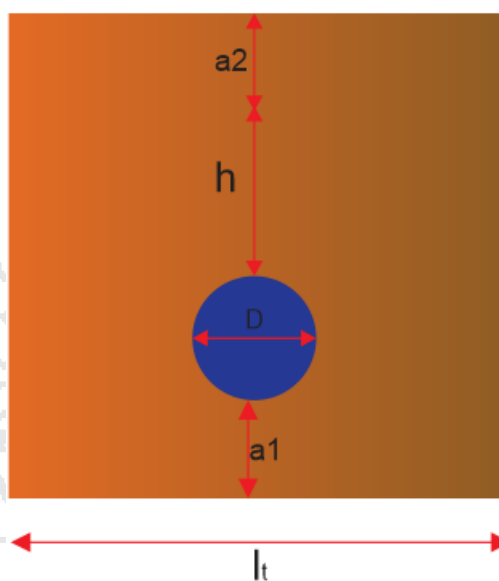
Longitud del tanque de presión $l_t = 3.30$ m.

Altura Mínima de agua sobre la tubería de presión $h = 1.40$ m.

Altura para sedimentos $a_1 = 0.40$ m.

Altura para evitar golpe de ariete $a_2 = 0.40$ m.

Figura 47: Detalle del tanque de presión.



Fuente: (Mallitásig Panchi, 2008)

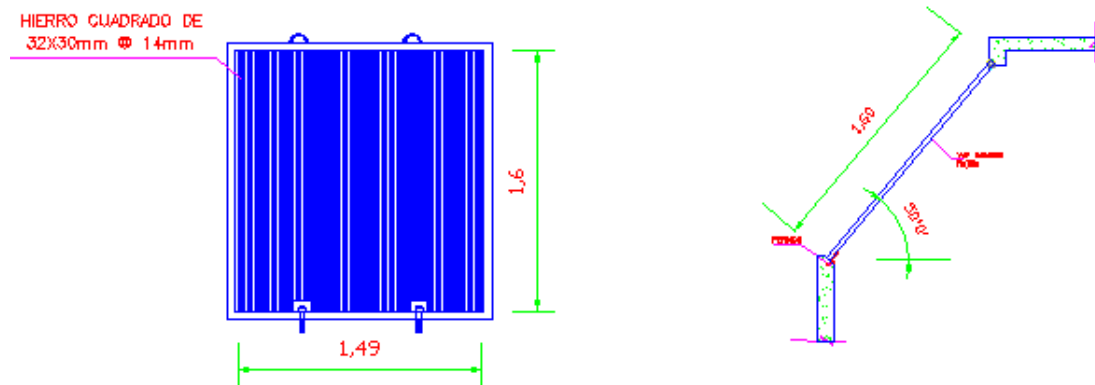
DIMENSIONAMIENTO DE LA REJILLA

Las rejillas deben tener una inclinación con respecto a la horizontal para facilitar la limpieza.

De 50° a 55° para limpieza a mano y de 70° a 76° para limpieza mecánica para el presente diseño se considerará un Angulo de inclinación de 50° .

La distancia entre rejillas depende del tipo de turbina que se utilizará en el caso de la turbina pelton, la distancia "S" no debe ser mayor a la mitad del diámetro del inyector. Si se usa una válvula de aguja debe ser un cuarto de este. Para el presente diseño la distancia entre rejilla será $S = 14$ mm.

La dimensión del barroto será de $l \times h = 32 \times 30$ mm.

Figura 48: Detalle de la rejilla.DESARENADOR - CAMARA DE CARGA
DETALLE DE REJILLA

Fuente: Elaboración Propia.
Fuente: (Cortez & Valencia, 2014).

4.4.4. DIMENSIONES DE LA TUBERÍA DE PRESIÓN

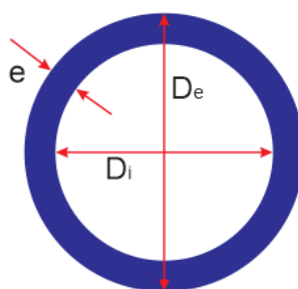
Para dimensionar la tubería de presión se ha considerado los siguientes datos:

- Caudal de diseño: $Q_d = 0.24 \text{ m}^3/\text{s}$.
- Altura Bruta: $H_B = 138 \text{ m}$.
- Longitud de la tubería: $L = 205.62 \text{ m}$.
- Cota de inicio 3481.78 msnm.

La velocidad del fluido que pasa por la tubería de presión es: $V_T = 2.93 \text{ m/s}$.

De los cálculos realizados se tiene las siguientes dimensiones de la tubería de presión de acero ASTM A-36:

- Diámetro interior de la tubería de presión: $D_i = 0.323 \text{ m}$.
- Diámetro exterior de la tubería de presión: $D_e = 0.332 \text{ m}$.
- Espesor de la tubería de presión: $e = 9 \text{ mm}$.

Figura 49: Diámetro de la tubería de presión.

Fuente: Elaboración propia.

CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS EN LA TUBERÍA DE PRESIÓN

Se tiene las siguientes pérdidas:

- Pérdidas en la rejilla: $h_r = 0.011$ m.
- Pérdida en la entrada de la tubería: $h_E = 0.09$ m.
- Pérdida en los codos: $h_o = 0.11$ m.
- Pérdida por fricción en la tubería: $h_f = 3.28$ m.
- Cálculo de pérdida en la válvula: $h_v = 0.26$ m.

Sumatoria de pérdidas totales: $h_{Tot.} = 3.74$ m.

Entonces la altura neta útil será $H_n = 134.26$ m.

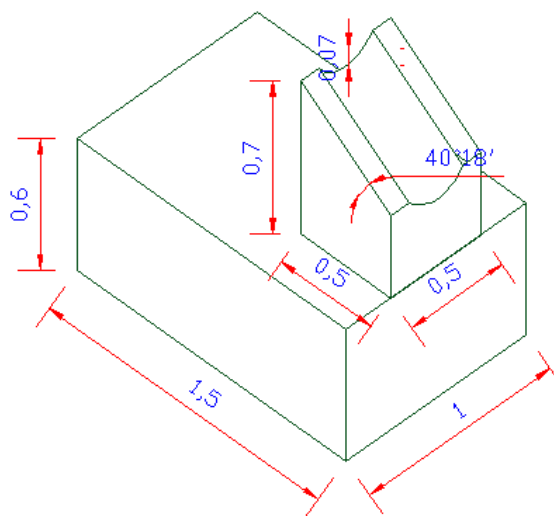
La potencia que se genera es de: $pot. = 220$ kw.

En la tubería de presión se instalará una válvula de alivio o también llamado válvula de seguridad, la cual su función es aliviar la alta presión así evitar el golpe de ariete.

4.4.4.1. DIMENSIONAMIENTO DE LOS APOYOS

Las dimensiones del bloque de concreto de los apoyos de la tubería se muestran en la siguiente figura.

Figura 50: Detalle de los apoyos.



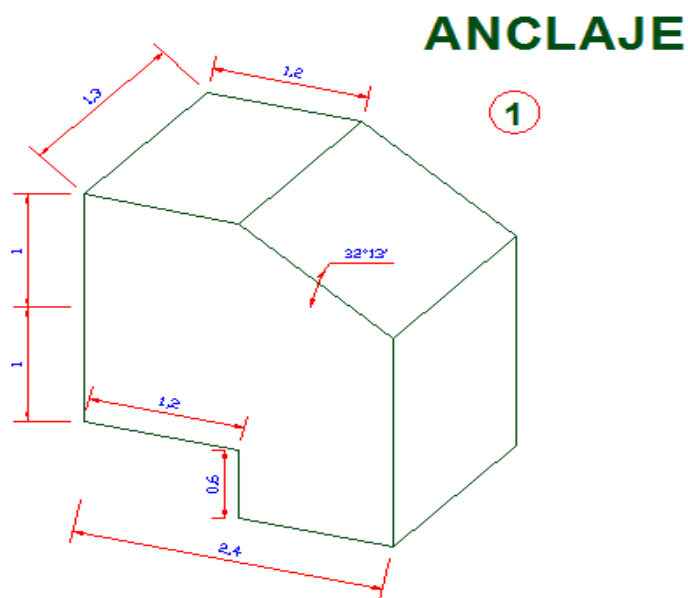
Elaboración: Propia.

Fuente: (Villayzán, 2014)

4.4.4.2. DIMENSIONAMIENTO DE LOS ANCLAJES

En el tramo de la tubería de presión se tienen 3 anclajes, de las dimensiones como se muestra en la siguiente figura:

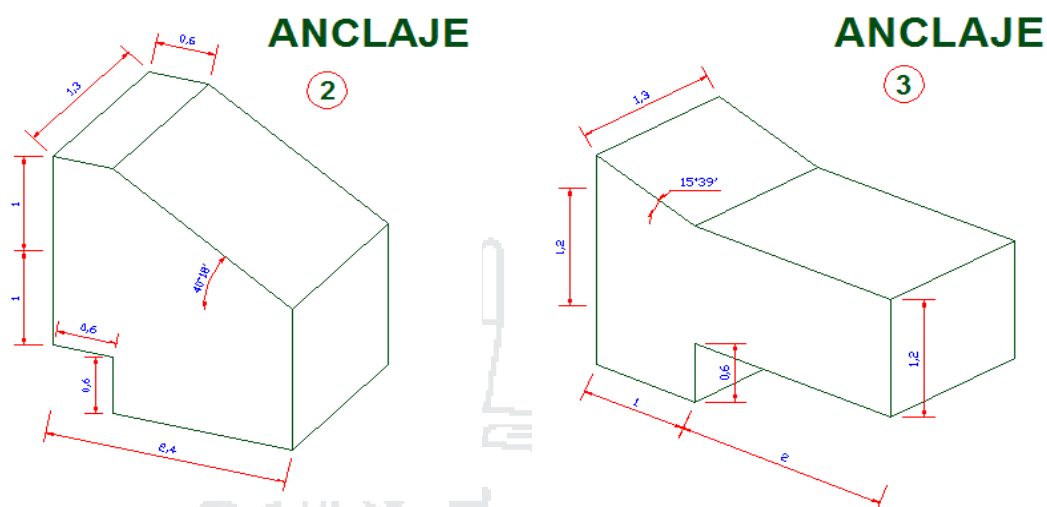
Figura 51: Detalle del anclaje hacia adentro.



Elaboración: Propia.

Fuente: (Villayzán, 2014)

Figura 52: Detalle del anclaje hacia afuera.



Elaboración: Propia.
Fuente: (Villayzán, 2014)

4.4.5. UBICACIÓN DE LA CASA DEMÁQUINAS

Se realizó una visita al lugar donde se plantea la ubicación de la MCH II etapa para verificar las características topográficas del terreno. Se ubican puntos tentativos en campo mediante GPS donde la topografía sea adecuada para la ubicación de la casa de máquinas. Luego se procedió al trabajo de gabinete, se plantea una ubicación tentativa de la casa de maquinas la que se muestra en la siguiente figura:

Figura 53: Ubicación de la casa de máquinas.



Fuente: Elaboración propia.

La casa de máquinas tendrá una dimensión de 11.40 x 5.90 m y una altura de 4 metros, la casa de máquinas se ha planteado ubicarlo en función a los máximos niveles alcanzables por el río.

4.4.6. SELECCIÓN DE LA TURBINA

Para la selección de la turbina se recurrió al criterio de Ing. Nozaki el manual de diseño Hidroservice, y el manual de diseño del ITDG. De acuerdo a los criterios citados se empleará una turbina Pelton con 2 inyectores de eje Horizontal de 900 RPM, de una rueda y una descarga. Ya que el grupo de eje horizontal ofrece facilidades para su montaje y mantenimiento debido a que se facilita la inspección, permite transmisión directa por acoplamiento al eje o a los que se transfiere y utiliza cojinetes normales.

4.4.7. EQUIPAMIENTO MECÁNICO E HIDRÁULICO

▪ VÁLVULA

Se instalará una válvula de mariposa de 12", ubicada dentro de la casa de máquinas, permite el paso o cierre total del flujo del caudal. De ninguna manera cumple la función de regular el caudal. Se propone instalar una válvula de alivio con el objetivo de reducir el efecto del golpe de ariete.

▪ TURBINA

Se proyecta el empleo de una turbina Pelton de acuerdo a los ábacos de los fabricantes.

Se calculó el diámetro del rodete el cual es 0.50 m, se tiene en consideración los siguientes detalles:

- Un rodete Pelton con 2 inyectores de acero inoxidable.

- Un eje de acero forjado, con bridas en ambos extremos, para su unión al rodete y al eje del rotor del generador.

▪ **GENERADOR**

Se instalará un generador de 8 polos con una velocidad de rotación de 900 RPM. La velocidad es superior a los 600 RPM, lo cual asegura una turbina con una velocidad óptima para una MCH, construcciones menos voluminosas y no se requiere del empleo de un amplificador de velocidad.

Este equipo genera una potencia de 220 kW. Contará con su sistema de protección y control.

▪ **VOLANTE DE INERCIA**

El volante se encarga de compensar el momento de inercia del grupo turbina-generador, para atenuar el efecto del golpe de ariete.

▪ **CANAL DE DESCARGA DE AGUA TURBINADA**

Después de pasar por la turbina, el agua turbinada se devuelve al río a través de un canal revestido de concreto con pendiente de 5 0/00. La turbina puede generar velocidades altas, por lo que habrá que proteger el canal dentro de la casa de máquinas para que la erosión no ponga en peligro la casa de máquinas con el revestimiento mencionado. Hay que prever también que, incluso en los períodos de grandes crecidas, el nivel del agua en el canal nunca llegue al rodete de la turbina. Por ello la casa de máquinas se proyecta en la cota de NPT +3342.70 msnm lo cual es 2.13m sobre el nivel de espejo de agua del río en condiciones extraordinarias.

4.5. ANÁLISIS DE COSTOS Y PRESUPUESTOS

Se considera los costos directos e indirectos en la evaluación económica.

Para la evaluación de costos directos, los costos de toda las obras civiles y equipamiento del presente proyecto se han considerado precios unitarios multiplicados por el metrado de su partida respectiva, para todos los escenarios, para el caso del equipo electromecánico y la tubería de presión se recurrió a la cotización de costos a la empresa nacional HIDROSATUR S.A.C. (Hidro servicios de alternadores y turbinas).

Para el cálculo de la mano de obra, se han considerado los jornales vigentes y los beneficios sociales del jornal básico y todas las bonificaciones estipuladas por la legislación vigente considerando trabajos a una altitud entre 3300 a 3800 m.s.n.m. Se ha calculado los costos ponderados de mano de obra para los trabajos en superficie.

En el caso del cálculo de los costos de transporte, incluyendo carga y descarga de los materiales, se han considerado tarifas comerciales disponibles para la región Puno.

A continuación, se detalla los principales costos que se incurrirán:

Cuadro 36: Resumen de los costos de la mini central hidroeléctrica.

RESUMEN		CAIDA DE 138 m
01	OBRAS PROVISIONALES, PRELIMINARES	8,758.82
01.01	OBRAS PROVISIONALES	6,936.65
01.02	OBRAS PRELIMINARES	1,822.17
02	OBRAS CIVILES	631,334.56
02.01	OBRAS DE TOMA	17,674.64
	DESARENADOR	17,674.64
02.02	OBRAS DE CONDUCCIÓN	277,394.33
	CANAL DE CONDUCCIÓN	277,394.33
02.03	CAMARA DE CARGA-DESARENADOR	30,621.11
02.04	TUBERIA FORZADA	252,575.87
	TUBERIA FORZADA, ANCLAJES Y APOYOS	252,575.87
02.05	CASA DE MÁQUINAS	53,068.61
	CASA DE MÁQUINAS	37,293.58
	CANAL DE DESCARGA	15,775.03
03	EQUIPAMIENTO ELECTROMECAÁNICO	890,131.20
03.01	TURBINA-GENERADOR, TABLERO, ETC.	890,131.20
04	LINEAS DE TRANSMISIÓN	48,357.12

COSTO DIRECTO (CD)	S/. 1,578,581.70
GASTOS GENERALES	S/. 147,320.00
CAPACITACIÓN Y ORGANIZACIÓN	S/. 7,000.00
SUPERVISIÓN	S/. 30,000.00
IGV 18%	S/. 317,322.31
TOTAL	S/. 2,080,224.01

Elaboración: Propia.

Fuente: (Cortez & Valencia, 2014).

4.6. EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO

Los ingresos y egresos del proyecto se obtienen de la multiplicación de la potencia y energía del proyecto por sus respectivos precios, que muestra el flujo de caja del proyecto.

A partir del flujo económico que se muestra en los siguientes cuadros se han obtenido los indicadores económicos siguientes:

Cuadro 37: Indicadores económicos obtenidos.

													VAN (12%)	TIR
Año	inversión (S/.)	potencia (KW)	Energía producida /Año (KWh)	Tarifa (S./KWh)	Venta de Energía	TOTAL DE INGRESO (S/.)	costo de operación y mantenimiento (S/.)	TOTAL DE EGRESO (S/.)	FLUJO (S)	Tasa (1+i) ⁻ⁿ	Ingresos actualizados	Egresos actualizados	S/.	
0	-2,080,224.01		0	0	0	0	0	0	-2,080,224.01	1.00	0.00	2,080,224.01		
1	0	85.48	748804.8	0.4	299521.92	299521.92	-60,640	-60,640	238,882	0.89	267,430.29	54,142.86	S/.	213,287.43
2	0	90.55	793218	0.4	317287.2	317287.2	-60,640	-60,640	256,647	0.80	252,939.41	48,341.84	S/.	204,597.58
3	0	95.52	836755.2	0.4	334702.08	334702.08	-60,640	-60,640	274,062	0.71	238,234.33	43,162.35	S/.	195,071.98
4	0	100.41	879591.6	0.4	351836.64	351836.64	-60,640	-60,640	291,197	0.64	223,598.55	38,537.82	S/.	185,060.73
5	0	105.24	921902.4	0.4	368760.96	368760.96	-60,640	-60,640	308,121	0.57	209,244.87	34,408.76	S/.	174,836.11
6	0	110.02	963775.2	0.4	385510.08	385510.08	-60,640	-60,640	324,870	0.51	195,311.40	30,722.11	S/.	164,589.29
7	0	114.75	1005210	0.4	402084	402084	-60,640	-60,640	341,444	0.45	181,882.38	27,430.46	S/.	154,451.93
8	0	119.46	1046469.6	0.4	418587.84	418587.84	-60,640	-60,640	357,948	0.40	169,060.61	24,491.48	S/.	144,569.13
9	0	124.14	1087466.4	0.4	434986.56	434986.56	-60,640	-60,640	374,347	0.36	156,860.51	21,867.39	S/.	134,993.12
10	0	128.80	1128288	0.4	451315.2	451315.2	-60,640	-60,640	390,675	0.32	145,311.42	19,524.46	S/.	125,786.96
11	0	133.46	1169109.6	0.4	467643.84	467643.84	-60,640	-60,640	407,004	0.29	134,436.43	17,432.55	S/.	117,003.88
12	0	138.11	1209843.6	0.4	483937.44	483937.44	-60,640	-60,640	423,297	0.26	124,214.69	15,564.78	S/.	108,649.91
13	0	142.75	1250490	0.4	500196	500196	-60,640	-60,640	439,556	0.23	114,632.01	13,897.12	S/.	100,734.89
14	0	147.40	1291224	0.4	516489.6	516489.6	-60,640	-60,640	455,850	0.20	105,684.01	12,408.15	S/.	93,275.86
15	0	152.06	1332045.6	0.4	532818.24	532818.24	-60,640	-60,640	472,178	0.18	97,343.90	11,078.70	S/.	86,265.20
16	0	156.73	1372954.8	0.4	549181.92	549181.92	-60,640	-60,640	488,542	0.16	89,583.47	9,891.70	S/.	79,691.77
17	0	161.41	1413951.6	0.4	565580.64	565580.64	-60,640	-60,640	504,941	0.15	82,373.62	8,831.87	S/.	73,541.75
18	0	166.10	1455036	0.4	582014.4	582014.4	-60,640	-60,640	521,374	0.13	75,684.91	7,885.60	S/.	67,799.31
19	0	170.81	1496295.6	0.4	598518.24	598518.24	-60,640	-60,640	537,878	0.12	69,492.02	7,040.71	S/.	62,451.31
20	0	175.74	1539482.4	0.4	615792.96	615792.96	-60,640	-60,640	555,153	0.10	63,837.26	6,286.35	S/.	57,550.91
21	0	180.30	1579428	0.4	631771.2	631771.2	-60,640	-60,640	571,131	0.09	58,476.50	5,612.81	S/.	52,863.68
22	0	185.07	1621213.2	0.4	648485.28	648485.28	-60,640	-60,640	587,845	0.08	53,592.45	5,011.44	S/.	48,581.01
23	0	189.88	1663348.8	0.4	665339.52	665339.52	-60,640	-60,640	604,700	0.07	49,094.04	4,474.50	S/.	44,619.54
24	0	194.71	1705659.6	0.4	682263.84	682263.84	-60,640	-60,640	621,624	0.07	44,948.98	3,995.09	S/.	40,953.89
25	0	199.57	1748233.2	0.4	699293.28	699293.28	-60,640	-60,640	638,653	0.06	41,134.74	3,567.05	S/.	37,567.70
						12503918.88		-1,516,000	10,987,919		3,244,403	2,555,832		

VAN	S/.	688,570.84
TIR		15%
Beneficios		3,244,403
Costos		2,555,832
B/C		1.27

Elaboración: Propia.

Fuente: (Cortez & Valencia, 2014).

CONCLUSIONES

PRIMERO: La demanda insatisfecha de energía eléctrica actualmente en el distrito de Phara es de 81.62 Kw y para el año 2041 es proyectado a 210.73 Kw.

SEGUNDO: Realizando el estudio hidrológico se ha obtenido un caudal de diseño de 0.24 m³/s, una altura bruta de 138 m y una altura neta de 134.25 m con estos datos se llegó a obtener una potencia de 220 kw con la cual se cubre el déficit y se garantiza la demanda de energía eléctrica exigida por la población de 5 localidades en el distrito de Phara.

TERCERO: En el diseño a nivel preliminar de las principales obras civiles y en la selección del equipo electromecánico se tuvo que tener presente siempre el factor económico, es decir que se buscó dimensionar las distintas estructuras cumpliendo con los requerimientos de funcionalidad, rentabilidad e impacto social necesarios sin llegar a un sobredimensionamiento que aumente el costo, es decir buscando eficiencia en el diseño.

CUARTO: Para la ejecución del presente proyecto se requiere una inversión total de S/ 2,080,224.01, Los valores obtenidos en el estudio económico son VAN = - S/. 688,570.84 Soles, el TIR = 15% y la relación de beneficio costo B/C = 1.27, por tanto, el proyecto es viable la inversión se recupera en 7 años.

QUINTO: Debido a la falta de información para el diseño de una mini central hidroeléctrica en nuestra escuela profesional y para facilitar los cálculos para el dimensionamiento de una mini central hidroeléctrica es que realicé esta investigación además elaboré un pequeño aplicativo en Excel para el dimensionamiento de las componentes de una mini central hidroeléctrica.

SUGERENCIAS

PRIMERO: Se sugiere utilizar el software HidroEsta para cálculos hidrológicos ya que facilitará los cálculos laboriosos para calcular el caudal de diseño.

SEGUNDO: Al desarrollar el diseño de la tubería de presión es recomendable comparar el diámetro con los costos de inversión y las pérdidas de energía ya que a mayor diámetro se tendrá menos pérdidas por fricción en la tubería por ende menos pérdidas de energía, pero aumentará su costo.

TERCERO: Al desarrollar el diseño de las turbinas hidráulicas es recomendable tener los parámetros importantes, caudal de agua, altura bruta porque su diseño es propio de acuerdo a la geografía de cada zona.

CUARTO: Se recomienda implementar un software para el diseño de pequeñas centrales hidroeléctricas, ya que los cálculos para el diseño son muy laboriosos.

QUINTO: Fomentar la investigación y construcción de turbinas hidroeléctricas en el país y en la región de Puno porque gracias a la topología nacional, poseemos un gran potencial cinético para generar energía hidroeléctrica.

BIBLIOGRAFÍA

- Amaguaya, E. S., & Herrera, W. V. (2009). Diseño e instalación de una pico central hidroeléctrica en la hacienda la Isabela. Riobamba - Ecuador.
- Association, E. S. (1998). Manual de pequeña hidráulica, como llevar a un buen fin un proyecto de minicentral hidroeléctrica. Madrid: Celso Penche.
- Barreno, M. N. (1985). Manual de diseño de pequeñas centrales hidroeléctricas Volumen III (obras civiles). Bucaramanga - Colombia.
- Cortez, C. C., & Valencia, L. C. (2014). Estudio y diseño a nivel preliminar de una pequeña central hidroeléctrica en el distrito de Comas, provincia de Concepción perteneciente al departamento de Junín. Lima - Perú.
- Coz, F., Sánchez, T., Viani, B., Segura, J., Rodríguez, L., Miranda, H., . . . Muñoz, I. (1995). MANUAL DE MINI Y MICROCENTRALES HIDRAULICAS. Lima-Perú: Intermediate Technology Development Group, ITDG-Perú.
- Flores, R. O. (2001). Pequeñas centrales hidroeléctricas. Colombia: McGrawHill.
- Franzini, J., & Finnemore, E. (1999). Mecánica de Fluidos con aplicaciones en Ingeniería. Madrid: McGraw-Hill.
- Gutierrez, H. G., & Mastache, A. N. (2014). Selección y dimensionamiento de turbinas hidráulicas para centrales hidroeléctricas. México: Universidad Nacional Autónoma. Mexico.
- Mallitásig Panchi, O. G. (2008). Modelación y diseño digital para micro-centrales de generación hidroeléctrica. Quito-Ecuador.

- Mataix, C. (1982). Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas. México: Editorial Mexicana.
- Nozaki, I. T. (1983). Pequeñas centrales hidroeléctricas. Lima - Perú: Asociación Electrotecnica peruana.
- Ochoa, J. C. (2014). Generador de una central hidroeléctrica.
- Soluciones Prácticas ITDG. (2010). Manual para la evaluación de la demanda, recursos hídricos, diseño e instalación de microcentrales hidroeléctricas. Lima: Forma e Imagen.
- Vergara, J. C. (2006). Estudio de Pre-factibilidad de la Microcentral Hidroeléctrica San Pedro de Huacos - Canta - Lima. Lima.
- Villayzán, S. L. (2014). Diseño hidráulico óptimo de la tubería forzada de la Central Hidroeléctrica Yuracyacu. Lima - Perú.
- PACCO VARA ROGER RAUL, 2012, TESIS sustentada en la UNA-PUNO en la escuela profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica, “Estudio de una pequeña central hidroeléctrica Marcohuno de 1.5 MW del distrito de Macusani provincia de Carabaya”



CONSUMO DE DEMANDA MAXIMA Y CONSUMO DE ENERGIA DEL PROYECTO (KW) POR EL MÉTODO MOMENTO

DESCRIPCIÓN	AÑOS																						
	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038
Consumo Máximo (Kw)	4380	4423	4468	4512	4558	4603	4649	4696	4743	4790	4838	4886	4935	4985	5034	5085	5136	5187	5239	5291	5344	5398	5452
Crecimiento (%)	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9
Consumo Total (Kwh/año)	1123	1134	1146	1157	1169	1180	1192	1204	1216	1228	1240	1253	1265	1278	1291	1304	1317	1330	1343	1357	1370	1384	1397
Consumo Total (Kwh)	280	285	289	293	297	301	305	308	311	315	318	321	323	326	329	331	334	336	338	341	343	345	347
Consumo Máximo (Kwh)	314237	322839	331223	339430	347491	355434	363280	371046	378749	386402	394016	401601	409166	416720	424268	431817	439374	446942	454527	462133	469763	477423	485008
Consumo Máximo (Kwh/año)	52070	52591	53117	53648	54184	54726	55273	55826	56384	56948	57518	58093	58674	59261	59853	60452	61056	61667	62283	62906	63535	64171	64811
Consumo Máximo (Kwh/año)	22990	23220	23452	23687	23923	24163	24404	24648	24895	25144	25395	25649	25906	26165	26426	26691	26958	27227	27499	27774	28052	28333	28617
Consumo Máximo (Kwh/año)	37864	38243	38625	39011	39401	39795	40193	40595	41001	41411	41825	42244	42666	43093	43524	43959	44399	44843	45291	45744	46201	46663	47129
Consumo Máximo (Kwh/año)	84899	85748	86605	87471	88346	89229	90122	91023	91933	92853	93781	94719	95666	96623	97589	98565	99551	100546	101551	102567	103593	104629	105675
Consumo Máximo (Kwh/año)	512060	522640	533022	543247	553347	563348	573272	583139	592963	602758	612535	622306	632078	641860	651660	661484	671336	681224	691152	701124	711145	721218	731343
Consumo Máximo (Kwh/año)	46085	47038	47972	48892	49801	50701	51595	52482	53367	54248	55128	56007	56887	57767	58649	59534	60420	61310	62204	63101	64003	64910	65821
Consumo Máximo (Kwh/año)	558145	569677	580994	592139	603148	614049	624867	635621	646329	657006	667663	678313	688965	699628	710310	721017	731757	742534	753356	764225	775148	786127	797161
Consumo Máximo (Kwh/año)	143.49	147.41	151.24	154.99	158.67	162.30	165.88	169.43	172.94	176.44	179.92	183.38	186.83	190.28	193.73	197.18	200.63	204.08	207.55	211.02	214.50	218.00	221.50
Consumo Máximo (Kwh/año)	23.78	24.01	24.25	24.50	24.74	24.99	25.24	25.49	25.75	26.00	26.26	26.53	26.79	27.06	27.33	27.60	27.88	28.16	28.44	28.72	29.01	29.30	29.59
Consumo Máximo (Kwh/año)	10.50	10.60	10.71	10.82	10.92	11.03	11.14	11.25	11.37	11.48	11.60	11.71	11.83	11.95	12.07	12.19	12.31	12.43	12.56	12.68	12.81	12.94	13.07
Consumo Máximo (Kwh/año)	17.29	17.46	17.64	17.81	17.99	18.17	18.35	18.54	18.72	18.91	19.10	19.29	19.48	19.68	19.87	20.07	20.27	20.48	20.68	20.89	21.10	21.31	21.52
Consumo Máximo (Kwh/año)	19.38	19.58	19.77	19.97	20.17	20.37	20.58	20.78	20.99	21.20	21.41	21.63	21.84	22.06	22.28	22.50	22.73	22.96	23.19	23.42	23.65	23.89	24.12
Consumo Máximo (Kwh/año)	214.43	219.07	223.62	228.09	232.50	236.86	241.19	245.49	249.77	254.03	258.29	262.53	266.78	271.03	275.28	279.54	283.82	288.11	292.41	296.73	301.07	305.44	309.82
Consumo Máximo (Kwh/año)	21.04	21.48	21.91	22.33	22.74	23.15	23.56	23.96	24.37	24.77	25.17	25.57	25.98	26.38	26.78	27.18	27.59	28.00	28.40	28.81	29.23	29.64	30.05
Consumo Máximo (Kwh/año)	235.48	240.55	245.52	250.41	255.24	260.02	264.75	269.46	274.14	278.80	283.46	288.11	292.75	297.40	302.06	306.73	311.41	316.10	320.81	325.54	330.30	335.07	339.85

PROYECCIÓN DE LA DEMANDA POR EL MÉTODO DEL ING. TSUGUO NOZAKI

DESCRIPCIÓN	AÑOS																						
	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038
Demanda (Kw)	200.27	204.27	208.36	212.52	216.78	221.11	225.53	230.04	234.64	239.34	244.12	249.01	253.99	259.07	264.25	269.53	274.92	280.42	286.03	291.75	297.59	303.54	309.59

CALCULO DE LA DEMANDA POR EL METODO DE RAMIRO ORTIZ

Crecimiento de la demanda												
Demanda residencial				Demanda Industrial/Comercial				Demanda Servicios públicos				Demanda
	Potencia Vatios	%	Energía Kwh-año	%	Potencia Vatios	%	Energía Kwh-año	%	Potencia Vatios	%	Energía Kwh-año	Potencia Vatios
0	208730.00	0	561479.50	0	12950.00	0	150219.40	0	18250.00	0	139300.00	239930.00
3	214991.90	3	578323.89	0	12950.00	0	150219.40	1.3	18487.25	1.3	141110.90	246429.90
3	221441.66	3	595673.60	0	12950.00	0	150219.40	1.3	18727.58	1.3	142945.34	253119.90
3	226534.82	2.3	609374.09	0	12950.00	0	150219.40	1.3	18971.04	1.3	144803.63	258455.80
3	231745.12	2.3	623389.70	0	12950.00	0	150219.40	1.3	19217.67	1.3	146686.08	263912.70
3	237075.25	2.3	637727.66	0	12950.00	0	150219.40	1.3	19467.50	1.3	148593.00	269492.70
3	242527.98	2.3	652395.40	0	12950.00	0	150219.40	1	19662.17	1	150078.93	275140.90
5	246165.90	1.5	662181.33	0.6	13027.70	0.6	151120.72	1	19858.79	1	151579.72	279052.40
5	249858.39	1.5	672114.05	0.6	13105.87	0.6	152027.44	1	20057.38	1	153095.51	283021.60
5	253606.27	1.5	682195.76	0.6	13184.50	0.6	152939.61	1	20257.95	1	154626.47	287048.70
5	257410.36	1.5	692428.70	0.6	13263.61	0.6	153857.24	1	20460.53	1	156172.73	291134.90
5	261271.52	1.5	702815.13	0.6	13343.19	0.6	154780.39	1	20665.14	1	157734.46	295279.80
5	265190.59	1.5	713357.35	0.6	13423.25	0.6	155709.07	1	20871.79	1	159311.81	299485.60
5	269168.45	1.5	724057.71	0.6	13503.79	0.6	156643.32	1	21080.51	1	160904.92	303752.70
5	273205.98	1.5	734918.58	0.6	13584.81	0.6	157583.18	1	21291.31	1	162513.97	308082.90
3	276757.65	1.3	744472.52	0.6	13666.32	0.6	158528.68	1.3	21568.10	1.3	164626.65	311992.00
3	280355.50	1.3	754150.66	0.6	13748.32	0.6	159479.85	1.3	21848.49	1.3	166766.80	315952.90
3	284000.13	1.3	763954.62	0.6	13830.81	0.6	160436.73	1.3	22132.52	1.3	168934.77	319963.40
3	287692.13	1.3	773886.03	2	14107.42	2	163645.47	1.3	22420.24	1.3	171130.92	324219.90
3	291432.12	1.3	783946.55	2	14389.57	2	166918.38	1.5	22756.54	1.5	173697.89	328578.90
1	294346.45	1	791786.02	2	14677.36	2	170256.74	1.5	23097.89	1.5	176303.35	332121.90
1	297289.91	1	799703.88	2	14970.91	2	173661.88	1.5	23444.36	1.5	178947.90	335705.90
5	298776.36	0.5	803702.40	2	15270.33	2	177135.12	1.5	23796.02	1.5	181632.12	337842.90
5	300270.24	0.5	807720.91	2	15575.74	2	180677.82	1.5	24152.97	1.5	184356.60	339998.90
5	301771.59	0.5	811759.51	2	15887.25	2	184291.38	1.5	24515.26	1.5	187121.95	342174.90
5	303280.45	0.5	815818.31	2	16205.00	2	187977.20	1.5	24882.99	1.5	189928.78	344368.90

DISEÑO DE CANAL RECTANGULAR

Datos:

Qd =	0.24	m ³ /seg
V =	1.3	m/s
Z =	0.58	
n =	0.0161	cof. Rugosidad
L =	1220	m

Velocidad de agua seleccionada para un canal de concreto
talud recomendado para canales de concreto de sección trapezoidal

cálculo de canal de sección rectangular
observese que para canales rectangulares Z=0

cálculo del area.

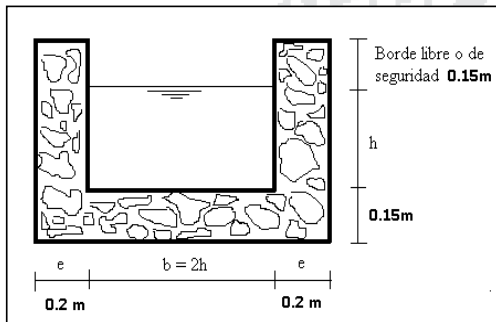
$$A = Q/v$$

A =	0.18	m ²
-----	------	----------------

Cálculo de la altura H:

$$H = \sqrt{\frac{A}{2}}$$

H =	0.3038
-----	--------



Cálculo del ancho del canal B:

$$B = 2H$$

B =	0.607644
-----	----------

cálculo del radio hidraulico R:

$$R = \frac{A}{P}$$

R =	0.1519
-----	--------

cálculo del perímetro mojado P:

$$P = B + 2H$$

P =	1.215287
-----	----------

Cálculo de la pendiente S:

$$S = \left(\frac{nv}{R^{2/3}}\right)^2$$

S =	#####
-----	-------

Cálculo del desnivel del canal

$$\text{desnivel del canal} = L * S$$

desnivel del canal =	6.59
----------------------	------

Verificación del Número de Froud:

$$N = V/(g*y) = 0.44 \text{ Adm.}$$

FLUJO SUBCRITICO

Verificación de la velocidad en el canal:

$$V = Q/A = 1.3 \text{ m/s}$$

OK!!! Velocidad Autolimpiante

DIMENSIONAMIENTO DEL DESARENADOR I

Datos:

- $Q_d = 0.24$ Caudal de diseño (m³/s)
- $V_H = 0.2$ Velocidad Horizontal del agua en el desarenador (m/ (VH = de 0.20 a 0.50 m/seg)
- $V_d = 0.02$ Velocidad de decantación de la partícula (m/s)
- $d_d = 0.5$ Profundidad de decantación se recomienda valores menores a 1 (m)
- $f = 2$ Factor de seguridad se recomienda de 2 a 3

Cálculo del ancho del desarenador

$$W = \frac{Q}{V_H * d_d}$$

$W = 2.40$ m

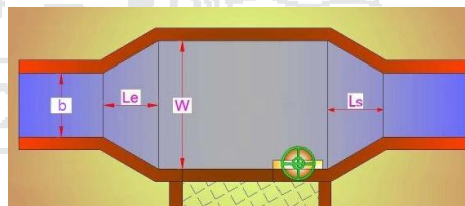
VELOCIDADES DE DECANTACION

Tamaño de la partícula (mm)	V _d (m/seg)
0.10	0.01
0.20	0.02
0.30	0.03
0.50	0.05
0.60	0.06
0.80	0.08
1.00	0.10

Cálculo de la longitud de decantación del desarenador

$$L_d = \frac{V_H}{V_d} * d_d * f$$

$L_d = 10$ m

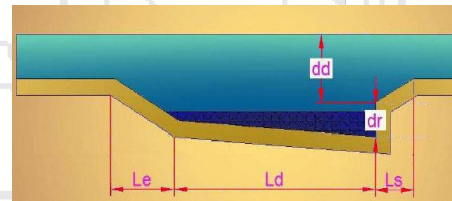


Cálculo de la profundidad mínima de recolección

$\phi = 3$ Ángulo de inclinación para el diseño de desarenadores oscila entre 2° a 6°

$$d_r = L_d * \tan\phi$$

$d_r = 0.52$ m



Cálculo de longitud de entrada del desarenador.

$$L_e = \frac{W - b}{2 * \tan\alpha}$$

W = Ancho del desarenador

b = Ancho del canal de entrada

$\alpha = 25$ Ángulo de transición de entrada se recomienda una inclinación de 12° a 30°

$L_e = 1.92$ m

Cálculo de longitud de salida del desarenador

$$L_s = \frac{W}{\tan\alpha} \quad \alpha = 25$$

$L_s = 1.30$ m

Cálculo del verteredero de demasias.

$$H_v = \frac{Q_e}{V * b} \quad L_v = \frac{Q_e}{C_w (h_c)^{1.5}}$$

$H_v = 0.15$ $L_v = 1.58$ m

- Q_e Es la diferencia entre el caudal constante y el caudal de avenida (m³) 0.09
- C_w Coeficiente de descarga en el caso de cresta aguda 1.8
para el caso de perfil creager 2
- h_c Carga sobre la cresta del verteredero. 0.1
- V Velocidad de descarga del agua (m/s) 1

DIMENSIONAMIENTO DEL DESARENADOR II

Datos:

- $Q_d = 0.24$ Caudal de diseño (m³/s)
- $V_H = 0.2$ Velocidad Horizontal del agua en el desarenador (m/ (VH =de 0.20 a 0.50 m/seg)
- $V_d = 0.02$ Velocidad de decantación de la partícula (m/s)
- $d_d = 0.8$ Profundidad de decantación se recomienda valores menores a 1 (m)
- $f = 2$ Factor de seguridad se recomienda de 2 a 3

Cálculo del ancho del desarenador

$$W = \frac{Q}{V_H * d_d}$$

$W = 1.50$ m

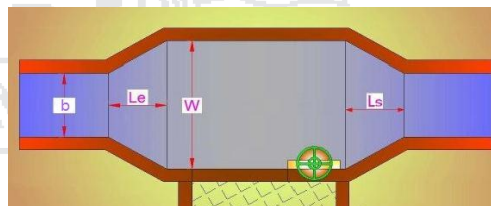
VELOCIDADES DE DECANTACION

Tamaño de la partícula (mm)	V _d (m / seg)
0.10	0.01
0.20	0.02
0.30	0.03
0.50	0.05
0.60	0.06
0.80	0.08
1.00	0.10

Cálculo de la longitud de decantación del desarenador

$$L_d = \frac{V_H}{V_d} * d_d * f$$

$L_d = 16$ m

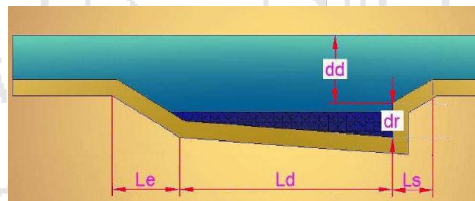


Cálculo de la profundidad mínima de recolección

$\varphi = 3$ Ángulo de inclinación para el diseño de desarenadores oscila entre 2° a 6°

$$d_r = L_d * \tan\varphi$$

$d_r = 0.84$ m



Cálculo de longitud de entrada del desarenador.

$$L_e = \frac{W - b}{2 * \tan\alpha}$$

W = Ancho del desarenador

b = Ancho del canal de entrada

$\alpha = 12$ Ángulo de transición de entrada se recomienda una inclinación de 12° a 30°

$L_e = 2.10$ m

Cálculo de longitud de salida del desarenador

$$L_s = \frac{W}{\tan\alpha}$$

$\alpha = 30$

$L_s = 1.05$ m

Cálculo del vertedero de demasias.

$$H_v = \frac{Q_e}{V * b} \quad L_v = \frac{Q_e}{C_w(h_c)^{1.5}}$$

$H_v = 0.15$ $L_v = 1.58$ m

- Q_e Es la diferencia entre el caudal constante y el caudal de avenida (m³) 0.09
- C_w Coeficiente de descarga en el caso de cresta aguda para el caso de perfil creager 1.8
- h_c Carga sobre la cresta del vertedero. 0.1
- V Velocidad de descarga del agua (m/s) 1

TANQUE DE PRESIÓN

Datos a ingresar:

- D = 0.323 Diámetro interior de la tubería de presión (m)
- A = 0.08 sección de la tubería forzada (m²)
- V_T = 2.93 Velocidad en la tubería de presión (m/s)
- g = 9.81 aceleración de la gravedad (m/s²)
- W = 1.50 Ancho del tanque (m)
- i = 0.005 pendiente en el canal de conducción
- a1 = 0.40 Altura para sedimentos 0.3 a 0.5 m
- a2 = 0.40 Altura para evitar golpe de anete 0.3 a 0.5 m

Cálculo de volumen mínimo del tanque de presión

$$V = \frac{0.693 * A * V_T^2}{i * g} \text{ (m}^3\text{)}$$

V = 9.946 m³

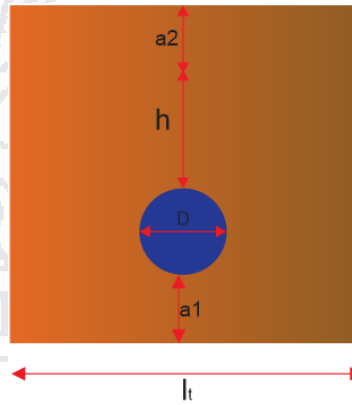
Altura mínima de agua sobre la tubería de presión.

Para salida frontal de flujo. $h = 0.54 * V_T * \sqrt{D} \text{ (m)}$

para salida lateral de flujo. $h = 0.724 * V_T * \sqrt{D} \text{ (m)}$

h = 1.21 m

salida lateral de flujo



Cálculo de la longitud del tanque de presión

$$l_t = \frac{V}{W * h_t} \text{ (m)}$$

l_t = 3.306 m

Diseño de las rejillas

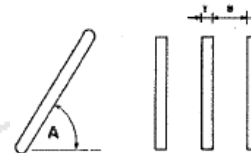
las rejillas deben tener una inclinación con respecto a la horizontal para facilitar la limpieza.

A = 50° - 55° para limpieza a mano

A = 70° - 76° para limpieza a mecánica

para el presente diseño se considerará un A = 50°

La distancia entre rejillas depende del tipo de turbina que se utilizará en el caso de la turbina pelton, la distancia "s" no debe ser mayor a la mitad del diámetro del inyector. Si se usa una válvula de aguja debe ser un cuarto de éste.



Por tener a disposición una turbina pelton con un inyector cuyo diámetro es:

d_{ch} = 0.055

Además posee una válvula de aguja

La distancia entre rejillas es: s = 13.8 mm

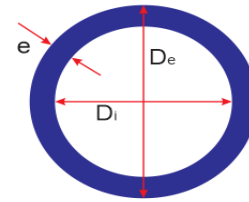
dimensión del barrote:

lxh = 32x30 mm

DISEÑO DE LA TUBERIA DE PRESIÓN

Cálculo del diámetro D de la tubería de presión por Fahlbusch.

$Q_d = 0.24$ m³/s Caudal de diseño
 $H_B = 138$ m Altura de caída bruta
 $L = 205.62$ m Longitud de la tubería



$$D = \left(\frac{5.2Q^3}{H}\right)^{1/7}$$

D = 0.3396 m considerar 0.323

Velocidad VT del fluido que pasa por la tubería de presión.

$$V_T = \frac{4 * Q_d}{\pi * D^2}$$

$V_T = 2.92898$ m/s

$D_i =$	0.323	m
$D_e =$	0.332	m
$e =$	0.009	m

Diámetro interior de la tubería
 Diámetro exterior de la tubería
 Espesor de la tubería

El cálculo del espesor e' de la tubería de presión esta dado por la siguiente ecuación.

$$e' = \frac{5 * f_s * (H_t) * 10^6 * D * K_f}{\delta t} + K_c \quad (mm) \quad h_t = \Delta h + h_B$$

cálculo de la sobrepresión por golpe de ariete, tomando valores promedios de velocidad de onda depresión en tuberías de acero a = 900 m/s

$$\Delta h = \frac{a * \Delta v}{g} \quad \Delta h = 268.71 \quad h_t = 406.71$$

Pero se debe añadir los siguientes factores.

$K_c = 2$ Factor por corrosión en mm (por 20 años de vida)
 $K_f = 1.2$ Por factor de junta.
 $f_s = 3$ Factor de seguridad
 $\delta t = 350$ Mpa Esfuerzo de rotura del acero

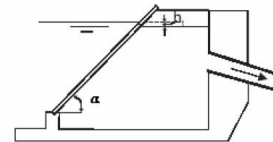
$e' = 8.7561$ mm
 $e = 0.00876$ m

Cálculo de pérdidas en la tubería de presión

Cálculo de pérdida en la rejilla h_r Utilizando la fórmula de "KIRCHNER"

$$h_r = K_r * \left(\frac{t}{b}\right)^{\frac{4}{3}} \frac{v^2}{2g} * \text{sena}$$

$K_r = 2.4$ coeficiente de pérdidas según figura
 $g = 9.81$ m/s²
 $v = 0.2$ m/s velocidad antes de las rejillas
 $t = 0.032$ m espesor de la barra
 $s = 0.014$ m separación entre barras
 $\alpha = 50$ Angulo de la rejilla



K_r	2,4	1,8	1,8	1,7	1,0	0,8
t	= espesor de la barra (mm)					
b	= separación entre barras (mm)					
V	= velocidad corriente delante (m/s)					
g	= constante de aceleración (9,81)					
α	= angulo de la rejilla					

$h_r = 0.01129$ m

Cálculo de pérdida en la entrada H_E

$$h_E = K_e * \frac{V^2}{2 * g}$$

$K_e = 0.2$ coef. De perdidas depende de la forma de entrada
 $g = 9.81$ m/s²
 $V_T = 2.93$ velocidad de agua en la tubería m/s

$H_E = 0.0875$ m

E_E	TIPO DE ENTRADA
1.0	
0.8	
0.5	
0.2	
0.04	

Cálculo de pérdida en los codos

$$h_o = \sum \gamma \frac{v^2}{2g} \quad \text{Si} \quad \gamma = 0.000067(\alpha)^{2.17}$$

$$\begin{aligned} \alpha_0 &= 32.22 & \gamma_0 &= 0.12552 \\ \alpha_1 &= 8.08 & \gamma_1 &= 0.00624 \\ \alpha_2 &= 11.93 & \gamma_2 &= 0.01453 \\ \alpha_3 &= 28.22 & \gamma_3 &= 0.09414 \\ \Sigma \gamma &= 0.24043 \end{aligned}$$

$$h_o = 0.10513 \text{ m}$$

Cálculo de pérdida por fricción en la tubería por la ecuación de Darcy Weisbach

$$h_f = f \cdot \frac{L V^2}{D 2g}$$

- f= Es el factor de fricción
- L= Es la longitud del tubo (m)
- D= Es el diámetro de la tubería (m)
- V= Es la velocidad dentro del tubo (m/s)
- g= Es la constante gravitacional (m/s²)

El factor de fricción equivale a:

$$f = 0.01 \left(\frac{K}{D} \right)^{0.134}$$

$$f = 0.01178$$

$$h_f = 3.27779 \text{ m}$$

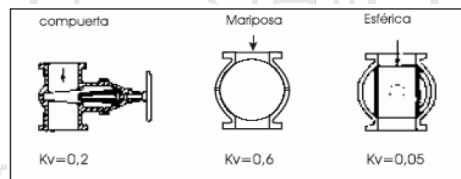
Cálculo de pérdida en la válvula

$$h_v = K_v \frac{V^2}{2g} \text{ (m)}$$

$$K_v = 0.6$$

$$h_v = 0.26235 \text{ m}$$

Material del tubo	k
Tubo de acero (nuevo)	1.2
Tubo de hierro fundido (nuevo)	2.50
Tubo de acero corroído (en operación)	5.00
Tubo plástico	5.00



Sumatoria de Pérdidas

$$h_r = 3.7440 \text{ m}$$

Altura neta o altura útil.

$$H_n = H_B - h_r$$

$$H_n = 134.256 \text{ m}$$

POTENCIA QUE SE GENERA

$$Pot = \frac{\gamma_{H2O} * Q * H_n * \eta}{102} \text{ (Kw)}$$

- γ_{H2O} = Peso específico del agua 1.000 kg/m³
- Q = Caudal de agua disponible 0.24 m³/s
- H_n = Altura neta o útil 134.256 m
- h_r = Pérdida de carga 3.744 m
- η = Eficiencia de la instalación 0.7

$$pot = 221.128 \text{ Kw}$$

$$P_p = 6.1666 \text{ Kw}$$

POTENCIA QUE SE DEJA GENERAR

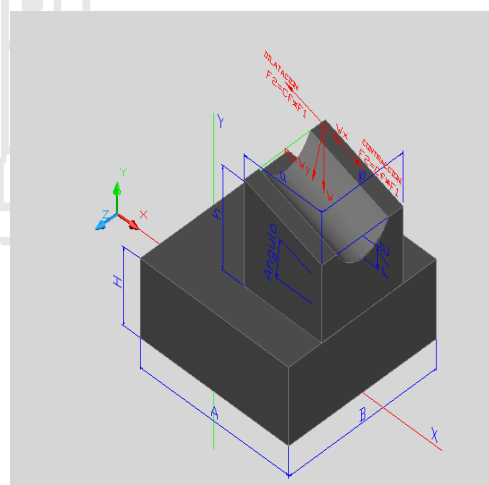
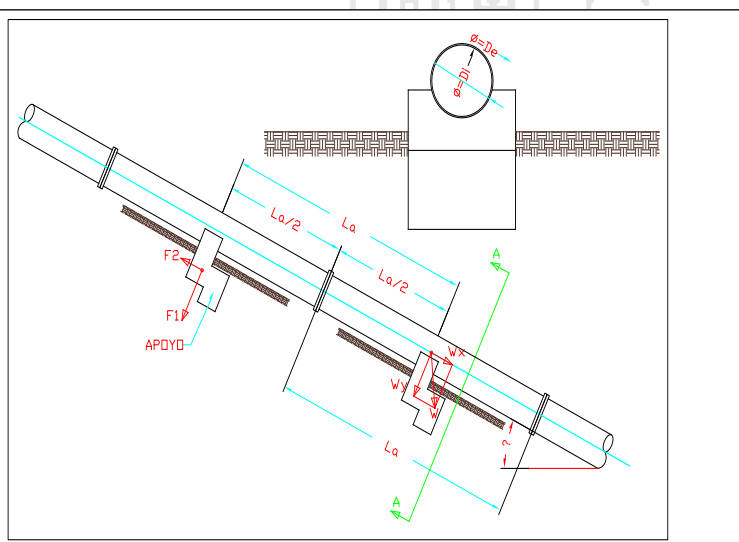
$$P_p = \frac{\gamma_{H2O} * Q * h_r * \eta}{102} \text{ (Kw)}$$

CÁLCULO DE APOYOS

CALCULOS DE APOYOS					
DE ENTRADA:	VALOR	UNID.	DATOS DE SALIDA	VALOR	UNID.
Ángulo de inclinación del tubo α	40.30	Deg	Peso unit. Del tubo W_t	35.392	Kg
Diámetro de la tubería D_i	0.323	Metro	Peso unit. Del agua W_a	81.940	Kg
Diámetro de la tubería D_e	0.332	Metro	Peso unit. Total W	117.332	Kg
Distancia entre los apoyos L_a	8.00	Metro	Componente $W_y = F_1$	715.881	Kg
Peso específico H ₂ O δ_a	1000.00	Kg/M ³	Componente W_x	4035.707	Kg
Peso específico Tubo δ_t	7860.00	Kg/M ³	Fuerza F_2	357.941	Kg
Peso específico concreto δ_c	2300.00	Kg/M ³	Momento flector máximo M_{max}	938.655	KgM
Coefficiente de fricción concreto μ	0.5		Flecha admisible Δ_{adm}	22.222	mm
Coefficiente de fricción terreno μ_t	0.500		Flecha máxima Δ_{max}	4.934	mm
Módulo de elasticidad del tubo E	2.10E+10	kg/M ²	Momento de inercia del tubo I	6.033E-05	M ⁴
Coeficiente de seguridad del apoyo F_{sa}	1.3		ΣF_x	-736.015	Kg
Coeficiente de fricción en la base Apoyo A_{cb}	1.69	M ²	ΣF_y	-2466.239	Kg
Coefficiente de fricción del terreno S_{adm}	1.00	Kg/cm ²	Peso Requerido de Concreto W_c	2151.772	Kg
			Volumen de concreto requerido V_c	0.936	M ³

DIMENSIONES DEL BLOQUE DE CONCRETO	
H=	0.6
A=	1.5
B=	1
h=	0.7
a=	0.5
b=	0.5
Ry=	2466.24
Sbase(minimo)=	1273.000
Sbase(maximo)=	2015.318
Ry=	2929.264
Sbase(maximo)=	2796.171
Sbase(minimo)=	1109.515

CUANDO LA TUBERIA SE DILATA
Primera Condicion: $\Sigma F_x < \mu_t \Sigma F_y$
Segunda Condicion: $S_{adm} > S_{base}$
Tercera Condicion: $S_{base}(min.)$ debe ser (+)
CUANDO LA TUBERIA SE CONTRAE
Primera Condicion: $\Sigma F_x < \mu_t \Sigma F_y$
Segunda Condicion: $S_{adm} > S_{base}$
Tercera Condicion: $S_{base}(min.)$ debe ser (+)

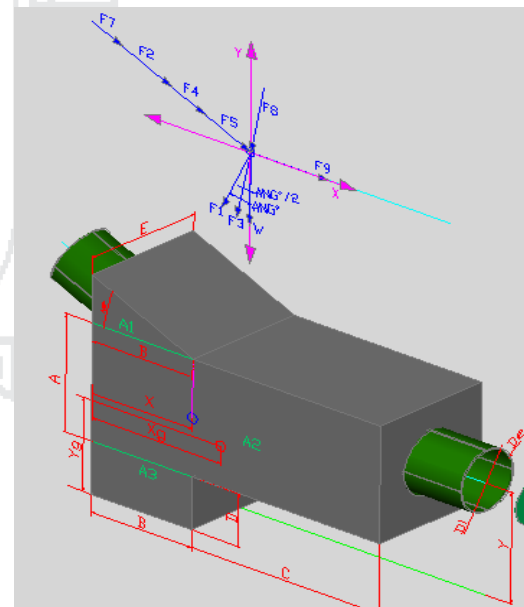
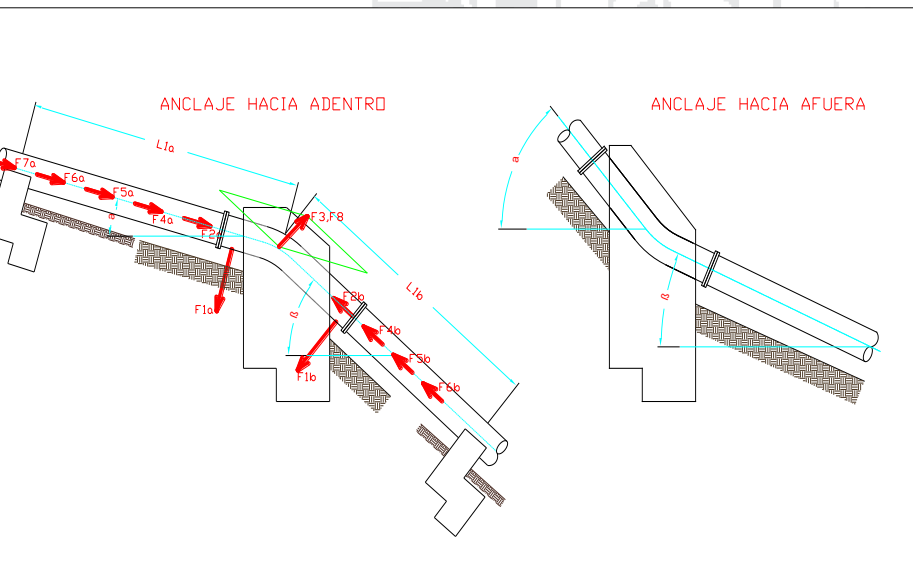


CÁLCULO DE ANCLAJE T I

CALCULOS DE ANCLAJES			DILATACION		CONTRACCION		Fx	Fy
DE ENTRADA:	VALOR	UNID.	DATOS DE SALIDA	VALOR	UNID.	VALOR	UNID.	
Gradiente de la Caida H=	138.00	Metro	Peso unit. Del tubo Wt=	35.39	Kg	35.39	Kg	
Caida de gradiente Δh=	16.62	Metro	Peso unit. Del agua Wa=	81.94	Kg	81.94	Kg	
Caudal de Diseño Q=	0.24	M ³	Peso unit. Total W=	117.33	Kg	117.33	Kg	
Diametro de la tubería Di=	0.323	Metro	Peso del tubo con h2o Entrada F1a=	327.08	Kg	327.08	Kg	-88.23
Diametro de la tubería De=	0.332	Metro	Peso del tubo con h2o Salida F1b=	339.68	Kg	339.68	Kg	314.96
Espesor del tubo e=	0.009	mm	Fuerza de friccion/tubos y apoyos F2a=	1,523.85	Kg	-1,523.85	Kg	-1,467.35
Distancia del apoyo y anclaje L1a=	5.79	Metro	Fuerza de friccion/tubos y apoyos F2b=	1,582.51	Kg	-1,582.51	Kg	-411.07
Distancia del apoyo y anclaje L1b=	8.00	Metro	Fuerza debido a la presion hidrostatica F3=	-377.72	Kg	-377.72	Kg	-51.43
Angulo de Entrada α=	15.65	Deg	Peso del tubo paralelo F4a=	527.97	Kg	527.97	Kg	508.39
Angulo de Salida β=	0.00	Deg	Peso del tubo paralelo F4b=	0.00	Kg	0.00	Kg	0.00
Peso especifico H2O δa=	1,000.00	Kg/M ³	F. debido a cambios de temperatura F5=	0.00	Kg	0.00	Kg	0.00
Peso especifico Tubo δt=	7,860.00	Kg/M ³	F. de friccion en la junta de dilatacion F6=	3,230.00	Kg	-3,230.00	Kg	-3,110.26
Peso especifico concreto δc=	2,300.00	Kg/M ³	F. de la fric. Hidrostat. dent. Junta exp. F7=	0.15	Kg	0.15	Kg	0.14
Coefficiente de friccion concreto μ=	0.25		F. debido * cambio de direc. Cant. De mov. F8=	-18.79	Kg	-18.79	Kg	-2.56
Coefficiente de friccion terreno μt=	0.50		Fuerza debido al cambio de diametro F9=	187.04	Kg	187.04	Kg	180.11
Coeficiente de dilatacion lineal del tubo λ=	0.000012	mm/mm/°C	ΣFx=	5,130.97	Kg	-4,024.25	Kg	-4,031.18
Cambio de temperatura ΔT=	15.00	°C	ΣFy=	-15,206.28	Kg	-12,641.48	Kg	13,073.64
Distancia de sujecion a movimiento L2=	53.95	Metro	Peso Requerido de Concreto Wc=	13,073.64	Kg	13,073.64	Kg	12,641.48
Distancia de sujecion y junta de expans. L4=	55.30	Metro	Volumen de concreto requerido Vc=	5.68	M ³	5.68	M ³	
Modulo de elasticidad del tubo E=	1.30E+00	kg/M ²						
Modulo de la reduccion Dr=	0.30	Metro						
Coeficiente de friccion del terreno Sadm=	1.50	Kg/cm ²						

DIMENSIONES DEL BLOQUE DE ANCLAJE		
Datos	Dimensiones	Adim.
A=	1.22	0.09
B=	1.05	0.40
C=	2	
D=	0.6	
E=	1.32	0.19
X=	1.046	
Ry=	15206.28	
Sbase(minimo)=	4418.580	
Sbase(maximo)=	3135.329	
Ry=	12641.476	
Sbase(maximo)=	5979.796	
Sbase(minimo)=	300.015	

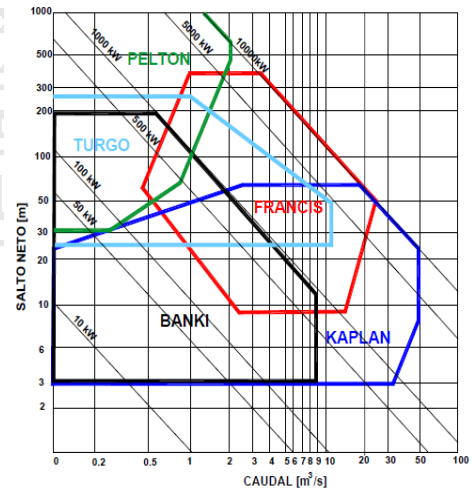
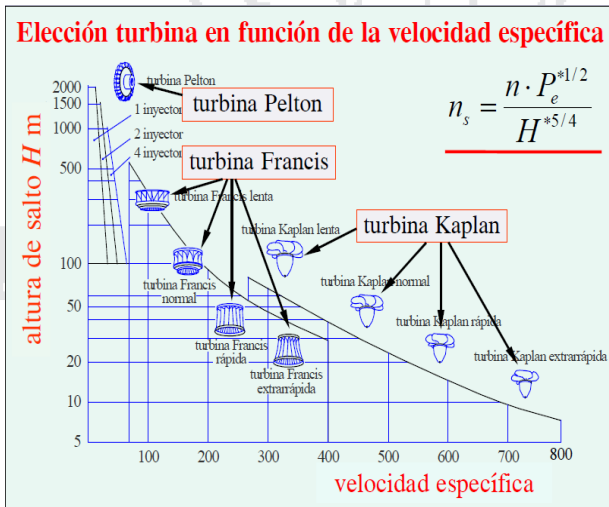
CUANDO LA TUBERIA SE ANCLAJE HACIA AFUERA	
Primera Condicion:	ΣFx < μt * ΣFy
Segunda Condicion:	Sadm > Sbase
Tercera Condicion:	Sbase(min.) > Sbase



TURBINAS HIDRÁULICAS

Elección del tipo de turbina

$H_n = 134.26$ m (Salto o altura neta)
 $Q_d = 0.24$ m³/s (Caudal turbinable)
 $\gamma_a = 9.81$ Kg/m³s² (Peso específico del agua)
 $P = \gamma_a Q_d H_n = 316.09$ kw 429.77 CV (Potencia instalada)
 $\eta = 0.70$ adim (Rendimiento de la turbina) (estimado en 70%)
 $P_e = P \eta = 221.26$ kw 300.84 CV (Potencia efectiva)
 $n = 600/p = 900.00$ rpm (Velocidad de rotación de la turbina)
 $n_s = (n(P_e)^{1/2}) / (H_n)^{5/4} = 34.16$ rpm (Velocidad específica)



Velocidad específica N_s	Tipo de Turbina
De 5 – 30	Pelton con un inyector
De 30 – 70	Pelton con varios inyectores
De 40 - 160	Michell - Banki
De 60 – 150	Francis Lenta
De 150 – 250	Francis Normal
De 250 – 450	Francis Rápida
De 450 – 600	Francis doble gemela rápida
Más de 500	Kaplan o hélice

Tabla 4.3 Velocidad sincrónica en función del número de polos. [12]

Frecuencia [Hz]	Polos	Velocidad Sincrónica [rpm]
60	2	3600
	4	1800
	6	1200
	8	900
	10	720
	12	600

Tabla 4.1 Características principales de turbinas hidráulicas						
TURBINA	Inventor y año de patente	N_s (rpm, HP, m) (rpm)	Q m ³ /s	H m	P kW	η_{max} %
A C C I O N BANKI	Lester Pelton (EE.UU.) 1880	1 Ch: 30	0.05-50	30-1800	2-900000	91
		2 Ch: 30-50				
		4 Ch: 30-50				
		6 Ch: 50-70				
C I O	Eric Crowdon (G. Bretaña) 1920	60-260	0.025-10	15-300	5-8000	85
		40-160				
N BANKI	A.G. Michell (Australia) 1903 D. Banki (Hung.) 1917-1919	40-160	0.025-5	1-50 (200)	1-750	82
		30-170				
N BANKI	Dionisio Papin (Francia) 1688	30-170	0.05-0.25	10-250	5-500	80
		60-150				
A A C C I O	James Francis (G. Bretaña) 1848	L: 60-150	1-500	2-750	2-750000	92
		N: 150-250				
		R: 250-400				
C C I O	P. Dostiz (Suiza) 1956	60-400	500	30-130	100,000	92
		300-800				
N BANKI	V. Kaplan (Austria) 1912	300-800	1000	5-80	2-200000	93
		300-800				
N BANKI	Kurno-1930 Hugenn-1933 Harza-1919	300-800	800	5-30	100,000	93
		300-800				
		300-800				

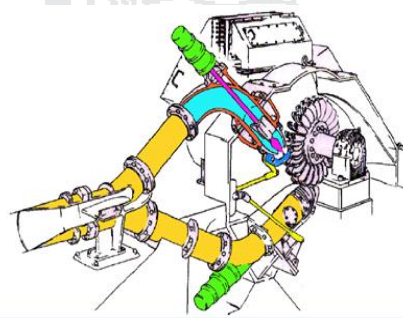
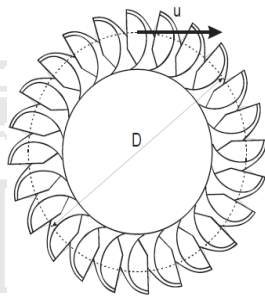
Nota: N_s : velocidad específica
 Ch: chomo
 L: lento
 N: normal
 R: rápida

Dimensionamiento turbinas Pelton

$H_n =$	134.26	m	(Salto o altura neta)
$Q_d =$	0.24	m ³ /s	(Caudal turbinable)
$n =$	$60f/p = 900.00$	rpm	(Velocidad de rotacion de la turbina)
$\eta_s =$	45.75	rpm	(Velocidad especifica en funcion de la potencia)
$J =$	2	adim	(Numero de inyectores o chorros)
$Q_{ch} =$	$Q_d/n_{ch} = 0.12$	m ³ /s	(Caudal de cada inyector o chorro)
$k_{ch} =$	0.98	adim	(Coeficiente de velocidad absoluta o de chorro)
$C_o =$	$k_{ch}(2gH_n)^{1/2} = 50.27$	m/s	(Velocidad absoluta o de cada chorro)
$u_l =$	$0.46c_{ch} = 23.12$	m/s	(Velocidad tangencial)
$d_{ch} =$	$(4Q_{ch}/\pi C_o)^{1/2} = 0.055$	m	(Diametro del chorro del inyector)

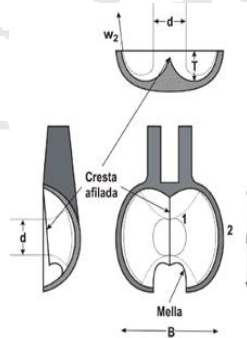
Rodete

$D =$	$(60u_l)/(\pi n) = 0.491$	m	(Diametro del rodete en el punto de choque del chorro en la cuchara)
-------	---------------------------	---	--



Cucharas

$B =$	$2.5d_{ch} = 0.138$	m	(Ancho de la cuchara)
$L =$	$2.1d_{ch} = 0.116$	m	(Altura de la cuchara)
$T =$	$0.85d_{ch} = 0.047$	m	(Profundidad de la cuchara)
$t =$	$2d_{ch} = 0.110$	m	(Distancia entre cucharas en el rodete)
$z =$	$\pi D/t = 1.4$	adim	(Numero de cucharas)



PRESUPUESTO

PROYECTO: ESTUDIO DE LA MINI CENTRAL HIDROELECTRICA II ETAPA
DEPARTAMENTO: PUNO
PROVINCIA: SANDIA
DISTRITO: PHARA

OBRAS CIVILES

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	METRADO	PRECIO (UNITARIO)	COSTO PARCIAL	COSTO TOTAL
1	OBRAS PROVISIONALES					S/. 6,936.65
1.1	Almacen de obra y guardiana	m2	50	104.82	5241	
1.2	Cartel de obra	unid	1	1695.65	1695.65	
2	TRABAJOS PRELIMINARES					S/. 1,822.17
2.1	Trazo y replanteo	km	1.45	1256.67	1822.1715	
3	CANAL DE ADUCCIÓN					S/. 277,394.33
3.1	Excavación Manual en seccion de canal	m3	780	31.83	24827.4	
3.2	Refine y nivelación en terreno normal	m2	2320	8.645	20056.4	
3.3	Perforación y voladura de rocas	m3	250.4	23.92	5989.568	
3.4	Perfilado de taludes laterales del canal	m2	2948	5.11	15064.28	
3.4	Revestimiento del canal L=1220 m					
3.4.1	Encofrado y desencofrado de canales	m2	2280	17.5	39900	
3.4.2	Concreto simple f'c=175 kg/cm2	m3	456	307.12	140046.72	
3.4.3	Juntas asfálticas	m	2128	5.12	10895.36	
3.5	Construcción de tapas de concreto L=200m					
3.5.1	Encofrado y desencofrado normal en lozas macizas	m2	200	17.08	3416	
3.5.2	Concreto f'c=175 kg/cm2	m3	40	380.12	15204.8	
3.5.3	Acero en cimiento reforzado grado 60	kg	392.48	5.08	1993.7984	
4	DESARENADOR					S/. 17,674.64
4.1	Excavación Manual del terreo y compactado	m3	56.7	31.83	1804.761	
4.2	encofrado y desencofrado del desarenador	m2	70.2	17.5	1228.5	
4.3	Concreto f'c=210 kg/cm2	m3	13.5	420.53	5677.155	
4.4	Acero	kg	1720.32	5.08	8739.2256	
4.5	compuerta metálica	unid	1	225	225	
5	CÁMARA DE CARGA - DESARENADOR					S/. 30,621.11
5.1	Excavación Manual del terreo y compactado	m3	120.32	31.83	3829.7856	
5.2	encofrado y desencofrado del desarenador	m2	218.53	17.5	3824.275	
5.3	Concreto f'c=210 kg/cm2	m3	24.27	420.53	10206.2631	
5.4	Acero	kg	2427.32	5.08	12330.7856	
5.5	compuerta metálica	unid	1	430	430	
6	TUBERIA FORZADA					S/. 252,575.87
6.1	macizos de anclaje					
6.2	Excavación manual del terreno	m3	74.28	31.83	2364.3324	
6.3	encofrado y desencofrado de los apoyos y anclajes	m3	140.16	17.5	2452.8	
6.4	Concreto f'c=175 kg/cm2	m3	58.26	320.12	18650.1912	
6.5	Acero	kg	5560	5.08	28244.8	
6.6	Tubería de acero e=9mm x 12"	kg	10857.5	18.5	200863.75	
7	CASA DE MAQUINAS					S/. 53,068.61
7.1	Obras preliminares					
7.1.1	Preparación y limpieza del terreno	m2	90.26	0.53	47.8378	
7.1.2	Trazo y replanteo	m2	70.26	1.188	83.46888	
7.1.3	Excavación de zanjas	m3	28.3	33.36	944.088	

7.1.4	Relleno de compactación	m3	29.2	14.55	424.86	
	Acarreo de material excedente max. D=30m	m3	37.5	15.183	569.3625	
7.2	Obras de concreto simple				0	
7.2.1	Cimiento corrido	m3	12.3	170.85	2101.455	
7.2.2	Sobre cimiento	m3	2.8	234.53	656.684	
7.2.3	encofrado y desencofrado de sobrecimientos	m2	29.34	28.5	836.19	
7.2.4	falso piso espesor 2"	m2	70.26	14.32	1006.1232	
	Acero de esfuerzo Fy=4200 kg/cm2	kg	50.63	5.192	262.87096	
7.3	Obras de concreto armado					
7.3.1	Columnas: concreto fc=210 kg/cm2	m3	3.75	421.85	1581.9375	
7.3.2	encofrado y desencofrado de columnas	m2	64.09	36.14	2316.2126	
7.3.3	Acero Fy = 4200 kg/cm2	kg	750	5.19	3892.5	
7.3.4	Vigas: concreto fc=210 kg/cm2	m3	4.24	347.44	1473.1456	
7.3.5	encofrado y desencofrado de vigas	m2	57.45	43.11	2476.6695	
7.3.6	Acero Fy = 4200	kg	721.49	5.19	3744.5331	
7.4	Manpostería					
7.4.1	Muros de bloqueta 0.20x0.2x0.4m	m2	54.34	65.55	3561.987	
7.5	Techos y coberturas				0	
7.5.1	Techo de lamina	m2	68.1	15.044	1024.4964	
7.5.2	madera aguano 2"x 2" x 10"	unid.	18	12.5	225	
7.5.3	Tijerales de Madera	unid.	13	186.91	2429.83	
7.6	Revoque y enlucidos				0	
7.6.1	Enlucidos de cielorraso con yeso	m2	74.1	14.32	1061.112	
7.6.2	Tarrajeo de muros exterior e interior	m2	160.6	16.4	2633.84	
7.7	Pisos				0	
7.7.1	Piso de cemento pulido	m2	60.45	15.42	932.139	
7.8	Carpintería de madera				0	
7.8.1	Puerta contraplacada de madera de 1.2x2.2m	unid.	1	550	550	
7.9	Carpintería metálica					
7.9.1	Ventana de perfil metálico	unid.	3	160	480	
7.9.2	Vidrios	m2	8.5	50	425	
7.10	Pinturas					
7.10.1	de cielorrasos y aleros	m2	88.45	5.58	493.551	
7.10.2	Muros exteriores e interiores	m2	180.6	4.64	837.984	
7.11	Instalaciones eléctricas				0	
7.11.1	Tablero general	Unid	1	64	64	
7.11.2	Centros de luz	pts	6	15.67	94.02	
7.11.3	Tomacorriente a empotrar	pts	4	15.67	62.68	
7.12	Canal de descarga					
7.12.1	Excavación manual del terreno	m3	146.8	36.83	5406.644	
7.12.2	Encofrado y desencofrado	m2	60.78	17.5	1063.65	
7.12.3	Vaciado caja pozo y canal	m3	35.75	230.69	8247.1675	
7.12.4	revestido (tarrajeo)	m2	60.78	17.4	1057.572	

COSTO TOTAL: S/. 640,093.38

EQUIPAMIENTO ELECTROMECAÁNICO

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	METRADO	PRECIO (UNITARIO)	COSTO PARCIAL	COSTO TOTAL
8	EQUIPO ELECTROMECAÁNICO					
	SUMINISTRO TRASPORTE, MONTAJE Y PRUEBAS					
8.1	EQUIPOS HIDRAULICOS					S/. 295,613.33
8.1.1	Turbina pelton de eje horizontal P:220 kw, Q=0.24 m3/s	Unid.	1	295,613.33	295613.33	
8.1.2	Incluye accesorios (1)	Glob.	1			
8.2	TABLEROS ELÉCTRICOS					S/. 513,853.33
8.2.1	Tablero de Medición, Control y Protección del Generador	Unid.	1	513,853.33	513853.33	
8.2.2	Tablero de Sincronización	Glob.	1			
8.2.3	Tablero sumatorio de salida	Unid.	1			
8.2.4	En el costo Total de Turbinas y Tableros, está incluido lo siguiente:					
8.2.5	Mantenimiento del Generador	Unid.	1			
8.2.6	Accesorios del Generador	Unid	1			
8.2.7	Repuestos, Herramientas e Insumos	Jgo.	1			
8.3	TRASPORTE DE EQUIPOS					S/. 9,310.07
8.3.1	Transporte de Equipos , Accesorios, Repuestos y Herramientas	Glob.	1	9,310.07	9310.07	
8.3.2	Este Costo de Transporte Incluye Seguros para el equipamiento	Glob.	1			
8.4	MONTAJE ELECTROMECAÁNICO					S/. 24,319.80
8.4.1	Montaje de Turbina Pelton	Unid.	1	7,225.32	7225.32	
8.4.2	Instalación de Junta de Montaje	Unid.	1	1,763.32	1763.32	
8.4.3	Montaje del sistema del Distribuidor	Unid.	1	1,525.90	1525.9	
8.4.4	Montaje y conexión del regulador a la turbina	Unid.	1	1280.9	1280.9	
8.4.5	Montaje de Cojinetes y Acoples al Generador	Unid.	1	1157.58	1157.58	
8.4.6	Instalación de Cableado	Unid.	1	630.44	630.44	
8.4.7	Montaje de Sistema de manómetros y BY Pass	Unid.	1	327.06	327.06	
8.4.8	Montaje y Cableado de Tableros Eléctricos	Unid.	1	10,409.28	10409.28	
8.5	PRUEBAS Y PUESTA EN SERVICIO					S/. 6,750.44
8.5.1	Pruebas y puesta en servicio (2)	Glob.	1	6,750.44	6750.44	

COSTO TOTAL: S/. 849,846.97

(1) : Los accesorios comprenden los siguientes componentes :

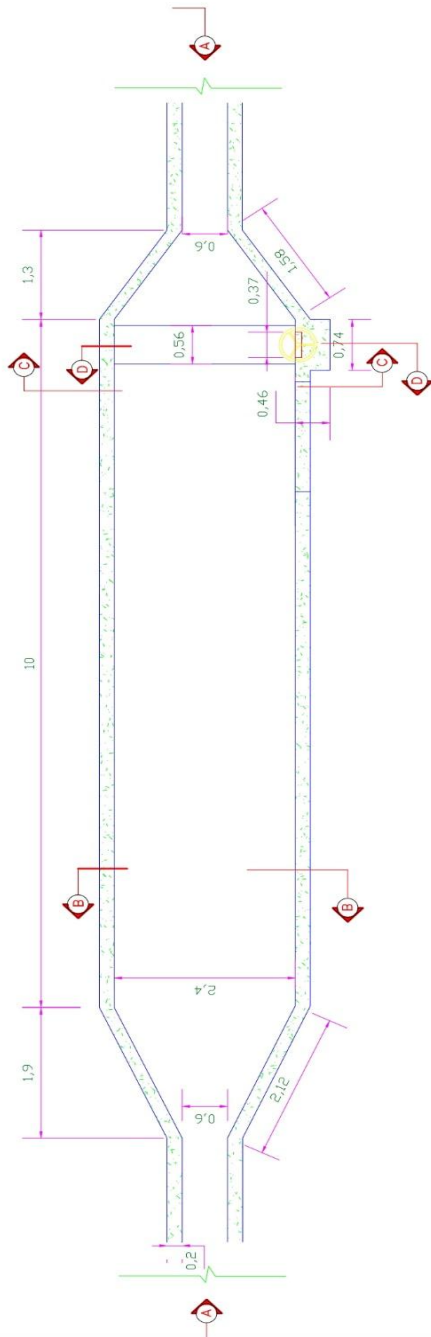
- a. Servomotor de Accionamiento
- b. Eje de Transmisión
- c. Volante de Inercia
- d. Cojinetes de Empuje
- e. Sistema de Lubricación de aceite
- f. Junta de Montaje

(2) : Las pruebas de puesta en servicio, son las siguientes:

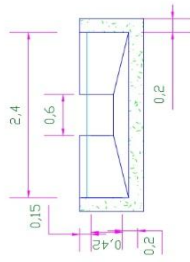
- a. Pruebas de operación en Vacío
- b. Verificación de Operación de Equipos
- c. Pruebas de operación con carga
- d. Calibración de Equipos
- e. Pruebas de operación en Paralelo
- f. Protocolos de recepción



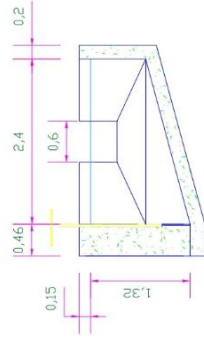
PLANTA



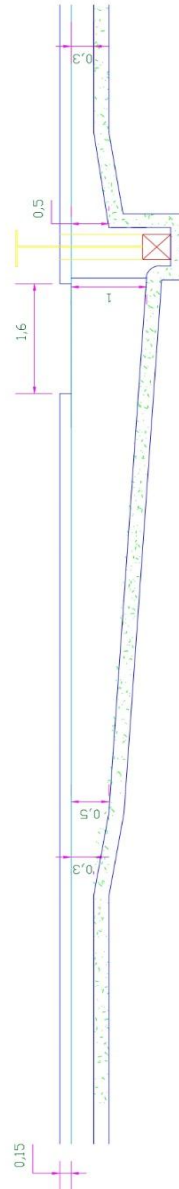
SECCIÓN B-B



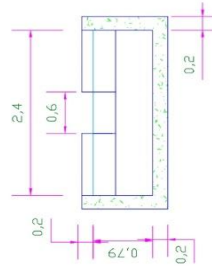
SECCIÓN D-D



SECCIÓN A-A

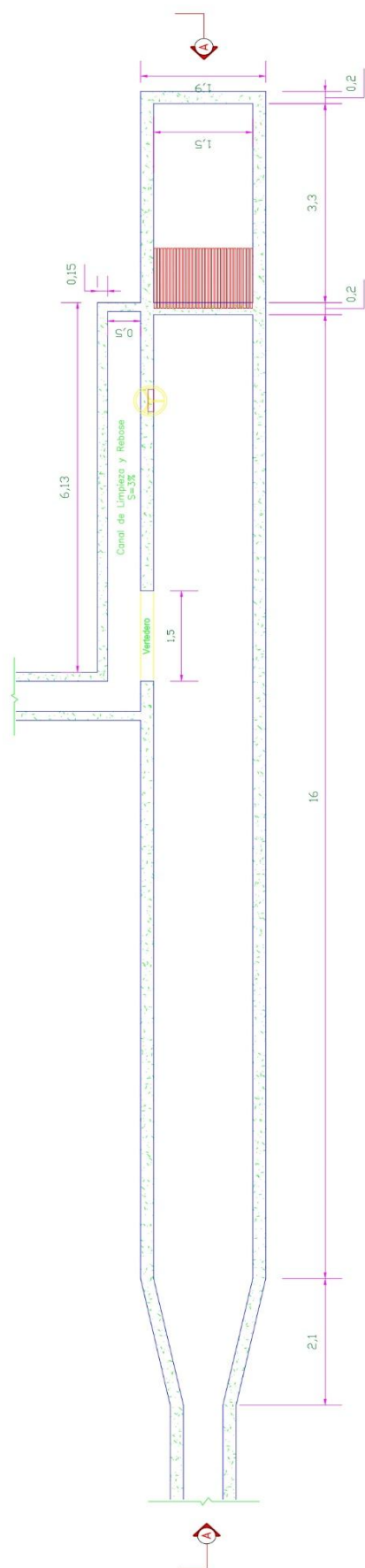


SECCIÓN C-C

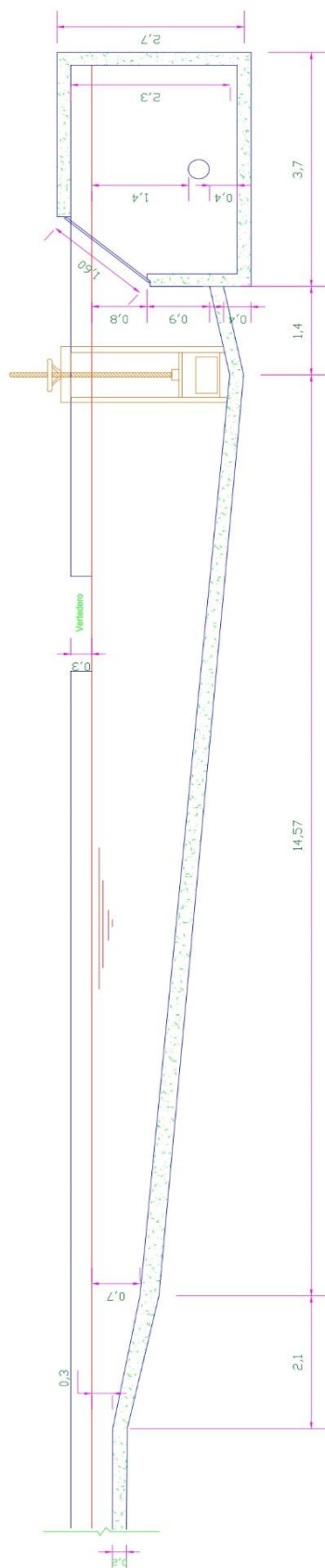


		UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECÁNICA ELÉCTRICA		PLANO N° 01
PROYECTO: ESTUDIO Y DISEÑO DE UNA MINICENTRAL HIDROELÉCTRICA II ETAPA	UBICACIÓN: DISTRITO: PUNO PROVINCIA: SANDIA DEPARTAMENTO: PUNO PAIS: PERU	TITULO: DESARENADOR		
				ESCALA: 1/100

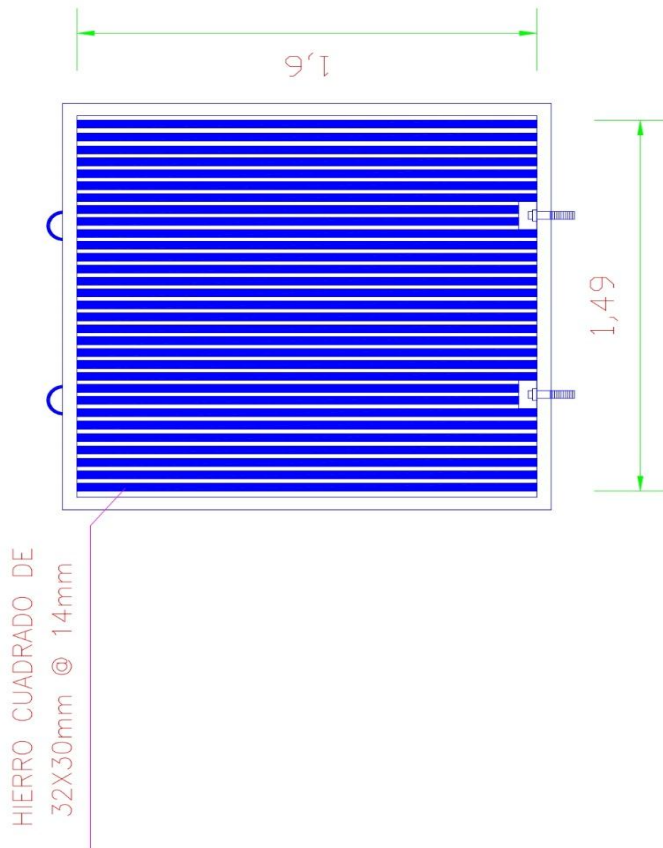
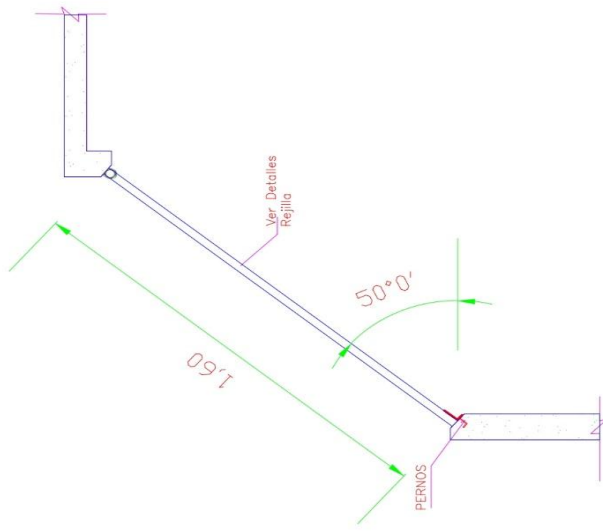
PLANTA



SECCIÓN A-A

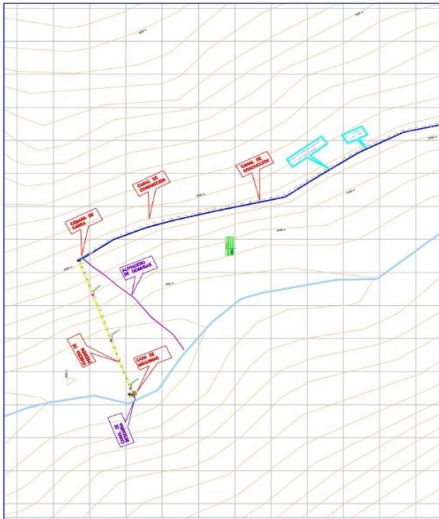


UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA		PLANO N°	02
PROYECTO:	ESTUDIO Y DISEÑO DE UNA MINICENTRAL HIDROELÉCTRICA II ETAPA	DISTRITO:	PARA
UBICACIÓN:	PROVINCIA: SANCRA	DEPARTAMENTO:	PUNO
TÍTULO:	CÁMARA DE CARGA - DESARENADOR	PAÍS:	PERÚ
		ESCALA:	1/100

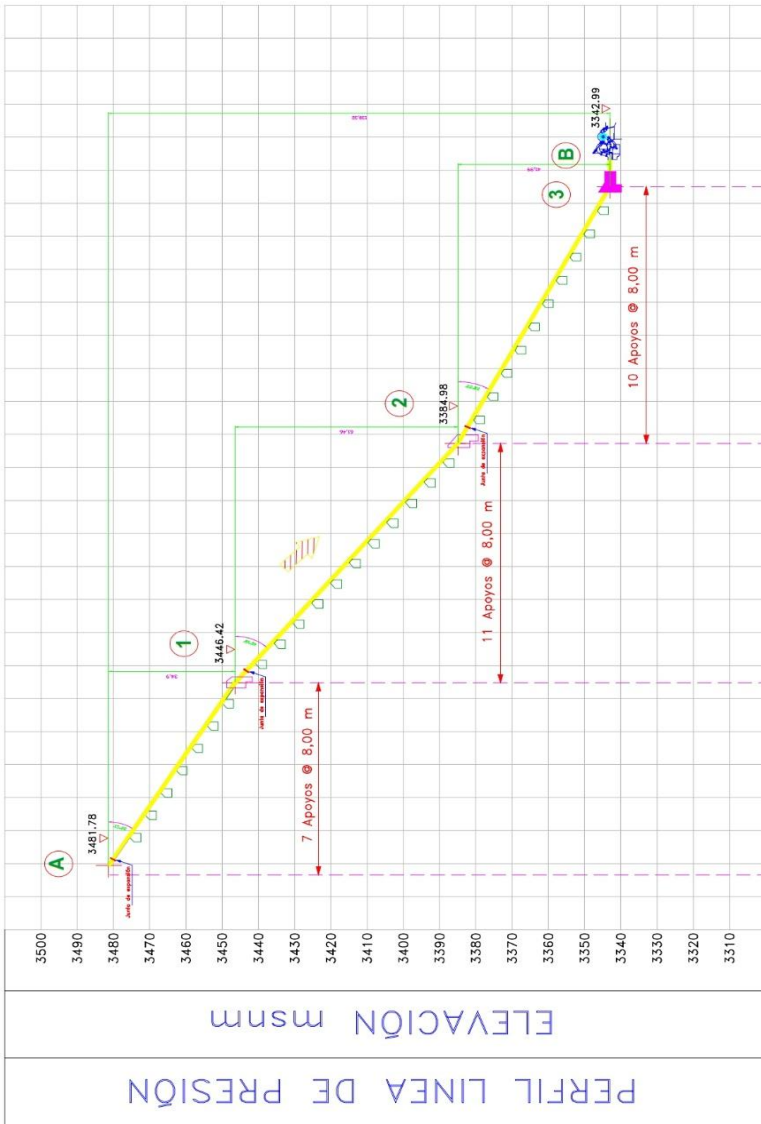


**DESARENADOR - CAMARA DE CARGA
DETALLE DE REJILLA**

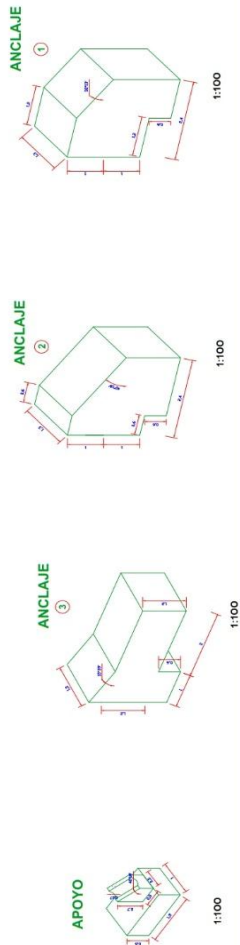
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA ELECTRICA		PLANO N°
ESTUDIO Y DISEÑO DE UNA MINICENTRAL HIDROELECTRICA II ETAPA		03
UBICACIÓN: DISTRITO: PARRA	PROVINCIA: SANTA PUNO	ESCALA: S/E
TÍTULO: REJILLA DE CÁMARA DE CARGA		



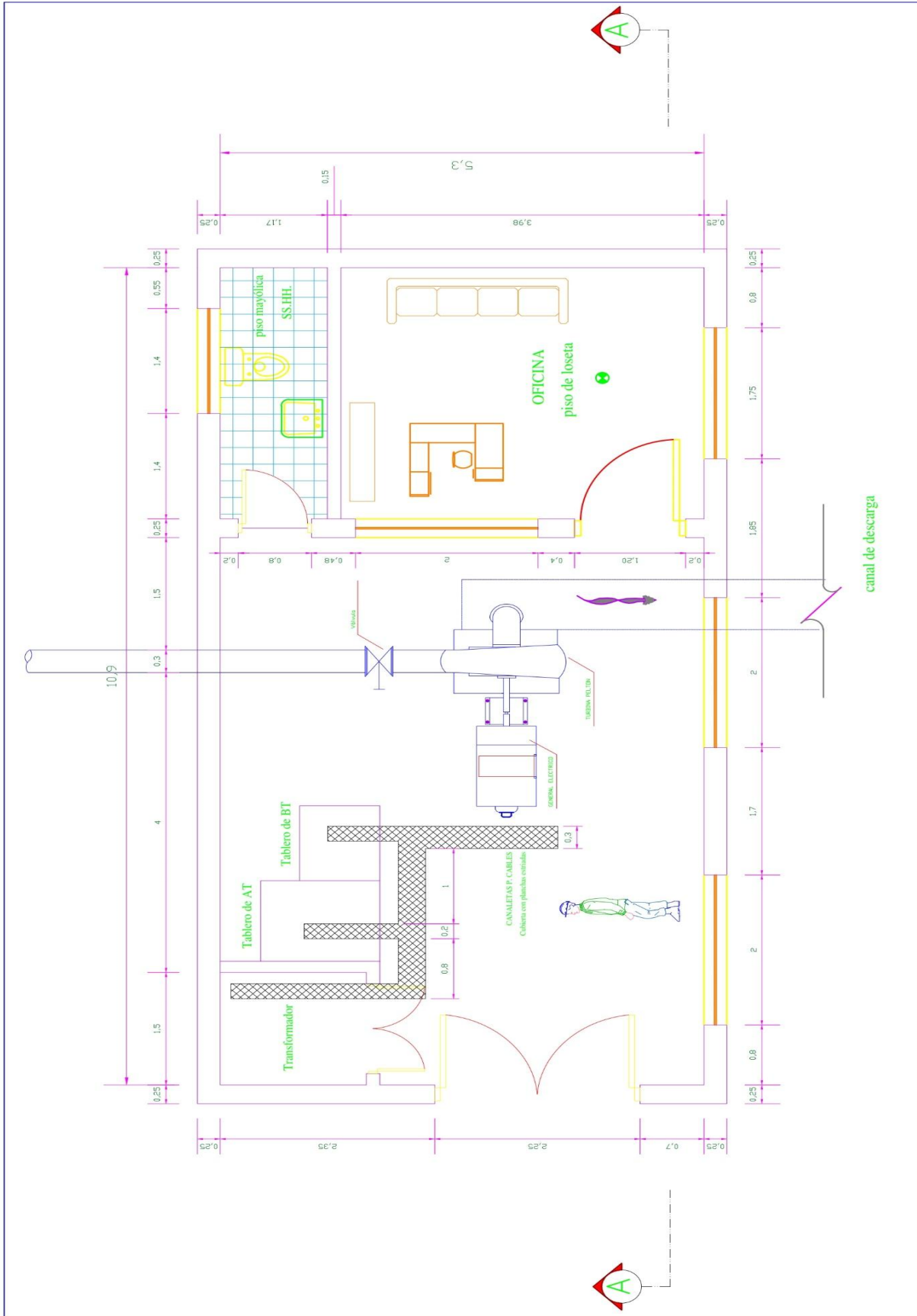
TRAMO	VERTICE	DISTANCIA	DISTANCIA	ANGULO H	ANGULO H	ANGULO H	COITA
A-1	A	65.45	55.38	32°13'	3481.78		3481.78
1-2	1	94.98	72.44	40°50'	3446.42		3446.42
2-3	2	88.4	77.8	28°22'	3384.98		3384.98
3-B	4	0	8	0°0'	3342.99		3342.99



PENDIENTE	COTA DE TERRENO (msnm)	DISTANCIA HORIZONTAL (m)	DISTANCIA INCLINADA (m)	ÁNGULO HORIZONTAL (g)	ESPESOR DE TUBERIA (mm)	PROGRESIVA (km)
60.02 %	3481.78	3474.07	3467.77	32°13'	5	0.000
	3455.17	3455.17	3461.47		5	0.030
	3448.87	3448.87	3467.77		5	0.040
	3441.37	3441.37	3474.07		5	0.050
	3432.89	3424.41	3455.17	40°18'	5	0.060
	3415.93	3407.44	3415.93		5	0.070
	3399.03	3390.48	3399.03		5	0.080
	3382.93	3377.53	3390.48		5	0.090
	3377.53	3372.13	3377.53		5	0.100
	3366.73	3361.33	3372.13		5	0.110
	3355.93	3350.54	3366.73		5	0.120
	3345.14	3345.14	3355.93		5	0.130
84.84 %	3342.99	3342.99	3342.99		5	0.140
	3342.99	3342.99	3342.99		5	0.150
	3342.99	3342.99	3342.99		5	0.160
	3342.99	3342.99	3342.99		5	0.170
	3342.99	3342.99	3342.99		5	0.180
	3342.99	3342.99	3342.99		5	0.190
	3342.99	3342.99	3342.99		5	0.200
	3342.99	3342.99	3342.99		5	0.210
	3342.99	3342.99	3342.99		5	0.220
	3342.99	3342.99	3342.99		5	0.230
	3342.99	3342.99	3342.99		5	0.240
	3342.99	3342.99	3342.99		5	0.250
	3342.99	3342.99	3342.99		5	0.260
55.97 %	3341.07	3341.07	3341.07		8	0.270
0%	3341.07	3341.07	3341.07		8	0.280

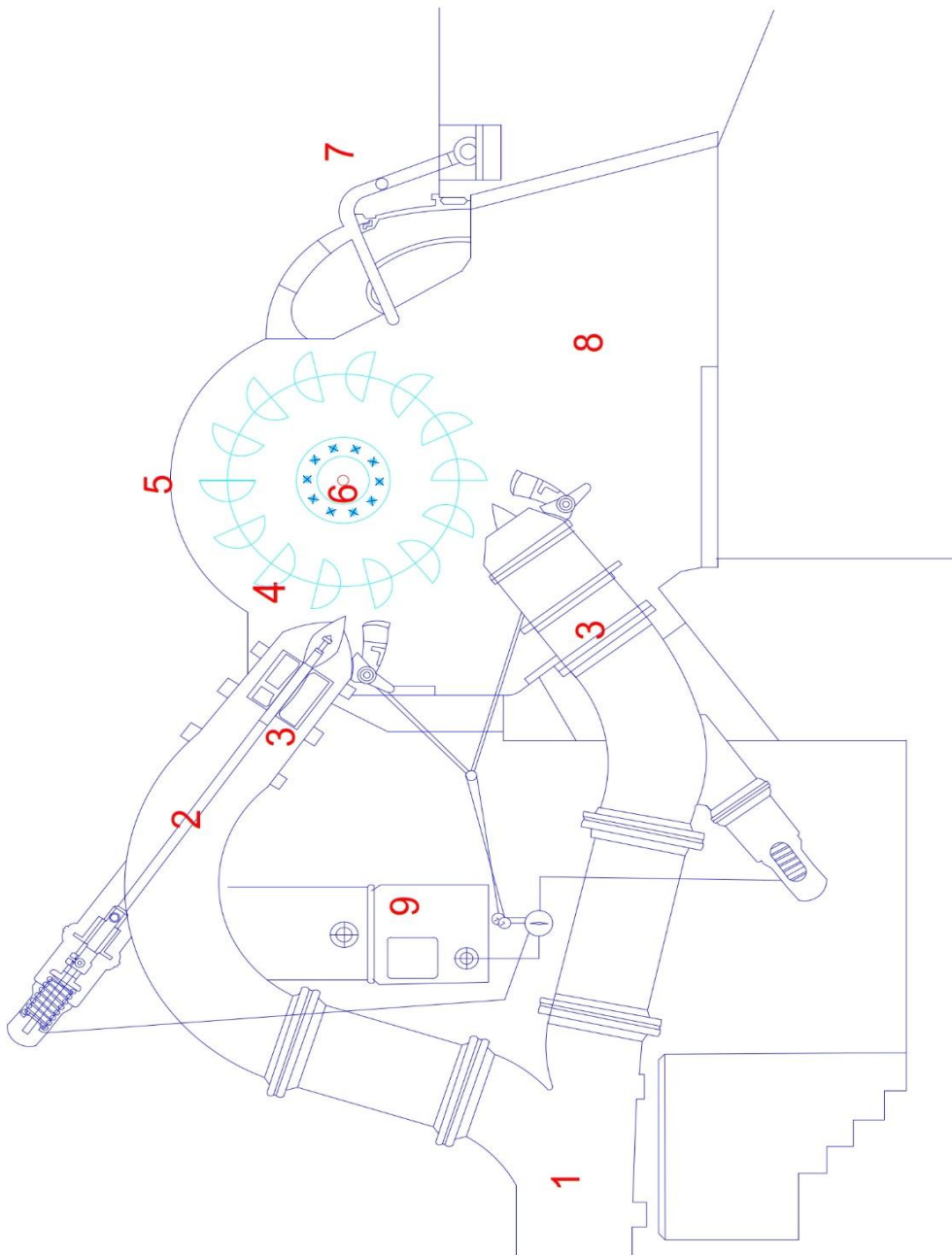


		UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA		PLANO N° 04	ESCALA: 1/1000
PROYECTO: ESTUDIO Y DISEÑO DE UNA MINICENTRAL HIDROELÉCTRICA II ETAPA	UBICACIÓN: DISTRITO: PHASA	DEPARTAMENTO: PUNO	PROVINCIA: SANCRA	PAIS: PERU	TUBERIA FORZADA
TÍTULO: TUBERIA FORZADA					



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA ELÉCTRICA		PUNO N°	05
PROYECTO:	ESTUDIO Y DISEÑO DE UNA MINICENTRAL HIDROELECTRICA II ETAPA	DISTRITO:	PRIMA
UBICACIÓN:	DEPARTAMENTO: PUNO	PROVINCIA:	SANCA
TÍTULO:	CASA DE MAQUINAS	PAIS:	PERU
		ESCALA:	5/E

- 1.- CÁMARA DE DISTRIBUCIÓN
- 2.- AGUJA
- 3.- DISTRIBUIDOR
- 4.- RODETE
- 5.- CARCASA
- 6.- EJE
- 7.- SISTEMA DE FRENADO
- 8.- CÁMARA DE DESCARGA
- 9.- REGULADOR DE VELOCIDAD



		UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA ELÉCTRICA	PLANO N° 06
PROYECTO: ESTUDIO Y DISEÑO DE UNA MINICENTRAL HIDROELÉCTRICA II ETAPA	UBICACIÓN: DISTRITO: PUNO PROVINCIA: SANDIA DEPARTAMENTO: PUNO	PAÍS: PERÚ	ESCALA: 5/E
TÍTULO: TURBINA PELTON CON 2 INYECTORES			