



**FACULTAD DE INGENIERÍA ARQUITECTURA Y  
URBANISMO**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA  
ELÉCTRICA**

**TESIS:**

**REPOTENCIACIÓN DE LA MINICENTRAL  
HIDROELÉCTRICA LA PLAYA UBICADO EN EL  
DISTRITO DE INCAHUASI PROVINCIA DE  
FERREÑAFE DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE**

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

**Autor:**

**Bach. Euler Leonardo Asenjo Guevara**

**Asesor:**

**MSc. Jony Villalobos Cabrera**

**Línea de Investigación:**

**Diseño Eléctrico**

**Pimentel, Perú**

**2018**

REPOTENCIACIÓN DE LA MINICENTRAL HIDROELÉCTRICA LA PLAYA  
UBICADO EN EL DISTRITO DE INCAHUASI PROVINCIA DE FERREÑAFE  
DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE

---

Bach. Euler Leonardo Asenjo Guevara  
**Autor**

Presentado a la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Universidad Señor de  
Sipán para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico Electricista

**APROBADO POR:**

---

Msc. Rojas Coronel Ángel Marcelo  
**Presidente del Jurado de tesis**

---

Mg. Gastiaburú Morales Silvia Yvone  
**Secretario del Jurado de tesis**

---

MSc. Villalobos Cabrera Jony  
**Vocal del Jurado de tesis**

## DEDICATORIA

*La presente tesis lo dedico:*

*A DIOS PADRE TODO PODEROSO.*

*Bienaventurado el hombre que halla la sabiduría, y que obtiene la inteligencia;  
Porque su ganancia es mejor que la ganancia de la plata, y sus frutos más que el oro  
fino.*

*Proverbios 3: 13,14.*

*A mis padres que me brindaron su apoyo incondicional durante mi vida en la  
Universidad.*

*EULER LEONARDO ASENJO GUEVARA*

## **AGRADECIMIENTO**

*De manera especial agradezco al ingeniero Jony Villalobos Cabrera y al ingeniero Ángel Marcelo Rojas Coronel; por brindarme su asesoría durante el desarrollo de mi tesis así poder cumplir con uno de mis objetivos trazados en mi vida profesional.*

*Agradezco a todos los docentes de la Universidad Señor de Sipán por brindarme aquellos conocimientos durante mi formación académica.*

***EULER LEONARDO ASENJO GUEVARA***

# INDICE

<b>1. INTRODUCCION</b>	<b>2</b>
<b>1.1. Realidad Problemática</b>	<b>2</b>
1.1.1. A nivel internacional.	3
1.1.2. A nivel nacional.	5
1.1.3. A nivel local	6
<b>1.2. Antecedentes de Estudio:</b>	<b>7</b>
<b>1.3. Teorías Relacionadas al Tema:</b>	<b>10</b>
<b>1.4. Definición de la terminología</b>	<b>76</b>
<b>1.5. Formulación Del Problema</b>	<b>77</b>
<b>1.6. Justificación e Importancia de la Investigación</b>	<b>77</b>
1.6.1. Justificación Técnica.	77
1.6.2. Justificación Económica.	77
1.6.3. Justificación Ambiental.	77
1.6.4. Justificación Social.	78
<b>1.7. Hipótesis:</b>	<b>78</b>
<b>1.8. Objetivos De La Investigación:</b>	<b>78</b>
1.8.1. Objetivo general	78
1.8.2. Objetivos específicos	78
<b>2. MATERIAL Y METODO</b>	<b>80</b>
<b>2.1. Tipo y diseño de investigación</b>	<b>80</b>
2.1.1. Tipo de Investigación	80
2.1.2. Diseño de investigación	80
<b>2.2. Población y Muestra:</b>	<b>81</b>
2.2.1. Población:	81
2.2.2. Muestra:	81
<b>2.3. Variables y Operacionalización de variables:</b>	<b>81</b>
2.3.1. Variables:	81
2.3.2. Operacionalización de variables:	82
<b>2.4. Hipótesis</b>	<b>82</b>
<b>2.5. Procedimientos de Análisis de Datos</b>	<b>83</b>
2.5.1. Abordaje metodológico	83
2.5.2. Metodología de diseño	83
2.5.3. Instrumentos de recolección de datos.	84
2.5.4. Procedimiento para la recolección de datos.	¡Error! Marcador no definido.
<b>2.6. Criterios éticos</b>	<b>84</b>
<b>2.7. Criterios de Rigor Científico</b>	<b>86</b>
<b>3. RESULTADOS</b>	<b>88</b>

3.1. Estudio de la Máxima Demanda Energética de los caseríos aledaños a ser suministrados con energía eléctrica por parte de la Mini Central Hidroeléctrica La Playa	88
3.2. Evaluar el potencial hidrológico en la zona de estudio	91
3.3. Evaluar el estado actual de la Mini Central Hidroeléctrica La Playa	97
3.4. Selección del equipamiento adecuado para la repotenciación de la Mini Central Hidroeléctrica La Playa	97
3.5. Evaluación económica del proyecto	117
3.6. Discusión de Resultados	118
<b>4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>121</b>
4.1. Conclusiones	121
4.2. Recomendaciones	122
<i>Referencias</i>	<b>123</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>128</b>
ANEXO 1: Presupuesto Detallado.	129
ANEXO 2: Cálculo del costo teórico de generar energía eléctrica	131
ANEXO 3: Evaluación Económica	132
ANEXO 4: Planos.	133

## INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Dimensiones de un apoyo. Fuente: (Ramiro, 2001) .....	66
Gráfico 2: Tensiones de un apoyo. Fuente: (Ramiro, 2001) .....	69
Gráfico 3: Límites de utilización de las turbinas. Fuente (Celso Penche) .....	72
Gráfico 4: Curva de duración de caudales .....	93
Gráfico 5: Método del flotador. Fuente (ITDG S.P 2010).....	94
Gráfico 6: Método del flotador. Fuente (ITDG S.P 2010).....	94
Gráfico 7: Método del flotador. Fuente (ITDG S.P 2010).....	95
Gráfico 8: Método del flotador. Fuente (ITDG S.P 2010).....	95

## **ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 1: Clasificación de las centrales hidroeléctricas por la potencia generada.....	15
Tabla 2: Clasificación de las mini centrales por la caída .....	16
Tabla 3: Cuadro referencial de número de personas por hogar.....	20
Tabla 4: Valores referenciales del consumo por abonado doméstico (AD) en el ámbito rural .....	20
Tabla 5: Cuadro de valores referenciales de tasa de crecimiento de los consumos de energía. ....	21
Tabla 6: Evaluación de recursos hidroenergéticos.....	28
Tabla 7: Perfil Creager.....	34
Tabla 8: Talud recomendado para canales de sección trapezoidal .....	40
Tabla 9: Velocidad máxima recomendada .....	41
Tabla 10: Coeficiente de rugosidad.....	42
Tabla 11: Coeficiente de corrección por cambio de velocidad .....	48
Tabla 12: Coeficiente de fricción entre materiales .....	66
Tabla 13: Coeficiente de rozamiento entre el terreno y el apoyo .....	67
Tabla 14: Fuerza de compactación.....	70
Tabla 15: Operacionalización de las Variables .....	82
Tabla 16: Población de las localidades a beneficiarse con la ampliación de la Mini Central Hidroeléctrica La Playa.....	88
Tabla 17: Estimación de la Máxima Demanda (kW) y Energía (kW-h) de las localidades a ser beneficiadas con la repotenciación.....	90
Tabla 18: Principales Ríos y Micro cuencas de Incahuasi .....	92
Tabla 19: Caudales aforados del riachuelo Tungula en el año 2017.....	93
Tabla 20: Método del flotador. Fuente (ITDG S.P 2010) .....	96
Tabla 21: Resumen del Presupuesto.....	117



## **Resumen**

El presente trabajo de investigación comprende las bases teóricas, científicas para la Repotenciación de la Mini Central Hidroeléctrica “La Playa” del distrito Incahuasi – Provincia de Ferreñafe – Departamento de Lambayeque. Actualmente la mini central hidroeléctrica tiene una potencia instalada de 50 kW, abasteciendo de energía al Caserío La Playa sin embargo, el crecimiento de la población a puesto en necesidad el requerimiento de energía eléctrica a sus nuevos caseríos en el distrito de Incahuasi, más no a sus caseríos aledaños.

Se evaluó la necesidad energética de los 07 caseríos aledaños: Tigoj, Tingo, Tasajera, Tasajera Alta, Tasajera Baja, Tolospampa y Totorá, para éste estudio se contó con un registro del año 2017, dato que se corroboró empleando el método del flotador.

Con el repotenciamiento de la mini central hidroeléctrica se aumentará la potencia instalada de 50 kW a 100 kW abasteciendo de energía eléctrica a los caseríos aledaños del distrito de Incahuasi, para una proyección de 20 años.

**PALABRAS CLAVE:** Caudal, altura, mini central hidroeléctrica, potencia eléctrica.

## **Abstract**

The present research work includes the theoretical, scientific bases for the Repowering of the mini hydroelectric power station "La Playa" of the Incahuasi district - Province of Ferreñafe - Department of Lambayeque. Currently, the mini hydroelectric power plant has an installed capacity of 50 kW, supplying energy to Caserío La Playa and 01 hamlet, so it has a deficit of electricity, as this has been directed to the goal of supplying energy to the district of Incahuasi, but not to its surrounding hamlets.

The energetic need of the 07 surrounding hamlets was evaluated: Tigoj, Tingo, Tasajera, Tasajera Alta, Tasajera Baja, Tolospampa and Totorá, through the study of the maximum demand, in the same way to the new flow that has given us a record of the year 2017 and To confirm this record, the float method was used.

With the redesign of the mini hydroelectric plant will increase the power of the installation of 50 kW to 100 kW of electricity supply to the surrounding hamlets in its entirety, during the 20 years of projection.

**KEY WORDS:** Flow, height, central mini hydro, electric power.

# **CAPITULO I**

# **INTRODUCCION**

# **1. INTRODUCCION**

La electricidad desempeña un papel muy importante en el ámbito social, económico y medioambiental. El acceso al suministro eléctrico representa un elemento clave para la lucha contra la pobreza, para promover la salud, la educación y el bienestar de las personas.

En vista 07 caseríos aledaños a la ubicación de la mini central hidroeléctrica del distrito Incahuasi, provincia de Ferreñafe, departamento de Lambayeque, no cuentan con servicio eléctrico debido al crecimiento de la demanda eléctrica y potencia eléctrica instalada muy limitada.

Es por eso, la finalidad primordial para su desarrollo que requieren estos lugares de servicio eléctrico porque a través de esto pueden tecnificar sus actividades como se puede decir contarán con molinos de granos, talleres pequeños de herrería, carpintería y costura, talleres de recargo de baterías, despulpadoras de café, etc.

El rediseño de la Mini Central Hidroeléctrica La Playa constituye una alternativa de solución al problema del suministro de energía que atraviesa este distrito, realizando el estudio de la máxima demanda eléctrica y mediante el incremento del caudal se aumentara la capacidad de la potencia instalada para abastecer a la población.

El presente informe de investigación está conformado por capítulos para la descripción de cada proceso que se llevó acabo en la realización de dicho proyecto.

## **1.1. Realidad Problemática**

La selección de este tema de estudio surgió a partir de un déficit en generación de energía, que presenta la Mini Central Hidroeléctrica La Playa del distrito de Incahuasi, por lo que se ha rediseñado la mini central hidroeléctrica para aumentar la potencia instalada actual, que permitirá abastecer de energía eléctrica al distrito y sus caseríos aledaños.

### **1.1.1. A nivel internacional.**

#### **España**

El actual sistema energético a nivel mundial está basado en la generación de energía a partir de combustibles fósiles como el petróleo, el carbón mineral y el gas. La generación de energía a partir de estas materias está siendo ampliamente replanteada por varias razones: son recursos limitados que se encuentran en puntos concretos del planeta, su uso a gran escala está provocando graves efectos sobre el medio ambiente y la salud de los seres humanos, y se están agotando las reservas naturales comprometiendo el futuro de las nuevas generaciones.

La ciudadanía está cada vez más concienciada sobre la necesidad de proteger el medio ambiente y emplear métodos no contaminantes de producción de energía. Esto se debe en parte al amplio consenso alcanzado en la comunidad científica internacional sobre la existencia del cambio climático. Se ha constatado que la temperatura media de la Tierra ha sufrido un aumento durante el siglo XX de  $0,6 \pm 0,2$  °C, además de que existe una disminución real de la cobertura del hielo ártico y un aumento de la frecuencia e intensidad de los denominados desastres naturales como huracanes, sequías y lluvias torrenciales.

Estos hechos han provocado que en las dos últimas décadas se firmen una serie de compromisos políticos internacionales que apuestan por alcanzar un modelo de desarrollo sostenible: Cumbre de las Naciones Unidas de Río de Janeiro (1992) –donde surgió el plan de acción Agenda 21– y de Johannesburgo (2002); Protocolo de Kioto, adoptado en la Convención Marco del Cambio Climático de las Naciones Unidas de 1997 y ratificado en febrero de 2005; Declaración del Milenio (2000); y Plan de acción de la Conferencia de Bonn sobre Energías

Renovables de junio de 2004. (Castro, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, 2006)

### **Venezuela**

En la actualidad, la red de abastecimiento de la ciudad de Cartagena, en su parte denominada casco urbano, recibe el suministro de agua de varios depósitos que dan servicio a las distintas zonas de consumo por medio de válvulas reguladoras de la presión con el fin de garantizar el correcto funcionamiento de la red de abastecimiento, entre los depósitos y la zona de consumo. El trabajo evalúa la viabilidad de la sustitución de dichas válvulas por turbinas hidráulicas, que permitirían regular la presión, de forma análoga a las válvulas existentes, y que a la vez posibilitarían la recuperación de la energía hidroeléctrica. Estos tipos de instalaciones son idóneas para la implantación de turbinas no convencionales como son las de flujo cruzado y las bombas de velocidad variable funcionando como turbinas. De forma general para que un emplazamiento sea viable deberá circular por él un caudal de 100-120 m<sup>3</sup> /s y disponerse de una diferencia de presión de 25-30m, antes y después de la válvula reguladora de presión. (VIGUERAS RODRÍGUEZ, 2015)

### **América**

Según las estimaciones disponibles, aún existe un vasto potencial hidroeléctrico por ser explorado y aprovechado. Según los datos de OLADE, sólo el 25% del potencial hidroeléctrico ha sido explotado, y aún quedan más de 500 GW aprovechables, principalmente en Brasil y los países andinos. Estos datos y los costos de proyectos recientes, muestran que desarrollos hidroeléctricos de bajo costo aún son posibles. Confirmando esto, las diversas proyecciones disponibles

(de la IEA, WEC, y del BID) indican que la generación hidroeléctrica continuará siendo esencial para cubrir la demanda de energía eléctrica en LAC, y que, dependiendo del escenario proyectado, se instalarán hidroeléctricas a un ritmo similar al que se experimentó en las últimas décadas (2 GW/año), o incluso a un ritmo superior (hasta 5 GW/Año).

Claramente, un factor que impulsará este desarrollo hidroeléctrico será la necesidad de cumplir con las metas establecidas en la COP 21, con relación a la disminución de la generación fósil, y sus emisiones asociadas. Dada su flexibilidad operativa, y la posibilidad de almacenar energía, la hidroelectricidad permite el desarrollo y complementa la instalación de energías renovables no convencionales (eólica y solar). Otro factor que podría impulsar el desarrollo hidroeléctrico es la integración regional, ya que permitiría el desarrollo de proyectos para aprovechar el potencial hidroeléctrico en países cuya demanda es pequeña (tales como Bolivia y Guyana), reduciendo los costos totales de suministro y aumentando la seguridad energética.

En resumen, las proyecciones y datos muestran que en nuestra región no solo se seguirán construyendo hidroeléctricas, sino que hay una creciente necesidad de invertir en rehabilitar y modernizar las que ya existen. (Alarcón, 2018)

### **1.1.2. A nivel nacional.**

La energía hidroeléctrica ha ido tomando auge en los últimos años, debido a que es más barata y no contamina con respecto a la generación de energía por medio de las plantas termoeléctricas. Si bien es cierto, que los costos del proyecto inicial para una planta hidroeléctrica son mayores respecto a una planta termoeléctrica, ya que se necesitan construir estructuras adicionales como son: obras de derivación de agua, e l desarenador, las tuberías de presión, etc. los

costos de operación son mucho más bajos, ya que no necesitan el uso de combustibles como son: carbón, petróleo, etc. Una planta termoeléctrica también es difícil de operar y el costo de la mano de obra, mantenimiento y reparaciones, es mucho más alto que para una planta hidroeléctrica, sin mencionar la gran contaminación que producen las termoeléctricas. Por lo que todas luces la energía hidroeléctrica se presenta como la mejor opción, Sin embargo, la principal restricción por la cual no es posible construir en todo lugar las centrales hidroeléctricas es que es necesario un caudal y desnivel de agua específico que muchas veces no se encuentra en suficiente cantidad en algunas regiones. En la actualidad para poder satisfacer la necesidad de energía eléctrica en las diferentes regiones del Perú existe el sistema interconectado, el cual consiste en que todas las centrales hidroeléctricas trabajen en conjunto atendiendo a todo el Perú en simultaneo por medio de una interconexión de torres y cables de alta tensión que recorren todo el país. Pero este sistema todavía no llega a las zonas más alejadas, razón por la cual todavía existen lugares donde se abastecen de energía por medio de centrales termoeléctricas, pero estas centrales están siendo sustituidas poco a poco por el sistema interconectado. (Sánchez Pajuelo, 2002)

### **1.1.3. A nivel local**

La generación de energía eléctrica en el distrito de Incahuasi, provincia de Ferreñafe, departamento de Lambayeque, es muy esencial para las diferentes utilidades como residencial, comercial, servicio público.

En la actualidad la Mini Central Hidroeléctrica La Playa de este distrito abastece de energía eléctrica al caserío la Playa y un caserío más, pero a su alrededor se encuentran 07 caseríos más: Tigoj, Tingo, Tasajera, Tasajera Alta, Tasajera Baja,



Tolospampa y Totorá, que no cuentan con el servicio de energía eléctrica, pero para que la Mini Central Hidroeléctrica, debe aumentar su potencia eléctrica, por que la actual potencia instalada de 50 kW, no abastecer los requerimientos de estos 7 caseríos, por lo que se presenta cierto déficit de energía eléctrica, por lo cual se requiere que esta mini central cumpla con los criterios de diseño para satisfacer la nueva demanda energética.

### **1.2. Antecedentes de Estudio:**

Son antecedentes a este proyecto de investigación los siguientes trabajos que a continuación se detallan.

#### **Tesis: Estudio y Diseño a Nivel de Perfil de una Central Hidroeléctrica en El Río Blanco, Distrito De San Gabán, Provincia de Carabaya, Departamento de Puno.**

En esta investigación se propone la instalación de una central hidroeléctrica en la subcuenca del río Blanco, ubicada en la zona baja de la cuenca San Gabán. En el mes de Julio se efectuó una primera expedición hasta la zona alta del río Blanco, a fin de reconocer la zona y evaluar preliminarmente las posibilidades de instalar una central hidroeléctrica. Siendo positivas las condiciones visualizadas y además evaluadas con imágenes satelitales, en el mes de octubre de 2016 se ejecuta una primera medición del caudal del río en el punto dispuesto para las obras de derivación y toma de agua. La travesía fue a través del cauce del río, pues no existe un acceso peatonal hasta el punto aforado. A partir de este dato, se desarrolló una correlación con los datos de la cuenca San Gabán, generando así, un histórico de caudales del río blanco y consecuentemente la persistencia del mismo. Para determinar la altura geodésica se hizo uso de un dispositivo de posicionamiento global satelital, contrastando finalmente la idoneidad de la zona para una central hidroeléctrica. Definiendo entonces un caudal de 6.7 m<sup>3</sup>/s, para

una persistencia de 75%, conducidas a través a un túnel de 6,200 m. aproximadamente y una altura neta de 419.1 m para generar 19.8 MW en dos grupos generadores ubicadas en una casa de máquinas de tipo caverna. Finalmente, para la evaluación económica, se ha considerado que la central hidroeléctrica, al ser del tipo RER, efectúa su venta en el mercado de Subasta RER. Con estas consideraciones, la central hidroeléctrica garantiza la rentabilidad de la inversión pública o privada. (MAMANI MÁLAGA, 2017)

**Tesis: Estudio De Factibilidad Para La Repotenciación De La Mini Central Hidroeléctrica De 2mw De La Empresa UCEM – CEM, Planta Chimborazo.**

Esta investigación se realizó en la mini central hidroeléctrica de UCEM-CEM, ubicada en la parroquia San Juan, para determinar la factibilidad de repotenciación y optimización de generación de energía, para lo cual se procedió a analizar el estado histórico y actual del consumo y generación de energía de la empresa con los rendimientos de los equipos instalados, observando los equipos e infraestructura se evaluó el estado de operación y funcionabilidad de las máquinas e infraestructura, proponiendo una alternativa de inversión con el caudal de equipamiento encontrado, el mismo que se utiliza para realizar el análisis técnico de dos casos: con una potencia promedio de operación de 880 Kw a caudal estable de 330 lt/s y con una potencia de 1258.4 Kw y 352 Kw, con un caudal diferenciado de 472 lt/s y 132 lt/s, para los horarios de 06:00 a 22:00 y 22:00 a 06:00 respectivamente, con los precios establecido por la Agencia de Control y Regulación de Electricidad en horas diferenciada de Media Tensión, evaluando la factibilidad técnica, socioeconómica, financiera y ambiental, los resultados obtenidos dicen que el proyecto de repotenciación es viable técnicamente con una producción proyectada de 7688.03 Mwh, mientras que en la evaluación económica se tiene un TIR de 16.28% con financiamiento y 24.16% sin financiamiento para el caso de potencia promedio y caudal estable, recomendando a la empresa que realicen la

inversión en este caso, de ser posible con financiamiento propio. (SANTIANA ESPÍN, 2016)

**Tesis: Diseño de una micro central hidroeléctrica para la Reserva Biológica Alberto Manuel Brenes.**

Esta investigación se realizó en la mini central hidroeléctrica de UCEM-CEM, ubicada en la parroquia San Juan, para determinar la factibilidad de repotenciación y optimización

de generación de energía, para lo cual se procedió a analizar el estado histórico y actual del consumo y generación de energía de la empresa con los rendimientos de los equipos instalados, observando los equipos e infraestructura se evaluó el estado de operación y funcionabilidad de las máquinas e infraestructura, proponiendo una alternativa de inversión con el caudal de equipamiento encontrado, el mismo que se utiliza para realizar el análisis técnico de dos casos: con una potencia promedio de operación de 880 Kw a caudal estable de 330 lt/s y con una potencia de 1258.4 Kw y 352 Kw, con un caudal diferenciado de 472 lt/s y 132 lt/s, para los horarios de 06:00 a 22:00 y 22:00 a 06:00 respectivamente, con los precios establecido por la Agencia de Control y Regulación de Electricidad en horas diferenciada de Media Tensión, evaluando la factibilidad técnica, socioeconómica, financiera y ambiental, los resultados obtenidos dicen que el proyecto de repotenciación es viable técnicamente con una producción proyectada de 7688.03 MWh, mientras que en la evaluación económica se tiene un TIR de 16.28% con financiamiento y 24.16% sin financiamiento para el caso de potencia promedio y caudal estable, recomendando a la empresa que realicen la inversión en este caso, de ser posible con financiamiento propio. (Rodríguez Rojas, 2013)

## **Tesis: Estudio de prefactibilidad de una minicentral hidroeléctrica para ampliación del proyecto Quitaracsa.**

La tesis busca optimizar el aprovechamiento de la naciente de la cuenca del río Quitaracsa, en donde actualmente se está desarrollando la construcción del proyecto Quitaracsa 1 de 112 MW que aprovechará los recursos hídricos del tramo final del río, antes de confluir al río Santa; y se llevan realizando los estudios de factibilidad de la construcción del proyecto Quitaracsa 2 de 88 MW, aguas arriba de la toma de agua y represa de Quitaracsa 1, cuya toma de agua y represa se encontrará 3 aguas debajo de la confluencia del río Collota y Quitaracsa. La parte de la sub cuenca que se analizará se sitúa aguas debajo de la naciente del río en el nevado Pilanco en la Cordillera Blanca y de las lagunas Millarcocha y Matarcocha. El esquema seleccionado para el proyecto de esta tesis se encuentra con una descarga ubicada aproximadamente en la elevación 3 300 msnm y con una toma de agua en la elevación 3500 msnm. El proyecto, aprovechando las líneas de transmisión que se construirán en los proyectos Quitaracsa 1 y 2, logrará conectarse al sistema interconectado nacional representado un aporte adicional para cubrir la demanda creciente de energía para el mercado energético del Perú. (MARTINEZ GONZALES, 2012)

### **1.3. Teorías Relacionadas al Tema:**

#### **Recurso hídrico.**

El agua en su caída puede seguir el cauce del río o puede circular por una tubería en cuya extremidad está instalada una tubería. En el segundo caso respectivamente, la masa de agua disipa su potencia en vencer la fricción para poder circular por la tubería y en atravesar los alabes de la turbina. Para valorar el recurso hídrico hay que conocer cómo evoluciona el caudal a lo largo del año. Un solo valor instantáneo no es significativo.

Un primer paso para tener un adecuado estudio del valor de recurso hídrico será el de averiguar si existen series temporales de caudales para el tramo del río en estudio. Para otros tramos del mismo río, y en que estacionamientos del año fueron calculados, con los que podrá construir el régimen de caudales.

El aprovechamiento del recurso hídrico tienen un alto grado de importancia y su incidencia en el diseño de la central es determinante. La falta de recurso hídrico para su ejecución puede ocasionar grandes daños a los equipos e interrupciones del suministro eléctrico. (Labrin, 2011)

### **Caudal**

Se define al caudal como la masa de agua que pasa, en un tiempo determinado, por una sección y/o canal por un desnivel o salto bruto.

El cálculo de caudal de agua viene expresado por la ecuación de continuidad:

$$Q = V \times S$$

*Ecuación 1: Ecuación del Caudal*

Donde:

$$Q = \text{Caudal} \left( \frac{m^3}{s} \right)$$

$$V = \text{Velocidad} \left( \frac{m}{s} \right)$$

$$S = \text{Sección de la tubería} (m^2)$$

Es probable que muchas veces no exista la información necesaria para hacer un estudio de hidrología, entonces nos veremos forzados a recolectar nuestros propios datos a partir de mediciones instantáneas del caudal; sin embargo, de ser posible y

si el proyecto lo amerita, habrá que buscar especialistas en el tema, de tal forma que se pueda obtener una estimación del caudal lo más certera posible. La similitud de cuencas hidrográficas es muy utilizada para estimar un caudal donde no existe información hidrográfica.

Para nuestro caso, nos abocaremos a efectuar la descripción de métodos prácticos para medir el caudal instantáneo en un determinado río o riachuelo.

Es importante que estas mediciones se realicen en temporada de sequía (ausencia de lluvias), ya que es el tiempo más crítico e ideal para el diseño de un proyecto. (Ing. Roberto Fromm (FHIA), 2009).

- **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 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.

Los métodos más usados para la medición de caudal son:

- ✓ Método del flotador.
- ✓ Método del recipiente.
- ✓ Método de la solución de la sal.
- ✓ Método del vertedero.

## **Altura**

Es una longitud o una distancia de una dimensión geométrica, usualmente vertical o en dirección hacia la gravedad en el mismo ámbito se usará para referirse a la coordenada vertical de la parte más elevada de un objeto o ubicación. (Davila, D, & Villanueva, 2010)

Los métodos de medición de la altura más utilizados son:

- ✓ Método de la manguera de nivelación.
- ✓ Método de la manguera y manómetro.
- ✓ Método del nivel del carpintero y tablas.
- ✓ Método del altímetro.
- ✓ Método del eclímetro.
- ✓ Método del nivel de ingeniero.

### **Energía eléctrica**

Energía que resulta de la existencia de una diferencia de potencial entre dos puntos, lo que permite establecer una corriente eléctrica entre ambos (al ponerlos en contacto por medio de un conductor eléctrico) y obtener trabajo.

Los fundamentos físicos de la electricidad se explican a partir del modelo atómico. La materia está formada por átomos. Los átomos son partículas muy pequeñas, invisibles para nosotros. Los átomos están formados por un núcleo central y una corteza externa. En el núcleo hay dos tipos de partículas: protones (carga positiva) y neutrones (sin carga); mientras que, en la corteza hay electrones (carga negativa) que giran alrededor del núcleo.

### **Potencia eléctrica**

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. La unidad en el Sistema Internacional de Unidades es el vatio (*watt*).

La fórmula para hallar la potencia de los equipos que trabajan con corriente alterna monofásica, teniendo en cuenta su factor de potencia o  $\cos \varphi$  es la siguiente:

$$P = V.I. \cos \varphi$$

### **Ecuación 2: Ecuación de la potencia eléctrica**

Donde:

*P = Potencia en watt (w)*

*I = Corriente en amper (A)*

*V = Tensión aplicado en vatios (V)*

*cos  $\varphi$  = Factor de potencia (menor que 1)*

#### **A. Fuentes renovables.**

Son todas aquellas fuentes de energía que se pueden regenerar después de su utilización ya sea de manera natural o por la acción de agentes externos implementados por los seres humanos entre las principales fuentes de energía renovable que encontramos en la naturaleza están las energías directamente relacionadas con el sol como son:

- ✓ Energía eólica.
- ✓ Energía cinética del agua.
- ✓ Energía luminosa.
- ✓ Energía termo solar.

Estas fuentes de energía están en constante regeneración de forma natural.

#### **B. Fuentes no Renovables.**



Entre las fuentes de energía no renovables están principalmente la energía que se obtiene de la combustión de hidrocarburos, esta es la principal fuente de energía que se utiliza en la industria, en el transporte, esta es una fuente de energía que no es renovable ya que los hidrocarburos se agotan, no hay como generarlos con algún proceso conocido por el hombre.

### **Central Hidroeléctrica**

Las Centrales Hidroeléctricas pueden definirse como instalaciones mediante las que se consigue aprovechar la energía contenida en una masa de agua situada a una cierta altura, transformando la energía eléctrica. Esto se logra conduciendo el agua desde el nivel en el que se encuentra, hasta un nivel inferior en el que se sitúan una o varias turbinas hidráulicas que son accionadas por el agua y que a su vez hacen girar uno o varios generadores produciendo energía eléctrica.

#### **✓ Clasificación de las Centrales hidroeléctricas**

La clasificación de las centrales de generación de energía eléctrica se puede hacer considerando varios aspectos como la capacidad de potencia generada, el tipo de energía primaria que utiliza para la generación entre otras clasificaciones.

##### **a) Por la potencia generada.**

Se tiene la siguiente clasificación según la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE).

**Tabla 1: Clasificación de las centrales hidroeléctricas por la potencia generada.**

POTENCIA EN (KW)	TIPO
0 – 50	MICRO CENTRAL
50 – 500	MINI CENTRAL
500 – 5000	PEQUEÑA CENTRAL

*Fuente: (Ramiro o. f., 2001)*

**b) Por la altura.**

El siguiente cuadro muestra la clasificación de mini centrales por la caída.

**Tabla 2: Clasificación de las mini centrales por la caída**

TIPO	BAJA (m)	MEDIA (m)	ALTA (m)
MICRO CENTRAL	$H < 15$	$15 < H > 50$	$H > 50$
MINI CENTRAL	$H < 20$	$20 < H > 100$	$H > 100$
PEQUEÑA CENTRAL	$H < 25$	$25 < H > 130$	$H > 130$

*Nota: H = Fuente: (Ramiro o. f., 2001)*

✓ **Tipos de centrales hidroeléctricas.**

Las centrales hidroeléctricas, y dentro de ellas las mini centrales hidroeléctricas, están muy condicionadas por las peculiaridades y características que presente el lugar donde vayan a ser ubicadas. Cuando se vaya a poner en marcha una instalación de este tipo hay que tener en cuenta que la topografía del terreno va a influir tanto en la obra civil como en la selección de la maquinaria.

Según el emplazamiento de la central hidroeléctrica se realiza la siguiente clasificación general:

#### **A. Centrales de agua fluyente.**

Es aquel aprovechamiento en el que se desvía parte del agua del río mediante una toma, y a través de canales o conducciones se lleva hasta la central donde será turbinada. Una vez obtenida la energía eléctrica el agua desviada es devuelta nuevamente al cauce del río.

Dependiendo del emplazamiento donde se sitúe la central será necesaria la construcción de todos o sólo algunos de los siguientes elementos:

- Azud.
- Toma.
- Canal de derivación
- Cámara de carga.
- Tubería de presión.
- Casa de máquinas.
- Canal de descarga.

### **Diseño de Mini Central Hidroeléctrica**

#### **A) Estudio de la máxima demanda energética**

El pronóstico de mercado eléctrico, permite conocer la máxima demanda de las localidades en mención con una proyección horizontal y así de esta manera determinaremos la capacidad de la mini central hidroeléctrica, tratando de obtener una adecuada instalación y operación para brindar un buen servicio eléctrico

### **Parámetros principales para la demanda.**

#### **a) Tipos de abonados.**

**Abonados Domésticos (AD):** Los abonados residenciales del área de influencia.

**Abonados Comerciales (AC):** Los que realizan alguna actividad comercial o corresponden a áreas de comercio, incluso los que se encuentran dentro de viviendas.

**Abonados de Uso General (AUG):** Escuelas, postas médicas, iglesias, centros comunales, etc., que forman parte de ámbito comunal.

**Abonados de Pequeña Industria (API):** Industrias cuya demanda es superior a la de un abonado comercial pero que no llega a ser una carga especial: talleres de carpintería, de calzado, etc.

La estimación del número de abonados domésticos, comerciales, pequeña industria y abonados de uso general, por cada localidad, está sustentada con información obtenida del trabajo de campo. La totalidad constituye el número de abonados del PIP.

$$N^{\circ} \text{ de Abonados Totales} = AD + AC + AUG + API$$

Si bien pueden existir abonados de carga especial como mineras, aserraderos, grandes molinos, etc. Estas cargas especiales son privadas.

## **b) Tipos de Localidades**

### **Localidad tipo I**

Compuesto por localidades concentradas o semi dispersas situadas en áreas rurales, que presentan configuración urbana definida y pueden contar con plazas y/o calles; así mismo, cuenta con nivel de desarrollo intermedio, con mayor número de servicios y locales públicos y con vías de acceso.

### **Localidad tipo II**

Compuesto por localidades dispersas situadas en áreas rurales, que presentan configuración urbana o es incipiente, con menos número de servicios y locales públicos y con vías de acceso en regular estado (trochas carrózales) o que no cuentan con vías de acceso.

## **c) Persona por hogar en el área rural**

Resulta de la división de la población beneficiaria entre el número de hogares a electrificar según el PIP. Este valor debe sustentarse sobre la base de encuestas.

En el siguiente cuadro se indica referencialmente el número de personas por hogar obtenido del último Censo de Población y Vivienda del INEI, por región geográfica.

**Tabla 3: Cuadro referencial de número de personas por hogar**

<b>Región geográfica</b>	<b>Persona/hogar</b>
Costa	4.2
Sierra	3.9
Selva	4.6

Fuente: (Electrificación rural, 2011)

**d) Consumos de energía por abonado**

Este consumo debe sustentarse comparando los consumos de localidades electrificadas similares y cercanas al área de influencia del proyecto. Esa similitud comprende criterios como zona geográfica, tamaño de las localidades, nivel de dispersión entre abonados, distancias y vías de acceso al principal foco de desarrollo de la zona.

Valores referenciales del consumo de energía por Abonado Doméstico (AD) en el ámbito rural:

**Tabla 4: Valores referenciales del consumo por abonado doméstico (AD) en el ámbito rural**

<b>Región geográfica</b>	<b>Consumo de energía por abonado(kwh-mes)</b>	
	<b>Tipo I</b>	<b>Tipo II</b>
Costa	19 a 30	10 a 18
Sierra	17 a 25	8 a 16
Selva	20 a 35	12 a 20

Fuente: (muestra de PIP de SER declarados viables durante los últimos 3 años, 2011)

**e) Tasa de crecimiento poblacional (r%)**

La población se proyecta con la tasa de crecimiento intercensal para el distrito donde se localiza el proyecto, según los censos de población y proyecciones del INEI.

$$P = P_0 ( 1 + i ) ^ n$$

Ecuación 3: Fórmula estadística

***P<sub>n</sub>*** = Potencia proyectada al año *n*

***P<sub>0</sub>*** = Población estimada para el año 0

***i*** = Índice o tasa de crecimiento considerado

***n*** = N° de años de proyección

**f) Tasa de crecimiento de los consumos de energía por abonado doméstico (i%)**

Se obtiene a partir de información histórica de la empresa concesionaria relacionada con áreas similares a Proyectos de Inversión Pública (PIP). Los Valor Referenciales por tipo de localidad se presentan a continuación:

**Tabla 5: Cuadro de valores referenciales de tasa de crecimiento de los consumos de energía.**

<b>Descripción</b>	<b>Tipo I</b>	<b>Tipo II</b>
Tasa de crecimiento de consumo de energía	1.5 a 2%	1 a 1.5%

Fuente: (muestra de PIP de SER declarados viables durante los últimos 3 años, 2011)

## **Estimación de la demanda eléctrica.**

### **a) Estimación de la demanda inicial**

La estimación de la demanda inicial (año base) parte del supuesto de que los abonados, la población total y la población electrificada en ese año, son determinados sobre la base de la información y evaluación del trabajo de campo.

**Datos de inicio:** Población total, población electrificada, número de abonados y participación por tipo de abonado del área de influencia de Proyectos de Inversión Pública (PIP), sustentada con información del trabajo de campo.

**Grado de electrificación inicial:** Divide la población electrificada entre la población total.

**Consumo Unitario de energía por tipo de abonado (C.U.):** Se obtiene del análisis sobre el consumo de energía por cada tipo de abonado (doméstico, comercial, uso general y pequeña industria) indicado en el punto. Los valores deben ser expresados en forma anual y en kW.h por abonado.

**Consumo de energía por tipo de abonado (C):** Se obtiene de la multiplicación individual del consumo unitario anual por tipo de abonado y el número de abonados.

$$Consumo_{abonado} = C.U \times \text{Número de Abonados}$$

Ecuación 4: Consumo de abonado

**Consumo de alumbrado público:** Se obtiene de la multiplicación de los puntos de iluminación por la potencia de la lámpara y horas de utilización.



**Consumo total de energía:** Se obtiene sumando el consumo anual de todos los abonados e incluyendo el alumbrado público.

$$\begin{aligned} \text{Consumo Total} = & C_{domestico} + C_{comercial} + C_{uso\ general} + C_{p.industria} \\ & + C_{a.publico} \end{aligned}$$

Ecuación 5: Consumo total de energía

#### **b) Estimación de la demanda proyectada**

Para la proyección de la demanda debemos asumir una tendencia creciente del consumo de energía por abonado doméstico (KW-h/abonado) y del número de abonados estimados para cada año en el horizonte de evaluación. Con las variables determinadas en la estimación de la demanda inicial, desarrolla la proyección de la demanda de energía para el periodo de evaluación en forma anual y en kW-h. Sigue estos pasos:

**Datos de inicio:** Población total, grado de electrificación, personas por hogar, participación por tipo de abonados, consumo unitario de energía y puntos de iluminación inicial.

**Proyección de la población total:** Se obtiene incrementando la tasa de crecimiento poblacional a la población total inicial.

$$Poblacion_{proyectada} = Poblacion_{inicial} \times (1 + r\%)$$

Ecuación 6: Población proyectada

**Proyección del grado de electrificación:** Se obtiene del grado de electrificación inicial y de la meta propuesta del grado de electrificación que se pretende alcanzar.

**Proyección de la población electrificada:** Se obtiene de la multiplicación de la población total proyectada por el grado de electrificación proyectado.

**Proyección del número total de abonados:** Resulta de dividir la población electrificada proyectada entre el número de personas por hogar determinadas en el punto.

**Proyección por cada tipo de abonados:** Se obtiene de la distribución del número total de abonados de acuerdo a la participación de abonados por sectores determinada en un inicio.

$$N. A_{sector} = \text{Número de Abonado Total} \times \% \text{ Abonado}_{inicial}$$

Ecuación 7: Número de abonados por sector

**Proyección del Consumo Unitario de energía por tipo de abonado (C.U<sub>proy</sub>):** En el sector doméstico, se calcula con la tasa de crecimiento del consumo de energía por abonado.

$$C AD_{proyectado} = C AD_{inicial} \times (1 + i\%)$$

Ecuación 8: Consumo de abonado domestico proyectado

**Proyección del Consumo de Energía por Tipo de Abonado (C<sub>Proy</sub>):** Se obtiene de la multiplicación individual del consumo unitario anual por tipo de abonado con el respectivo número de abonados.

$$\text{Consumo}_{abonado} = C. U_{proy} \times \text{Número de Abonados Proyectados}$$

Ecuación 9: Consumo de abonados proyectados

**Proyección del Consumo de Alumbrado Público:** Se obtiene de la multiplicación de los puntos de iluminación proyectados por la potencia de la lámpara y horas de utilización.

**Proyección del Consumo Total de Energía:** Se obtiene a partir de la suma del consumo proyectado de todos los abonados, incluyendo alumbrado público.

### **Evaluación Hidroenergética**

#### **a) Caudal**

##### **Método del flotador**

El método del flotador se utiliza cuando no se poseen equipos de medición y para este fin se tiene que determinar el área de la sección y la velocidad del agua utilizando un elemento flotador que recorra una distancia a un tiempo medido.

Este método se emplea en los siguientes casos:

- ✓ A falta de un correntómetro o molinete.
- ✓ Excesiva velocidad del agua, que dificulta el uso del correntómetro.
- ✓ Presencia frecuente de cuerpos extraños en el curso del agua, que dificulta el uso del correntómetro (algas, ramas, bloques de hielo, etc.)
- ✓ Cuando peligran la integridad física de la persona que efectúa el aforo.
- ✓ Cuando peligran la integridad del correntómetro.
- ✓ En este método, se utilizan los valores promedio de las variables determinadas.
- ✓ Para adelantar los procedimientos se requieren los siguientes materiales y equipos:

- ✓ Un objeto flotante, puede ser una bola de ping-pong, una botella plástica pequeña, una rama, un trozo de madera que flote libremente en el agua.
- ✓ Un reloj o cronómetro.
- ✓ Un decámetro o cinta medidora.
- ✓ Una regla o tabla de madera graduada.

Procedimiento para determinar el caudal:

- Seleccionar el lugar adecuado

Se selecciona en el río un tramo uniforme, sin piedras grandes, ni troncos de árboles, en el que el agua fluya libremente, sin turbulencias, ni impedimentos.

- Medición de la velocidad

En el tramo seleccionado ubicar dos puntos, A (de inicio) y B (de llegada) y medir la distancia, por ejemplo 12 metros (Cualquier medida, preferiblemente, del orden de los 10 metros).

Una persona se ubica en el punto A con el flotador y otra en el punto B con el reloj o cronómetro. Se medirá el tiempo de recorrido del flotador del punto A al punto B. Se recomienda realizar un mínimo de 3 mediciones y calcular el promedio. Supongamos que el promedio del tiempo de recorrido fue de 8 segundos.

La velocidad de la corriente de agua se calcula con base de las siguientes ecuaciones:

$$Velocidad = \frac{Distancia (A a B)}{tiempoderecorrido}$$

*Ecuación 10:* Ecuación de la velocidad

- Medición del área de la sección transversal del río

En el tramo seleccionado, ubicar la sección o el ancho del río que presente las condiciones promedio y en la que se facilite la medición del área transversal. Un método práctico, con aceptable aproximación para calcular el área transversal, es tomar la altura promedio.

Esto consiste en dividir el ancho del río, en por lo menos, tres partes y medir la profundidad en cada punto para luego calcular el promedio.

$$hm = h_1 + h_2 + h_3 + h_4 \dots$$

Ecuación 11: Profundidad promedio

El área de la sección transversal AT del río se calcula con:

$$AT = \text{Ancho del río} \times \text{profundidad promedio}$$

Ecuación 12: Ecuación del área transversal

Para este método del caudal se aplica la siguiente ecuación:

$$Q = AxVxK$$

Ecuación 13: Caudal método del flotador

Donde:

$$Q = \text{Caudal} \left( \frac{m^3}{s} \right).$$

$A = \text{Área promedio de la sección transversal del río} (m^2).$

$V = \text{Velocidad del agua} \left( \frac{m}{s} \right).$

$K = \text{Factor de corrección de la velocidad}.$

**Tabla 6: Evaluación de recursos hidroenergéticos**

<b>TIPO DE RIO O CANAL</b>	<b>FACTOR K</b>
Canal revestido en concreto profundidad del agua mayor a 15 cm.	0.8
Canal de tierra, profundidad del agua mayor a 15 cm.	0.7
Río o riachuelo, profundidad del agua mayor a 15 cm.	0.5
Ríos o canales de tierra, profundidades menores a 15 cm.	0.5 a 0.25

**Nota: K = factor de corrección de la velocidad.**

**Fuente: (ITDG, 2010)**

## **b) Altura**

### **Método medición de la manguera de nivelación**

Este método se basa en el principio de los vasos comunicantes y es recomendado especialmente para lugares con pequeñas alturas, es económico, razonablemente preciso y poco propenso a errores. Para medir la caída vertical la manguera se llena de agua y se sacan todas las burbujas, aunque es un sistema lento, es de bajo costo y da buenos resultados.

Para efectuar la revisión se requieren dos personas y se usa el mismo método que usan los albañiles: una manguera de plástico transparente de unos 20 m de largo y 3/8 de diámetro se llena de agua, dejando unos 30 cm vacíos en un extremo.

Para evitar errores en las lecturas se sacan todas las burbujas de aire, así al levantar los extremos de la manguera el agua siempre buscara el mismo nivel. Se utilizan estacas clavadas al suelo y desde una marca superior se toman las lecturas hacia abajo, hasta el lugar donde se espera instalar la turbina. Para obtener el desnivel total se suman todos los valores obtenidos, tanto en el registro de desnivel como en la longitud desde el sitio probable de la presa hasta la casa de máquinas.

$$YT = Y_1 + Y_2 + Y_3$$

Ecuación 14: Método medición de la manguera de nivelación

Donde:

$YT = \textit{Altura Total}$

$Y_1 + Y_2 + Y_3 = \textit{Alturas Tomadas}$

### **Planificación del diseño.**

Dentro del proceso de planeamiento de la obra civil para la mini central hidroeléctrica se conocen los siguientes componentes básicos.

- a) Captación (bocatoma).
- b) Canal de aducción.
- c) Desarenador.
- d) Cámara de carga
- e) Tubería de presión.

f) Casa de máquinas y equipamiento.

g) Canal de descarga.

**a) Estructura de captación.**

La estructura de captación (bocatoma), es una estructura hidráulica que permite garantizar la captación de una cantidad de agua suficiente para derivar a la C.H., desde la fuente hídrica del riachuelo del distrito Santo Domingo de la Capilla y derivarla al canal de conducción con lo menos posible libre de materiales sólidos y flotantes.

Al realizarse los trabajos de la bocatoma, se deberán hacerse en época de estiaje, lo cual debe reflejarse en los cronogramas de avance.

➤ **Partes de una captación.**

**Barraje.**

Es una estructura de derivación que sirve para elevar el nivel de las aguas se construye en sentido transversal al flujo de la quebrada con fines de captación, especialmente en épocas de estiaje.

**Presas derivadores o azudes.**

El azud es un tipo de barraje, una presa vertedora cuya función es captar y dejar escapar el agua excedente o de avenidas que no debe ingresar al sistema.

Las presas vertedoras o de barraje fijo se emplean en los casos de ríos con pequeños caudales (o quebradas tal como es el caso), cuando el caudal de derivación es superior al 30% del estiaje del río.

Es necesario que el azud sea hidráulico y esté estructuralmente bien diseñado. Así mismo, debe ser ubicado de manera tal que las descargas del vertedor no erosionen ni socaven el talón aguas abajo. Las superficies que forman la descarga



del vertedor deben ser resistentes a las velocidades erosivas creadas por la caída de las aguas de la cresta.

Otro factor importante a tener en cuenta en el diseño del azud es la sub presión, que es la fuerza ejercida por el agua de filtración que satura la masa del suelo en la cimentación sobre la base de las estructuras. Su acción es de abajo hacia arriba.

Esta fuerza hay que tenerla muy en cuenta en la determinación de la estabilidad de la estructura. Por lo tanto, una parte esencial del diseño, es la investigación de las condiciones de movimiento de las aguas subterráneas por debajo de la construcción hidráulica, a fin de escoger las dimensiones y formas más racionales, económicas y seguras.

#### **Descarga de fondo.**

Se llama así a la compuerta metálica que sirve para eliminar los materiales de acarreo que se acumulan delante del barraje. Se ubica en un extremo del azud, al lado de la reja de admisión. Generalmente la quebrada trae en épocas de crecientes gran cantidad de piedras medianas que se encuentran aguas arriba del azud, pudiendo llegar a tapar la reja de admisión con lo cual el caudal de captación se reduce considerablemente o puede ser totalmente interrumpido. La función de la compuerta de limpia es pequeña, pero por lo menos se consigue mantener limpio el cauce frente a la rejilla.

La compuerta se abre en crecientes, cuando sobra agua, y por lo tanto cumple una función adicional de aliviar el trabajo del azud.

**Solera de captación.**

Se trata de una loza o piso a desnivel respecto de la antecámara ó piso de la bocatoma, cuyo objetivo es crear un pozo de sedimentación donde se depositen los materiales de suspensión.

**Antecámara o zona de decantación.**

Es el área que por su desnivel respecto de la solera de captación está destinada a recibir y acumular los materiales de acarreo de la quebrada. Su cota será la misma que la de la quebrada y aproximadamente 30 cm menor que la solera de captación.

**Reja de admisión.**

Antes de la compuerta de admisión de agua al canal de conducción es conveniente colocar una reja de 5 cm de abertura como máximo. Esta impedirá el ingreso de pedrones y materiales que puedan afectar el funcionamiento del canal.

**Compuerta de admisión.**

Es un dispositivo (generalmente metálico) que sirve para controlar, regular e impedir el acceso de agua de la quebrada al canal de conducción.

**Canal de Aducción.**

El canal de aducción es una estructura hidráulica de forma regular artificialmente construida, que en razón de su pendiente puede conducir agua de un lugar a otro.

**Vertederos de alivio.**

Estas estructuras facilitan la evacuación de caudales de agua excedentes o superiores a las que se desean captar.

En época de estiaje deben construirse obras complementarias ó auxiliares que permitan la circulación normal de aquellos volúmenes que no se desea que ingresen al sistema. Durante las crecidas los caudales excepcionales serán evacuados por los vertederos. Si dichos caudales llegarán a ingresar al sistema podrían generar problemas de imprevisibles consecuencias. Los vertederos, pues, también cumplen una valiosa función de protección.

### **Desripador.**

Se utiliza para evacuar los sedimentos y sólidos que contienen las corrientes.

### **Contrasolera y colchón de agua.**

Al elevar las aguas de la quebrada para hacer posible su captación, el barraje crea alturas de carga energética que podría provocar erosión en el lecho de la quebrada al momento de su caída, afectando con ella la estabilidad de toda la estructura de la toma. A fin de prevenir esta actividad erosiva es que se construyen los pozos artificiales. Su propósito fundamental es amortiguar la caída de las aguas sobre el lecho de la quebrada, protegiendo de este modo los cimientos de la toma. La finalidad de la contrasolera es permitir, junto con el barraje, la formación de un pozo artificial que amortigüe la caída de las aguas.

### **Muros de encauzamiento.**

Son de estructuras destinadas a proteger las márgenes de la quebrada, así como la de darles dirección determinada. Estos muros serán de concreto armado, aguas arriba del barraje y aguas abajo del barraje se construirán de concreto ciclópeo y ambas márgenes, rematando en transiciones alabeadas para empalmar con los taludes naturales de la quebrada.

Estos muros se cimentarán sobre terreno duro y su diseño será en base a la resistencia del terreno a la topografía de los taludes, a las crecientes máximas para evitar el desbordamiento del agua.

**Cálculos de captación.**

**Azud.**

Generalmente el tirante del agua (h) es mayor que la altura del Azud (H), y el parámetro o perfil de éste corresponde a la trayectoria seguida por la lámina vertiente (perfil Creager). Se obtiene mediante la Tabla N° 7.

**Tabla 7: Perfil Creager**

<b>X</b>	<b>Y</b>
0.00	0.136
0.10	0.036
0.30	0.000
0.40	0.007
0.60	0.038
0.80	0.112
1.00	0.257
1.40	0.565
2.00	1.220
2.50	1.960
3.00	2.500

❖ **Cálculo del tirante del agua (h).**

Se emplea la fórmula del vertedero la más conveniente para calcular

- Coeficiente del vertedero según la forma de la cresta (para el caso, perfil Creager).

$$\mu = 0.75$$

- Velocidad de acercamiento del río (dato obtenido en el campo).
- Gravedad

$$g = 9,81 \text{ m/seg}^2$$

Luego la altura de carga hidráulica o tirante de agua sobre la cresta del vertedero (h).

$$h = \left[ \left( \frac{3 * Q_{m\acute{a}x}}{2 * \mu * B * \sqrt{2 * g}} \right) + \left( \frac{Vr^2}{2 * g} \right)^{\frac{3}{2}} \right]^{\frac{3}{2}} - \left( \frac{Vr^2}{2 * g} \right) \text{ [m]}$$

Ecuación 15: Fórmula del vertedero

❖ **Cálculo de la velocidad del agua sobre la cresta del azud.**

Área de la cresta del azud (A).

$$A = h * B \text{ [m}^2\text{]}$$

Ecuación 16: Área de la cresta del azud

Velocidad sobre la cresta del azud (V).

$$V = \frac{Q_{m\acute{a}x}}{A} \text{ [m/seg]}$$

Ecuación 17: Velocidad sobre la cresta del Azud

❖ **Cálculo de la carga energética (he) y cálculo de las coordenadas del azud**

La carga energética sobre el vertedero viene a ser la suma del tirante de agua más la altura alcanzada por la velocidad de paso del agua.

$$he = h + \frac{V^2}{2 * g}$$

Ecuación 18: Carga energética

Con este valor calculamos las coordenadas del azud, multiplicando las coordenadas del perfil Creager por (he) Tabla N°7

❖ **Diseño del resalto o colchón amortiguador.**

- Caudal de agua sobre el azud, por metro lineal [ $Q_1$ ]
- Profundidad aguas abajo [ $h_2$ ]
- Profundidad o espesor de la lámina vertiente al pie del azud [ $h_1$ ]

$$Q_1 = \frac{Q_{m\acute{a}x}}{B} [m^3/seg/m]$$

Ecuación 19: Caudal de agua sobre el azud

Donde:

$Q_{m\acute{a}x}$  : Caudal máximo.

$B$  : Ancho del río.

$$h_1 = \frac{Q_1}{V_1 * 1.00} [m]$$

Ecuación 20: Profundidad de la lámina vertiente al pie del azud

Por tanteo se determina  $\Delta h$ , para determinar la velocidad de caída:

$$V_1 = \sqrt{2 * g * \Delta h} \quad [m/seg]$$

Ecuación 21: Velocidad de caída

La altura total del agua He, sobre el lecho de la quebrada aguas arriba es igual a “He + 0,50”, o de la energía arriba es de:

$$He = H + h + \frac{V^2}{2g} \quad [m]$$

Ecuación 22: Altura total del agua

Por lo tanto, la profundidad de la cuenca o colchón será:  $hf$

$$hf = He - \Delta h - h_1 \quad [m]$$

Ecuación 23: Profundidad de la cueca o colchón

Suponemos aguas abajo, el tirante (t), la profundidad de aguas abajo será:

$$h_2 = -hf + t$$

De acuerdo con la fórmula de Merriam, el requerimiento de profundidad aguas abajo  $h_2$  es:

$$h_2 = 0.45 * \frac{Q_1}{\sqrt{h_1}} \quad [m]$$

Ecuación 24: Profundidad aguas abajo (Merriam)

❖ **Cálculo de la longitud de la cuenca.**

$$L = 5(h_2 - h_1) \text{ [m]}$$

Ecuación 25: Longitud de la cuenca

❖ **Ventana de captación.**

Una consideración técnica sobre el umbral o vano de la ventana de captación, deberá estar a una altura no menor a 0,20 m del fondo de la quebrada.

El ancho se determinará con base al caudal que se desea ingresar en condiciones mínimas. Para caudales deben tomarse las medidas del caso para su regulación.

$$L = \frac{3Q_d}{2 * k * u * \sqrt{2 * g * H^3}} \text{ [m]}$$

Ecuación 26: Longitud de bocal

Donde:

$u$  : Coeficiente de caudal adimensional (está comprendido entre 0,64 a 0,79)

$K$  : Coeficiente de corrección debido a la rejilla (0,85)

$Q_d$  : Caudal de diseño

$H$  : Altura asumida del azud

❖ **Reja de admisión.**

La ventana de captación irá provista de platinas (o barrotes) de acero vertical que impiden la entrada de material flotante (troncos, árboles, ramas, palizada, etc.) y de piedras en turbulencia con tamaños mayores al espacio que hay entre barrotes.



De acuerdo a recomendaciones (ITDG, Manual de Mini centrales Hidráulicas) se tomará una separación entre platinas de 5 cm y de las siguientes dimensiones:  $1/2" \times 1 1/2"$ .

Número de espacios entre platinas ( $N_e$ ):

$$N_e = \frac{L}{b}$$

Ecuación 27: Número de espacios entre platinas

Donde:

$L$  : Longitud del vocal.

$b$  : Distancia entre ejes de las barras (0.15 – 0.20)

Número de barras ( $N_p$ ):

$$N_p = N_e - 1$$

Ecuación 28: Número de barras

#### **b) Canal de Aducción.**

Los canales son conductos en los cuales el agua circula debido a la acción de la gravedad y sin ninguna presión, pues la superficie libre del líquido está en contacto con la atmósfera.

Su principal función es conducir el agua desde la bocatoma hasta la cámara de carga, pasando por los desarenadores y otros mecanismos que pueden construirse en el trayecto.

Los canales están determinados por las características geométricas de su sección y por el material de construcción. Los más conocidos y usados son los rectangulares, trapezoidales, circulares y semicirculares. Por su material de construcción tenemos entre los más comunes a los de tierra, concreto, mampostería de piedra, madera y tubería de PVC.

En el caso del revestimiento, este será necesario solo en lugares donde se justifique (terrenos arenosos, gredosos, etc.), donde permita alta filtración del agua en movimiento.

### **Sección y ángulo del talud del canal**

El flujo del agua en un canal hecho de un material suelto, como un suelo arenoso, hará que las paredes se desmoronen hacia dentro, a menos que los lados estén inclinados ligeramente y el ancho del canal esté en relación a su profundidad.

La tabla 8 describe algunos valores del ángulo del talud recomendado para diferentes materiales.

**Tabla 8: Talud recomendado para canales de sección trapezoidal**

<b>Material</b>	<b>Talud (<math>z=\cot \varphi</math>)</b>
Arena	3.00
Arena y greda	2.00
Greda	1.50
Greda y arcilla	1.00
Arcilla	0.58
Concreto	0.58

Fuente: (Ortiz, 2001)

### **Velocidad del agua.**

Un flujo de agua excesivamente rápido erosionará las paredes de un canal, mientras que velocidades demasiado bajas permitirán el depósito de sedimento y su obstrucción. La tabla 9 proporciona las velocidades recomendadas para canales de diferentes materiales.

**Tabla 9: Velocidad máxima recomendada**

<b>Material</b>	<b>Velocidad máxima</b>	
	<b>Menos de 0.3 m de profundidad</b>	<b>Menos de 1.0 m de profundidad</b>
Arena	0.3 m/s	0.5 m/s
Greda arenosa	0.4 m/s	0.7 m/s
Greda arenosa	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: (Ortiz, 2001)

### **Rugosidad.**

Cuando el agua pasa por el canal, pierde energía en el proceso de deslizarse por las paredes y el fondo.

Mientras más rugoso es el material del canal, hay más pérdidas por fricción y mayor será pendiente o desnivel que se requerirá entre la entrada y la salida del canal.

El desnivel en todo el canal debe ser reducido (lo que también implica velocidad mínima del agua). La tabla 10 muestra los valores del coeficiente de rugosidad

para distintos materiales. Si se reviste un canal de tierra, la rugosidad del material de revestimiento determinará el grado de pérdida por fricción

**Tabla 10: Coeficiente de rugosidad**

<b>Canales de concreto</b>	<b>n</b>
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 con concreto irregular	0.0200
Superficies de concreto irregular	0.0200

Fuente: (Ortiz, 2001)

❖ **Diseño hidráulico del canal.**

Es muy importante elegir correctamente el tipo de canal para cada parte de longitud del canal. Una vez elegido el tipo de canal y el material de revestimiento correspondiente, se procederán a calcular las dimensiones adecuadas, así como el desnivel correcto entre el inicio y final de este. Dependiendo de la longitud del canal, así como de las características geológicas del terreno, se pueden combinar varios tipos de canal y también materiales de construcción; por ejemplo, canal rectangular y trapezoidal, de tierra y revestido, etc. Deberá tenerse mucho cuidado con la pendiente, la sección y la rugosidad, de tal forma que al final se pueda conducir el caudal de diseño del proyecto.

El canal de aducción tendrá las siguientes secciones consideradas de acuerdo a su topografía en el terreno:

**Canal rectangular:**

Fórmulas utilizadas para dimensionamiento de canales rectangulares:

Ancho de la plantilla	:	$b [m]$ .
Tirante de agua	:	$d [m]$ .
Área	:	$A = b * d [m^2]$ .
Perímetro mojado	:	$P = b + 2d [m]$ .
Radio hidráulico	:	$R = A/P [m]$ .
Base mojada	:	$B = b [m]$ .
Altura del canal (tirante)	:	$h = d [m]$ .
Pendiente	:	$S$
Rugosidad (concreto)	:	$n = 0,015$
Velocidad	:	$V [m/s]$
Caudal	:	$Q = A.V [m^3/s]$

Ecuación 29: Fórmulas para dimensionamiento de canal rectangular

### Canal trapezoidal:

Fórmulas utilizadas para dimensionamiento de canales trapezoidales:

Ancho de la plantilla	:	$b [m]$ .
Tirante de agua	:	$d [m]$ .
Talud	:	$Z = 1/\text{tag}(\theta = 60^\circ)$
Área	:	$A [m^2]$ .
Perímetro mojado	:	$P = b + 2 * d * \sqrt{1 + Z^2} [m]$ .
Radio hidráulico	:	$R = A/P [m]$ .
Base mojada	:	$B = b + 2 * z * d [m]$ .
Pendiente	:	$S$
Rugosidad (concreto)	:	$n = 0.015$
Velocidad	:	$V [m/s]$
Caudal	:	$Q = A * V [m^3/s]$

Ecuación 30: Formulas para dimensionamiento de canales trapezoidales

#### c) **Desarenador.**

Es una estructura que permite eliminar las partículas sólidas transportadas por un curso de agua y mayores a un cierto diámetro. Los desarenadores son llamados “depósitos de sedimentación” y la eliminación de los sólidos tiene dos procesos:

- Sedimentación de los sólidos.
- Evacuación de los sólidos.

❖ **Sedimentación de los sólidos.**

Se logra disminuyendo la velocidad del agua de forma tal que el flujo pierda su capacidad de transporte y los sólidos se depositen, este efecto se consigue aumentando el ancho del depósito con lo cual se aumenta la sección transversal.

❖ **Evacuación de los sólidos.**

Se efectúa mediante compuertas de purga hacia canaletas de descarga. Un Desarenador esencialmente consta de las siguientes partes:

**a. Transición de entrada.**

Una al canal con el Desarenador, debe haber un ángulo de divergencia no mayor a  $12,5^\circ$ .

**b. Cámara de sedimentación.**

En la cual las partículas sólidas caen en el fondo, debido a la disminución de la velocidad producida por el aumento de sección.

**c. Compuerta de lavado.**

Es por el cual se evacuan los sólidos.

**d. Transición de salida.**

Para diseñar un Desarenador debe elegirse una velocidad de agua adecuada que por experiencia se recomienda  $0,2 \text{ m/s}$  en la mayoría de los casos, pudiendo adoptarse también valores hasta  $0,5 \text{ m/s}$ . Así mismo también debe

ser lo suficiente largo como para permitir que se decanten las partículas más livianas que las de diseño.

#### ❖ **Dimensionamiento del Desarenador.**

Para el diseño de un Desarenador se debe tener en cuenta los siguientes criterios:

- a) La velocidad del agua en la cámara de sedimentación varía entre 0,1 a 0,4 m/s.
- b) El diámetro máximo de las partículas debe estar en el rango de 0,15 a 0,40.
- c) La capacidad de desarenación debe ser más de 1,5 a 2 veces la capacidad teórica.
- d) Los tiempos de sedimentación  $T$  varían de acuerdo con el tamaño de las partículas.
- e) Es necesario hacer un estudio de la cantidad y tamaño de los sedimentos que trae el agua para asegurar una adecuada capacidad del Desarenador y no necesita lavarlo con demasiada frecuencia.
- f) Para lograr un lavado rápido y eficaz, se debe dar al agua una salida con velocidad de 3 a 5 m/s.
- g) El coeficiente de seguridad  $C$ , está comprendido entre 1,5 y 2,0

#### ❖ **Consideraciones generales:**

Para determinar las características de un Desarenador se consideran un Desarenador rectangular de ancho ( $B$ ), longitud ( $L$ ) y profundidad ( $H$ ).



**Siendo:**

Caudal de diseño :  $Q_d [m^3/s]$

Profundidad del agua en el Desarenador ( $1,5 \leq h \leq 4,5$  m):  $h [m]$

La velocidad horizontal del flujo será baja, puesto que la zona de decantación del Desarenador tiene una gran sección transversal (B). La velocidad varía entre 0,1 a 0,4 m/s.

Velocidad horizontal del agua en el Desarenador, asumimos:  $v [m/s]$ .

Velocidad de caída de los sólidos en aguas tranquilas ( $m/seg$ ):

Para aguas tranquilas las partículas sólidas descienden con velocidad ( $w$ ) la cual depende del diámetro y la densidad relativa de los sólidos. Sin embargo, cuando el agua está en movimiento se produce turbulencia en el Desarenador debido al cambio de sección y pendiente del fondo, esta turbulencia produce una velocidad ascensional ( $\omega$ ) que tiende a retrasar el descenso de los sólidos, se calcula con:

❖ **Cálculo de la velocidad ascensional ( $\omega$ ).**

Según Velikanox Bestelli Bush:

$$\omega = a * v [m/s]$$

Ecuación 31: Velocidad ascensional

$$a = \frac{0,132}{\sqrt{h}}$$

- ❖ **Cálculo de la velocidad de caída o sedimentación  $w$  (en aguas tranquilas).**

Según SCOTTI – FOGLIENI de su tabla presentada se encuentra que para el diámetro de las partículas:

$$w = 3,8 * \sqrt{d} + 8,3d \text{ [ m/seg]}$$

Ecuación 32: Velocidad de caída (en aguas tranquilas)

- ❖ **Cálculo de la velocidad de sedimentación real ( $W$ ).**

$$W = w - \bar{w} \text{ [m/seg]}$$

- ❖ **Cálculo de la longitud del Desarenador ( $L$ ).**

En casos prácticos y para velocidades pequeñas del flujo se emplea un coeficiente de corrección por cambio de velocidad de fluctuación.

**Tabla 11: Coeficiente de corrección por cambio de velocidad**

<b>v (m/s)</b>	0,20	0,30	0,50
<b>K</b>	1,25	1,50	2,00

De acuerdo a la velocidad asumida  $v$  [m/s], de TABLA N° 11 se selecciona el valor de K

$$L = K \left( \frac{v * h}{W} \right) \text{ [m]}$$

Ecuación 33: Longitud del Desarenador

❖ **Cálculo del ancho del Desarenador (B).**

$$B = \left( \frac{Q_d}{v * h} \right) [m]$$

Ecuación 34: Ancho del Desarenador

❖ **Cálculo del tiempo de sedimentación (t).**

$$t = \frac{h}{W} [seg]$$

Ecuación 35: Tiempo de sedimentación

❖ **Volumen de agua conducido en ese tiempo (Vol).**

$$Vol = Q_d * t [m^3]$$

Ecuación 36: Volumen de agua conducida en función del tiempo

❖ **Verificando la capacidad del tanque (Vt).**

$$Vt = B * H * L [m^3]$$

En general se debe cumplir que:  $B * L * h$  sea mayor que  $Qd * t$ , entonces las partículas tendrían espacio suficiente para sedimentar.

**d) Cámara de carga.**

La cámara de carga es una Estructura construida al final del Canal de Aducción y donde se inicia la Tubería de presión; tiene por finalidad:

- Eliminar los sedimentos que aún pudiera llevar el agua.
- Impedir la turbulencia por fluctuaciones de nivel, lo cual puede propiciar la entrada de sedimentos a la tubería, para evitarlo se diseña una transición de entrada.

- Servir como disipador de los cambios de presión producidos por el Golpe de Ariete, para ello se le da una profundidad adecuada, mayor al final de la cámara de carga.
- Regular el flujo de entrada a la tubería, eliminando los excesos por medio de un Aliviadero generalmente lateral.
- Evitar la entrada de aire a la tubería, almacenando un volumen de agua suficiente para hacer funcionar las Turbinas.

❖ **Elementos y especificaciones.**

- Transición de Entrada.
- Tanque de regulación (funciona como Desarenador terminal).
- Aliviadero de excedencias.
- Cámara de presión, con rejillas.
- Compuertas.
- Canal de descarga.

❖ **Dimensionamiento de la cámara de carga.**

Llamada también tanque de presión, lo importante es calcular su longitud y la altura mínima de agua sobre la tubería de presión.

La longitud de la cámara de presión se puede estimar con:

$$L_C = 2,11 * Q_d^{0,33} [m]$$

Ecuación 37: Longitud de la cámara de presión

La altura mínima se calcula para evitar que se formen remolinos o depresiones ocasionando la entrada de aire a la tubería lo cual afecta la eficiencia de las turbinas, cuando  $h > 3D$  existe peligro de entrada de aire.

❖ **Cálculo del ancho total de la rejilla (Br).**

Para evitar la entrada de cuerpos flotantes a la tubería se coloca una rejilla constituida por barrotes metálicos, la distancia entre barrotes debe ser pequeña pero cuidando de disminuir demasiado la sección efectiva por el paso del flujo entre los barrotes, aumentando la velocidad y produciendo pérdidas de carga (siempre hay contracción de las venas líquidas).

La inclinación de la rejilla depende de la forma en que se efectúe la limpieza.

$a = 50^\circ$  a  $55^\circ$  limpieza manual, 0,85 a 0,70 m de base por 1,0 m de altura.

$$B_r = 1.2 * Q^{0.45} [m]$$

Ecuación 38: Ancho total de la rejilla

❖ **Diámetro de la tubería.**

Se fija un valor de altura que evita el ingreso de posibles sedimentos a la tubería (0.3 - 0.5).

$$0.3 < a_1 < 0.5(m)$$

Se toma un valor de altura equivalente al diámetro de la tubería de presión

$$a_2 \cong D$$

Para que el torbellino creado por el flujo del caudal no genere cavitación debe dejarse un nivel mínimo.

$$0,5D < a_3 < 1,5D$$

Por efecto del golpe de ariete se crea una elevación del nivel del agua en el tanque de presión, como seguridad se tomó el siguiente valor:

$$a_4 = 0.30 \text{ m}$$

En función de la altura del canal  $h_1$  la calidad del agua y la ubicación del canal y de los conductos forzados, del tamaño de las compuertas se toma un valor para altura de la cámara  $h_2$  (m).

$$h_2 = 1.65 \text{ m}$$

Se fijan los posibles valores para la velocidad media de la cámara de carga.

$$V_2 = (0,6 < 1,0)m/s$$

❖ **Ancho del tanque de presión.**

$$b_2 = \frac{Q_d}{(V_2 * h_2)} \text{ (m)}$$

Ecuación 39: Ancho del tanque de presión

Se verifica si  $b_2$  es mayor al ancho del canal, si es menor se toma  $b_2$  como, igual al ancho del canal.

❖ **Altura de agua en el tanque para el arranque.**

$$h_{2d} = \frac{Q}{7 * b_2 * \sqrt{h_2}} \text{ (m)}$$

Ecuación 40: Altura de agua en el tanque

Se determina.

$$h'_{2e} = a_1 + a_2 + a_3 + h_{2d} \text{ (m)}$$

$h'_{2e} < h_2$  Los Valores son Correctos.

$h'_{2e} > h_2$  Se debe tomar un valor mayor para  $h_2$  y volver calcular.

❖ **Longitud de la cámara de presión.**

$$L_2 = 0,304 * \frac{Q * L * h_2^{\frac{1}{2}}}{Hc * D^2} \text{ (m)}$$

Ecuación 41: Longitud de la cámara de presión

$Q$ : Es el caudal de diseño (m<sup>3</sup>/s)

$L$ : Es la longitud de la tubería de presión (m)

$h_2$ : Altura de la cámara (m)

$Hc$  = Es una constante de sobre elevación del golpe de ariete. (1.3)

$D$ : Diámetro de la tubería de presión (m)

❖ **Altura del nivel máximo.**

$$h_{2e} = 0,25 * \frac{Q}{b^2} * h_2^{\frac{1}{2}} \text{ (m)}$$

Ecuación 42: Altura del nivel máximo

❖ **Ancho del vertedero.**

$$b_v = 5 * b_2^{3/2} * h_2^{3/4} / Q^{1/2} \text{ (m)}$$

Ecuación 43: Ancho del vertedero

❖ **En el caso crítico el aliviadero se comporta como un vertedero frontal.**

$$Q_v = \frac{2}{3} * M * b_v * \sqrt{(2 * 9.81)} * h_v^{3/2}$$

$b_v$ : Ancho del vertedero. (m)

$h_v$ : Altura del vertedero. (m)

Altura de la cámara de presión.

$$h_t = h_2 + h_{2e} + a_4 \text{ (m)}$$

Ecuación 44: Altura de la cámara de presión

**e) Tubería de presión.**

Son tuberías que transportan agua bajo presión desde la cámara de carga hasta la rueda de la turbina en la casa de fuerza, dispuesta de tal forma que rige los lineamientos del perfil longitudinal del terreno.

La tubería de presión tiene como objeto transformar la energía potencial de posición que tiene el agua en la cámara de carga en energía de presión que tiene la misma al final de la tubería.



Esta tubería además de estar sometida a la presión de la carga estática soporta también sobrepresiones por efecto del golpe de ariete, originadas al interrumpir el flujo del agua hacia la turbina.

Entre los materiales frecuentemente utilizados en las tuberías de presión para micro centrales y/o mini centrales hidroeléctricas se encuentran el acero comercial y el Poli cloruro de Vinilo (PVC), según la exigencia de cada instalación, forma de instalación y sobre todo de la presión a soportar.

#### ❖ **Componentes del conducto forzado.**

El sistema de conducto forzado se inicia aguas arriba con la Tobera de Admisión y termina aguas abajo en una brida donde se instalará la Válvula principal dentro de la Casa de Máquinas.

#### ❖ **Componentes para el conducto forzado de PVC.**

**Tobera de admisión:** Su objetivo es captar suavemente el agua de la cámara de carga sin producir pérdidas por estrangulamiento.

Tubería en tramos rectos.

**Codos:** Accesorios que permite el cambio de rasante.

**Junta de dilatación:** Permite absorber la dilatación de la tubería, especialmente de la parte inferior.

**Reducción:** Se instala cuando cambia de un diámetro a otro de menor diámetro.

**Bridas:** Permite instalar las juntas de dilatación, accesorios, etc.

#### ❖ **Determinación del diámetro económico.**

En el cálculo del diámetro económico intervienen variables cuya evaluación analítica muy refinada es muy tediosa, pues muchas de ellas son inciertas, tal es así que dependen de su existencia en el mercado con precios que fluctúan con frecuencia, por este motivo se ha desarrollado que son suficientemente exactas para un buen diseño.

$$D = \sqrt[7]{0.085 * Q_d^3} [m]$$

Ecuación 45: Diámetro económico

Este valor nos sirve como base para poder estandarizar el diámetro de la tubería para nuestro diseño y con él verificamos que la velocidad se encuentre en el rango recomendado 2 m/s a 6 m/s.

**Velocidad:**

$$V = \frac{4 * Q_d}{\pi * D^2} [m/s]$$

**Determinación de las pérdidas por fricción.**

❖ **Cálculo de pérdidas de carga debida a la fricción (hf).**

$$hf = 0.08 * \frac{f * L * Q_d^2}{D^5} [m]$$

Ecuación 46: Pérdidas de carga debida a la fricción

$$L = \sqrt{X_0^2 + Y_0^2} [m]$$

Considerando un 10 % de tubería:

Donde:

Coefficiente de fricción :  $f = 0,012$  (tubería PVC)

Longitud de la tubería :  $L$  [m]

Caudal de diseño :  $Q_d$  [m<sup>3</sup>/seg]

Diámetro de la tubería :  $D$  [m]

#### ❖ **Calculo de la altura útil**

La altura útil se obtiene restando el valor de  $Y_0$  con los valores de perdidas  $h_p$ .

$$H_u = Y_0 - h_p$$

Ecuación 47: Altura útil

$$h_p = h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5 + h_6 + h_7$$

Donde:

$h_1$  = Pérdidas en la bocatoma

$h_2$  = Pérdidas en la rejilla de la bocatoma

$h_3$  = Pérdidas por pendiente en el canal

$h_4$  = Pérdidas en la rejilla de la cámara de carga

$h_5$  = Pérdidas en la entrada de la tubería de presión

$h_6$  = Pérdidas de fricción en la tubería de presión ( $hf$ )

$h_7$  = Otras pérdidas tales como curvas en el canal, curvas en la tubería de presión, reducción de diámetro, canal de fuga

❖ **Pérdidas en la bocatoma ( $h_1$ )**

$$h_1 = 1.3 \left( \frac{V^2}{2 * g} \right) [m]$$

❖ **Pérdidas en la rejilla de la bocatoma ( $h_2$ )**

$$h_2 = \beta (t/b)^{4/3} \sin \theta \left( \frac{V^2}{2 * g} \right) [m]$$

Donde:

$\beta = 2.34$  (Caso de barraras cuadradas de fierro)

$t$  = Espesor de la barra

$b$  = Distancia entre ejes de la barra

$\theta$  = Inclinación de la rejilla (60° - 90°)

❖ **Pérdidas por pendiente en el canal ( $h_3$ )**

$$h_3 = I_0 * L [m]$$

Donde:

$I_0$  = Se considera una pérdida de (4/1000)

$L$  = Se considera una longitud de 1000 m

❖ **Pérdidas en la rejilla de la cámara de carga ( $h_4$ )**

$$h_4 = 0.35 \left( \frac{V^2}{2 * g} \right) [m]$$

Donde:

$V$  = Velocidad en la rejilla (de tabla n° 6 - 2)

❖ **Pérdidas en la entrada de la tubería de presión ( $h_5$ )**

$$h_5 = 0.1 \left( \frac{V^2}{2 * g} \right) [m]$$

Donde:

$V$  = Velocidad en la entrada de la puerta de control

❖ **Pérdidas de fricción en la tubería de presión ( $h_6$ )**

$$h_6 = hf [m]$$

❖ **Otras pérdidas ( $h_7$ )**

Otras pérdidas tales como curvas en el canal, curvas en la tubería de presión, reducción de diámetro, canal de fuga estimamos 0.2 m

❖ **Determinación del espesor.**

Al calcular el espesor de la pared de la tubería es necesario tener en cuenta dos cosas:

- Las presiones más altas que se espera que resista la tubería (por efecto del golpe de Ariete).
- Los efectos corrosivos que tienden a adelgazar sus paredes con el transcurso del tiempo, las limitaciones de soldadura y los cambios de espesor u otra ondulación ocurridos durante su fabricación.

Formula recomendada por la norma DIN:

$$e = \frac{\Delta P * D}{2 * K_S \left( \frac{S_y}{f_s} \right)} + C \text{ [mm]}$$

Ecuación 48: Espesor de tubería

Donde:

$e$  : Espesor (mm)

$\Delta P$  : Presión máxima sobre el espesor de la tubería (Kg/mm<sup>2</sup>)

$D$  : Diámetro interior de la tubería (mm)

$S_y$  : Limite de fluencia del material (Kg/mm<sup>2</sup>)

$f_s$  : Factor de servicio (1,7 con certificado de recepción, 2,0 sin certificado de recepción)

$K_S$  : Factor de unión para tubería de PVC es 1,0.

$C$  : Suplemento de menor espesor por corrosión y desgaste en este caso es 0,1mm para tubería de PVC.

$H_B$  : Altura bruta.

$\Delta P$  : Sobrepresión dentro de la tubería por golpe de Ariete ( $\Delta P = H + \Delta H$ ) (Kg/mm<sup>2</sup>)

### ❖ Cálculo de la sobrepresión por golpe de ariete.

Las variaciones de carga en las turbinas, motivo por el cual y debido a la acción de los reguladores, se cierran o abren el distribuidor, son la causa de variaciones del caudal que circula por la tubería forzada, y por consiguiente de la velocidad del agua. Ello origina sobre presiones o depresiones que, a manera de ondas se comienzan a propagar por a la tubería hasta llegar al reservorio que tiene una superficie libre generándose una honda reflejada a la que empieza de extremo a extremo de la tubería que consecuencia de los rozamientos y vórtices se van amortiguando.

El golpe de ariete, como se comprende, tiene influencia sobre la tubería y es tanto mayor cuanto más rápido es el cierre en el distribuidor, por ello es necesario conocer el valor de la sobre presión en función del tiempo de cierre para calcular el espesor de la tubería.

Este fenómeno fue estudiado por Allievi y su teoría comprende todos los factores que intervienen en el golpe de Ariete.

$$a = \frac{c}{\sqrt{1 + \frac{\varepsilon}{E} * \frac{D}{e}}} \text{ [m/s]}$$

Ecuación 49: Celeridad

Donde:

$c$  : Velocidad del sonido en el agua (1420 m/s a 15°C)

$\varepsilon$  : Modulo de elasticidad volumétrica del agua  $(2 * 10^8 \frac{kg}{m^2})$

$E$  : Modulo de elasticidad del material de la tubería PVC  $(2,4 * 10^8 \text{ kg/m}^2)$

$D$  : Diámetro de la Tubería ( $m$ )

$e$  : Espesor de la Tubería ( $m$ )

$a$  : Celeridad ( $m/s$ )

Si la longitud de la tubería es " $L$ " y la celeridad es " $a$ ", el tiempo que tarda la onda de sobrepresión en llegar al reservorio es de  $L/a$ , el tiempo total de recorrido llamado periodo " $T$ " es:

$$T = \frac{2 * L}{a}$$

La magnitud de la sobrepresión es función del tiempo de cierre del distribuidor " $Tr$ ", el cual se estudia para dos condiciones:

Para Golpe de Cierre Brusco ( $Tr < 1seg$ ), Cuando el " $Tr$ " es menor o igual que el necesario para que la onda que parte del distribuidor vuelva a éste.

$$Tr \leq \frac{2 * L}{a}$$

Para Golpe de Cierre Lento ( $Tr > 2seg$ ), Cuando el " $Tr$ " se efectúa en un tiempo mayor que " $T$ "

$$Tr > \frac{2 * L}{a}$$

Con cierre rápido la presión máxima es más alta y el espesor deberá ser mayor, y propiamente con un costo mayor, por lo se recomienda que el diseño se realice para la segunda condición.



El tiempo relativo de cierre de “ $\theta$ ”, tiene por valor:

$$\theta = \frac{Tr}{T} \qquad \theta = \frac{a * Tr}{2 * L}$$

Por otra parte, Allievi determino un valor “ $\rho$ ” denominado número de Allievi que se define con la relación entre la energía cinética unitaria y la energía potencial unitaria.

$$\rho = \frac{a * V}{2 * g * h}$$

Donde:

$a$ : Celeridad (m/s)

$V$ : Velocidad del Agua (m/s)

$g$ : Aceleración de la Gravedad (m<sup>2</sup>/s)

$H$ : Altura Bruta (m). Presión estática sobre el distribuidor

**Para cierre lento tenemos:**

$$\left. \begin{array}{l} \rho > 1.0 \quad \rightarrow \quad \Delta H_1 = \frac{H}{2} \left( B^2 \pm B \sqrt{4 + B^2} \right) \\ \rho \leq 1.0 \quad \rightarrow \quad \Delta H_2 = \pm 2BH \end{array} \right\} \Delta H \approx 30\% H_B$$

Donde:

$$B = \frac{\rho}{\theta} \qquad \text{Ó} \qquad B = \frac{L * V}{g * h * Tr}$$

El signo (+) corresponde a la reducción del caudal (sobrepresión) y el signo (-), al aumento del caudal.

❖ **Presión total que soportará la tubería:**

$$\Delta P = H_b + \Delta H_b \text{ [m]}$$

Sabemos que la densidad específica del agua es:

$$\rho = 1\,000 \text{ kg/m}^3$$

Luego tenemos:

$$\Delta P = \rho * \Delta H \text{ [kg/m}^2\text{]}$$

❖ **Apoyos.**

Para permitir el movimiento longitudinal de la tubería al contraerse o dilatarse debido a cambios de temperatura, los apoyos o soportes deben construirse de manera tal que:

$$A = 1.2 * D$$

$$B = 1.5 * D$$

$$C = B$$

$$J = A + 0,5 * C * \tan\theta$$

$$F = A - 0,5 * C * \tan\theta$$

$$E_{min} = 0.25 * D$$

$$P = \gamma_a \frac{\pi}{4} D^2 + \gamma_t * \pi * e(D + e) \text{ (kgf/m)}$$

$$P = 785.4 * D^2 + 24662 * e(D + C) \text{ (kgf/m)}$$

$$L_s = 182.61 * \sqrt[3]{\frac{(D + 2e)^4 - D^4}{P}} \text{ (m)}$$

- Esfuerzos por el peso de la tubería, el peso del agua y por el peso del bloque (kgf)

$$Ga = 785.4 * D^2 * Ls \quad (kgf)$$

Peso del agua.

$$Gt = \gamma_t \frac{\pi}{4} e(D + e) * Ls \quad (kgf)$$

Peso del tubo

$$Gs = \gamma_s * Vs \quad (kgf)$$

Donde:

$Vs$ : es el volumen del apoyo  $m^3$ .

$\gamma_s$ : Peso específico del material del bloque, para concreto es de 2400  $kgf/m^3$ .

$$Vs = F * B * C + \frac{(J - 0.5 * C * \tan(36.6))}{2} * C * B +$$

$$+ \frac{C * De}{4 * \cos(36.6)} \left( B - \frac{\pi * De}{180^\circ} * \arctan\left(\frac{B}{D}\right) \right) \quad (m^3)$$

Ecuación 50: Volumen del apoyo

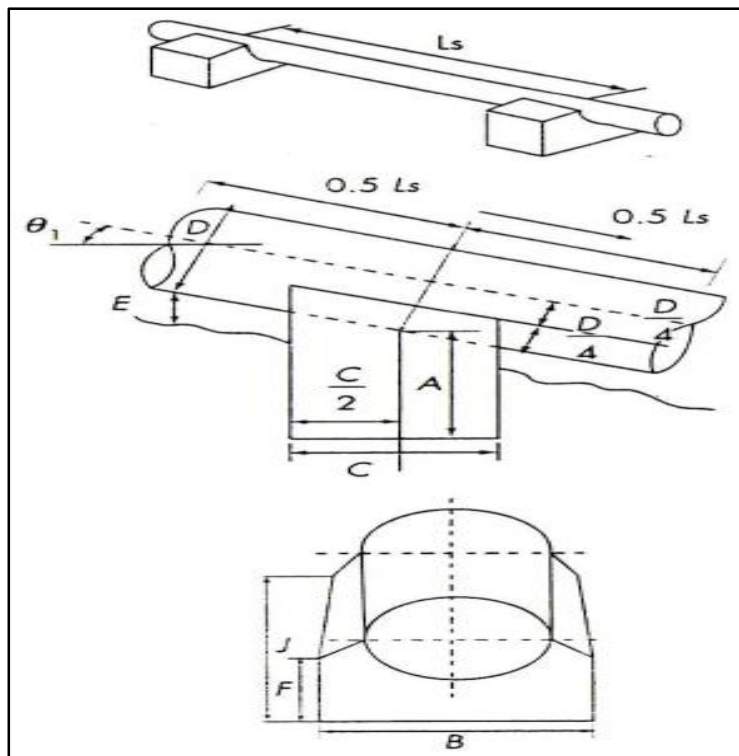


Gráfico 1: Dimensiones de un apoyo. Fuente: (Ramiro, 2001)

- Fuerza por el movimiento de fricción entre la tubería y el apoyo.

$$Fa' = \mu * Fn = \mu(Ga + Gt) * \cos\theta_1 \text{ (kgf)}$$

$$Fa' = \mu * Fn = \mu(Ga + Gt) \text{ (kgf)}$$

Ecuación 51: Fuerza por fricción entre la tubería y el apoyo

Tabla 12: Coeficiente de fricción entre materiales

Coeficiente de rozamiento	$\mu$
Apoyos con cojinetes de rodillas o soportes basculantes	0.05 - 0.10
Acero sobre acero con lubricante solido	0.12 - 0.10
Acero sobre acero con lubricantes de grafita	0.20
Acero sobre hormigón con capa intermedia de cartón asfaltado	0.40
Acero sobre acero	0.40 - 0.50
Acero sobre hormigón o mampostería de piedra	0.45 - 0.50

Fuente: (Ramiro o. f., 2001)

- Apoyo ofrece una resistencia de deslizamiento de la tubería y es mayor que la fuerza de fricción.

$$Fa = 1.1 * Fa' \quad (kgf)$$

Ecuación 52: Resistencia de deslizamiento de la tubería

- Fuerzas horizontales y verticales.

$$\Sigma FH = Fa * \cos \theta \quad (kgf)$$

$$\Sigma FV = Ga + Gt + Gs + Fa * \text{Sen } \theta \quad (kgf)$$

Ecuación 53: Fuerzas horizontales y verticales.

- Fuerza de fricción entre el apoyo y el suelo.

$$Fab = \varphi * \Sigma Fv \quad (kgf)$$

Ecuación 54: Fuerza de fricción entre el apoyo y el suelo.

**Tabla 13: Coeficiente de rozamiento entre el terreno y el apoyo**

$\varphi$	0.25 para concreto - arcilla
$\varphi$	0.35 para concreto - roca

Fuente (Ramiro o. f., 2001)

- Se observa que cumpla la siguiente condición.

$$Fab / \Sigma FH \geq 1.5$$

- Se hallan las distancias.

$$as = \left( \frac{C}{14,4 * D} \right) * (7,2 * D - C * Tg \theta) \quad (m)$$

Ecuación 55: Centro de gravedad del apoyo.

- Distancia entre el punto 0 y la fuerza ejercida por el peso del agua y la tubería.

$$a_{at} = 0,5 * (C - D * \text{sen } \theta) \quad (m)$$

Ecuación 56: Distancia entre la fuerza ejercida sobre el apoyo

- Distancia entre el punto 0 y la fuerza ejercida por la fricción de la tubería y el apoyo.

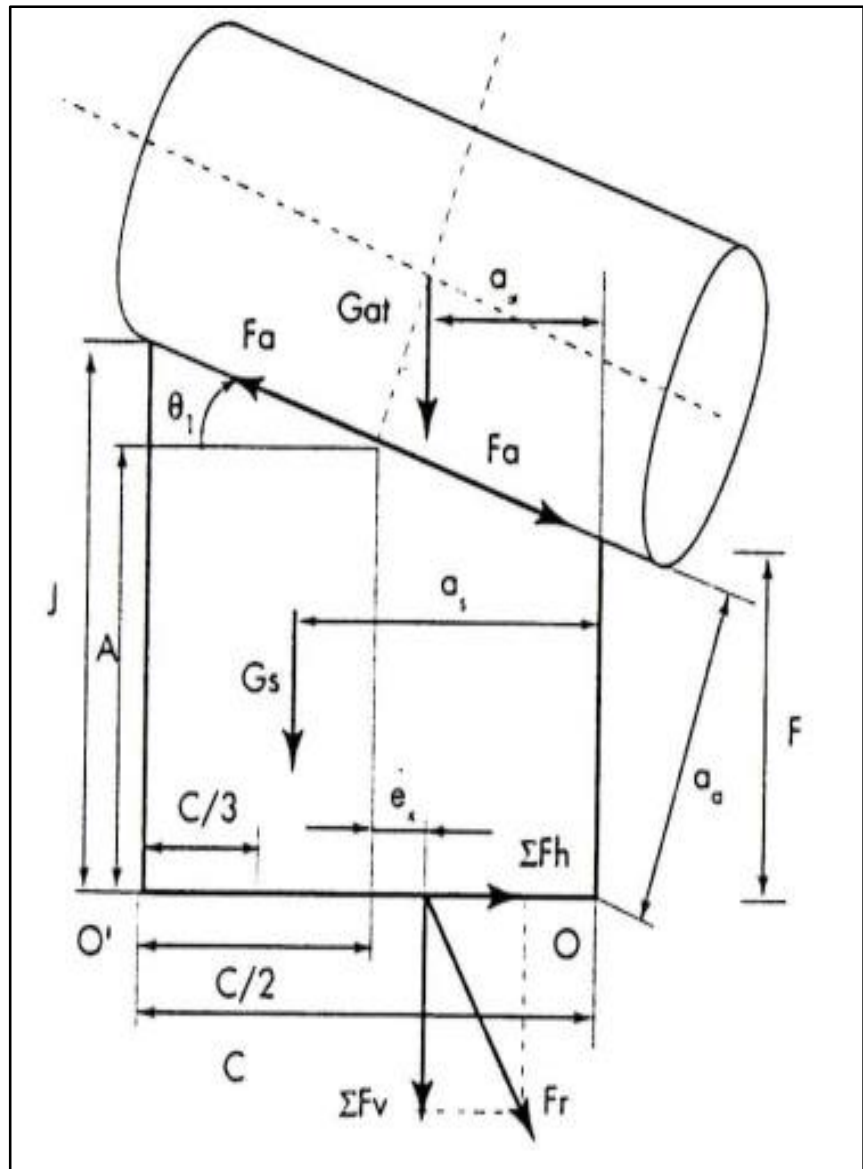
$$a_a = (A - 0,5 * C * \text{tg } 01) * \text{cos } \theta \quad (m)$$

Ecuación 57: Distancia entre la fuerza de fricción de la tubería y el apoyo.

- La estabilidad al vuelco se garantiza si las resultantes de las fuerzas pasan por un tercio de la base de la superficie de apoyo. Considerando los momentos desde el punto O, se puede despejar de la siguiente expresión el valor de  $e_x$ :

$$e_x = \left( \frac{0,5 * C * \Sigma F_v + F_a * a_a}{\Sigma F_v} \right) - \left( \frac{G_s * a_s + G_{at} * a_{at}}{\Sigma F_v} \right) \quad (m)$$

Ecuación 58: Estabilidad



**Gráfico 2: Tensiones de un apoyo. Fuente: (Ramiro, 2001)**

- Se observa que la capacidad portante del terreno sea superior a la presión transmitida por el apoyo. Lo cual se garantiza si:

$$\delta_c \leq \delta_{ad}$$

Donde:

$\delta_c$ : Es la tensión de compresión transmitida por el apoyo.

$\delta_{ad}$ : Es la capacidad portante del terreno.

$$\delta_c = \frac{\Sigma Fv}{B * C} * \left(1 + \frac{6 * e_x}{C}\right) \quad \left(\frac{kgf}{m^2}\right)$$

Ecuación 59: Tensión de compresión transmitida por el apoyo

**Tabla 14: Fuerza de compactación**

<b>Fuerza de compactación</b>	
<b>Tipo de suelo</b>	<b><math>\sigma_{ad}</math>(kgf/m<sup>2</sup>)</b>
Arcilla dura	1.5*10 <sup>4</sup>
Pedregal	2.8*10 <sup>4</sup>
Roca calcárea o arenítica	2.8*10 <sup>5</sup>
Roca granítica	4.2*10 <sup>3</sup>

Fuente: (Ramiro o. f., 2001)

$$\delta_t = \frac{\Sigma Fv}{B * C} * \left(1 - \frac{6 * e_x}{C}\right) > 0 \quad \left(\frac{kgf}{m^2}\right)$$

Ecuación 60: Tensión de tracción sea mayor de cero.

#### **f) Turbina hidráulica.**

##### **Definición.**

Las turbinas hidráulicas tienen como misión transformar la energía potencial y cinética del agua energía mecánica de rotación.

Conviene subrayar que no hay información tan fiable como la ofrecida por los propios fabricantes de turbinas a los que conviene recurrir para cualquier consulta.

El hecho de utilizar uno u otro modelo de microturbina dependerá fundamentalmente de la tecnología y capacidad técnica para construirla en cada Región.



Las turbinas tipo hélice pueden ser más convenientes para proyectos de baja altura (inferiores a los 5m), utilizando tecnologías sencillas y de bajo costo, como por ejemplo, los desarrollados realizados en China y otros países.

Para saltos con alturas entre 1 y 70m, es usual desarrollar proyectos con microturbinas de Michell Banki, Cross Flow o de doble acción, debido a su fácil construcción, bajo costo y altos rendimientos (aproximadamente 70%).

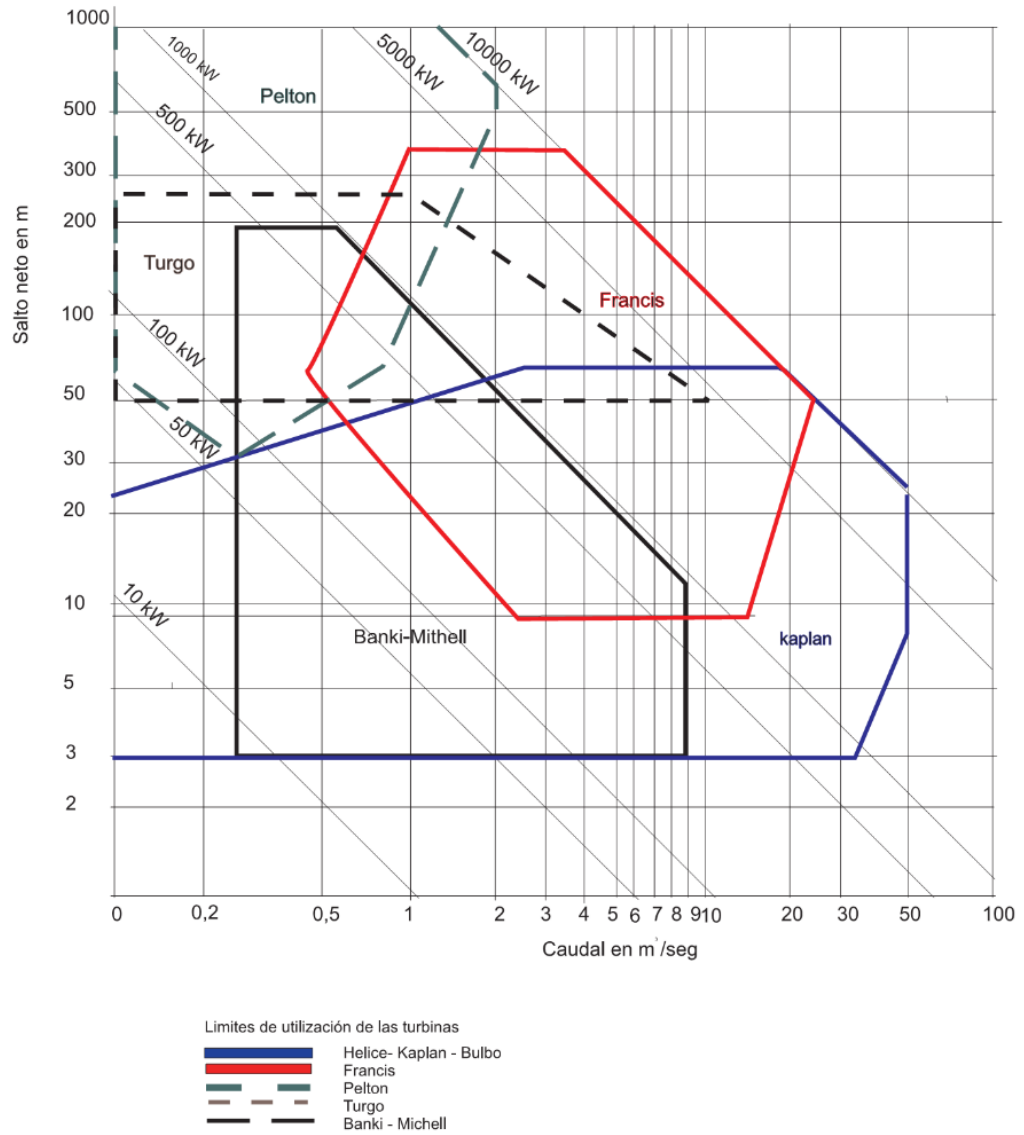
Es fundamental que el mantenimiento y montaje de las microturbinas puedan realizarse mediante procedimientos sencillos, sin necesidad de calibración y ajuste de los soportes de los rodamientos.

Por ejemplo con rodamientos de rodillos y sobredimensionados, sujetos al eje por medio de un cilindro cónico (manguito) que permite un buen ajuste al eje de la turbina.

Para evitar la entrada de agua a la caja de rodamiento, en un principio pueden ser utilizados retenes, o bien el sistema denominado laberinto constituido por discos colocados sobre el eje, que por fuerza centrífuga desplaza el agua hacia fuera.

#### ❖ Selección del grupo hidroeléctrico.

En muchos casos un caudal y una altura de salto definen un punto en el plano. Cualquier turbina dentro de cuya envolvente caiga a dicho punto, podrá ser utilizada en el aprovechamiento en cuestión.



**Gráfico 3: Límites de utilización de las turbinas. Fuente (Celso Penche)**

Ns	H(m)	Tipo
<18	>1000	Pelton 1t
18-25	500-1000	Pelton 1t
26-35	100-500	Pelton 1t
26-35	500-1000	Pelton 2t
36-50	100-500	Pelton 2t
51-72	200-800	Pelton 4t

73-100	300-700	Pelton 6t
<b>35-180</b>	<b>3-200</b>	<b>Micell Banki</b>
55-70	200-700	Francis Muy Lenta
70-120	100-200	Francis Lenta
120-200	50-100	Francis Media
200-300	30-50	Francis Rapida
300-450	10-30	Francis Ultra Rapida
270-500	15-50	Kaplan Lenta
500-800	5-15	Kaplan Rrapida
800-1100	<5	Kaplan Ultra Rapida
400-500	<15	Helice
60-260	15-300	Turgo

Para una elección más precisa tendremos que analizar su número específico “Ns”

El número específico es un valor muy importante que nos indica que tan rápida va a ser la turbina y por consiguiente será menos costosa.

El Ns se define de la siguiente manera:

$$N_s = \frac{N\sqrt{P}}{Hn^{1.25}}$$

Ecuación 61: Número específico de revoluciones

Primero tendremos que obtener su potencia expresada en “KW” y luego en “HP”.

$$P = Q * Hn * \frac{\eta}{102}$$

Ecuación 62: Potencia

Donde:

$Q$  : Caudal de diseño

$H_n$  : Altura neta

$\eta$  : Eficiencia de la turbina

**g) Casa de máquinas.**

La casa de máquinas tiene como misión proteger al ó los grupos hidroeléctricos de las adversidades climatológicas, compuesto básicamente por los siguientes componentes.

- **Válvula principal.**

Se instala en la brida al final de la tubería de presión. Luego, va la junta de montaje, el cual permite acoplar la válvula con la conducción hacia la turbina.

- **Turbina hidráulica.**

Componente principal, transforma la energía del agua en energía mecánica y lo hace disponible en su eje.

- **Sistema de acoplamiento y/o transmisión de potencia mecánica.**

Por medio del cual se transmite la energía mecánica disponible en el eje de la turbina hacia el eje del alternador.

- **Generador eléctrico.**

Transforma la energía mecánica en energía eléctrica dejando disponible en los bornes.

Tipo síncrono, trifásico, sin escobillas, con rectificadores rotativos, auto excitado, con regulador de tensión, y soportar cargas desequilibradas.

- **Tablero de control.**

Al cual, mediante cables eléctricos, llega la energía de los bornes del generador. Permite visualizar la medición de los parámetros de la energía generada, ajustar estos parámetros, mandar e interrumpir la energía hacia el centro de consumo mediante u interruptor general.

- **Gobernador automático de velocidad.**

Actúa para mantener la frecuencia dentro de los rangos permisibles cuando el consumo de energía varía

- **Volante.**

La Volante de Inercia se necesita para equilibrar los golpes provocados en la red por los consumidores (carga) y para amortiguar los golpes de ariete en el conducto forzado, provocado por los movimientos de la regulación.

La Volante debe ser bien dimensionada según las condiciones existentes, en función de la longitud del conducto forzado, la suma de inercia total del sistema. RPM de embalamiento, tipo de regulación, tiempo de cierre, etc.

- **Equipamiento de la casa de máquinas.**

Para seleccionar el grupo hidroeléctrico, previamente se debe haber definido la demanda de energía actual y/o proyectada, y los siguientes parámetros:

- Salto neto disponible
- Caudal de agua disponible

Es condición indispensable que se coloquen unidades que funcionen con el máximo rendimiento (de acuerdo a la demanda de potencia) y por ello que las turbinas trabajen dentro del campo, de éste, que tenga mayor valor.

#### 1.4. Definición de la terminología

A continuación, mencionaremos los términos más usados en esta investigación, con el fin de que el lector pueda comprender los fundamentos teóricos expuestos en adelante.

**Energía renovable:** Se denomina energía renovable a la energía que se obtiene de fuentes naturales virtualmente inagotables, ya sea por la inmensa cantidad de energía que contienen, o porque son capaces de regenerarse por medios naturales.

**Energía hidráulica:** Se denomina energía hidráulica aquella que se obtiene del aprovechamiento de energía cinética y potencial, en el cual se dispone una turbina acoplada a un motor eléctrico, donde se transforma la energía cinética del agua en movimiento e energía eléctrica.

**Caudal:** Se define al caudal como la masa de agua que pasa, en un tiempo determinado, por una sección y/o canal por un desnivel o salto bruto.

**Densidad:** En un fluido, es importante la densidad o masa específica ella permite calcular el peso del elemento de volumen que se considere, que es una posible fuerza exterior actuando sobre cada elemento de fluido. Para un elemento de volumen  $dV$  ubicado en algún punto del fluido y que contenga una masa  $dm$ , la densidad  $\rho$  en ese punto se define mediante.

**Turbina hidráulica:** Una máquina hidráulica es un dispositivo capaz de convertir energía hidráulica en energía mecánica; pueden ser motrices (turbinas), o generatrices (bombas), modificando la energía total de la vena fluida que las atraviesa.

**El distribuidor:** Es un órgano fijo cuya misión es dirigir el agua, desde la sección de entrada de la máquina hacia la entrada en el rodete, distribuyéndola alrededor

del mismo, (turbinas de admisión total), o a una parte, (turbinas de admisión parcial), es decir, permite regular el agua que entra en la turbina, desde cerrar el paso totalmente, caudal

**Rodete:** Es el elemento esencial de la turbina, estando provisto de álabes en los que tiene lugar el intercambio de energía entre el agua y la máquina.

**Difusor o tubo de aspiración:** es un conducto por el que desagua el agua, generalmente con ensanchamiento progresivo, recto o acodado, que sale del rodete y la conduce hasta el canal de fuga, permitiendo recuperar parte de la energía cinética a la salida del rodete.

### **1.5. Formulación Del Problema**

¿Cómo aumentar la Potencia Instalada de la Mini Central Hidroeléctrica La Playa, que nos permita abastecer de energía eléctrica a los 07 caseríos aledaños a la Mini Central: Tigoj, Tingo, Tasajera, Tasajera Alta, Tasajera Baja, Tolospampa y Totorá?

### **1.6. Justificación e Importancia de la Investigación**

#### **1.6.1. Justificación Técnica.**

Desarrollar un diseño de generación eléctrica para brindar un servicio eléctrico de calidad a los caseríos aledaños sin hacer uso de combustibles fósiles

#### **1.6.2. Justificación Económica.**

Con este proyecto se generará energía eléctrica, por tanto, los pobladores de los caseríos aledaños harán uso de las diferentes utilidades de esta, por ende, darán lugar a nuevas expectativas de desarrollo.

#### **1.6.3. Justificación Ambiental.**

Con el desarrollo de este proyecto de tesis se logrará reducir la contaminación ambiental haciendo uso de energía renovable.

#### **1.6.4. Justificación Social.**

Los efectos inmediatos de este proyecto redundarán en una mejora de calidad de vida, así mismo se incentivará en cuanto al aprovechamiento de la educación.

#### **1.7. Hipótesis:**

No aplicable a este Tipo de Investigación.

#### **1.8. Objetivos De La Investigación:**

##### **1.8.1. Objetivo general**

Rediseñar la Mini Central Hidroeléctrica para aumentar la potencia instalada actual, que cumpla con los criterios de diseño y las normas vigentes para brindar un servicio eléctrico de calidad a los 07 caseríos aledaños.

##### **1.8.2. Objetivos específicos**

- Realizar el estudio de la máxima demanda energética de los caseríos aledaños a ser suministrados con energía eléctrica por parte de la Mini Central Hidroeléctrica La Playa.
- Evaluar el potencial hidrológico en la zona de estudio.
- Evaluar el estado actual de la Mini Central Hidroeléctrica La Playa.
- Seleccionar el equipamiento adecuado para la repotenciación de la Mini Central Hidroeléctrica La Playa.
- Realizar evaluación económica del proyecto. (VAN y TIR).



# **CAPITULO II**

# **MATERIAL Y METODO**

## 2. MATERIAL Y METODO

### 2.1. Tipo y diseño de investigación

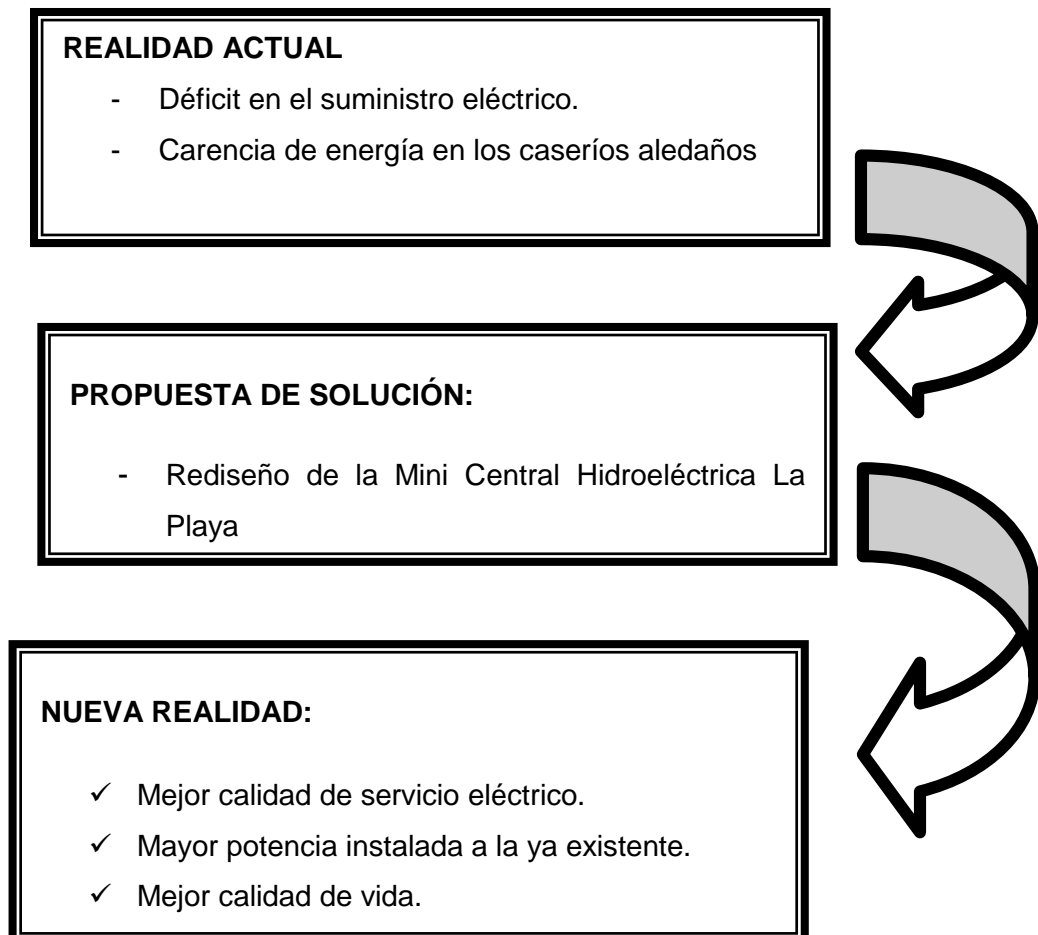
#### 2.1.1. Tipo de Investigación

Tipo : Aplicada

#### 2.1.2. Diseño de investigación

Cuasi experimental, porque se usarán herramientas y metodologías conocidas para la evaluación de un proceso en operación con el fin de obtener resultados que nos permitan llegar a conclusiones favorables.

Analítico, porque con datos tomados se realizó el proceso de cálculo de la Mini central hidroeléctrica



## **2.2. Población y Muestra:**

### **2.2.1. Población:**

#### **- Caudal.**

Nuestra investigación se basa en el nivel de caudal para determinar la potencia de la mini central hidroeléctrica, tomando como base el estudio de caudales que tenga la autoridad local de agua, por lo que se tomara todos los años que hayan sido identificados por esta institución para tener un mejor aprovechamiento hídrico.

#### **- Número de Habitantes**

Representada por toda la población de los caseríos aledaños a la Mini Central Hidroeléctrica La Playa.

### **2.2.2. Muestra:**

#### **Caudal**

La muestra de estudio se basa en criterios técnicos, se tomará en cuenta la muestra que será de 1 año como mínimo.

#### **Número de habitantes**

De acuerdo al número de habitantes se tomará como muestra el total de viviendas.

## **2.3. Variables y Operacionalización de variables:**

### **2.3.1. Variables:**

Eggert (Eggert, 2010) y Dieter (Dieter, 2013) plantean: Variables de diseño, Variables de solución, Parámetros de Definición de problema y Variables Intervinientes.

#### **2.3.1.1. Variable Independiente**

Son necesarias en la investigación y a partir de ellas se obtienen las variables dependientes:

#### **Caudal.**

**Altura.**

**Número de viviendas.**

**2.3.1.2. Variable Dependiente:  
Energía eléctrica.**

**Potencia eléctrica.**

**2.3.2. Operacionalización de variables:**

**Tabla 15: Operacionalización de las Variables**

VARIABLES		DIMENSION	INDICADOR	SUB – INDICADOR	INDICES	TECNICAS DE RECOLECCION	INSTRUMENTOS DE RECOLECCION	INSTRUMENTO DE MEDICION
INDEPENDIENTE	ALTURA	Altura	Caída	Salto neto	m	Observación.	Guía de análisis de documentos.	Estación total.
	CAUDAL	Cause	Volumen vs velocidad	Regulación	m <sup>3</sup> /s lt/s	Observación y Entrevista	Guías de observación, Guía de análisis de documentos.	-----
	NUMERO DE VIVIENDAS	Máxima demanda	Demanda diaria de energía	Demanda diaria por vivienda	kW-h	Encuesta y entrevistas	Guía de análisis de encuestas y entrevista	-----
DEPENDIENTE	POTENCIA ELECTRICA	Potencia requerida	Demanda de potencia	Potencia Instalada	kW	Observación.	Guías de análisis de documentos	Vatímetro.
	ENERGIA ELECTRICA	Energía requerida	Energía generada	Consumo de Energía Eléctrica	kW/h	Observación, Encuestas.	Guía de análisis de documentos.	Contador de Energía

**Fuente: Elaboración Propia**

## **2.4. Hipótesis**

Mediante la repotenciación de la Mini Central Hidroeléctrica La Playa, permitirá aumentar la potencia instalada de la Mini Central, permitiendo abastecer de energía eléctrica a los 07 caseríos aledaños.

## **2.5. Procedimientos de Análisis de Datos**

### **2.5.1. Abordaje metodológico**

#### **A) Analítico**

Se analiza el objeto de estudio en todas sus partes para determinar las distintas problemáticas que surgen en el proyecto. En este caso se debe conocer los riesgos y propiedades.

Por tanto, se controlará el tiempo de llenado de cada botella para determinar la capacidad de la máquina; obteniendo datos que garanticen un adecuado diseño de la máquina dosificadora semiautomática, asimismo se identificarán las necesidades de la empresa, concluyendo con un análisis económico para sustentar la viabilidad del proyecto.

#### **B) Deductivo**

Se estudiará los artículos científicos, tesis, revistas de investigación en lengua nacional y extranjera que informan detalles técnicos de diseño y construcción de máquinas envasadoras de líquidos, asimismo muestran las necesidades que distintas empresas presentan a falta de dicha máquina.

El segundo objetivo específico indica que se realizará una revisión de códigos, normas y estándares de índole nacional e internacional relacionado con las máquinas dosificadoras de líquidos. Es notorio que los antecedentes y realidad problemática del presente proyecto se basan en las distintas tesis, artículos y revistas de investigación.

#### **C) Inductivo**

Mediante este método se observará de manera directa el tiempo de llenado que transcurre por botella, realizado manualmente por el personal que labora en la empresa Vino Gran Señor.

### **2.5.2. Metodología de diseño**

La metodología de Diseño tiene su base en los trabajos de Eggert (Eggert, 2010) y Dieter y Schmidt (Dieter y Schmidt, 2013) adaptado al caso en cuestión. Los pasos importantes se detallan a continuación y se muestran en la Figura N° 41.

Para el resultado del presente trabajo, se emplearán técnicas de recolección de datos con el propósito de obtener la información indispensable para lograr los objetivos de la investigación.

Las técnicas que se emplearan son las siguientes:

**a) Observación**

Se usó para poder tomar los datos de los caudales del río Tungula generando una ficha de control de caudal.

**b) Revisión Documentaria**

Permite revisar las diferentes fuentes bibliográficas sobre el tema de investigación.

Instrumentos de recolección de datos.

Se harán uso de los siguientes instrumentos de recolección de datos,

**a) Guía de observación**

Está se diseñó para la toma de datos de los caudales del río, en la primera parte del control de caudales tenemos la estación, río, cuenca, mes y nombre del aforador, en la segunda parte tenemos el trabajo de campo donde tendremos en cuenta la fecha, hora y tiempo que tarda un flotador en llegar de un punto a otro y a partir de esos datos calculamos el caudal del río,

**b) Ficha de Revisión documentaria**

La Ficha de Revisión documentaria permitirá consultar las diferentes fuentes bibliográficas respecto al tema.

**2.6. Criterios éticos**

En este proyecto de investigación los principios que tendremos presente serán la base para nuestros valores como la dedicación, responsabilidad, honestidad. Estará basado por dos documentos fundamentales: Código de Ética del Colegio de ingenieros (CIP, 1999) y el código de ética de investigación de la universidad señor de Sipán (USS, 2017).

**Código de Ética del Colegio de ingenieros (CIP). Aprobado en la III sesión ordinaria del congreso nacional de consejos departamentales del periodo 1998 – 1999 en la ciudad de Tacna 22, 23, 24 abril 1999.**

Este documento (ver Anexo N° 06 y 07) consigna los lineamientos a seguir por parte del ingeniero en su relación con la sociedad, el público, colegas en el ejercicio de su profesión, todo esto apuntando a su desenvolvimiento y competencia dentro de la profesión. Es así que en sus primeros artículos se mencionan la letra:

Art. 2.- Los ingenieros deben promover y defender la integridad, el honor y la dignidad de su profesión, contribuyendo con su conducta a que el consenso público se forme y mantenga un cabal sentido de respeto hacia ella y sus miembros, basado en la honestidad e integridad con que la misma se desempeña. Por consiguiente, deben ser honestos e imparciales. Sirviendo con fidelidad al público, a sus empleadores y a sus clientes; deben esforzarse por incrementar el prestigio, la calidad y la idoneidad de la ingeniería y deben apoyar a sus instituciones profesionales y académicas.

Art. 5.- los ingenieros cuidaran que los recursos humanos, económicos, naturales y materiales, sean racional y adecuadamente utilizados, evitando su abusos o dispendio, respetaran y aran respetar las disposiciones legales que garanticen la preservación del medio ambiente.

**Código de Ética de Investigación de la Universidad Señor de Sipán (USS), Ratificado por acuerdo de consejo universitario con resolución rectoral N° 0851-2017/USS**

Este código enfoca en delimitar la ética y su aplicación en el quehacer de investigación universitaria (ver Anexo N° 08 y 09). En este tenor presenta los principios y deberes éticos, el consentimiento para uso de datos, las políticas anti plagio y los procedimientos de sección. A continuación, un extracto de las primeras páginas de este documento.

**ART. 2º: Finalidad**

El Código de Ética de investigación de la Universidad Señor de Sipán (USS), tiene como finalidad proteger los derechos, la vida, la salud, la intimidad, la

dignidad y el bienestar de la(s) persona(s) que participan en una actividad de investigación Científica, Tecnológica e innovación, ciñéndose a los principios éticos acogidos por la normativa nacional e internacional, y los acuerdos suscritos por nuestro país en la materia.

ART. 3º: Alcance

El presente código de ética de investigación es de cumplimiento obligatorio para todas las autoridades académicas, administrativas, docentes, estudiantes, egresados y administrativo de la Universidad Señor de Sipán.

## **2.7. Criterios de Rigor Científico**

En el presente proyecto de investigación se tendrán en cuenta los principios de rigor científico como la generalización, validez, fiabilidad y replicabilidad.

### **Generalización:**

Componente importante del proceso científico, se pretenderá que la información extraída de una encuesta o entrevista este precisamente organizada y realizada.

### **Validez:**

Se considerará atención exacta de escoger variables sobresalientes y que guarden relación al problema de investigación.

### **Fiabilidad:**

Al adquirir las mediciones corresponderán a una metodología meticulosa y científica.

### **Replicabilidad:**

Los reglamentos y técnicas estarán dirigidos a agilizar la repetición de la experiencia con el propósito de alentar la contratación de resultados en proyectos de investigaciones futuras.



# **CAPITULO III**

# **RESULTADOS**

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Estudio de la Máxima Demanda Energética de los caseríos aledaños a ser suministrados con energía eléctrica por parte de la Mini Central Hidroeléctrica La Playa

Los caseríos aledaños que van a ser beneficiados con la repotenciación de la Mini Central Hidroeléctrica La Playa, son:

**Tabla 16: Población de las localidades a beneficiarse con la ampliación de la Mini Central Hidroeléctrica La Playa**

LOCALIDADES	POBLACIÓN
TIGOJ	240
TINGO	210
TASAJERA	214
TASAJERA ALTA	256
TASAJERA BAJA	246
TOLOSPAMPA	270
TOTORA	237
<b>TOTAL</b>	<b>1673</b>

Fuente: INEI

Así mismo para conocer los requerimientos de Energía (kW-h) y Máxima Demanda (kW), se toma los siguientes datos:

Indicador	Valor	Fuentes de Información
Año de Referencia	2018	
Población Total Inicial	1673	Investigación de campo
Tasa de Crecimiento	0,02	Registro de INEI
Índice de Habitantes por Vivienda	4,0	Registro de INEI
Pérdida de energía	9,0%	Información de la Empresas Concesionaria
Factor de Carga	25%	Información de la Empresas Concesionaria
Sector Típico	5	Información de la Empresas Concesionaria
KALP (Factor de Alumbrado Público en kWh/usuario-mes)	6,3	Normatividad de AP en sectores rurales
PPL: Potencia Nominal Promedio de lámpara de AP (W)	50,00	Normatividad de AP en sectores rurales

Además:

		MES	AÑO
			Mes x 12
Consumo Unitario por Abonado Doméstico (KW-h)	<b>CUAD</b>	15	180
Consumo Unitario de Abonados Comerciales (kW.h)	<b>CUAC</b>	18	216
Consumo Unitario de Abonados Uso General (kW.h)	<b>CUAUG</b>	20	240
Consumo Unitario de Abonados Peq. Industrial (kW.h)	<b>CUAPI</b>	25	300

En la siguiente tabla podemos apreciar los resultados obtenidos de requerimientos de Energía (kW-h) y Máxima Demanda (kW):

**Tabla 17: Estimación de la Máxima Demanda (kW) y Energía (kW-h) de las localidades a ser beneficiadas con la repotenciación**

DESCRIPCIÓN	Años											
	1	2	3	4	5	10	11	12	15	16	19	20
	2019	2020	2021	2022	2023	2028	2029	2030	2033	2034	2037	2038
Población Total	1.698	1.724	1.749	1.776	1.802	1.942	1.971	2.000	2.092	2.123	2.220	2.253
Índice de Habitantes por Vivienda	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Viviendas Totales	425	431	437	444	451	485	493	500	523	531	555	563
Coefficiente de Electrificación	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
Viviendas a Electrificar	425	431	437	444	451	485	493	500	523	531	555	563
Abonados Totales	425	431	437	444	451	485	493	500	523	531	555	563
Número de abonados domésticos	380	385	391	397	403	434	441	447	468	475	496	504
Número de abonados comerciales	30	31	31	32	32	35	35	36	38	38	40	40
Número de abonados de Uso General	14	14	15	15	15	16	16	17	18	18	19	19
Número de abonados de peq. Industrias	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Consumo Unitario por Abonado Doméstico (KW-h)	183	185	188	191	194	209	212	215	225	228	239	242
Consumo Unitario por Abonado Comercial (KW-h)	219	223	226	229	233	251	254	258	270	274	287	291
Consumo Unitario por abonado de Usos Generales (KW-h)	244	247	251	255	259	279	283	287	300	305	318	323
Consumo Unitario por Abonado de Peq. Industrias (KW-h)	305	309	314	318	323	348	353	359	375	381	398	404
Consumo Abonados Domésticos (Kw-h)	69.355	71.451	73.611	75.835	78.128	90.670	93.411	96.234	105.227	108.407	118.537	122.120
Consumo Abonados Comerciales (kw-h)	6.676	6.878	7.086	7.300	7.520	8.728	8.991	9.263	10.129	10.435	11.410	11.755
Consumo Abonados Uso General (kw-h)	3.462	3.566	3.674	3.785	3.899	4.525	4.662	4.803	5.252	5.411	5.916	6.095
Consumo Abonados Peq. Industrial (kw-h)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Consumo de energía (kW.h)</b>	<b>79.492</b>	<b>81.895</b>	<b>84.370</b>	<b>86.920</b>	<b>89.547</b>	<b>103.923</b>	<b>107.064</b>	<b>110.300</b>	<b>120.607</b>	<b>124.253</b>	<b>135.863</b>	<b>139.970</b>
<b>Calculo del consumo de Alumbrado Público</b>												
Consumo Mensual de AP - CMAP (KWh)	2.674	2.715	2.755	2.797	2.839	3.058	3.104	3.150	3.294	3.344	3.496	3.549
Puntos de Iluminación Sistema Convencional	123	125	127	129	131	141	143	145	152	154	161	164
Consumo anual de AP en Sist. Convencional (kW.h)	31.882	32.400	32.918	33.437	33.955	36.547	37.066	37.584	39.398	39.917	41.731	42.509
<b>Consumo Total de energía en Sist. Convencional (kW.h)</b>	<b>111.374</b>	<b>114.295</b>	<b>117.288</b>	<b>120.357</b>	<b>123.503</b>	<b>140.471</b>	<b>144.130</b>	<b>147.884</b>	<b>160.006</b>	<b>164.169</b>	<b>177.594</b>	<b>182.478</b>
Porcentaje de Pérdidas	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
Pérdidas de Energía (kW-h)	10.024	10.287	10.556	10.832	11.115	12.642	12.972	13.310	14.401	14.775	15.983	16.423
<b>Energía al ingreso del sistema (KW-h)</b>	<b>121.397</b>	<b>124.581</b>	<b>127.844</b>	<b>131.189</b>	<b>134.618</b>	<b>153.113</b>	<b>157.102</b>	<b>161.194</b>	<b>174.406</b>	<b>178.945</b>	<b>193.578</b>	<b>198.902</b>
Factor de carga	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
<b>Potencia al ingreso del sistema (KW)</b>	<b>55,433</b>	<b>56,886</b>	<b>58,376</b>	<b>59,904</b>	<b>61,469</b>	<b>69,915</b>	<b>71,736</b>	<b>73,605</b>	<b>79,638</b>	<b>81,710</b>	<b>88,392</b>	<b>90,823</b>

Fuente: Elaboración Propia

De la Tabla anterior podemos determinar que los requerimientos de Máxima Demanda (kW) y Energía (kW-h) son:

- En el año 01 son 55,433 kW y 121397 kW-h
- En el año 10 es 69,915 kW y 153113 kW-h
- En el año 20 es 90,823 kW y 198902 kW-h.

Por lo tanto el requerimiento de **Máxima Demanda en el año 20 es de 100 kW**, que es la potencia instalada que debe tener nuestra mini central.

### **3.2. Evaluar el potencial hidrológico en la zona de estudio**

El Caudal que utiliza la Mini Central Hidroeléctrica La Playa, proviene de las aguas de la cuenca “Tungula Sinchihual”, proveniente del riachuelo Tungula que deriva las aguas por medio del canal Callima para generar la electricidad.

De acuerdo al estudio: Diagnóstico Situacional de Incahuasi 2010, tenemos que el riachuelo Tungula tiene un caudal promedio de  $0,9 \text{ m}^3/\text{s}$ , en dicho estudio aparece una Tabla con las principales micro cuencas y ríos de Incahuasi. En la siguiente tabla presentamos la información:

**Tabla 18: Principales Ríos y Micro cuencas de Incahuasi**

Ríos/Quebradas	Micro cuenca	Red	Caudal	Régimen
	Sub Micro cuenca			
La Leche	Moyán Incahuasi	Principal	4.5 m3/seg (Feb.)	Irregular, Perman.
Sauce tranca (riach.)	Sauce tranca	Secundaria	No hay aforos	Temporal
Janque	Sauce tranca	Secundaria	1.6 m3/seg.	Temporal
Lanchipampa (riach)	Lanchipampa	Secundaria	Sin aforos	Temporal
Mojón	Lanchipampa	Secundaria	Sin aforos	Temporal
Tungula (riach.)	Tungula	Secundaria	0.9 m3/seg (Feb.)	Permanente
Minas	Tungula	Terciaria	No se tiene aforos	Permanente
Habas	Tungula	Terciaria	No se tiene aforos	Temporal
Tembladera (riach.)	Tembladera	Secundaria	1.2 m3/seg (Feb.)	Permanente
Marayhuaca	Tembladera	Terciaria	No se tiene aforos	Temporal
Ticuaca	Tembladera	Terciaria	No se tiene aforos	Temporal
Lipipiano (riach.)	Lipipiano	Secundaria	1.3 m3/seg (Feb.)	Permanente
Rachihueta	Lipipiano	Secundaria	No se tiene aforos	Temporal
Punguyjo	Lipipiano	Terciaria	No se tiene aforos	Estacional

Fuente: PRONAMACHS 2010

Así mismo se tuvo acceso a información proporcionada por administradores de la sub cuenca Tungula Sinchigual, quienes aforan diariamente el riachuelo Tungula, a continuación en la siguiente tabla presentamos los caudales aforados en el año 2017.

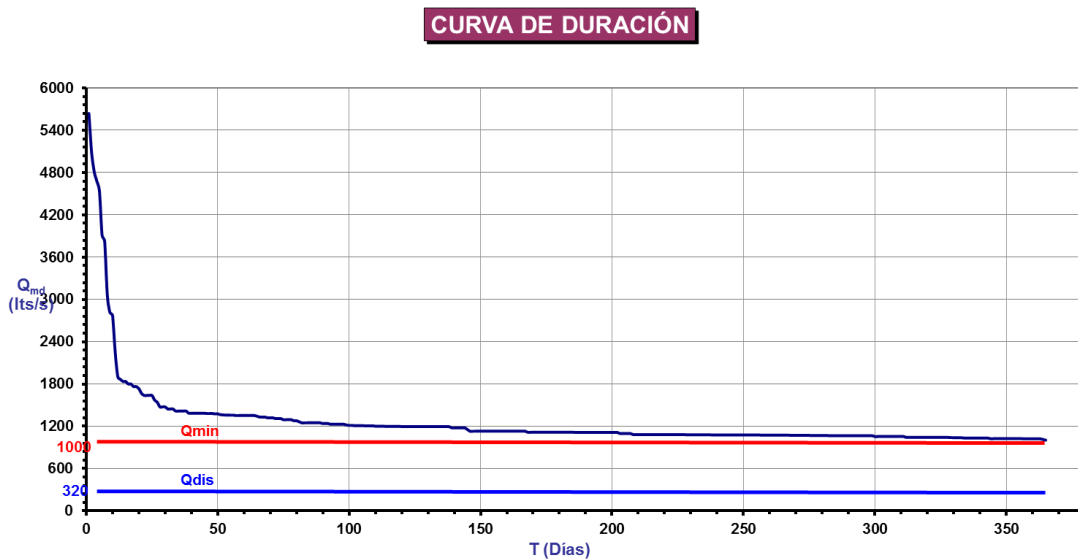
**Tabla 19: Caudales aforados del riachuelo Tungula en el año 2017**

Días	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	7,30	5,88	4,20	21,70	6,34	6,80	3,30	5,65	7,05	5,19	16,60	77,70
2	13,40	4,96	4,20	18,40	5,88	5,88	3,15	5,19	6,80	4,96	25,10	39,50
3	12,60	6,11	3,60	17,00	6,57	12,30	12,30	4,73	6,80	4,50	32,60	31,40
4	9,67	5,88	8,05	26,10	5,88	6,57	9,30	3,60	6,34	21,70	25,10	29,30
5	4,20	5,42	6,34	32,60	6,34	5,65	8,80	3,90	6,34	24,60	32,00	26,60
6	4,50	4,96	8,05	29,30	5,88	6,11	8,05	3,75	6,11	20,80	19,80	24,20
7	4,73	4,96	4,73	20,80	5,65	5,65	7,55	3,60	5,88	27,70	17,00	24,20
8	5,65	4,50	4,50	15,80	5,42	5,42	6,80	3,60	5,88	25,60	15,40	26,10
9	6,34	4,50	4,20	13,80	4,96	5,42	6,57	11,20	5,65	26,60	14,20	28,20
10	7,05	4,35	5,19	11,90	4,96	5,19	5,65	20,30	5,42	24,60	11,90	24,20
11	6,80	9,05	5,88	10,80	4,73	4,96	17,00	18,40	4,96	18,90	8,80	21,20
12	4,73	8,30	7,55	9,05	13,00	4,50	20,80	16,60	4,73	16,20	8,55	25,10
13	5,88	7,80	8,05	7,80	7,80	4,50	22,70	14,60	4,50	20,80	15,00	31,40
14	5,65	7,55	13,40	7,55	6,57	4,73	18,90	13,00	4,20	23,70	13,00	30,90
15	5,19	7,30	12,60	7,30	6,34	9,30	17,00	10,80	4,05	15,40	14,60	25,60
16	4,73	6,80	26,10	6,80	5,88	8,05	16,20	10,40	3,90	19,80	13,00	20,80
17	4,20	6,34	17,00	9,67	9,30	6,80	11,50	10,00	3,75	29,80	15,00	18,40
18	3,90	6,11	96,00	14,60	8,80	5,42	10,00	10,00	4,05	98,40	19,40	17,00
19	3,90	4,20	87,00	13,80	8,30	4,73	6,80	9,67	8,80	53,00	25,60	16,20
20	4,20	4,96	80,00	13,00	8,30	4,96	6,11	9,30	11,20	25,10	10,00	14,60
21	4,50	4,96	48,90	12,30	10,00	4,50	5,42	9,05	8,55	20,80	9,05	14,20
22	4,73	4,50	26,60	11,50	8,30	4,50	5,42	8,80	9,05	18,40	12,60	16,20
23	6,80	4,20	16,20	10,80	9,05	4,35	6,57	8,80	7,55	17,00	17,00	15,00
24	8,30	4,20	17,90	10,00	7,55	4,05	5,19	8,55	11,50	25,10	13,00	13,40
25	13,40	4,05	22,20	9,67	6,80	3,75	4,96	8,30	8,30	19,40	48,20	20,80
26	19,80	4,05	33,70	8,30	5,88	3,75	4,96	8,30	7,30	15,00	33,10	16,20
27	18,90	3,90	29,30	5,88	5,65	3,60	4,50	8,05	6,34	13,40	25,60	13,40
28	16,60	3,90	82,30	5,88	5,19	3,45	4,50	7,80	3,90	17,90	23,70	11,90
29	12,60	3,90	25,60	4,73	4,96	3,75	4,50	7,55	5,65	20,80	21,20	11,20
30	17,50		19,40	7,05	4,96	3,45	4,96	7,30	5,65	67,20	65,70	10,00
31	7,05		32,00		4,96		4,73	7,05		29,30		9,30

Fuente: Administradores de la sub cuenca Tungula Sinchigual

Con estos datos elaboramos la curva de duración de caudales:

**Gráfico 4: Curva de duración de caudales**

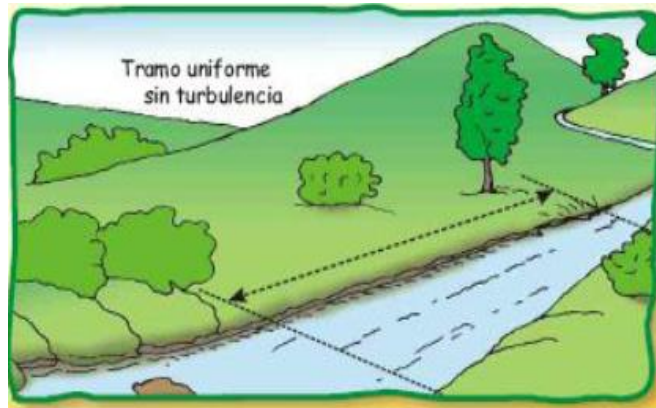


Fuente: Elaboración Propia

De la curva anterior podemos determinar que el Caudal Mínimo es de  $1 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Para poder verificar estos datos se realizó mediciones en el riachuelo Tungula, empleando para ello el Método del Flotador, el cual consiste en lo siguiente:

Determinamos el área donde se va a trabajar.

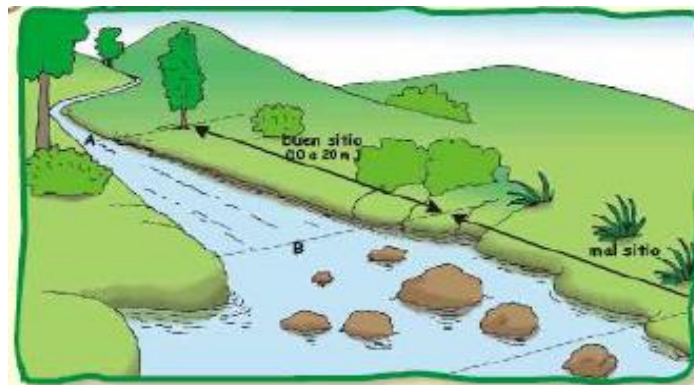


**Gráfico 5: Método del flotador. Fuente (ITDG S.P 2010)**

Dimensiones desde el punto A al punto B.

**Longitud de A-B = 30 m**

Medimos la velocidad que hay desde el punto A al punto B.



**Gráfico 6: Método del flotador. Fuente (ITDG S.P 2010)**



### Mediciones del tiempo

1 =	9,19	segundos
2 =	9,39	segundos
3 =	9,34	segundos
4 =	9,26	segundos
5 =	9,28	segundos
6 =	9,20	segundos

**tiempo promedio = 9,28 s**

**velocidad = 3,23 m/s**

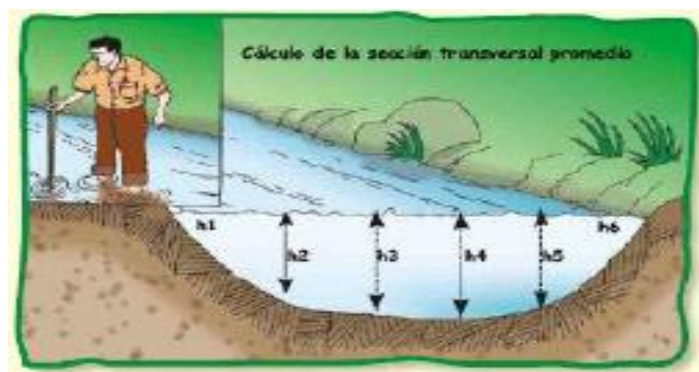
Medimos el ancho del canal.



**Gráfico 7: Método del flotador. Fuente (ITDG S.P 2010)**

**Ancho del canal = 1 m**

Medimos la profundidad de agua del canal.



**Gráfico 8: Método del flotador. Fuente (ITDG S.P 2010)**

$h_1 = 0$  metros  
 $h_2 = 0,49$  metros  
 $h_3 = 0,83$  metros  
 $h_4 = 0,97$  metros  
 $h_5 = 0,24$  metros  
 $h_6 = 0$  metros

$h_m = 0,422$  m

Área total =  $0,422$  m<sup>2</sup>

Hallamos el caudal que se genera en el canal.

**Tabla 20: Método del flotador. Fuente (ITDG S.P 2010)**

Tipo de canal o río	Factor K
Canal revestido en concreto, profundidad del agua mayor a 15 cm.	0.8
Canal de tierra, profundidad del agua mayor a 15 cm.	0.7
Río o riachuelo, profundidad del agua mayor a 15 cm.	0.5
Ríos o canales de tierra, profundidades menores a 15 cm.	0.5 a 0.25

Se seleccionó del factor K (constante) de 0,7 ya que el riachuelo es de tierra pasa los 15 cm de profundidad de agua

$k = 0,7$

Caudal =  $0,955$  m<sup>3</sup>/s

Por lo tanto tenemos un caudal mínimo en el riachuelo Tungula de  $0,9$  m<sup>3</sup>/s.

De este caudal, actualmente se están utilizando  $0,16$  m<sup>3</sup>/s con una altura neta de 48 m para generar los 50 kW, **quedando disponible  $0,74$  m<sup>3</sup>/s.**

Ahora como se requieren suministrar un Potencia Eléctrica en el año 20 de 100 kW, para lo cual necesitamos duplicar el caudal, es decir el caudal de diseño para el rediseño de la Mini Central Hidroeléctrica La Playa será de **0,32 m<sup>3</sup>/s**.

### **3.3. Evaluar el estado actual de la Mini Central Hidroeléctrica La Playa**

Actualmente la Mini Central Hidroeléctrica La Playa, deriva el agua del riachuelo Tungula por medio del canal Callima, con un caudal de 0,16 m<sup>3</sup>/s.

La bocatoma lateral por donde se deriva el agua del riachuelo Tungula, está diseñado para un caudal de 0,50 m<sup>3</sup>/s, por lo que soportaría el caudal de diseño para la repotenciación que es de 0,32 m<sup>3</sup>/s.

En lo concerniente al canal de derivación está construido de mampostería de forma rectangular, actualmente se encuentra en buenas condiciones de 1,00 m de ancho y 1,00 m de profundidad, capaz de conducir hasta 1 m<sup>3</sup>/s, por lo que si estaría apto para conducir los 0,32 m<sup>3</sup>/s que es el caudal de diseño.

En lo que corresponde al Desarenador, tubería de presión y equipamiento electromecánico, deben ser cambiadas, por lo que en el siguiente ítem, haremos los cálculos y selección de dichos componentes.

### **3.4. Selección del equipamiento adecuado para la repotenciación de la Mini Central Hidroeléctrica La Playa**

#### **Desarenador**

Se selecciona el diámetro de la partícula en función de la caída de la planta:

$$h = 46,76 \text{ m}$$

$$D_{lim} = (0.2 - 0.5 \text{ mm}) \quad h < 10 \text{ m} \text{ Caída Baja}$$

$$D_{lim} = (0.1 - 0.2 \text{ mm}) \quad h < 100 \text{ m Caída Media}$$

$$D_{lim} = (0.01 - 0.05 \text{ mm}) \quad h > 100 \text{ m Caída Alta}$$

$$D_{lim} = 0,20 \text{ mm}$$

Se determina la velocidad de sedimentación de la partícula:

$$V_s = 0,03 \text{ m/s}$$

La velocidad horizontal de la partícula oscila entre 0.1 y 0.4 m/s y la profundidad media entre 1.5 y 4 m.

Se asume la velocidad horizontal de la partícula:  $V_d = 0,4 \text{ m/s}$

Se asume una profundidad media para el Desarenador:  $h = 0,45 \text{ m}$

El empuje ascensional es:  $W = 0,0046 \text{ m/s}$

Factor de Seguridad:  $F = 1,0$

La longitud mínima del Desarenador es igual a:  $L = 7,08 \text{ m}$

El ancho del Desarenador será:  $B = 2,13 \text{ m}$

### **Transición:**

La transición debe tener un ángulo de divergencia suave ( $12^\circ - 30^\circ$ )

$$\text{Angulo} = 30^\circ$$

La longitud de la transición es:  $l = 1,37 \text{ m} <$

Por lo tanto el Desarenador tendrá las siguientes características:

- Capacidad :  $320 \text{ l/s} = 0,32 \text{ m}^3/\text{s}$
- Tipo de limpia : Intermitente
- Número de naves : Uno
- Ancho de nave :  $2,10 \text{ m}$
- Longitud de la nave :  $7,00 \text{ m}$
- Compuertas de purga : Una de  $0,20 \times 0,20 \text{ m}$

### **Cámara de Carga**

Se ingresa el diámetro de la tubería  $D = 0,457 \text{ m}$

Se fija un valor de altura que evita el ingreso de posibles sedimentos a la tubería ( $0,3 - 0,5$ )

$$a1 = 0,3 \text{ m}$$

Se toma un valor de altura equivalente al diámetro de la tubería de presión

$$a2 = 0,457 \text{ m}$$

Para que el torbellino creado por el flujo del caudal no genere cavitación debe dejarse un nivel mínimo igual a:

$$a3 = 0,457 \text{ (0,5 D - 1,5 D), mínimo 0,30 m}$$

Por efecto del golpe de ariete se crea una elevación del nivel del agua en el tanque de presión, como seguridad se toma:

$$a4 = 0,30 \text{ mínimo 0.30 m}$$

Se asume una altura para la altura de la cámara:

$$h2 = 1,30 \text{ m}$$

Se fijan los posibles valores para la velocidad media de la cámara de carga:

$$V2 = 0,6 \text{ (0,6 - 1,0) m/s}, 0,88$$

Se determina el ancho del tanque de presión:

$$b2 = 0,41 \text{ m} <$$

Se verifica si b2 es mayor al ancho del canal, si es menor se toma b2 como igual al ancho del canal.

$$b2 = 0,88 \text{ m}$$

Se determina la altura de agua en el tanque para el arranque:

$$h2d = 0,05 \text{ m}$$

Se determina:

$$h'2e = 1,26 \text{ Los Valores son Correctos}$$

La longitud de la cámara de presión es:  $L = 0,67 \text{ m}$

Se calcula la altura del nivel máximo:  $h2e = 0,08 \text{ m}$

Se calcula el ancho del vertedero:

Para aliviaderos de cresta gruesa de cantos rodados:  $M = 0,50$  (0.50 - 0.55)

En caso crítico el aliviadero se comporta como un vertedero frontal

$$Q = \frac{2}{3} * M * b_v * \text{raiz}(2*9.81) * h_v^{3/2}$$

Asumimos un ancho que debe ser considerablemente mayor a su altura:

$$b_v = 2,50 \text{ m}$$

La altura del vertedero será:

$$h_v = 0,22 \text{ m}$$

Se determina la altura de la cámara de carga:

$$h_T = 1,68$$

Por lo tanto, la Cámara de Carga tendrá las siguientes características:

- Nivel normal de operación : 1,30 m
- Nivel máximo de operación : 1,50 m
- Nivel mínimo de operación : 1,20 m
- Longitud : 1,00 m
- Ancho : 2,10 m
- 

#### **Diámetro de la Tubería**

Para el dimensionamiento del diámetro de la tubería de presión se utilizará la expresión de

BONDSCHU:

$$D = 1.27(Q^{0.4268})/(H_b + h_s)^{0.1423}$$

Datos:

$$Q = 0,16 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$H_b = 47,28 \text{ m}$$

$$h_s = 30 \%$$

$$L= 77 \text{ m}$$

$$D= 0,250 \text{ m}$$

### Pérdidas en la Rejilla

$$h_r = ER \cdot (V^2/2g)$$

De acuerdo al tipo de rejilla rectangular, se toma un coeficiente de pérdida para un tipo de rejilla igual a:  $ER=2,4$

En este caso, las pérdidas en la rejilla son:

$$h_r = 1,300 \text{ m}$$

### Pérdidas en tipo de Entrada

$$h_e = EE \cdot (V^2/2g)$$

Se opta por una entrada con un coeficiente de pérdida bajo igual a:  $EE= 1$

En este caso, las pérdidas en la entrada son iguales a:

$$h_e = 0,542 \text{ m}$$

### Pérdidas en los Codos

$$h_k = Ek \cdot (V^2/2g)$$

De acuerdo con el perfil de la tubería, las pérdidas correspondientes a cada uno de los codos son los siguientes:

ANCLAJE	Ek	hki(m)
A1	0,16	0,09
A2	0,04	0,02
TOTAL	hk=	0,11

$$hk = 0,11$$

### Pérdidas por Fricción

$$h_{fricc} = \lambda \cdot (L/D) \cdot (V^2/2g)$$

El coeficiente de pérdidas es igual a:  $\lambda = 0.01 \cdot (K/D)^{0.134}$

La constante K para la tubería es igual a: 0,50

$$\text{Lamda} = 0,011$$

Las pérdidas por fricción son iguales a:

$$\mathbf{h_{fric} = 1,830 \text{ m}}$$

### **Pérdidas en Válvulas**

$$h_v = E_v \cdot (V^2 / 2g)$$

Se eligen válvulas de tipo esférica, las cuales tienen un coeficiente de pérdida igual a:  $E_v = 0,2$

Las pérdidas en Válvulas son iguales a:

$$\mathbf{h_v = 0,108 \text{ m}}$$

### **Pérdidas por Bifurcación**

Dado que no se conoce el número de unidades que se instalaran, se supone que se tendrán dos unidades conectadas a una bifurcación tipo "pantalón" con un Angulo de desviación de 45°.

$$h_{ram} = E_{ram} \cdot (V^2 / 2g)$$

$$h_{ram \ a} = 0,260 \text{ m}$$

$$h_{ram \ d} = 0,179 \text{ m}$$

$$\mathbf{h_{ram \ d} = 0,439 \text{ m}}$$

### **Pérdidas Totales:**

$$\mathbf{h_t = 4,329 \text{ m}}$$



Este proyecto opta por excavar y hacer rellenos en el terreno para que la pendiente sea en promedio  $36.6^\circ$  con una longitud de 40.80 m. Esta opción indica que solo se requiere un anclaje para variar la pendiente vertical (A-2) y un anclaje para variar la pendiente horizontal antes de llegar a la casa de máquinas (A-1); el resto serán apoyos para sostener la tubería. Para reducir las pérdidas en la rejilla se cambiara el tipo de barrotes por otros que tienen un coeficiente de pérdida menor e igual en esta opción a 0.8.

De acuerdo con estas consideraciones, las pérdidas totales en la tubería son:

$$\tilde{N}_{ht} = 4,329 \text{ m}$$

Estas pérdidas pueden reducirse aún más, aumentando el diámetro de la tubería de presión; sin embargo; un análisis costo- beneficio puede indicar el diámetro que más se ajuste al proyecto.

### **Espesor de la tubería**

El espesor de la tubería se determina con la siguiente expresión:

$$e = \frac{(H+hs)D}{2dtKf} + e_s$$

Donde:

La caída bruta H es igual a: 47,28 m

La sobrepresión ejercida por el golpe de ariete  $h_s$  es igual a:

$$30\%H = 14,184$$

La tensión de tracción del material dt para el acero es de:

$$1200 \text{ kg/cm}^2$$

La eficiencia de las uniones kf se toma igual a: (0,8 - 1) = 0,8

El espesor adicional es igual a: 3 mm = 0,003 m

$$e = 0,00915625 \text{ m} = 9,15625 \text{ mm}$$

Se halla las tensiones presentes en la tubería con el fin de determinar si el espesor soporta estos esfuerzos .

### **Tensión Tangencial ejercida por el Golpe de Ariete (kgf/cm<sup>2</sup>)**

$$dta = 0.05(H+hs)D/e$$

$$dta = 83,9 \text{ kgf/cm}^2$$

### **Tensión longitudinal debido a la variación de temperatura**

(no se dispone de juntas de dilatación)

Para este proyecto se considerara que no se tendrá junta de dilatación

$$dte = E \alpha \Delta T \text{ kgf/cm}^2$$

Donde :

El coeficiente de dilatación  $\alpha$  para el acero es igual a: 0,000054

La variación de temperatura  $\Delta T$  en nuestro caso es igual a 5 °C

El módulo de elasticidad del acero es igual a  $2,1 \times 10^6 \text{ kN/m}^2$  24700

$$dte = 1,482 \text{ kgf/cm}^2$$

### **Tensión longitudinal debido a la presión hidrostática**

**Con la Válvula Cerrada**

$$dte = 0.025 * ((H+hs)D^2) / (e(e+D)) \text{ kgf/cm}^2$$

$$dte = 40,47263842 \text{ kgf/cm}^2$$

### **Tensión de Flexión entre apoyos debida al peso propio de la tubería y al peso del agua**

$$\sigma_f = \frac{M_{\max}}{W} \text{ (kgf / cm}^2\text{)}$$

$$M_{\max} = F(L_s / 8) \text{ sen } \theta$$

$$F = \gamma_t \times \pi \times e \times (D + e) + \gamma \times \pi \frac{D^2}{4}$$

$$\gamma_1 = 1450 \text{ kgf/m}^2 \text{ peso específico del acero}$$

$$\gamma = 1000 \text{ kgf/m}^3 \text{ peso específico del agua}$$

$$\sigma_f = 59,90 \text{ tf/m}$$

Se toma el criterio de ubicar los apoyos cada 2.00 m

$$L_s = 2 \text{ m}$$

$$\Theta = 41^\circ$$

$$\text{Sen } \Theta = 0,656060292 \quad \text{Cos } \Theta = 0,754708482$$

$$\text{Tan } \Theta = 0,869289676$$

$$M_{fmax} = 0,01965$$

$$\sigma_f = 42,06520578 \text{ kf/cm}^2$$

Por lo tanto la Tubería forzada tendrá las siguientes características:

- Longitud Total, por cada ramal : 77,00 m.
- Número de tuberías de los dos ramales : 28
- Diámetro Nominal : 0,250 m.
- No de ramales : 02
- No de tramos, por ramal : 02
- Caudal de diseño : 320 l/s = 0,32 m<sup>3</sup>/s
- Material y clase 1er Tramo : PVC – CE 7.5
- Diámetro 1er Tramo : 250 mm.
- Longitud primer tramo : 38.50 m.
- Velocidad máxima flujo 1er tramo : 3,30 m/s
- Material y clase 2do tramo : PVC – CE 7.5

- Diámetro 2º tramo : 250 mm
- Longitud segundo tramo : 38,50 m
- Velocidad máxima segundo tramo : 3,30 m/s
- Altura bruta : 47,28 m

## Turbina

### *Perdidas en Tuberías*

- **Pérdidas en la Tubería**

$$H_b = 46,5 \text{ m}$$

$$Q = 320 \text{ l/s} = 0,32 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Longitud de tubería} = 77,5 \text{ m}$$

$$\text{Cono de admisión de 30" a 12" de } \dot{Y} \text{ e } 1/4" = 1,5 \text{ m}$$

$$\text{Tramo } \dot{Y} \text{ 12" PVC-7.5} = 42,5 \text{ m}$$

$$\text{Diámetro tubería} = 15,00 = 381 \text{ mm}$$

- **Pérdidas por Fricción**

$$k = 0,003 \text{ PVC}$$

$$d_1 = 381 \text{ mm} = 0,381 \text{ m} \quad v = 2,806784891 \text{ m/s}$$

$$L = 77,5 \text{ m}$$

- ✓ **Tramo } \dot{Y} \text{ 12" PVC-7.5} =**

$$\text{Longitud de tubería} = 77,5 \text{ m. Incluye reducciones.}$$

$$1,27 \cdot Q/d = 1,066666667$$

$$k/d = 0,003 / 381 = 7,87402E-06$$

Del diagrama de Mody modificado tendremos:

$$f = 0,0125$$

$$\bullet H = \frac{0,08 \cdot f \cdot L \cdot Q^2}{d^5} = 0,988500244 \text{ m}$$

- **Perdidas Secundarias.**

k1    0,2    Ingreso de cámara a tubería

k2    0,36    Codo anclaje N° 01

k4    0,45    Reduccion final de 12" A 8" Y.

$$\bullet H_s = \frac{v^2}{2 \cdot g} (K_1 + K_2 + K_4)$$

$$\bullet H_s = 0,404310053$$

$$\bullet H_s = 0,404310053$$

- **Pérdidas totales en tubería**

$$\bullet H_f = 0,988500244 \text{ m} \quad \text{Por fricción.}$$

$$\bullet H_s = 0,404310053 \text{ m} \quad \text{Por accesorios.}$$

$$\bullet H_T = 1,392810297 \text{ m}$$

- **Altura Neta**

$$H_n = H_b - \bullet H_T$$

$$H_n = 46,5 - 1,392810297$$

$$\mathbf{H_n = 45,1071897 \text{ m}}$$

- **Pérdidas en el distribuidor**

De acuerdo a los datos anteriores la configuración del distribuidor sería de Y 12" con un inyector y teniendo en cuenta que la turbina trabajará en forma Horizontal.

Eje Horizontal.

$$D_2 = 381,4 \text{ mm} \quad \text{asumiendo.}$$

$$0,3814 \text{ m}$$

- **Distribuidor**

\* Por fricción A-B                    antes del inyector.

$$Q = 0,32 \text{ l/s.}$$

$$L = 500 \text{ mm} = 0,5 \text{ m}$$

$$k = 0,003$$

$$d = 406,4 \text{ mm} = 0,4064 \text{ m}$$

$$1,27 \cdot \frac{Q}{d} = 1$$

$$k/d = \frac{0,003}{406,4} = 7,38189E-06$$

$$f = 0,013$$

$$\bullet H = \frac{0,08 \cdot f \cdot L \cdot Q^2}{d^5} = 0,004803246 \text{ m.}$$

\* Por Pérdidas Secundarias A-B    antes del Inyector.

$$k_1 = 0,25 \text{ Contracción suave}$$

$$k_2 = 0,1 \text{ válvula de compuerta totalmente abierta.}$$

$$k_3 = 0 \text{ codo 90 con un radio de curva de } 143 \text{ mm} = 0,143 \text{ m}$$

$$d = 406,4 \text{ mm} = 0,4064 \text{ m}$$

$$v_1 = \frac{Q}{A} = 2,466900783 \text{ m/s}$$

$$\bullet H_s = \frac{v_1^2 \cdot (K_1 + K_2 + K_3)}{2 \cdot g}$$

$$\bullet H_s = 0,108229665 \text{ m.}$$

\* Pérdidas totales antes del Inyector (1).

$$HT = 0,004803246 + 0 + 0,108229665$$

$$HT = 0,113032911$$

• **Altura antes del Inyector (1)**

$$HB' = 45,1071897 - 0,113032911$$

$$HB' = 44,99415679 \text{ m.}$$

- **Perdidas en el Inyector**

$$h(1) = HB' (1 - C_v^2).$$

Donde  $C_v$  es el coeficiente de Velocidad que para un Inyector cónico de  $13^\circ$  es de 0,95.

- $h(1) = 4,386930287 \text{ m}$

- **Altura Útil o altura después del Inyector (1). H1.**

$$H1 = 44,99415679 - 4,386930287$$

$$H1 = 40,60722651 \text{ m.}$$

- **Determinación de las dimensiones del inyector.**

Espesor del chorro

$$a = a' + a''$$

$$H_j = A_o / C.C$$

$$A_j = Q1 / V_j$$

Donde:

$$H_u = 40,60722651 \text{ m.}$$

$$A_j = \text{Área del chorro}$$

$$A_o = \text{Área de la tobera.}$$

$$C.C = 0,97 \text{ Coeficiente de contracción}$$

$$Q1 = 0,32 \text{ m}^3/\text{s.}$$

$$K_c = 0,967 \text{ Coeficiente de velocidad.}$$

$$V_j = (\sqrt{2g * H_u}) * K_c$$

$$V1 = 27,29465691$$

$$V_j = 27,29465691 \text{ m/s}$$

\* Área de admisión.

$$A_a = B \cdot P_z \cdot Z_a.$$

$Z_a$  es número de alabes en el  $\text{D}$  de admisión

$P_z$  es paso de los alabes

$$A_a = 42253,32404 \text{ mm}^2$$

$B$  el ancho del rodete.

\* Área de Admisión también es:

$$A_a = Q / C_{m1}.$$

$$C_{m1} = 1,229 \cdot K_c \cdot \sqrt{H_v}.$$

$$C_{m1} = 7,573210371$$

$$A_a = 42254,20718$$

\* Paso de alabes.

$$P_z = 3,141516 \cdot D / Z.$$

$$P_z = 39,93914008 \text{ mm}.$$

\* Longitud de admisión teniendo en cuenta el espesor del alabe ( $L_a$ ).

Para ángulo de admisión  $90^\circ$

$$L_a = \frac{\pi \cdot D}{z} \cdot Z_a + Z_a \cdot e$$

$$L_a = 3,141516 \cdot (D/Z) \cdot Z_a + Z_a \cdot e.$$

$$L_a = 298,2368974 \text{ mm}$$

\* Área de admisión será:  $A_a = L_a \cdot B$ .

$$A_a = 48600,98059 \text{ mm}.$$

\* Numero de alabes en el ángulo de admisión ( $Z_a$ ):

\* Coeficiente de alabes ( $X_z$ ):  $0,2164 < 0,35$

$$Z_a = X_z \cdot Z.$$



$$Z_a = 6,492$$

\* Espesor de cada alabe.

$$e = 6 \text{ mm}$$

\* Angulo de Admisión =  $\theta^\circ$ .

Luego el ángulo de admisión  $\theta_a$  será:

$$\theta_a = \frac{360^\circ}{\pi \cdot D} \cdot L_a$$

$$\theta_a^\circ = 114,5943551 \cdot L_a/D.$$

$$\theta_a^\circ = 89,60740671^\circ$$

- **Ancho del rodete.**  $\acute{O} = 16^\circ$

$$B = 0,259 \text{ (Q/Kc*DP*\sqrt{Hu} * Xz)}$$

$$B = 0,162960992 \text{ m.}$$

- **Angulo del inyector.**

$$\alpha_1 = 15^\circ \text{ a } 20^\circ.$$

- **Geometría del Alabe**

$$\text{Numero de alabes (Z)} = 30$$

$$\text{Paso alabes } (\check{Z}) = 360 / Z$$

$$\check{Z} = 12^\circ$$

$$\text{Seno } \check{Z} = 0,207911691$$

\* Ángulos Característicos.

$$\theta = \check{Y} + 30^\circ$$

$$\lambda = 90^\circ + \theta = 180^\circ - \check{Z} - \check{Y}$$

$$\check{Y} = 30^\circ - \check{Z}/2.$$

$$\check{Y} = 24$$

$$\theta = 54$$

$$\lambda = 150^\circ - \check{Z}/2$$

$$\lambda = 144$$

$$g = \check{Z} + 60^\circ.$$

$$g = 72$$

\* Ancho Radial Del Alabe (A).

$A = R - r$ , Donde

R = Radio exterior del Rodete.

r = Radio interior del rodete.

$$r = R * \text{seno } \check{Y} / \text{seno } \lambda$$

$$\text{Seno } \check{Y} = 0,406736643$$

$$\text{Seno } \lambda = 0,587785252$$

$$\text{Seno } \theta = 0,809016994$$

$$\text{Seno } g = 0,951056516$$

$$r = 131,9609118$$

$$A = 58,7390882$$

- **Cálculo de la velocidad de rodete**

$$N = \frac{60 * U}{3,1416 * DP}$$

$$U = 2,127 * Kc * \sqrt{Hv}$$

$$U = 13,10676848$$

$$N = 656,3370394 \text{ rpm}$$

- **Determinación de la relación de transmisión.**

$$N = 656,3370394 \text{ rpm}$$

Turbina.

Asumiendo un Generador de 1800 rpm.

$$r = \frac{1800}{656,3370394}$$

$$r = 2,742493402$$

- **Potencia Hidráulica por Inyector.**

$$P1 = 127,4742054 \text{ kW}$$

$$P2 = 0 \text{ kW}$$

$$P3 = 0 \text{ kW}$$

$$P_t = 127,4742054 \text{ kW}$$

- **Potencia en el Eje de la Turbina.**

$$P_{Eje} = P_t * 0.85$$

$$P_{Eje} = 106,4409615 \text{ kW}$$

- **Especificaciones técnicas de turbina:**

Diámetro exterior de rodete	381,4 mm
Diámetro Interior de rodete (curso Inter)	263,92 mm
Diámetro interior de rodete	251,724 mm
Cuerda del Alabe (Ap).	67,45 mm
Ancho radial del Alabe (A) mm	58,74 mm
Radio del Alabe (Ra) mm	57,38 mm
Eficiencia Hidráulica (Hn).	0,6
Diámetro del distribuidor	406,4 mm
Velocidad en el Distribuidor	2,47 mm
Espesor del chorro (a). calculo antes	82,53 mm
Ancho del rodete efectivo	0,162960992 m.

Espesor de discos de Rodete.	48 mm
Numero de discos de Rodete.	2
Ancho libre entre cada disco.	162,9609918 mm
Ancho de rodete real	258,9609918 mm
RPM de turbina	656,34 rpm.
Relación de transmisión	2,74
Tipo de Eje	Eje Horizontal.
Potencia en el Eje.	106,44 kW.
Altura bruta.	46,5 m
Altura Neta	45,11 m
Altura útil	40,61 m
Tipo de acople.	Por Fajas.
Longitud de tubería	77,5 m
RPM de motor como generador	1800 rpm
Caudal de diseño	320 l/s
Diámetro de tubería	15,00 pulgadas
Velocidad del agua en la tubería	2,81 m/s
Coeficiente de ingreso (K)	0,2164 (60° = 0,1443* 90° = 0,2164 , 120° = 0,2886 )
Angulo de admisión	90°
Numero de alabes totales	30
Numero de alabes en la Admisión	6,492
Coefi Xz) = Alabes admisión/totales	0,2164 < 0.35
Espesor de los Alabes	6 mm
Paso de los alabes (Za)	39,94 mm

Longitud de Admisión (La).	298,24 mm
Área de Admisión	48 600,98 mm <sup>2</sup>
Área de tubo de admisión	129 713,95 mm <sup>2</sup>

Por lo tanto la turbina y el generador tendrán las siguientes características:

### **Turbina**

Tipo	: MICHEL BANKI.
Altura bruta	: 46,50 m
Altura neta	: 45,11 m
Caudal de diseño.	: 380 l/s
Potencia Hidráulica.	: 150 kW
Potencia en el eje.	: 125 kW
VELOCIDAD DE TRABAJO	: 600 RPM.
Número de Inyectores	: 02
Número de Válvulas	: 01
Vida útil de los cojinetes	: 100 000 horas (8 años).
Forma de trabajo	: Horizontal
Forma de acople	: Poleas y fajas
Junta de montaje.	: Diámetro 16°
Sistema de Transmisión.	
Tipo de transmisión	: Por fajas
Tipo de fajas	: "V"
Sección	: 8 V
Código	: 8V1250
Diámetro de transmisión	: 584 mm
Relación de transmisión	: 1:3

Distancia entre centros : 1135 mm

### **Generador**

Tipo : Síncrono, trifásico, sin escobillas,  
con rectificadores rotativos, auto  
excitado.

Potencia aparente : 137.5 KVA.

Potencia en bornes : 110 kW.

Factor de potencia : 0.8

Velocidad de Trabajo : 1 800 RPM.

Velocidad de empalamiento : 3 600

Tensión de generación : 380/220 V.

Regulación de Tensión : +/- 10 %

Frecuencia : 60 Hz.

Clase de aislamiento : F

Grado de protección : IP23

Altitud de operación : 1 230 m.s.n.m.

Régimen de trabajo : Continuo

Forma de trabajo : Horizontal

### **Regulador Electrónico de Carga**

Tipo : Absorción.

Potencia : 100 KW.

Tensión : 380/220 V.

Carga Secundaria : 100 KW

Enfriamiento : Agua fluyente.

### Sistema de Transmisión

Tipo de transmisión	:	Por fajas
Tipo de fajas	:	"V"
Sección	:	8 V
Código	:	8V1250
Diámetro de transmisión	:	203 mm
Relación de transmisión	:	1:3
Distancia entre centros	:	1135 mm

### 3.5. Evaluación económica del proyecto

El presupuesto que involucra la repotenciación del proyecto asciende a **S/. 235169,27**

cuyo detalle lo presentamos en el **Anexo 1**, y el resumen lo apreciamos en la siguiente tabla:

**Tabla 21: Resumen del Presupuesto**

#### RESUMEN DEL PRESUPUESTO

**PROYECTO: REPOTENCIACIÓN DE LA MINI CENTRAL HIDROELÉCTRICA LA PLAYA**

UBICACIÓN: La Playa - distrito de Incahuasi - Provincia de Ferreñafe - Lambayeque

FECHA: 06 de Agosto 2018 ELABORADO POR:

ITEM	DESCRIPCION	PRECIO S/.
1.00	OBRAS CIVILES PARA 100 KW	28023,10
2.00	EQUIPO ELECTROMECANICO. POTENCIA = 100 KW	135450,00
	COSTOS DIRECTOS	163473,10
	Gastos Generales 7%	11443,12
	Utilidad 5%	8173,66
	SUB TOTAL	183089,87
	IGV 18%	32956,18
	PRESUPUESTO REFERENCIAL	216046,05
	Elaboración del Proeyecto	4000,00
	SUPERVISIÓN 7%	15123,22
	<b>TOTAL GENERAL (S/.)</b>	<b>235169,27</b>

Fuente: Elaboración Propia

Para calcular el costo de generar un kW-h, utilizamos la siguiente fórmula:

$$LCOE = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{i + Mt}{(1 + r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{E}{(1 + r)^t}}$$

Donde:

i = Inversión Inicial S/. 235169,27

E = Energía durante la vida del sistema (20 años): 3139611,02 kW-h

Mt = Costes de operación y mantenimiento: S/. 47033,85

r = Tasa de descuento: 0,12

Reemplazando en la fórmula obtenemos: **0,08988474 S./ kW-h** cuyo detalle lo presentamos en el **Anexo 2**.

Para realizar la evaluación económica hemos utilizado una tasa de interés de 12% y el período de evaluación se hizo a 20 años, obteniendo un **Valor Actual Neto (VAN) de S/. 283052,63** y una **Tasa Interna de Retorno (TIR) de 27%**, con lo cual se demuestra que el proyecto es viable económicamente, el detalle de los cálculos realizados lo presentamos en el **Anexo 3**.

### 3.6. Discusión de Resultados

Esta investigación tiene como propósito realizar el estudio para repotenciar la Mini Central Hidroeléctrica La Playa, la misma que actualmente tiene una potencia instalada de 50 kW, y existiendo 07 caseríos que se encuentran próximos al proyecto que no cuentan con el servicio de energía eléctrica.



Joel Díaz Saucedo y Daniel Gabriel Mavari, (2010) en el trabajo de investigación “La repotenciación de la micro central hidroeléctrica en Chiriconga”, mediante este estudio el autor sentó las bases principales para seguir desarrollando la electrificación rural en nuestro país. El análisis económico tiene como objetivo comparar ingresos y gastos para cada una de las posibles alternativas a fin de decidir cuál es la correcta. Lo cual se compatibiliza con la presente investigación en la cual se presenta una metodología que permite evaluar las condiciones que viene trabajando una mini central hidroeléctrica para luego realizar los cálculos necesarios con fines de repotenciarla.

Céspedes (2010), en la Tesis “Repotenciación de la pequeña central hidroeléctrica Algamara”, en esta investigación se realizó la prefactibilidad de la para el repotenciamiento de la C.H. Algamara. Aprovechando el caudal de los ríos Cañarís y Huacaday. Obteniendo la suma de US\$ 6, 356,192.846 como inversión inicial del proyecto, inversión que será superada al cierre del octavo año, con los indicadores económicos VAN (10%)=US\$181935.64; TIR: 10.4%, relación beneficio-costos de 1,25. Como podemos apreciar el monto de la inversión es superior al que requiere nuestro proyecto, pero en cuanto a los indicadores económicos los de nuestro proyecto son superiores a los de esta investigación.

**CAPITULO IV**  
**CONCLUSIONES Y**  
**RECOMENDACIONES**

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1. Conclusiones

- La Máxima Demanda y Energía requeridos por las 07 localidades aledañas a la Mini

Central Hidroeléctrica La Playa son:

En el año 01 son 55,433 kW y 121397 kW-h

En el año 10 es 69,915 kW y 153113 kW-h

En el año 20 es 90,823 kW y 198902 kW-h.

Por lo tanto el requerimiento de **Máxima Demanda en el año 20 es de 100 kW**, que es la potencia instalada que debe tener nuestra mini central

- El caudal disponible en el riachuelo Tungula es de  $0,9 \text{ m}^3/\text{s}$ , de este caudal, actualmente se están utilizando  $0,16 \text{ m}^3/\text{s}$  con una altura neta de 48 m para generar los 50 kW, **quedando disponible  $0,74 \text{ m}^3/\text{s}$** , ahora como se requieren suministrar un Potencia Eléctrica en el año 20 de 100 kW, para lo cual necesitamos duplicar el caudal, es decir el caudal de diseño para el rediseño de la Mini Central Hidroeléctrica La Playa será de  **$0,32 \text{ m}^3/\text{s}$**
- Actualmente la bocatoma lateral, canal de derivación y tubería de presión se encuentran en buenas condiciones por lo que será utilizados para la repotenciación de la mini central hidroeléctrica.
- Los componentes utilizados para la repotenciación de la mini central hidroeléctrica La Playa son:  
Tubería de PVC – CE 7.5 , diámetro de 250 mm  
Turbina Michel Banki, de 02 inyectores de 600 RPM, con potencia en el eje de 125 kW

Generador, Síncrono, trifásico, de 137,5 kVA de Potencia Aparente, con tensión de generación de 380/220 V.

Regulador Electrónico de Carga, tipo Absorción de 100 kW de potencia

En el caso de la compuerta, canal de derivación, tubería de presión y casa de máquinas se encuentra en buenas condiciones, por lo que se seguirán utilizando.

- El Presupuesto que involucra la repotenciación asciende a S/. 235169,27, siendo el costo de generar un kW-h: 0,08988474 S./ kW-h, y los indicadores productos de la evaluación económica a 20 años son VAN S/. S/. 283052,63 y la TIR de 27%, con lo cual se concluye que el proyecto es **VIABLE**.

#### **4.2. Recomendaciones**

- Para hacer el estudio más viable se recomienda que la misma población aporte de su mano de obra no calificada y materiales de la zona a fin de dar un resultado de costo menor al obtenido.
- Se recomienda supervisar en el momento de la construcción de las partes diseñadas, que todas las cotas estén exactas según los planos diseñados en el proyecto.
- Se recomienda llevar una inspección diariamente de los instrumentos de medición (voltímetro, amperímetro, frecuencímetro, etc.).

## Referencias

- (s.f.). *Energías renovables: las oportunidades de Argentina para generar bioenergía en origen*, págs. [http://inta.gob.ar/documentos/energias-renovables-las-oportunidades-de-argentina-para-generar-bioenergia-en-origen/at\\_multi\\_download/file/INTA%20-%20Energ%C3%ADas%20renovables%20las%20oportunidades%20de%20Argentina%20para%20generar%20bioenerg%C3%ADa%20en%20](http://inta.gob.ar/documentos/energias-renovables-las-oportunidades-de-argentina-para-generar-bioenergia-en-origen/at_multi_download/file/INTA%20-%20Energ%C3%ADas%20renovables%20las%20oportunidades%20de%20Argentina%20para%20generar%20bioenerg%C3%ADa%20en%20)
- Agüero, M. (27 de Abril de 2009). *Servicio Integrado de Información Arroceras*, págs. <http://www.conarroz.com/UserFiles/File/SIA27deabril09.pdf>.
- Alarcón, A. D. (22 de Junio de 2018). *Energía para el Futuro*. Obtenido de <https://blogs.iadb.org/energia/es/a-donde-va-el-sector-hidroelectrico-latinoamericano-y-cinco-aspectos-claves-para-su-futuro/>
- Alcaraz, M. (2011). *Repotenciación de Central Hidroeléctrica: Una Alternativa Para Aumentar La Capacidad De Generación De Energía Eléctrica*. Universidad Nacional Autónoma De México.
- Bateriasboch. (2013). *Baterias Boch de ciclo profundo*. Recuperado el 01 de MAYO de 2014, de <http://www.bateriasbosch.com/baterias-bosch-de-ciclo-profundo/>
- (2010). *Biomasa: Producción eléctrica y cogeneración*. Madrid: IDAE(Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía); BESEL,S.A.(Departamento de Energía).
- Calcina. (2010). <http://perusolar.org>. Recuperado el 2014, de [http://perusolar.org/17-spes-ponencias/03-ConversionFotovoltaica/ItusacaCalcinaRichardAbel/Itusaca\\_Calcina\\_Richard\\_Abel.pdf](http://perusolar.org/17-spes-ponencias/03-ConversionFotovoltaica/ItusacaCalcinaRichardAbel/Itusaca_Calcina_Richard_Abel.pdf)
- Calderon. (17 de julio de 2005). *Microcentrales Hidroeléctricas*. Obtenido de Microcentrales Hidroeléctricas.
- Canchaya Cortez, C. R., & Chero Valencia, L. E. (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 .
- Castro, A. (2006). Obtenido de <http://es.scribd.com/doc/225510090/4/Espana>
- Castro, A. (octubre de 2006). Obtenido de [http://dl.idae.es/Publicaciones/10374\\_Minicentrales\\_hidroelectricas\\_A2006.pdf](http://dl.idae.es/Publicaciones/10374_Minicentrales_hidroelectricas_A2006.pdf)
- Castro, A. (Octubre de 2006). *Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía*. Obtenido de [https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos\\_2.1.7\\_Minicentrales\\_hidroelectricas\\_125f6cd9.pdf](https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_2.1.7_Minicentrales_hidroelectricas_125f6cd9.pdf)
- Central Hidroeléctrica*. (19 de Abril de 2016). Obtenido de Central Hidroeléctrica: [https://es.wikipedia.org/wiki/Central\\_hidroel%C3%A9ctrica](https://es.wikipedia.org/wiki/Central_hidroel%C3%A9ctrica)
- Céspedes, W. J. (2010). *REPOTENCIACIÓN DE LA PEQUEÑA CENTRAL HIDROELÉCTRICA ALGAMARCA. PIURA -PERU*.

- Choi, C. H. (2013). *Diseño de un gasificador de 25 kw para aplicaciones domesticas usando como combustible la cascarilla de arroz*. lima.
- Cleanenergysolar. (2012). Energia Solar Renovable. *Cleanenergysolar*, 3.
- COIT. (20 de OCTUBRE de 2012). *CAIDAS DE TENSION*. Recuperado el 02 de MAYO de 2014, de <https://www.coit.es/>
- Correo, D. E. (2014). *TSOLAR*. Recuperado el 03 de MAYO de 2014, de <http://www.t-solartv.com/FTPTVmedios/TSOLARmayoreuropa.pdf>
- Davila, C., D, & Villanueva. (2010). *Manual para la evaluacion de la demanda, recursos hidricos, diseñoe instalacion de microcentrales hidroelectricas*. Obtenido de Manual para la evaluacion de la demanda, recursos hidricos, diseñoe instalacion de microcentrales hidroelectricas.: [www. soluciones practicas.org.pe](http://www.soluciones practicas.org.pe)
- Diaz Saucedo, D. (2010). Repotención De La Microcentral Hidroelectrica En Chiriconga.
- Diez Hernández, J. M., & Olmeda Sanz, S. (julio de 2008). DISEÑO ECO-HIDROLÓGICO DE PEQUEÑAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS: EVALUACIÓN. *Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal* , <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=147020257006>.
- Distribucion, S. d. (2012). *Sistemas de Distribucion*. Recuperado el 12 de Junio de 2014, de <http://sistema-de-distribucion-primario-secundario-y-alumbrado-publico.wikispaces.com/Distribuci%C3%B3n+Secundaria>
- Ecology.com. (2013). Hidroenergia en China. *Las formas mas usadas de las energias renovables*.
- ECONOMISTA, E. (15 de OCTUBRE de 2012). *EL ECONOMISTA*. Recuperado el 01 de MAYO de 2014, de EL ECONOMISTA: <http://eleconomista.com.mx/industrias/2012/10/15/inaugura-cfe-su-primer-campo-fotovoltaico>
- ECONOTECNIA. (AGOSTO de 2013). *PANELES SOLARES FOTOVOLTAICOS*. Obtenido de <http://econotecnia.com/radiacion-solar.html>
- Electrificacion rural. (2011). lima.
- Electro Industria. (2011). Central Hidroelectrica de Callarauco. *Aportando el establecimiento energetico y el desarroorro del sector agricola*.
- Elster. (2012). *www.Elster.com*. Recuperado el 12 de Junio de 2014, de <https://www.elster.com/search?q=medidores+electronicos+de+energia&source=lnms&tm=isch&sa=X&ei=Rw-fU7fXLc>
- Energynews. (2013). *Energynews*. Obtenido de <http://www.energynews.es/descubren-celula-solar-que-bate-el-record-en-captacion-de-energia/>
- Enesol. (2012). *TERMINOS FOTOVOLTAICOS*. Recuperado el 02 de MAYO de 2014, de <http://energia-solar.com.mx/glosario-de-terminos-fotovoltaicos/>

- Espinoza. (16 de marzo de 2012). *construir centrales hidroelectricas*. Obtenido de construir centrales hidroelectricas: <http://www.inforegion.pe/portada/131264/recomiendan-construir-centrales-hidroelectricas-en-los-andes/>
- Federico Coz, B. V. (1995). Manual de mini y microcentrales hidraulicas. En ITDG.
- FHIA. (2009). Obtenido de <http://es.scribd.com/doc/95599910/guia-microcentrales>
- Fronius. (2013). *Fronius*. Recuperado el 01 de MAYO de 2014, de [http://www.fronius.mx/cps/rde/xchg/SID-0053FFF3-21984E35/fronius\\_mexico/hs.xsl/6884\\_6930.htm#.U2ejhoF5Nn4](http://www.fronius.mx/cps/rde/xchg/SID-0053FFF3-21984E35/fronius_mexico/hs.xsl/6884_6930.htm#.U2ejhoF5Nn4)
- Funcosa. (2013). *Sistemas Fotovoltaicos*. Recuperado el 13 de Junio de 2014, de [https://www.funcosa.com.mx/sistemas\\_fotovoltaicos+aislados+y+interconectados](https://www.funcosa.com.mx/sistemas_fotovoltaicos+aislados+y+interconectados)
- García, k. (2012). *El Economista*. Recuperado el 5 de MAYO de 2014, de <http://eleconomista.com.mx/industrias/2012/10/15/inaugura-cfe-su-primer-campo-fotovoltaico>
- Ghadimi, A. (octubre de 2011). *Determining optimum location and capacity for micro hydropower plants in Lorestan province in Iran*. Obtenido de Determining optimum location and capacity for micro hydropower plants in Lorestan province in Iran.: <http://web.ebscohost.com/ehost/detail?vid=12&hid=105&sid=2c94b2dc-1ffb-4e56-bfd7-e9c82d2ad416%40sessionmgr115&bdata=Jmxhbm92ZXMmc2l0ZT1laG9zdC1saXZl#db=a9>
- HUARACHA, E. U. (2009). *DISEÑO Y FABRICACION DE UN QUEMADOR DE BIOMASA DE ALTA EFICIENCIA*.
- Informe de Investigación. (2013). *Evah*. Obtenido de <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAgkaoAD/informe-investigacion-michell-banki-modificado>
- Ing. Roberto Fromm (FHIA), I. J. (abril de 2009). *Guía Metodológica para el Establecimiento, de Micro Centrales Hidroeléctricas en Áreas Rurales*. Obtenido de Guía Metodológica para el Establecimiento, de Micro Centrales Hidroeléctricas en Áreas Rurales.: [www.fhia.org.hn](http://www.fhia.org.hn)
- Ingeniería. (2011). *Fieras de la Ingeniería*. Recuperado el 28 de ABRIL de 2014, de <http://www.fierasdelaingenieria.com/el-proyecto-de-energia-solar-fotovoltaica-mas-grande-de-alemania-neuhardenberg/>
- Ingeniería, E. y. (1995). *MINIHIDRÁULICA EN EL PAÍS VASCO*. Bilbao.
- ITDG, S. P. (18 de JUNIO de 2010). *Microcentrales hidroeléctricas*. Obtenido de Microcentrales hidroeléctricas: [www.solucionespracticas.org.pe](http://www.solucionespracticas.org.pe)
- Jaime Castellano, M. T. (s.f.). *CENTRALES ELÉCTRICAS MICROHIDRÁULICAS: APLICACIÓN EN UNA ZONA RURAL SUBDESARROLLADA*. Obtenido de CENTRALES ELÉCTRICAS MICROHIDRÁULICAS: APLICACIÓN EN UNA ZONA RURAL SUBDESARROLLADA.

(2010). *LA DESCOMPOSICIÓN TÉRMICA DE LA CASCARILLA DE ARROZ: UNA ALTERNATIVA PARA EL APROVECHAMIENTO INTEGRAL*. COLOMBIA.

Labrin, D. (2011). *DISEÑO DE UNA MINICENTRAL HIDROELECTRICA*. CHICLAYO.

Lainesinasolar. (2013). *Reguladores Pwm*. Recuperado el 01 de MAYO de 2014, de <http://www.lainesinasolar.com.ar/reguladoresPWM/reguladorespwm.htm>

MAMANI MÁLAGA, J. C. (2017). *Estudio y Diseño a Nivel de Perfil de una Central Hidroeléctrica en El Río Blanco, Distrito De San Gabán, Provincia de Carabaya, Departamento de Puno*. PUNO: UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO.

MARTINEZ GONZALES, A. H. (2012). *ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD DE UNA MINICENTRAL*.

Minem. (2011). *NORMAS*. Recuperado el 01 de MAYO de 2014, de [www.MINEM.com](http://www.MINEM.com)

muestra de PIP de SER declarados viables durante los ultimos 3 años, r. e. (2011). *snip*. En *snip, snip*.

Ojocientifico. (2013). *Ojocientifico*. <http://www.ojocientifico.com/2010/09/06/tipos-de-energias-renovables>. Obtenido de <http://www.ojocientifico.com/2010/09/06/tipos-de-energias-renovables>

OSINERG. (01 de MAYO de 2014). *OSINERG*. Recuperado el 01 de MAYO de 2014, de OSINERG: <http://www.osinerg.gob.pe/newweb/uploads/GFE/SupervisionContratos/sup6/61/CS%20Reparticion.pdf>

PALOMINO, B. W. (2005). *PLANTA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA USANDO CASCARILLA DE ARROZ COMO COMBUSTIBLE ZONA MOLINOS DE ARROZ CIUDAD CHICLAYO*. CHICLAYO.

*Pequeñas Centrales Hidroeléctricas*. (s.f.). Obtenido de [http://cef.uca.edu.sv/descargables/2011\\_12\\_cursoMAGMA/pequenas\\_centrales\\_hidroelectricas.pdf](http://cef.uca.edu.sv/descargables/2011_12_cursoMAGMA/pequenas_centrales_hidroelectricas.pdf)

PERCY, A. Q. (2014). *REDISEÑO DE LA MINI CENTRAL HIDROELECTRICA DEL DISTRITO DE SANTO DOMINGO DE LA CAPILLA - PROVINCIA DE CUTERVO - DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA*. CHICLAYO.

Proyectos, I. d. (2011). *Mppsolar*. Recuperado el 9 de Junio de 2014, de [www.mpptsolar.com](http://www.mpptsolar.com)

Psetizki, V. (11 de Noviembre de 2011). *Energía eléctrica con cáscara de arroz*, pág. [http://www.bbc.co.uk/mundo/ciencia\\_tecnologia/2009/11/091110\\_1500\\_cambio\\_clima\\_biomasa\\_wbm.shtml](http://www.bbc.co.uk/mundo/ciencia_tecnologia/2009/11/091110_1500_cambio_clima_biomasa_wbm.shtml).

Radiacion, S. (2012). *Radiacion Solar.Org*. Recuperado el 12 de Junio de 2014, de <http://radiacionsolarekolokitos.blogspot.com/2009/09/tipos-de-radiacion-solar.html>

Ramiro, o. f. (2001). *pequeñas centrales hidroelectricas*. Obtenido de *pequeñas centrales hidroelectricas*.



- Real academia española*. (2001). Obtenido de <http://www.rae.es/recursos/diccionarios/drae>
- Renovables, E. (2013). *Energías Renovables*. Recuperado el 3 de MAYO de 2014, de <http://www.energias-renovables.com/articulo/inauguran-la-primer-planta-fotovoltaica-con-seguimiento-20121014>
- Rodriguez Rojas, L. M. (2013). *Repotenciación de la pequeña central hidroeléctrica Algamarca*.
- Sánchez Pajuelo, F. A. (2002). *INVESTIGACIÓN EN MODELO HIDRÁULICO DEL SISTEMA DE DESCARGA DE LA HIDROELÉCTRICA DE MACHU PICCHU*. Piura: Pirhua.
- Sanchez, T., Escobar, R., Ramirez, S., Canedo, W., Alva, G., & Guzmán, Y. (2010). *Microcentrales Hidroeléctrica: Una alternativa para el desarrollo rural*. Lima: Soluciones practicas.
- SANTIANA ESPÍN, C. G. (2016). *ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA REPOTENCIACIÓN DE LA MINI CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE 2MW DE LA EMPRESA UCEM – CEM, PLANTA CHIMBORAZO*.
- Solar, E. (2011). *Energía Solar*. Recuperado el 11 de Junio de 2014, de <https://www.google.com.pe/search?q=modulos+fotovoltaicos+en+serie+y+paralelo&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ei=wWWeU82zM.html%3B364%3B214>
- TASCA, O. (2011). *Energía Solar Fotovoltaico*. Junin: Universidad Nacional del Callao.
- Tecnología, A. (2012). *Centrales Solares*. Recuperado el 12 de Junio de 2014, de <http://technology-alex.blogspot.com/2010/01/centrales-solares.html>
- Viani, b. (s.f.). *microcentrales hidroelectricas*. Obtenido de *microcentrales hidroelectricas*.
- VIGUERAS RODRÍGUEZ, A. (2015). *ESTUDIO DEL APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DE LOS PUNTOS DE REGULACIÓN DE PRESIÓN EN LA RED DE ABASTECIMIENTO A CARTAGENA*.
- VILLADA, D. Q., & GUTIERREZ, M. Y. (2010). *ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS PARA EL USO DE LA CASCARILLA DE ARROZ COMO COMBUSTIBLE*. SANTIAGO DE CALI.
- Zegarra Reátegui, J. -p. (28 de Octubre de 2011). *Perú comienza a generar energía eléctrica a partir de biomasa*, págs. [http://www.rpp.com.pe/2011-10-28-peru-comienza-a-generar-energia-electrica-a-partir-de-la-basura-noticia\\_417248.html](http://www.rpp.com.pe/2011-10-28-peru-comienza-a-generar-energia-electrica-a-partir-de-la-basura-noticia_417248.html).

# **ANEXOS**

## ANEXO 1: Presupuesto Detallado.

<b>PRESUPUESTO DE EQUIPO ELECTROMECAÁNICO</b>		
<b>PROYECTO: REPOTENCIACIÓN DE LA MINI CENTRAL HIDROELÉCTRICA LA PLAYA</b>		
UBICACIÓN: La Playa - distrito de Incahuasi - Provincia de Ferreñafe - Lambayeque		
FECHA: 06 de Agosto 2018 ELABORADO POR:		
ITEM	DESCRIPCION	PRECIO S/.
1.00	TURBINA TIPO MICHELL BANKI	33250,00
	Potencia en el eje = 100 KW. Q = 320 l/seg. Tipo Pelton Hb = 47.28 m. Numero de Inyectores = (03). Incluye todos los accesorios CARACATERISTICAS Y CONSTRUCCION. Según especificaciones técnicas del fabricante.	
2.00	GENERADOR	43750,00
	Potencia = 100 KW Factor de potencia = 0.8 Velocidad nominal = 1800 rpm. Altura de trabajo = 1,500 m.s.n.m. Frecuencia nominal = 60 HZ. Tensión Nominal = 380/220 vol. trifasico Incluye Chasis de Montaje y accesorios	
3.00	REGULADOR ELECTRONICO Y TABLERO GENERAL DE CONTROL Y MEDICIÓN	36750,00
	Debe contar con los siguientes instrumentos: Tarjetas electronicas de regulacion y control Instrumentos digitales para la lectura de todos los parametros Capacidad 100 KW Incluye cartga secundaria con enfriamiento con agua fluyente	
4.00	VALVULA GENERAL	5250,00
	Será del tipo compuerta de $\varnothing$ 10" Presión de trabajo 150 PSI Accionamiento Manual	
5.00	JUNTA DE MONTAJE	4200,00
	Del tipo deslizante Para desmontar y montar el equipo asi como para su dilatación, Para una presión de trabajo de 150 PSI	
6.00	CABLES DE POTENCIA (En casa de Fuerza)	8750,00
	Conductores entre generador y tablero Pozo de tierra de las Máquinas Cableado del tablero de 100 KW	
7.0	TRANSPORTE DE EQUIPO ELECTROMECAÁNICO	3500,00
	Incluye transporte de toda la maquinaria y el transporte del personal que realizará el montaje	
	<b>SUB TOTAL EN NUEVOS SOLES (S/.)</b>	<b>135450,00</b>

<b>PRESUPUESTO DE OBRAS CIVILES</b>		
<b>PROYECTO: REPOTENCIACIÓN DE LA MINI CENTRAL HIDROELÉCTRICA LA PLAYA</b>		
UBICACIÓN: La Playa - distrito de Incahuasi - Provincia de Ferreñafe - Lambayeque		
FECHA: 06 de Agosto 2018 ELABORADO POR:		
<b>ITEM</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>PRECIO S/.</b>
1.00	TRABAJOS PRELIMINARES	3392,70
2.00	DESARENADOR Y CAMARA DE CARGA	9092,30
	Estructura elemental, para un caudal de diseño de 100 l / seg. De concreto armado 210 kg/cm <sup>2</sup> . Con rejilla antes del ingreso a la tubería, según planos que se adjuntan	
3.00	TUBERIA DE PRESION	15538,10
	14 Tubos PVC Ø = 250 mm., CE 7.5 x 6 m. 06 Codos PVC Ø = 250 mm., CE 7.5 UF 02 Brida con Cabezal de Ø = 250 mm, UF, CE 7.5 02 Reducciones de 10" a 8" con unión flexible CE 7.5 36 Anillos de goma Ø = 250 mm., presión Longitud aproximada.= 77 m. Movimiento de tierras, materiales para apoyos y anclajes a cargo de los beneficiarios.	
	<b>SUB TOTAL EN NUEVOS SOLES (S/.)</b>	<b>28023,10</b>

<b>RESUMEN DEL PRESUPUESTO</b>		
<b>PROYECTO: REPOTENCIACIÓN DE LA MINI CENTRAL HIDROELÉCTRICA LA PLAYA</b>		
UBICACIÓN: La Playa - distrito de Incahuasi - Provincia de Ferreñafe - Lambayeque		
FECHA: 06 de Agosto 2018 ELABORADO POR:		
<b>ITEM</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>PRECIO S/.</b>
1.00	OBRAS CIVILES PARA 100 KW	28023,10
2.00	EQUIPO ELECTROMECHANICO. POTENCIA = 100 KW	135450,00
	COSTOS DIRECTOS	163473,10
	Gastos Generales 7%	11443,12
	Utilidad 5%	8173,66
	SUB TOTAL	183089,87
	IGV 18%	32956,18
	PRESUPUESTO REFERENCIAL	216046,05
	Elaboración del Proeyecto	4000,00
	SUPERVISIÓN 7%	15123,22
	<b>TOTAL GENERAL (S/.)</b>	<b>235169,27</b>

## ANEXO 2: Cálculo del costo teórico de generar energía eléctrica

AÑOS		$\sum_{t=1}^n \frac{i + Mt}{(1+r)^t}$	$\sum_{t=1}^n \frac{E}{(1+r)^t}$
1	i = Inversión Inicial	235169,27	251967,078
2	E = Energía durante la vida del sistema (20 años)	3139611,02	224970,605
3	Mt = Costes de operación y mantenimiento	47033,85	200866,612
4	r = Tasa de descuento	0,12	179345,189
5			160129,633
6			142972,887
7			127654,363
8			113977,11
9			101765,277
10			90861,8541
11			81126,6555
12			72434,5138
13			64673,6731
14	<b>Costo de la Energía Generada (S./kW-h)</b>	<b>0,08988474</b>	57744,3509
15			51557,4562
16			46033,443
17			41101,2884
18			36697,5789
19			32765,6955
20			29255,0853
			<b>2107900,35</b>
			<b>23451147,5</b>

$$LCOE = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{i + Mt}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{E}{(1+r)^t}}$$

### ANEXO 3: Evaluación Económica

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
Inversión Inicial	-235169,27																					
Gastos en Operación y Mantenimiento		-2351,69	-2351,69	-2351,69	-2351,69	-2351,69	-2351,69	-2351,69	-2351,69	-2351,69	-2351,69	-2351,69	-2351,69	-2351,69	-2351,69	-2351,69	-2351,69	-2351,69	-2351,69	-2351,69	-2351,69	-2351,69
<b>TOTAL EGRESOS</b>	<b>-235169,27</b>	<b>-2351,69</b>	<b>-2351,69</b>	<b>-2351,69</b>	<b>-2351,69</b>	<b>-2351,69</b>	<b>-2351,69</b>	<b>-2351,69</b>	<b>-2351,69</b>	<b>-2351,69</b>	<b>-2351,69</b>	<b>-2351,69</b>	<b>-2351,69</b>	<b>-2351,69</b>	<b>-2351,69</b>	<b>-2351,69</b>	<b>-2351,69</b>	<b>-2351,69</b>	<b>-2351,69</b>	<b>-2351,69</b>	<b>-2351,69</b>	<b>-2351,69</b>
Ingresos por ventas de energía (0,5 \$./kW-h)		60698,70	62290,67	63922,22	65594,55	67308,88	69066,49	70868,68	72716,80	74612,25	76556,44	78550,86	80597,02	82837,75	84992,13	89472,34	94334,05	91942,90	94334,05	96788,95	99450,76	
<b>TOTAL DE INGRESOS</b>		<b>60698,70</b>	<b>62290,67</b>	<b>63922,22</b>	<b>65594,55</b>	<b>67308,88</b>	<b>69066,49</b>	<b>70868,68</b>	<b>72716,80</b>	<b>74612,25</b>	<b>76556,44</b>	<b>78550,86</b>	<b>80597,02</b>	<b>82837,75</b>	<b>84992,13</b>	<b>89472,34</b>	<b>94334,05</b>	<b>91942,90</b>	<b>94334,05</b>	<b>96788,95</b>	<b>99450,76</b>	
<b>BENEFICIOS NETOS</b>	<b>-235169,27</b>	<b>58347,01</b>	<b>59938,98</b>	<b>61570,53</b>	<b>63242,85</b>	<b>64957,19</b>	<b>66714,79</b>	<b>68516,99</b>	<b>70365,11</b>	<b>72260,55</b>	<b>74204,75</b>	<b>76199,17</b>	<b>78245,33</b>	<b>80486,06</b>	<b>82640,44</b>	<b>87120,64</b>	<b>91982,36</b>	<b>89591,20</b>	<b>91982,36</b>	<b>94437,25</b>	<b>97099,07</b>	

<b>VAN</b>	<b>283052,63</b>
<b>TIR</b>	<b>27%</b>

PRECIO DE VENTA DE LA ENERGÍA

0,5 \$./kW-h

## **ANEXO 4: Planos.**