



**FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y  
URBANISMO  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA  
ELÉCTRICA**

**TESIS:**

**ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DEL  
REPOTENCIAMIENTO DE LA MINI CENTRAL  
HIDROELÉCTRICA DE OMIA DE 100 kW A 250 kW,  
UBICADO EN EL DISTRITO DE OMIA – PROVINCIA  
DE RODRÍGUEZ DE MENDOZA – DEPARTAMENTO  
DE AMAZONAS**

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO  
ELECTRICISTA**

**Autor(es):**

**Bach. Inoñan Ventura José Eleuterio  
Bach. Vargas Calderon José Micelino**

**Asesor:**

**MSC. Rojas Coronel Ángel Marcelo**

**Línea de Investigación:  
Generación de energía renovable**

**Pimentel – Perú**

**2018**

**ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DEL REPOTENCIAMIENTO DE  
LA MINI CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE OMIA DE 100 kW A 250  
kW, UBICADO EN EL DISTRITO DE OMIA – PROVINCIA DE  
RODRÍGUEZ DE MENDOZA – DEPARTAMENTO DE AMAZONAS**

**APROBACIÓN DE TESIS**

---

MSc. Jony Villalobos Cabrera

**Presidente de Jurado**

---

Ing. Héctor Antonio Oliden Núñez

**Secretario de Jurado**

---

MSc. Ángel Marcelo Rojas Coronel

**Vocal del Jurado**

## **DEDICATORIA**

Dedicado a mis padres Eleuterio y Lorena, por brindarme su gran apoyo incondicional y por esa confianza que me entregaron día a día, por incentivarme con su gran apoyo económico y así logrando que cumpla mis metas que siempre he anhelado.

A mis hermanos Vidal, Magaly y Roxana porque siempre estuvieron a mi lado apoyándome en esta bonita etapa de mi carrera profesional.

**José Eleuterio Inoñan Ventura**

La presente tesis se la dedico a mi familia que gracias a su apoyo pude concluir mi carrera.

Dedico de manera especial a mis hermanas Jessica, Rita y Mila por ser el principal cimiento para terminar mi carrera profesional,

A mis padres y hermanos que siempre me han ofrecido el amor y calidez de familia a la cual amo.

A mi madre que tanto amo, por hacer de mí una mejor persona a través de sus consejos, enseñanzas y amor.

**Jose Micelino Vargas Calderon**

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por regalarme estos lindos momentos de vida para así culminar mi carrera profesional que tanto he anhele.

A mis padres, hermanos y mis amigos que siempre conté con su apoyo y por su gran humildad que siempre me demostraron.

A mi compañero Jose Micelino y a mi asesor especialista que siempre nos brindó sus conocimientos y así permitiéndonos realizar nuestra tesis.

**José Eleuterio Inoñan Ventura**

Gracias a Dios por darme fuerzas para culminar mi carrera profesional, a mis padres y a toda mi familia por confiar en mí y apoyarme moralmente, permitiéndome cumplir con éxito el desarrollo de esta tesis. Gracias por creer en mí y poder disfrutar de la vida.

**Jose Micelino Vargas Calderon**

## ÍNDICE GENERAL

I.	PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	16
1.1.	Planteamiento del problema.....	16
1.1.1.	Situación Problemática .....	16
1.1.1.1.	A nivel internacional. ....	16
1.1.1.2.	A nivel nacional. ....	17
1.1.1.3.	A nivel local .....	19
1.1.2.	Formulación del problema .....	19
1.1.3.	Delimitación de la investigación.....	19
1.1.4.	Justificación e importancia.....	20
1.1.5.	Limitaciones de la investigación .....	21
1.1.6.	Objetivos.....	21
1.1.6.1.	Objetivo general .....	21
1.1.6.2.	Objetivos específicos.....	21
II.	MARCO TEÓRICO .....	23
2.1.	Antecedentes de la Investigación .....	23
2.2.	Estado del arte.....	27
2.3.	Bases teórico científicas .....	28
2.3.1.	Características de la energía hidroeléctrica.....	28
2.3.2.	Definición de pequeños aprovechamientos .....	29
2.3.3.	Tipos de mini centrales hidroeléctricas.....	30
2.3.3.1.	Según su régimen de flujo .....	31
2.3.3.2.	Según su altura de caída del agua .....	35
2.3.3.3.	Ventajas de las micro centrales hidroeléctricas. ....	36
2.3.3.4.	Inconvenientes de las micro centrales hidroeléctricas.....	36
2.3.4.	Diseño de un Aprovechamiento Hidroeléctrico .....	36
2.3.4.1.	Caudal .....	36
2.3.4.2.	Altura .....	46
2.4.	Generalidades sobre la potencia y energía eléctrica .....	55
2.5.	Partes de las micro centrales hidroeléctricas. ....	56
2.5.1.	Obras civiles. ....	56
2.6.	Definición de términos básicos .....	104
III.	MARCO METODOLÓGICO.....	108

3.1.	Tipo y diseño de investigación .....	108
3.1.1.	Tipo de investigación.....	108
3.1.2.	Diseño de la investigación.....	109
3.2.	Población y muestra,.....	109
3.2.1.	Población,.....	109
3.2.2.	Muestra .....	109
3.3.	Hipótesis .....	109
3.4.	Variables .....	109
3.4.1.	Variables independientes .....	109
3.4.2.	Variables dependientes.....	109
3.5.	Operacionalización.....	110
3.6.	Abordaje metodológico, técnicas e instrumentos de recolección de datos	111
3.7.	Procedimiento para la recolección de datos.....	112
3.8.	Análisis estadístico de datos .....	112
3.9.	Principios éticos .....	112
3.10.	Principios de rigor científico.....	112
IV.	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.....	114
4.1.	Resultados de las técnicas de recolección de datos .....	114
4.1.1.	Entrevista para saber el caudal del río de Omia, Provincia de Rodríguez de Mendoza, Departamento de Amazonas.....	114
4.1.2.	Medición del caudal .....	116
4.2.	Discusión de resultados .....	121
4.2.1.	Análisis de entrevistas para saber el caudal del río de Omia, Provincia de Rodríguez de Mendoza, Departamento de Amazonas .	121
4.2.1.	Análisis del control de caudales del río de Omia, Provincia de Rodríguez de Mendoza, Departamento de Amazonas en los 5 últimos meses	122
V.	PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN.....	124
5.1.	Repotenciamiento de la mini central hidroeléctrica de Omia.....	124
5.1.1	Reconocimiento de la zona y estudio preliminar .....	124
5.1.2.	Bocatoma.....	124
5.1.3.	Canal de aducción .....	131
5.1.4.	Desarenador .....	133
5.1.5.	Cámara de carga .....	137

5.1.6. Tubería de presión .....	139
5.2. Presupuesto y Evaluación Económica .....	151
5.2.1. Metrado y presupuesto .....	151
VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	164
6.1. Conclusiones.....	164
6.2. Recomendaciones.....	165
BIBLIOGRAFÍA .....	166

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 1: Central hidroeléctrica de tipo fluyente .....	32
Figura 2: Central de pie de presa .....	34
Figura 3: Medición de la profundidad del río .....	41
Figura 4: Medida del caudal usando un barril de capacidad conocido. ....	43
Figura 5: Método de la solución de sal.....	44
Figura 6: Método del vertedero. ....	45
Figura 7: De vertederos.....	46
Figura 8: 1 Método de nivel de la manguera. ....	48
Figura 9: Método del Manómetro. ....	49
Figura 10: Método del carpintero.....	50
Figura 11: Método del alfiler.....	51
Figura 12: Método del eclímetro y wincha. ....	52
Figura 13: Método del Ingeniero.....	53
Figura 14: Esquema de un salto de agua.....	54
Figura 15: Toma de agua. ....	57
Figura 16: Toma de agua con vertedero sumergido.....	58
Figura 17: Dimensiones principales de la rejilla. ....	59
Figura 18: Medidas principales de los barrotes. ....	59
Figura 19: Toma de agua y presa de una bocatoma lateral. ....	61
Figura 20: Vista del desripador.....	63
Figura 21: Curso del caudal por la compuerta.....	64
Figura 22: Longitud de la transición. ....	75
Figura 23: Cámara de presión.....	78
Figura 24: Pérdidas en la rejilla por fricción.....	80
Figura 25: Coeficiente de pérdidas en la entrada de la tubería. ....	81
Figura 26: Angulo en un codo. ....	82
Figura 27: Dimensiones de un apoyo.....	90
Figura 28: Tensiones de un apoyo. ....	92
Figura 29: Anclajes para variar pendiente horizontal y vertical. ....	93
Figura 30: Dimensiones para variar pendiente vertical en un anclaje. ....	94
Figura 31: Componente del peso del agua y el peso de la tubería. ....	94
Figura 32: Fuerzas sobre el anclaje. ....	96
Figura 33: Fig. Nº 2 Fuerza hidrostática en la junta de expansión. ....	97
Figura 34: Fuerza hidrostática en la junta de expansión. ....	99
Figura 35: Estabilidad del anclaje.....	101
Figura 36: Señal de la altura más alta del río Omia .....	114
Figura 37: Señal de la altura más baja del río Omia .....	115
Figura 38: Señal de la altura más constante del río Omia.....	115
Figura 39: Señal de la distribución del agua del río Omia .....	116
Figura 40: Dimensiones desde el punto A al punto B.....	117
Figura 41: Caudales en los 5 últimos meses del año 2016 .....	122
Figura 42: Dimensiones del canal trapezoidal.....	133
Figura 43: Longitud de la tubería de presión .....	139

<i>Figura 44:</i> Dimensiones de la tubería de presión .....	144
<i>Figura 45:</i> Límites de utilización de las turbinas según su altura .....	145
<i>Figura 46:</i> Gráfica de eficiencia y caudal .....	146

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Clasificación N° 01 MCH .....	30
Tabla 2: Clasificación N° 02 MCH .....	30
Tabla 3: Evaluación de recursos Hidro energético .....	42
Tabla 4: Método del ingeniero .....	53
Tabla 5: Coeficiente de e, dado en función a/H.....	65
Tabla 6: Límites de velocidad del agua en el canal.....	66
Tabla 7: Valores de n (coeficiente del tipo de material).....	70
Tabla 8: Velocidades de sedimentaciones de las partículas sólidas en suspensión de acuerdo con su tamaño, .....	72
Tabla 9: Coeficiente de pérdidas para codos de tubos circulares, .....	81
Tabla 10: Valores de k para calcular el coeficiente de pérdidas,.....	83
Tabla 11: Valores usuales de $\xi_v$ ,.....	83
Tabla 12: Coeficiente $\xi_{ram}$ para bifurcaciones de tubos circulares de cantos aristas de diámetros iguales x, .....	84
Tabla 13: Propiedades físicas de materiales para tuberías,.....	86
Tabla 14: Coeficiente de rozamiento .....	90
Tabla 15: Coeficiente de fricción entre el apoyo y el terreno,.....	91
Tabla 16: Tensiones de compresión, .....	93
Tabla 17: Coeficiente de rozamiento .....	101
Tabla 18: Tensiones de compresión .....	104
Tabla 19: Parámetros eléctricos de la MCH de Omia .....	108
Tabla 20: Operacionalización variables,.....	110
Tabla 21: Medición de los tiempos y la velocidad de recorrido de los puntos seleccionados,.....	118
Tabla 22; Profundidad del río Omia.....	119
Tabla 23: Área de la sección transversal de río Omia.....	120
Tabla 24: Caudales del río Omia.....	121
Tabla 25: Modelos caudales de avenidas .....	124
Tabla 26: Perfil de CREAGER,.....	125
Tabla 27: Coordenadas del azud según Creager.....	127
Tabla 28: Constante de capacidad.....	138
Tabla 29: Características de la turbina.....	147
Tabla 30: Características de la turbina.....	147
Tabla 30: Características del generador .....	148
Tabla 32: Características del Regulador y Tablero de Control .....	149
Tabla 33: Obras civiles de la mini central hidroeléctrica de Omia .....	151
Tabla 34: Equipamiento generación.....	154
Tabla 35: Resumen de metrado y presupuesto.....	160
Tabla 36: Costo teórico de generar energía eléctrica.....	161
Tabla 37: Calculo de TIR y VAN.....	162

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación se enmarcó en el análisis técnico económico del Repotenciamiento de la Mini Central Hidroeléctrica de Omia de 100 kW a 250 kW, ubicado en el Distrito de Omia – Provincia de Rodríguez de Mendoza – departamento de Amazonas, el cual se ha ido desarrollando mediante estudios de campo, bajo un esquema de sostenibilidad y operación adecuada.

El estudio hidrológico se realizó midiendo el caudal del río de Omia con el método del flotador, además se recalculó la bocatoma, desgravador, canal de conducción, desarenador, cámara de carga y la tubería forzada.

La potencia generada que se alcanza en la mini central hidroeléctrica es de 250 kW, los cuales serán vendidos al Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN).

**PALABRAS CLAVE:** Altura, caudal, generador eléctrico, mini central hidroeléctrica.

## **ABSTRACT**

This research is part of the economic technical analysis of re enhancement of the central mini hydro Omia 100 kW to 250 kW , located in the district of Omia - Province of Rodriguez de Mendoza - Amazonas department , which has I been developed through field studies , under a framework of sustainability and proper operation.

The hydrological study was carried out by measuring the flow of the Omia River with the float method. In addition, it was recalculated the bocatoma, desgravador, conduit, discharger, loading chamber and forced pipe.

The power generated in the mini hydroelectric plant is 250 kW, which will be sold to the National Interconnected Electrical System (SEIN).

**KEYWORDS:** Height, flow, electric generator, mini hydropower plant.

## INTRODUCCIÓN

Este presente proyecto de análisis técnico económico del Repotenciamiento de la Mini Central Hidroeléctrica de Omia de 100 kW a 250 kW, ubicado en el Distrito de Omia, Provincia de Rodríguez de Mendoza, Departamento de Amazonas, está basado en repotenciar y vender energía eléctrica al Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN).

Para lograr nuestra meta hemos realizado estudios en la cuenca del río para obtener el caudal en tiempo avenida y estiaje, la cual utilizamos un método del flotador que es un método sencillo y seguro.

Además hemos evaluado el potencial hidroenergético en la cuenca de estudio, estado actual de la mini central hidroeléctrica del distrito de Omia, calculamos los diversos elementos de la mini central hidroeléctrica del distrito de Omia por la cual nos guio a seleccionar el equipamiento adecuado para el repotenciamiento de la mini central hidroeléctrica del distrito de Omia y elaboramos los planos de la mini central hidroeléctrica del distrito de Omia.

La investigación consta de seis (06) Capítulos, en el cual se distribuyó de la de la siguiente manera:

CAPITULO I: “Problema de investigación”. Se explica la realidad problemática internacional, nacional y local de la investigación.

CAPITULO II: “Marco Teórico”. Se describen investigaciones más importantes sobre el problema de estudio.

CAPITULO III: “Marco Metodológico”. Se describen el tipo y diseño de investigación, variable, métodos de investigación

CAPITULO IV: “Análisis e Interpretación de los Resultados”. En esta parte se analiza el caudal de diseño de la central hidroeléctrica, la cual nos orientó a seleccionar las diversas partes de la central hidroeléctrica.

CAPITULO V: “Propuesta De Investigación”. En este capítulo realiza el costo del Repotenciamiento de la Central Hidroeléctrica de Omia.

CAPITULO VI: "Conclusiones y recomendaciones". Se redacta las conclusiones y recomendaciones de la investigación, al final las referencias bibliográficas y anexos.

Todo esto nos proporcionó un buen informe de tesis y así cumplimos con nuestro objetivo: "Analizar técnica y económicamente la repotenciación de la mini central hidroeléctrica de Omia de 100 kW a 250 kW".

# I

## PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

# **I. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

## **1.1. Planteamiento del problema**

### **1.1.1. Situación Problemática**

#### **1.1.1.1. A nivel internacional.**

##### **España**

En la actualidad España tiene un consolidado sistema de generación de energía hidroeléctrica y un sector tecnológicamente bueno en esta área. Esto se da porque existen importantes recursos hidrológicos y una larga tradición histórica en el desarrollo de aprovechamientos hidroeléctricos.

Aunque la evolución de la energía hidroeléctrica en España ha aumentado, en los últimos años ha experimentado una disminución en la aportación de esta energía a la producción total de electricidad. La energía hidroeléctrica generada en pequeñas centrales, por el contrario, sigue creciendo, aunque de manera muy moderada.

España cuenta con una larga y antigua tradición en creación de presas. Hasta el año 2000 se tienen inventariadas un total de 1.147 presas, con una capacidad total de los embalses de 55.000 Hm<sup>3</sup>. Aproximadamente un 40% de esa capacidad actual embalsable corresponde a embalses hidroeléctricos, que es una de las proporciones más altas de Europa y del mundo.

(Castro, 2006)

##### **Irán**

En Irán y otros países en desarrollo, la transmisión de energía eléctrica a las zonas remotas y de difícil acceso no es rentable y supone una gran cantidad de problemas debido a los costos de transmisión de alta y la oferta es insuficiente. Por lo tanto, el potencial hídrico local, parece una mejor alternativa para el suministro de electricidad.

Este trabajo es una investigación sobre todas las cuestiones relativas en la búsqueda de zonas adecuados para la Micro

Centrales Hidroeléctricas en zonas remotas de la provincia de Lorestán en Irán.

Por lo tanto, las cuencas, la red fluvial y la condición de electrificación rural en la provincia fueron estudiadas. Entonces, nos encontramos con una lista de lugares que se prestan mejor a sí mismos a la instalación de micro centrales hidroeléctricas, de acuerdo a los parámetros existentes.

(Ghadimi, 2011)

### **América**

En Honduras, la falta de servicios básicos en zonas rurales de este país, las poblaciones humanas necesitan de condiciones de vida confortable que garanticen el equilibrio sociedad - ambiente, provocando de esta manera una ascendencia e inequívoca presión sobre el uso de los recursos naturales con los que cuentan.

Estas comunidades rurales carecen de servicios básicos como el suministro de energía eléctrica, y según las condiciones geográficas estas zonas se encuentran en su mayoría en zonas aisladas y muy cerca de fuentes de agua.

Una alternativa buena para la protección esta demanda es el establecimiento de mini centrales hidroeléctricas, asegurándose como proyectos de bajo impacto ambiental a ser considerados como una estrategia de desarrollo, visto de una manera integral y orientado hacia la valorización, manejo y acceso al recurso hídrico y la gestión sostenible de los recursos naturales comprendidos en las micro cuencas, a fin de afianzar la provisión de los servicios que de estas se generan. (FHIA, 2009)

#### **1.1.1.2. A nivel nacional.**

Se dice que el antropólogo Oscar Espinosa de Rivero, docente de la facultad de Ciencias Sociales de la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP), nos subrayó que la producción de

micro centrales hidroeléctricas en lugares altas andinas son mucho mejores que en la Amazonía peruana debido a que “son más pequeñas y, por lo mismo, tienen menores impactos ambientales”.

En entrevista con INFOREGIÓN, Espinosa de Rivero nos contó que los amplios proyectos energéticos de la Amazonía contemplan la inundación de enormes extensiones de bosques, con la consiguiente pérdida de la biodiversidad de la zona, a diferencia de los micros centrales hidroeléctricas, que prácticamente no tendrán impacto ambiental. Pero los impactos se disminuyen no solo a nivel ambiental sino también a nivel social, según nos contó Espinoza de Rivero. Así, por ejemplo, no se produce ningún desplazamiento poblacional, dependiendo de la zona en donde se piense construir una mini central hidroeléctrica andina.

(Espinoza, 2012)

La energía eléctrica es un gran servicio básico fundamental para el desarrollo humano, sin embargo, en las zonas rurales muy pocas familias tienen este servicio. El acceso a través de la red nacional se hace cada vez más caro y dificultoso por el alejamiento de muchas de las poblaciones y el costo adicional que significa extender el tendido para satisfacer a lugares con baja densidad poblacional. Por otra parte, los grupos electrógenos diésel son un elemento contaminante y un constante gasto para estas poblaciones, muchas veces pobres, que viven en condiciones de extrema pobreza.

Las energías renovables como la solar, eólica e hidráulica a pequeña escala han demostrado ser perfectas para las condiciones de las poblaciones rurales, pues son un recurso natural local, y no requieren de una inversión para combustible.

(Sanchez, Escobar, Ramirez, Canedo, Alva, & Guzmán, 2010)

### **1.1.1.3. A nivel local**

En la provincia de Rodríguez de Mendoza, departamento de Amazonas, se tiene instalada tres mini centrales hidroeléctricas, una que se encuentra en el distrito de Limabamba, otra en el distrito de San Nicolás y la ultima en el distrito de Omia.

En el distrito de Omia, provincia de Rodríguez de Mendoza, en el departamento de Amazonas se tiene instalada una mini central hidroeléctrica, con una potencia instalada de 100 kW y un consumo de agua de 980 lt/s. Esta mini central entró en operación en agosto del 2006 y abastecía de energía eléctrica a 07 localidades. La Mini central estuvo operando hasta el mes de septiembre del 2012, cuando el distrito de Omia se conectó con el Sistema Eléctrico interconectado Nacional (SEIN), a partir de ese momento debido a su baja potencia instalada, no resultaba rentable seguir conectada, por la cual, se vio obligada a paralizarse hasta los días actuales.

La presente investigación planteo realizar un estudio técnico económico de Repotenciamiento de 100 kW a 250 kW de dicha Mini Central hidroeléctrica.

### **1.1.2. Formulación del problema**

¿Es factible técnica y económica el Repotenciamiento de la Mini Central Hidroeléctrica de Omia de 100 kW a 250 kW para generar energía eléctrica y conectarla al Sistema Eléctrico Interconectado Nacional?

### **1.1.3. Delimitación de la investigación**

La investigación se ha basado en el Repotenciamiento de la Mini Central Hidroeléctrica de Omia de 100 kW a 250 kW, ubicado en el Distrito de Omia – Provincia de Rodríguez de Mendoza – Departamento de Amazonas, basado en repotenciar y vender

energía eléctrica al Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN) a través de las Redes de Media Tensión de 22,9 kV de Electro Oriente.

Cabe mencionar que se ubica en el departamento de Amazonas, provincia Rodríguez de Mendoza, distrito de Omia, entre las coordenadas UTM 233000 y 238000 Este y entre 9283000 y 928700 Norte.

#### **1.1.4. Justificación e importancia**

Con el desarrollo del presente informe de tesis logramos obtener múltiples beneficios, los cuales mencionaremos a continuación distribuidos en los aspectos tecnológicos, económicos, sociales y ambientales.

##### **Aspecto Tecnológico**

Mejorar la calidad del servicio eléctrico, interconectando la Mini Central Hidroeléctrica de Omia al SEIN, ya que el distrito de Omia se encuentra en zona de frontera eléctrica.

##### **Aspecto Económico**

Con este proyecto se incrementó la potencia de la mini central hidroeléctrica, la cual conlleva al aumento de los ingresos por venta de energía siendo rentable la operación de la mini central hidroeléctrica de Omia.

##### **Aspecto social**

Requerimiento de mano de obra para la operación y mantenimiento de la mini central hidroeléctrica, la cual debería ser con personal de la zona, generando nuevos puestos de trabajo.

##### **Aspecto Ambiental**

Esta investigación es importante porque generará energía eléctrica con el uso de la energía hídrica renovable, evitando la contaminación ambiental.

### **1.1.5. Limitaciones de la investigación**

La investigación no presentó limitación alguna, porque la investigación se realizó con una buena información bibliográfica que existe en la actualidad, sobre el Repotenciamiento de una Mini Central Hidroeléctrica.

### **1.1.6. Objetivos**

#### **1.1.6.1. Objetivo general**

Analizar técnica y económicamente la repotenciación de la Mini Central Hidroeléctrica de Omia de 100 kW a 250 kW.

#### **1.1.6.2. Objetivos específicos**

- Evaluar el potencial Hidroenergético en la cuenca de estudio.
- Evaluar el estado actual de la Mini Central Hidroeléctrica del distrito de Omia.
- Calcular los diversos elementos de la mini central hidroeléctrica del distrito de Omia.
- Seleccionar el equipamiento adecuado para el Repotenciamiento de la Mini Central Hidroeléctrica del distrito de Omia.
- Realizar un análisis económico de la mini central hidroeléctrica del distrito de Omia.

## **II**

# **MARCO TEÓRICO**

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes de la Investigación

**Tesis: Rediseño de una Mini Central Hidroeléctrica del Distrito de Santo Domingo de la Capilla – Provincia de Cutervo – Departamento de Cajamarca**

El este informe de investigación comprendió las bases teóricas, científicas para el rediseño de la mini central hidroeléctrica del distrito de Santo Domingo de la Capilla – Provincia de Cutervo - Departamento de Cajamarca. Actualmente la mini central hidroeléctrica tiene una potencia instalada de 300 KW, abasteciendo de energía al distrito y 12 de sus caseríos, por lo que presenta un déficit de energía eléctrica, ya que ha sido diseñada con la finalidad de abastecer de energía al distrito de Santo Domingo de la Capilla, mas no a sus caseríos aledaños.

Se evaluó la necesidad energética del distrito de Santo Domingo de la Capilla y sus 22 caseríos aledaños, mediante el estudio de máxima demanda, de igual modo para el nuevo caudal requerido nos brindaron el caudal del año 2004 y para corroborar este registro se empleó el método del flotador.

Con el rediseño de la mini central hidroeléctrica se aumentará la potencia instalada de 300 kW a 500.407 kW permitiendo abastecer de energía eléctrica al distrito y caseríos aledaños en su totalidad, durante 20 años de proyección. (PERCY, 2014)

**Tesis: La repotenciación de la micro central hidroeléctrica en Chiriconga**

En esta Tesis se realizó una investigación de los aspectos técnicos y económicos del problema que es el potencial crecimiento de la demanda eléctrica y la oferta de energía eléctrica muy limitada en la provincia de Santa Cruz realizando el estudio de la máxima demanda eléctrica, opciones técnicas

(aprovechamiento del recurso hídrico), determinación del caudal, obras civiles ( bocatoma, canal de conducción, desarenador, cámara de carga, tubería de presión, casa de máquinas) y métodos de evaluación económica.

Se describen además las diferentes técnicas desarrolladas para la obtención de datos para la repotenciación de la mini central hidroeléctrica Chiriconga, como es el método de la regla de velocidad (flotador), que consiste en medir la velocidad superficial, usando un objeto flotante, en nuestro caso se utilizó hojas de la zona, para medir el tiempo que se toma en recorrer una longitud establecida del canal.

Los resultados son promediados y se obtiene la velocidad superficial del flujo de agua y utilización del GPS para obtención de datos: altura, distancia, latitud, altitud. Se presenta además a modo de anexo una serie de temas que hacen de la tesis una obra auto contenido y accesible a un amplio rango de personas.

La repotenciación de la micro central hidroeléctrica Chiriconga constituye una alternativa de solución al problema del suministro de energía en la región Cajamarca, mediante el incremento del caudal se aumentara la capacidad de la potencia de la micro central hidroeléctrica de Chiriconga, construyendo así 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.

(CÁMARA JOEL DIAZ SAUCEDO DANIEL GRABIEL MAVARI, 2010)

**Tesis: Repotenciación de centrales hidroeléctricas, una alternativa para aumentar la capacidad de generación de energía eléctrica.**

Por todo el mundo, una gran cantidad de centrales hidroeléctricas, en particular las más antiguas, están siendo repotenciadas. Los proyectos de repotenciación de centrales hidroeléctricas se han hecho un tema muy interesante para los países con tradición en la construcción de tales centrales, y es que la repotenciación de centrales generadoras existentes representa una clara oportunidad para aumentar la capacidad de generación de energía eléctrica sin la necesidad de instalar o construir nuevas centrales. Actualmente, La Comisión Federal de Electricidad (CFE) reporta que el potencial hidroeléctrico total nacional se estima en 53,000 MW, del cual se tienen identificados 541 sitios con un valor de 19,600 MW. Según datos proporcionados por la CFE, el potencial hidroeléctrico aprovechado actualmente para generación de electricidad asciende a los 9,121 MW en 77 centrales (el 42% tiene más de 30 años de operación) con una generación anual de poco más de 20,000 GWh al año. Para poder decidir un proyecto de repotenciación es necesario realizar un estudio de factibilidad donde se describan aspectos técnicos, económicos y medioambientales. En esta tesis se definen los criterios que deberán ser integrados en un proyecto de repotenciación y se expone también un estudio de caso relacionado al proyecto de repotenciación de un sistema hidroeléctrico a fin de incrementar y mejorar su potencia y eficiencia respectivamente: el Sistema Hidroeléctrico de Necaxa (SHN). (ALCARAZ, 2011)

### **Tesis: Repotenciación de la pequeña central hidroeléctrica Algamarca**

Este proyecto realiza un estudio de pre factibilidad de la repotenciación de la pequeña central hidroeléctrica (PCH) Algamarca. Para la cual se aprovecha el caudal excedente de los ríos Cañarís y Huacaday.

Los objetivos principales de la repotenciación son el de abastecer con energía eléctrica al proyecto minero aurífero San José de Algamarca y el de vender la energía excedente de generación al SEIN.

Para tal efecto, el estudio se ha desarrollado en base a la información hidrológica existente de la antigua central y al aforo realizando por cinco años en ambo ríos.

Para tal efecto, el estudio se ha desarrollado proporcionando una breve introducción teórica de la bibliografía especializada, para luego realizar la ingeniería básica de diseño de los componentes. Las partes principales que han diseñado son: bocatomas y sus barrajes, canales, desarenadores, cámara de carga, tubería de presión, casa de máquinas, equipo electromecánico, sub estaciones y líneas de interconexión.

Los principales parámetros del proyecto son: caudal de diseño  $2,6 \text{ m}^3/\text{s}$ , altura neta 304 m, tensión de generación 6.6 KV que se elevara a 60 KV, potencia instalada de 7.69 MVA con un factor de potencia de 0,9. La producción anual de energía se estima en 46.0723 GWh, de los cuales 27.4626 GWh será destinado al proyecto minero y 18.6074 GWh para su comercialización con el sistema interconectado.

El impacto de la central sobre el sistema interconectado nacional, más específicamente en el sistema eléctrico de Cajamarca, no dará mayor implicancia, por el contrario, permitirá satisfacer parte de la demanda de energía que necesitara a futuro del sistema eléctrico de Cajamarca.

La inversión inicial del proyecto es de US\$ 6, 356,192.846, 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.

Con los indicadores, la rentabilidad del proyecto está garantizada, sea que este, abastezca el proyecto minero, o se realice solo

como un proyecto de generación y toda su energía sea vendida al sistema interconectado.

Por tanto, el proyecto de repotenciación de la pequeña central Hidroeléctrica justifica su inversión y se perfila como un importante proyecto, generando desarrollo y puestos de trabajo en la zona.

(Céspedes, 2010)

## **2.2. Estado del arte**

### **Mini central hidroeléctrica**

En nuestra actualidad la Mini Central Hidroeléctrica (MCH) proporciona un gran avance tecnológico y científico, tanto en el Perú como a nivel mundial. El cual nos permite alcanzar altísimos niveles de eficiencia en la conversión de la energía hidráulica en energía mecánica.

Este paquete consta de los siguientes elementos:

#### **Construcción de canales de conducción usando el método de las cerchas.**

Este método es muy práctico y de una gran importante reducción del costo, la cual permite la construcción de canales de 5 cm y 7,5 cm de espesor sin ninguna dificultad. Permitiendo importantes ahorros en materiales.

Asimismo, el método usado es sencillo y permite el empleo de menos mano de obra que sus similares con encofrados.

#### **Diseño innovador de la bocatoma con barrajes móviles.**

Este método consiste en diseñar muros de encauzamiento, disminuyendo un aproximado de un 25 o 35% de materiales y mano de obra. Facilitando la limpieza del sedimento siendo más accesible para el poblador.

Uso de PVC en lugar de acero o fierro para la construcción de la tubería de presión.

Esta tecnología es muy buena ya que la reducción del costo radica en usar tubería de PVC de alta presión en lugar de tubería de fierro. En la actualidad el uso de PVC es la alternativa a los altos costos por metro lineal.

**La aplicación de Bombas (bombas rotodinámicas) reemplazando a las turbinas.**

Esta tecnología es muy aplicable las cuales hoy en día son muy comerciales y su costo de inversión es mucho menor a la de las turbinas. En caso de su mantenimiento y operación no son complejas.

**La aplicación de motores como generadores.**

La tecnología aplicable hoy en día en las MCH de motores como generadores tiene la finalidad de reducir costos, obteniendo mayor confiabilidad.

**Uso de reguladores de carga electrónicos, en lugar de los reguladores manuales u oleo hidráulicos tradicionales.**

Esto hace más sencillo el diseño de la turbina y reduce los costos de mantenimiento.

**Uso de fajas para el alternador.**

Ello sirve para adaptar una misma turbina estandarizada a diversas caídas útiles y potenciables.

(Calderon, 2005)

## **2.3. Bases teórico científicas**

### **2.3.1. Características de la energía hidroeléctrica**

La superficie terrestre está cubierta en un 71% de agua. La energía hidroeléctrica proviene indirectamente de la energía del sol, responsable del ciclo hidrológico natural. La radiación que procede de las fusiones nucleares que se producen en el sol calienta la superficie terrestre, ríos, lagos y océanos, la cual provoca la evaporación del agua. El aire caliente transporta el agua evaporada en forma de nubes y niebla a distintos puntos del

planeta, donde cae nuevamente en forma de lluvia y nieve. Una parte de la energía solar permanece almacenada en el agua de los ríos, los lagos y los glaciares.

Las centrales y mini centrales hidroeléctricas transforman esa energía en electricidad, aprovechando la diferencia de desnivel existente entre dos puntos. La energía se transforma primero en energía mecánica en la turbina hidráulica, ésta activa el generador, que transforma en un segundo paso la energía mecánica en energía eléctrica.

Aunque no hay consenso a nivel europeo respecto a la potencia máxima instalada que puede tener una central para ser calificada como mini central hidroeléctrica, aquí se considera como tal a las que no sobrepasen los 10 MW, que es el límite aceptado por la Comisión Europea, la UNIPEDE (Unión de Productores de Electricidad), y por lo menos seis de los países miembros de la Europa de los 15. Hay países, sin embargo, en los que el límite puede ser tan bajo como 1,5 MW, mientras que en otros como China o los países de América Latina, el límite llega a los 30 MW.

La potencia instalada no constituye el criterio básico para diferenciar una mini central de una central hidroeléctrica convencional. Una mini central no es una central convencional a escala reducida. Una turbina de unos cientos de kilovatios tiene un diseño completamente distinto del de otra de unos cientos de megavatios. Desde el punto de vista de obra civil, una mini central obedece a principios completamente distintos a las grandes centrales alimentadas por enormes embalses

### **2.3.2. Definición de pequeños aprovechamientos**

No existe consenso para definir la pequeña hidráulica. Los criterios empleados pueden variar de país a país, en nuestro caso los más usados de acuerdo a la potencia instalada son:

**Tabla 1:** Clasificación N° 01 MCH

Potencia (kW)	Tipo
0-50	Micro central
50-500	Mini central
500-5000	Pequeña central

**Nota:** kW = kilowatt

Fuente: (Jaime Castellano)

**Tabla 2:** Clasificación N° 02 MCH

Potencia (kW)	Tipo
Vatios hasta 1 kW	Nano
1 kW hasta 10 kW	Pico
10 kW hasta 50 kW	Micro
50 kW hasta 1000 kW	Mini
1 MW hasta 5 MW	Pequeñas

**Nota:** kW = kilowatt

Fuente: (pequeñas centrales, s.f.)

### **2.3.3. Tipos de mini centrales hidroeléctricas**

Las centrales hidroeléctricas, y dentro de ellas las mini centrales hidroeléctricas, están muy condicionadas por las peculiaridades y características que se encuentran el lugar donde van a ser ubicadas. Cuando se vaya a poner en funcionamiento 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:

### **2.3.3.1. Según su régimen de flujo**

#### **Centrales de agua fluyente**

Es el aprovechamiento en el que se atrae parte del agua del río mediante una toma, canales o conducciones se lleva hasta la central. Una vez ya producida la energía eléctrica el agua es revertida nuevamente al río.

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

Azud

Toma

Canal de derivación

Cámara de carga

Tubería forzada

Edificio central y equipamiento electro - mecánico

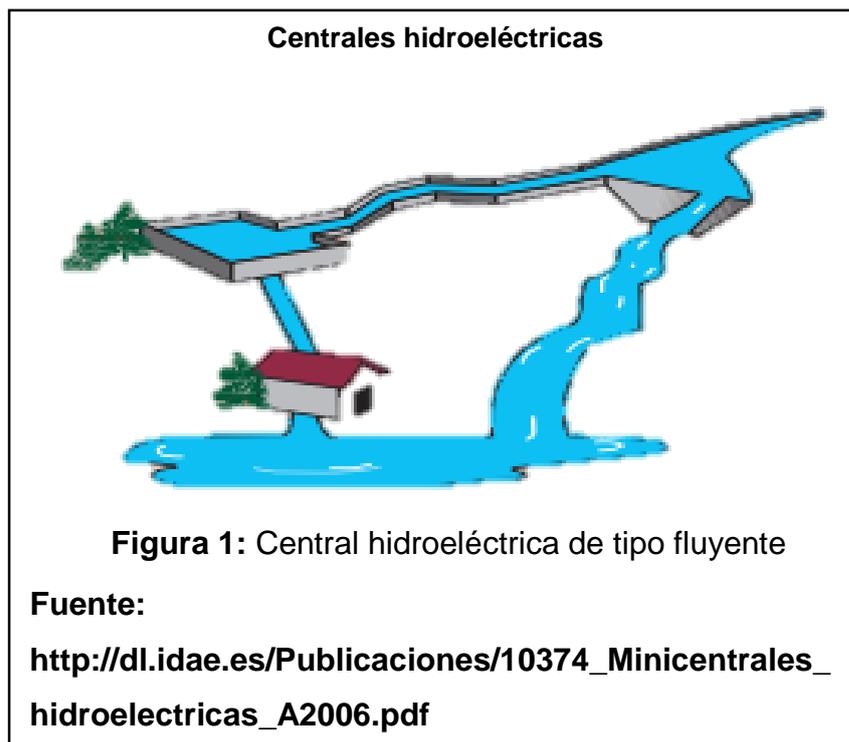
Canal de descarga

Subestación y línea eléctrica

Dentro de este grupo hay diferentes formas de realizar el proceso de producción de energía. La característica común a todas las centrales de agua fluyente es que dependen de la hidrología, ya que no tienen capacidad de regulación del caudal turbinado y éste es muy alterable. Estas centrales cuentan con un salto útil prácticamente constante y su potencia depende del caudal que pasa por el río. En algunos casos se construye una pequeña presa en la toma de agua para elevar el plano de ésta y facilitar su entrada al canal o tubería de derivación. El agua desviada se conduce hasta la cámara de carga, de donde sale la tubería forzada por la que pasa el agua para ser turbinada en el punto más bajo de la central. Para que las pérdidas de carga sean pequeñas y poder mantener la altura hidráulica, los conductos por los que fluye el agua desviada se construyen

con pequeña pendiente, provocando que la velocidad de circulación del agua sea baja, puesto que la pérdida de carga es proporcional al cuadrado de la velocidad. Esto implica que en algunos casos, dependiendo de la topografía, la mejor solución sea optar por construir un túnel, acortando el recorrido horizontal.

Otros casos que también se incluyen en este grupo, siempre que no exista regulación del caudal turbinado, son las centrales que se sitúan en el curso de un río en el que se ha ganado altura mediante la construcción de una azud, sin necesidad de canal de derivación, cámara de carga ni tubería forzada.



### **Centrales de pie de presa**

Es aquel aprovechamiento en el que existe la posibilidad de construir un embalse en el cauce del río para almacenar las aportaciones de éste, además del agua procedente de

las lluvias y del deshielo. La característica principal de este tipo de instalaciones es que cuentan con la capacidad de regulación de los caudales de salida del agua, que será turbinada en los momentos que se precise. Esta capacidad de controlar el volumen de producción se emplea en general para pro- Central hidroeléctrica proporcionando energía durante las horas punta de consumo. De pie de presa la toma de agua de la central se encuentra en la denominada zona útil, que contiene el total de agua que puede ser turbinada. Debajo de la toma se sitúa la denominada zona muerta, que simplemente almacena agua no útil para turbinar. Según la capacidad de agua que tenga la zona útil la regulación puede ser horaria, diaria o semanal. En las mini centrales hidroeléctricas el volumen de almacenado suele ser pequeño, permitiendo por ejemplo producir energía eléctrica un número de horas durante el día, y llenándose el embalse durante la noche. Si la regulación es semanal, se garantiza la producción de electricidad durante el fin de semana, llenándose de nuevo el embalse durante el resto de la semana.

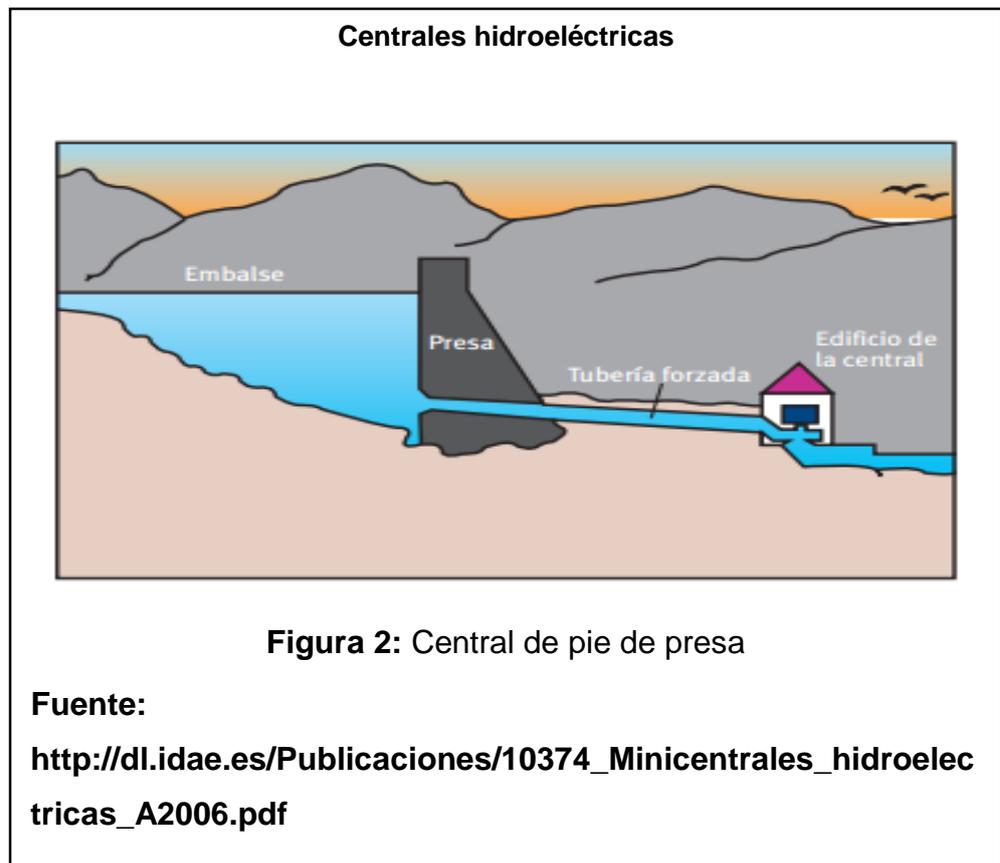
También se incluyen en este grupo aquellas centrales situadas en embalses destinados a otros usos, como riego o abastecimiento de agua en poblaciones. Dependiendo de los fines para los que fue creada la presa, se turbinan los caudales excedentes, los caudales desembalsados para riego o abastecimientos, e incluso los caudales ecológicos. Las obras e instalaciones necesarias para construir una mini central al pie de una presa que ya existe son:

Adaptación o construcción de las conducciones de la presa a la mini central.

Toma de agua con compuerta y reja.

Tubería forzada hasta la central.

Edificio central y equipamiento electro - mecánico.  
Subestación y línea eléctrica.



### **Centrales en canal de riego o de abastecimiento**

Se aprecian dos tipos de centrales dentro de este grupo:

Aquellas que utilizan el desnivel existente en el propio canal. Mediante la instalación de una tubería forzada, paralela a la vía rápida del canal de riego, se conduce el agua hasta la central, devolviéndola posteriormente a su curso normal en canal.

Aquellas que aprovechan el desnivel existente entre el canal y el curso de un río cercano.

La central en este caso se instala cercana al río y se turbinan las aguas excedentes en el canal.

Las obras que hay que realizar en estos tipos de centrales son las siguientes:

Toma en el canal, con un aliviadero que habitualmente es en forma de pico de pato para aumentar así la longitud del aliviadero.

Tubería forzada.

Edificio de la central con el equipamiento electro - mecánico.

Obra de incorporación al canal o al río, dependiendo del tipo de aprovechamiento.

Subestación y línea eléctrica.

### **2.3.3.2. Según su altura de caída del agua**

#### **Centrales de alta presión**

Que corresponden con el high head, y que son las centrales de más de 200 m de desnivel, por lo que solían equiparse con turbinas Pelton.

#### **Centrales de media presión**

Son aquellas centrales con un desnivel de 20 a 200 m, la cual domina el uso de turbinas Francis, o también se pueden usar turbinas Kaplan.

#### **Centrales de baja presión**

Que corresponden con el low head, son centrales con desniveles de agua de menos de 20 m; la cual utilizan turbinas Kaplan.

#### **Centrales de muy baja presión**

Son centrales que están equipadas con nuevas tecnologías, la cual, a partir de un cierto desnivel, las turbinas Kaplan no son aptas para generar energía. Serían en inglés las very low head, y suelen situarse por debajo de los 4 m. (Central hidroeléctrica, 2016)

### **2.3.3.3. Ventajas de las micro centrales hidroeléctricas.**

Fuente limpia y renovable de energía.

Recurso ampliamente disponible en muchas zonas rurales.

Bajos costos de operación y larga vida útil.

Generación de energía generalmente continúa.

Son Micro Centrales eficientes (75%-90%).

Se pueden combinar con sistemas de riego.

Permiten el desarrollo productivo y económico de la comunidad rural.

### **2.3.3.4. Inconvenientes de las micro centrales hidroeléctricas.**

Están condicionadas por las condiciones topográficas e hidrológicas del lugar, dado que las transmisiones a largas distancias se ven limitadas por el costo.

La potencia del suministro está condicionada por el recurso natural existente. Esto nos conlleva a una difícil posibilidad de extender el suministro en caso de producirse una demanda mayor.

Es posible que según la temporada varíe el nivel del caudal, por lo tanto, es recomendable realizar un gran estudio hidrológico para así poder evitar posibles problemas posteriores.

## **2.3.4. Diseño de un Aprovechamiento Hidroeléctrico**

### **2.3.4.1. Caudal**

Caudal es la cantidad de fluido que fluye a través de una sección del ducto (tubería, cañería, oleoducto, río, canal,...) por unidad de tiempo. Normalmente se le llama el flujo volumétrico o volumen que pasa por un área dada en la unidad de tiempo.

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

### **Ecuación 1: Ecuación del Caudal**

$$Q = V \times S$$

Dónde:

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

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

$$S = \text{Seccion de la tuberia} (m^2)$$

### **Estimaciones del caudal de agua**

En consecuencia 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, por lo tanto nos veremos forzados a recolectar datos propios a partir de mediciones instantáneas del caudal. Lo ideal es hacer mediciones a diario, aunque también se usan mediciones semanales y mensuales.

Los métodos que más frecuentemente se usan para la medición de caudal son:

### **Método del flotador**

Con este método se miden caudales de pequeños a grandes con mediana exactitud. Conviene utilizarlo más en arroyos de agua tranquila y durante períodos de buen tiempo, porque si hay bastante viento y se altera la

superficie del agua, el flotador puede no fluir a la velocidad normal.

El método del flotador se utiliza cuando no logramos obtener equipos de medición y poder utilizarlo se debe conocer el área de la sección y la velocidad del agua. Para medir la velocidad se utiliza un flotador la cual se mide la velocidad del agua de la superficie, pudiendo utilizarse como flotador cualquier cuerpo pequeño que flote como: un corcho, un pedacito de madera, checos. Este método se emplea en los siguientes casos:

Por la falta de un correntómetro.

Excesiva velocidad del agua, la cual impide el uso del correntómetro.

Presencia de cuerpos extraños en el trayecto del agua, la cual dificulta el uso del correntómetro (algas, ramas, bloques de hielo, etc.)

Cuando se ve en riesgo la integridad física de la persona que realiza el trabajo.

Peligra la integridad del correntómetro.

En este método, se utilizan los valores promedio de las variables determinadas.

Para realizar nuestro trabajo 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 cronómetro.

Cinta medidora.

Una regla o tabla de madera graduada.

**Primer paso:**

**Seleccionar el espacio adecuado**

Escogeremos del río un tramo uniforme, sin piedras grandes, ni troncos de arbustos, en el que el agua circule libremente, sin turbulencias, ni impedimentos.

### **Cálculo del tiempo promedio en segundos (tp)**

Para poder calcular el tiempo que demoran los flotadores en llegar del punto A hasta B, se requiere del cronómetro, calculadora y formato de medida del caudal.

Se deben ingresar como mínimo 1 flotador hacia el margen derecho, 1 en el centro y 1 en el margen izquierdo de la sección del río. La cantidad de flotadores que se utilice para el aforo se realice en un tiempo tal que no se produzcan variaciones superiores a 1 cm entre el nivel de agua al inicio y al final del aforo.

Se insertará cada uno de los flotadores (f), antes de pasar por el punto A con la finalidad de que cada flotador tenga una velocidad constante y se establezca su trayectoria.

El tiempo promedio es igual, a la suma del tiempo que se demora cada flotador, y se divide entre el número de los flotadores, en esta ocasión se divide entre 3.

### **Ecuación 2: Fórmula para medir el tiempo promedio**

$$t_p = \frac{t_{f1} + t_{f2} + t_{f3}}{3}$$

$t_p$  = tiempo promedio

$t_f$  = tiempo de los flotadores

Es importante medir los tiempos con la mayor precisión posible.

Durante el mes se realizará un total de 4 aforos, es decir 1 aforos como mínimo por semana.

Cuando se observa vientos fuertes no realizar el aforo para que los flotadores no desvíen su trayectoria.

### **Segundo paso:**

#### **Medición de la velocidad**

En la sección seleccionada 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 posiciona en el punto A con el flotador y otra en el punto B con el 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:

#### **Ecuación 3: Ecuación de la velocidad**

$$Velocidad = \frac{Distancia(AaB)}{tiempo\ de\ recorrido}$$

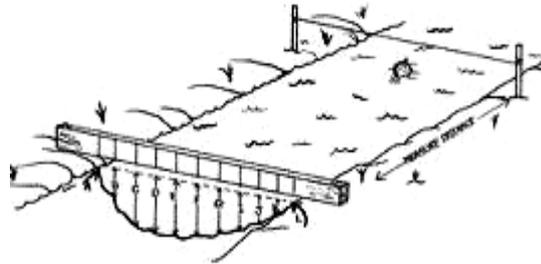
### **Tercer paso:**

#### **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.

### Método del flotador



*Figura 3:* Medición de la profundidad del río

### Ecuación 4: Profundidad promedio

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

El área de la sección transversal AT del río se calcula con base en la siguiente ecuación:

### Ecuación 5: Ecuación del área transversal

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

Para este método del caudal se aplica la siguiente ecuación:

### Ecuación 6: Caudal método del flotador

$$Q = AxVxK$$

Dónde:

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

$$A = \text{Area promedio del a seccion tranversal del rio}(m^2).$$

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

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

**Tabla 3:** Evaluación de recursos Hidro energético

TIPO DE RIO O CANAL	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
Rio 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

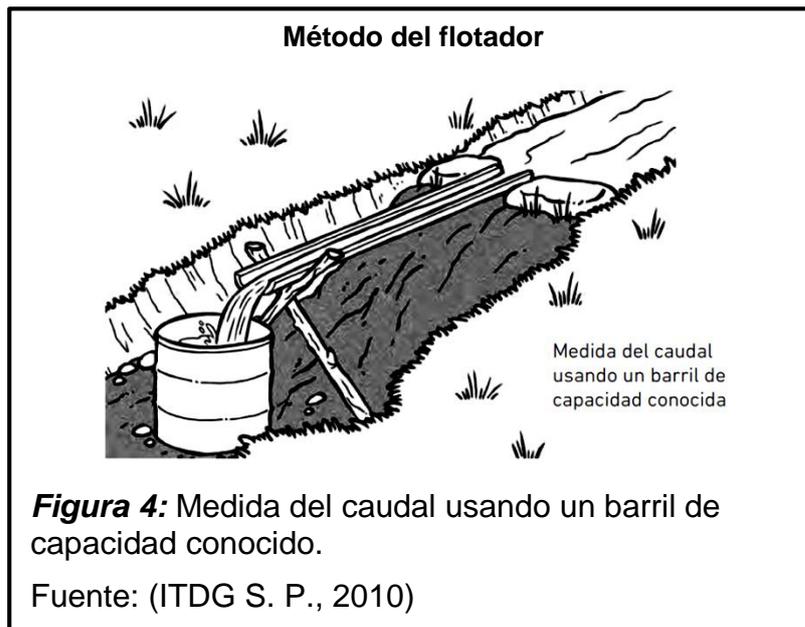
*Nota:* K = Factor de corrección de la velocidad.

Fuente: (ITDG S. P., 2010)

### **Método del recipiente**

Este método nos permite medir pequeños caudales de agua, como son los que escurren en surcos de riego o pequeñas acequias. Para ello es necesario contar con un depósito (baldón) de volumen conocido en el cual se recolecta el agua, anotando el tiempo que demora en llenarse.

Esta operación puede repetirse 2 o 3 veces y se promedia, con el fin de asegurar una buena exactitud.



### Ecuación 7: Método del recipiente

$$Q = V/t$$

$Q =$  Caudal ( $m^3/s$ ) – (lt/s).

$T =$  Tiempo que demora en llenar el agua. (s).

$V =$  Volumen del recipiente (lt).

### Método de la solución de la sal

Especialmente este método está en el cambio de la conductividad del agua, se desarrolla cuando se le inserta una solución de sal. Se recomienda utilizar un aproximado de 100 gramos de sal por cada  $0,10 m^3/s$ .

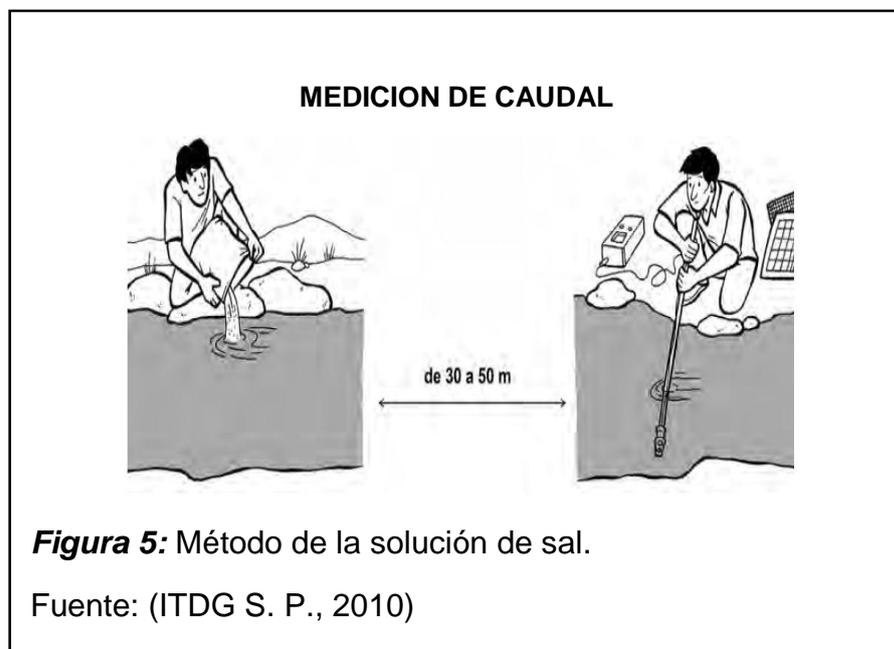
Medir la temperatura y registrarla, escoger un tramo del canal donde haya una velocidad más o menos uniforme. Evitar los remansos porque estos retardan el paso de la “nube” de sal afectando las medidas.

Una persona disolverá una solución de una primera bolsita de sal en un balde de unos 10 a 12 litros de capacidad y lo llenara con agua hasta no más de % de su capacidad.

Coloque un medidor de conductividad y un reloj con precisión de segundos y prepare su registro para tomar decisiones.

Ordene la aplicación de la solución y observe el medidor hasta que empiece a elevarse la conductividad.

Registre los valores de la conductividad cada 5 segundos.



#### **Ecuación 8: Método de la solución de sal.**

$$Q = K(M/A)$$

Q = Caudal (lt/s).

M = masa de sal (miligramos).

A = Área promedio de la sección transversal del canal (m<sup>2</sup>).

K = Factor de corrección [ $\mu$ S/ (mg/litro)].

### **Método del vertedero**

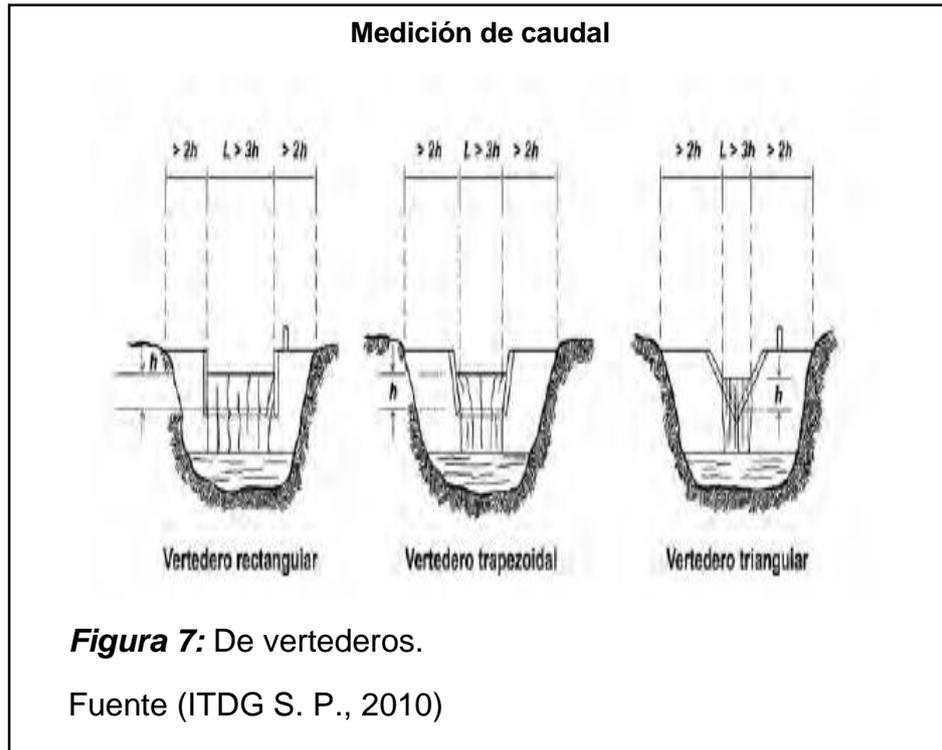
Los vertedores son estructuras que se colocan opuestos a la corriente que se va a medir para crear una obstrucción parecida a una pequeña presa y hacer pasar toda el agua por la cresta de dimensiones preestablecidas, de manera que con una sola medición del espesor de la corriente sobre la cresta es posible estimar el caudal. La precisión del aforo depende del cuidado en instalar el vertedor y de hacer pasar toda el agua de la quebrada por el mismo.

Los tipos de vertedores más conocidos son los rectangulares, trapezoidales o Cipoletti y los triangulares a  $90^\circ$  también conocidas como de escotadura en V.

Estos últimos son los más comunes y pueden medir pequeños caudales con mayor precisión que un vertedor rectangular.

Por otra parte, con estructuras rectangulares se pueden aforar corrientes de mayor caudal. El tipo Cipoletti también es utilizado porque sus paredes verticales en forma de trapecio inclinados hacia afuera en relación vertical a horizontal simplifican la formula y elimina el factor de corrección requerido en las mediciones con vertedor rectangular.





**Ecuación 9: Calculo del caudal de los tipos de vertederos**

$$Q = 1.8(L - 0.2h)h^{1.5} \quad Q = 1.9Lh^{1.5} \quad Q = 1.4h^{2.5}$$

**2.3.4.2. Altura**

(Davila, D, & Villanueva, 2010)

Los mapas con curvas de nivel sirven para hacer una primera estimación del salto disponible y pueden utilizarse para estudios de pre factibilidad de micro centrales hidráulicas (MCH). En los estudios de factibilidad y en los definitivos es necesario realizar mediciones en el lugar, a fin de obtener una mayor precisión. Por lo general, se requiere precisiones de 3 % o más, puesto que la caída o salto es un parámetro importante en el diseño del proyecto. Es recomendable realizar tres mediciones y analizar los resultados en el lugar con el propósito de corregirlos u obtener nuevas medidas en caso fuera.

**Los métodos de medición de la altura más utilizados son:**

**Método medición de la manguera de nivelación**

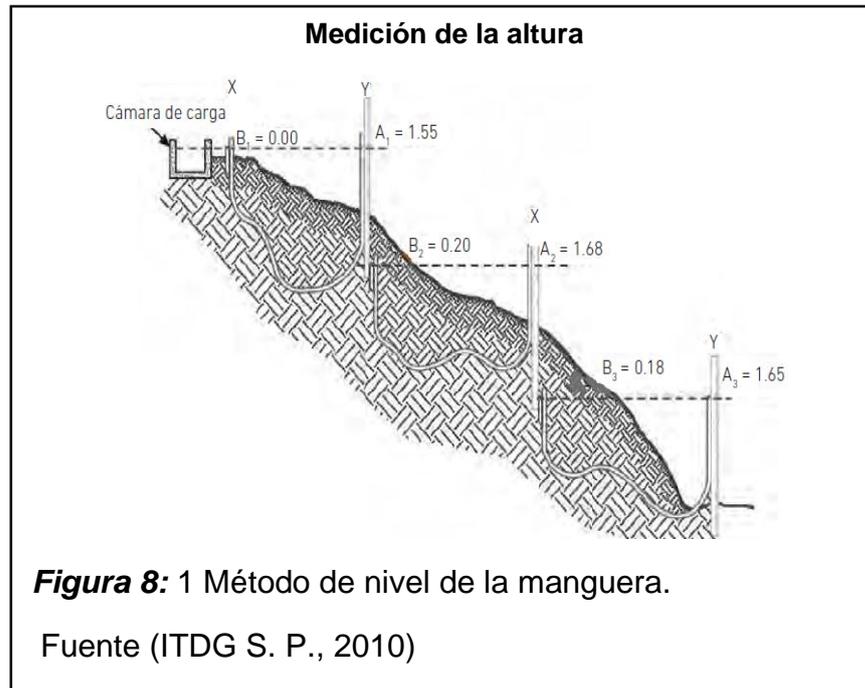
Este método se basa en el principio de los vasos comunicantes y es recomendado especialmente para lugares con pequeñas alturas, es económico, razonablemente preciso y poco propenso a errores.

Para medir la caída vertical la manguera se debe llenar 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.



**Ecuación 10: Método medición de la manguera de nivelación**

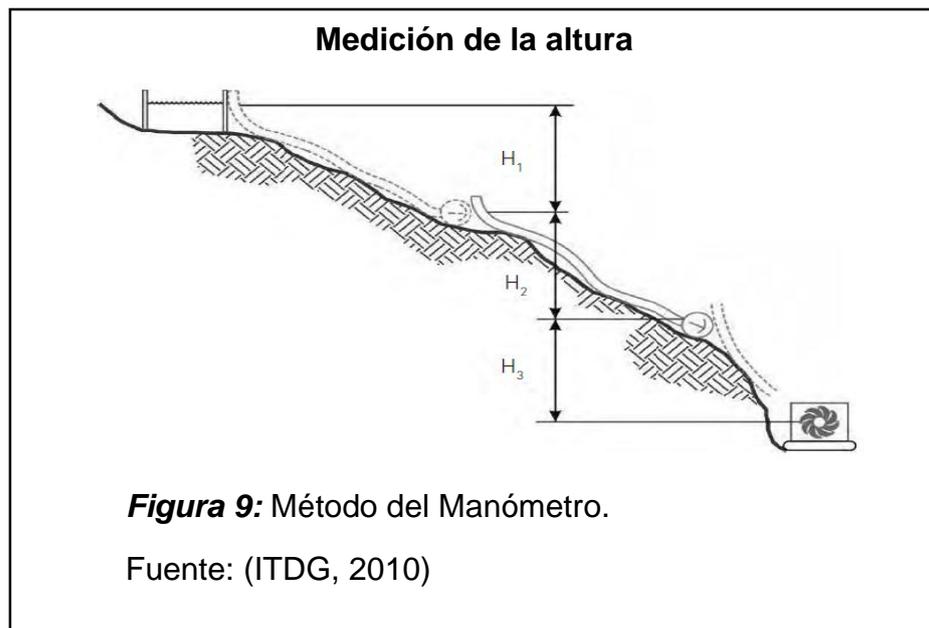
$$YT = Y_1 + Y_2 + Y_3$$

YT = Altura Total.

$Y_1 + Y_2 + Y_3$  = alturas tomadas.

**Método de la manguera y manómetro**

Este es probablemente el mejor de los métodos simples disponibles, pero tiene sus riesgos. Los dos posibles errores son la mala calibración del manómetro y la presencia de burbujas en la manguera. Para evitar el primer error se deberá calibrar el medidor antes y después de cada prueba en el lugar. Para evitar lo segundo deberá utilizarse una manguera de plástico transparente que permita ver si existen burbujas a eliminar. Este método puede ser usado tanto en caídas altas como bajas, pero necesitará manómetros con diferente escala.



**Ecuación 11: Método del manómetro**

$$h(m) = P(kPa)/9.8$$

**Ecuación 12: Método del manómetro**

$$h(m) = P(PSI) * 0.7045$$

P = Presión medida en el manómetro. (Bar)

h = alturas. (m)

H = altura total. (m)

Una vez obtenidas las alturas parciales, se suman para obtener el total.

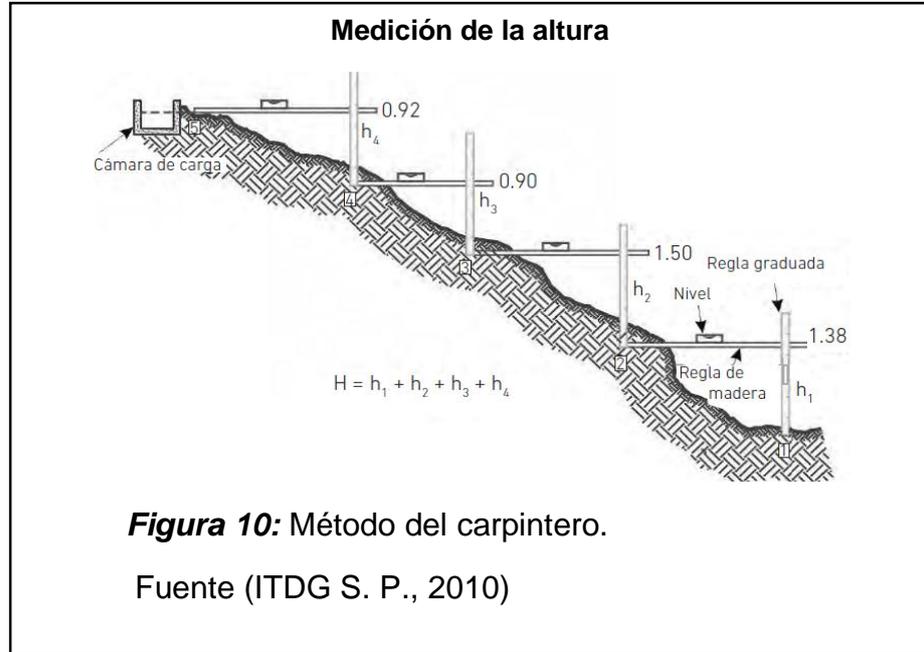
**Ecuación 13: Método del manómetro altura total**

$$H = h_1 + h_2 + h_m$$

**Método del nivel de carpintero y reglas.**

En principio este método es idéntico al de la manguera de nivelación. La diferencia es que la horizontalidad es establecida no por niveles de agua, si no por un nivel de carpintero (o de burbuja), colocado en una tabla de madera

recta y fija. En pendientes suaves este método es muy lento, pero en pendientes fuertes es apropiado especialmente si se trata de pequeñas caídas.



#### Ecuación 14: Método del nivel de carpintero y reglas

$$H = h_1 + h_2 + h_3 + h_4$$

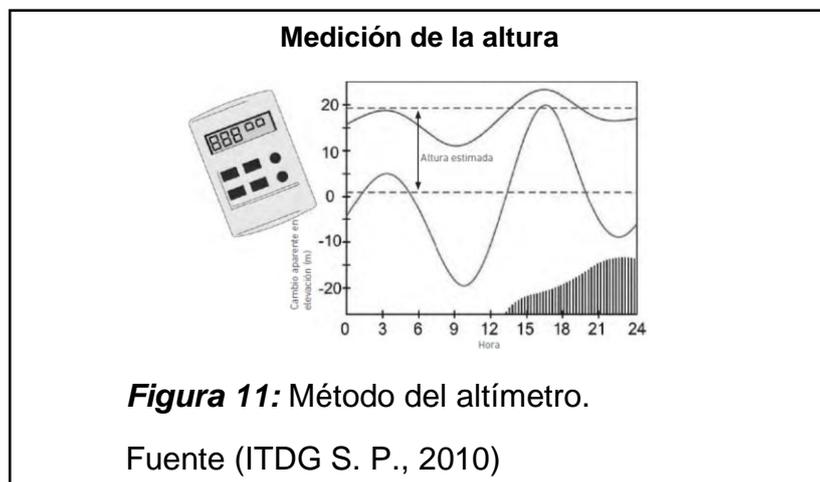
H = altura total.

$h_1 + h_2 + h_3 + h_4$  = alturas tomadas.

#### Método del altímetro

El altímetro es un instrumento de medición que es fácil de usar pero relativamente costoso. La precisión de los resultados que se obtienen depende principalmente de la destreza de quien use la herramienta. Si se cuenta con mucha experiencia y las mediciones se realizan con cuidado, los resultados serán buenos y válidos para efectuar cálculos de ingeniería.

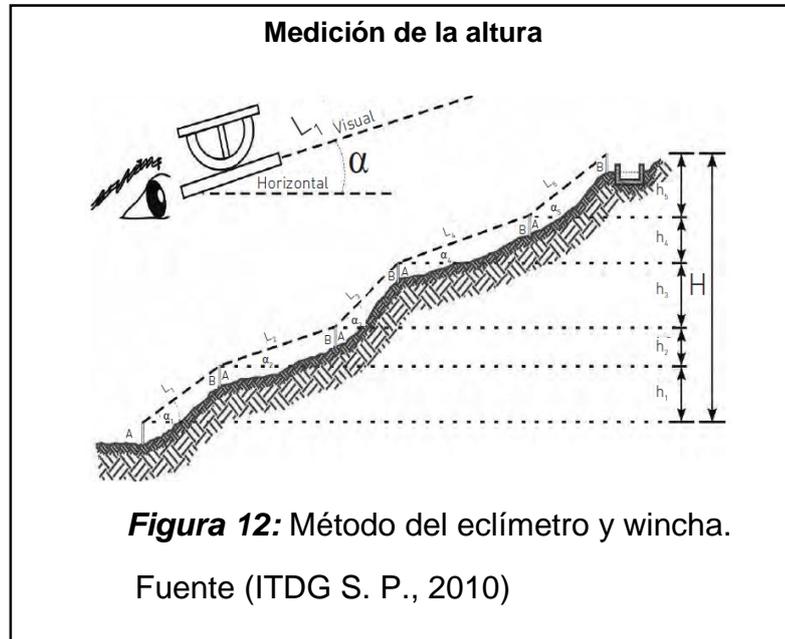
Sin embargo, si este no fuera el caso, el método solo arrojará datos referenciales para un estudio preliminar, no para un estudio de factibilidad, y mucho menos para cálculos de diseño de ingeniería. El altímetro mide la presión atmosférica, directamente relacionada con la altura sobre el nivel del mar, aunque varía ligeramente debido al clima, temperatura y humedad relativa. Como estas variaciones pueden ser muy significativas para la evaluación del salto, a fin de obtener resultados aceptables es necesario tomar varias lecturas durante el día y luego estimar un valor final.



### **Método del eclímetro y wincha**

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

0°. El grado de precisión del método depende de la habilidad del operador en el uso del eclímetro.



#### **Ecuación 15: Método del eclímetro y wincha**

$$H_1 = L_1 * \text{sen } \alpha$$

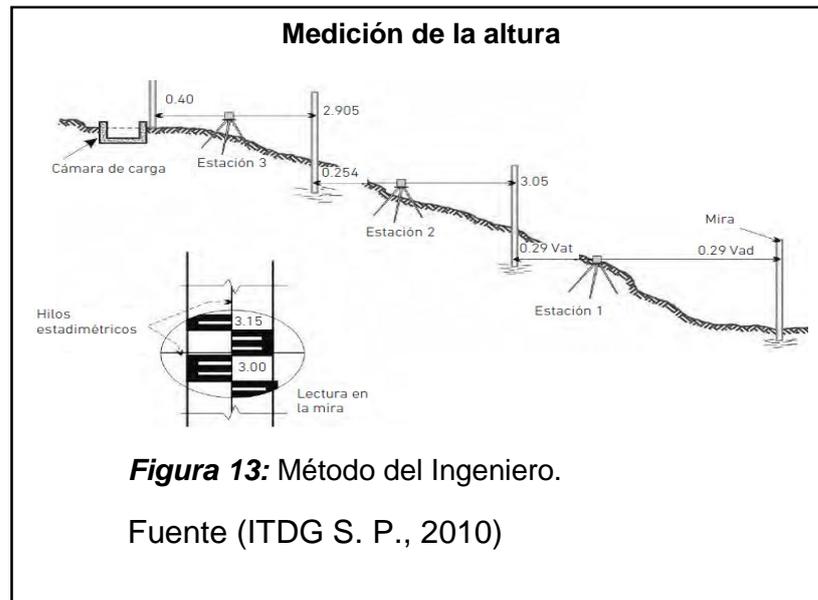
#### **Ecuación 16: Método del eclímetro y wincha**

$$H = H_1 + H_2 + H_3 + H_4$$

#### **Método del nivel de ingeniero**

El nivel de ingeniero tiene una precisión de  $\pm 1$  mm; pero es caro y pesado y requiere operadores diestros. Por lo general los errores se producen en las largas series de cálculos que hay que efectuar.

Debido a que es un método común, los equipos que emplean se alquilan fácilmente y a precios aceptables. Con él las distancias pueden ser medidas simultáneamente, pero no es apropiado para lugares escarpados o con muchos árboles.



**Tabla 4:** Método del ingeniero

Estación	Vad	Vat	$H_i = vad - vat$
1			$H_{i1} = vad - vat$
2			$H_{i2} = vad - vat$
3			$H_{i3} = vad - vat$
4			$H_{i4} = vad - vat$
$H_{total} (m)$			$H_{i1} + H_{i2} + H_{i3} + H_{i4}$

***Ecuación 17: Método del ingeniero***

**Ecuación de determinación del salto neto**

El salto es aquella diferencia de nivel entre la lámina de agua en la toma y el punto del río en el que se restituye el agua turbinada.

Salto neto se realiza a partir de los datos topográficos y de las pérdidas de carga.

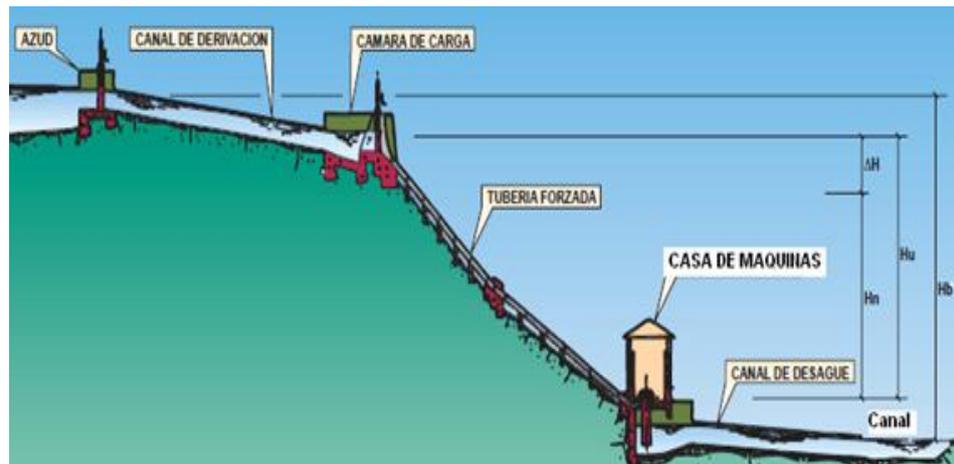
Éstas están constituidas principalmente por:

Pérdidas en la toma.

Pérdidas en el canal de derivación.

Pérdidas en la tubería forzada

### Ecuación de determinación del salto neto



**Figura 14:** Esquema de un salto de agua.

Fuente: (Ingeniería, 1995)

### Ecuación 18: Ecuación de determinación del salto neto

$$\text{Salto neto}(H_n) = \text{salto bruto}(H_b) - \text{pérdidas de carga} (\Delta H)$$

Salto neto ( $H_n$ ): Es el resultado de restar al salto útil ( $H_u$ ) las pérdidas de carga ( $\Delta H$ ) originadas por el paso del agua a través de la embocadura de la cámara de carga y de la tubería forzada y sus accesorios.

Salto bruto ( $H_b$ ): Diferencia de altura entre la lámina de agua en la toma y el nivel del río en el punto de descarga del agua turbinada.

Salto útil ( $H_u$ ): Diferencia entre el nivel de la lámina de agua en la cámara de carga y el nivel de desagüe de la turbina.

El cálculo de las pérdidas de carga se realiza mediante fórmulas empíricas ampliamente difundidas. Una consideración aceptable es suponer que la pérdida de carga es del orden de un 5% a un 10% del salto bruto.

### **Ecuación 19: Pérdidas de carga**

$$AH = \text{perdidasde carga \%} * H_b$$

El salto bruto puede estimarse en primera instancia a partir de un plano topográfico.

## **2.4. Generalidades sobre la potencia y energía eléctrica**

### **Potencia**

La potencia es la relación de paso de energía de un flujo por unidad de tiempo; es decir, la cantidad de energía entregada o absorbida por un elemento en un tiempo determinado.

Potencia es la velocidad a la que se consume la energía. Si la energía fuese un líquido, la potencia sería los litros por segundo que vierte el depósito que lo contiene. La potencia se mide en joule por segundo (J/seg) y se representa con la letra “**P**”. Cuando se habla de potencia en lenguaje técnico, generalmente se habla de “kilowatts” o kilovatios “kW”. Por eso es que cuando se habla de micro centrales de 10 kilowatts (10 kW) o de 20 kilowatts (20 kW).

Para el desarrollo y cálculo de la potencia que uno necesita es importante saber qué cantidad de potencia que va a utilizar, medio por el cual se realiza un estudio de mercado eléctrico.

### **Potencia estimada**

(Viani)

Para determinar la potencia de la Micro Central se utilizara la siguiente ecuación.

### **Ecuación 20: Potencia estimada.**

$$\text{Potencia (kw)} = C * \text{Altura(m)} * \text{Caudal(m}^3\text{/s)}$$

C: es igual a 5 si la altura es menor a 40 m.

C: es igual a 6 si la altura es mayor a 40 m.

### **Potencia neta o hidráulica**

(Federico Coz, 1995)

#### **Ecuación 21: Potencia neta o hidráulica.**

$$\text{Potencia neta (kW)} = 10 * H_{\text{disp}}(\text{m}) * \text{Caudal}(\text{m}^3/\text{s}) * \eta_0$$

H disp. = salto disponible = salto neto.

### **Energía eléctrica**

La energía eléctrica se genera a partir de otras fuentes de energía, principalmente centrales hidroeléctricas donde se usa la fuerza mecánica de agua. También puede generarse a partir de la Energía Eólica, Solar y Biomasa entre otras.

En las centrales hidroeléctricas el agua de un río, se hace bajar por tuberías donde adquiere gran velocidad. Al llegar abajo, el agua hace girar unas turbinas conectadas a un generador (igual que un dínamo de bicicleta) produciendo la electricidad.

De acuerdo con la definición de la física, “la energía ni se crea ni se destruye, se transforma”.

En el caso de la energía eléctrica esa transformación se manifiesta en la obtención de luz, calor, frío, movimiento (en un motor), o en otro trabajo útil que realice cualquier dispositivo.

## **2.5. Partes de las micro centrales hidroeléctricas.**

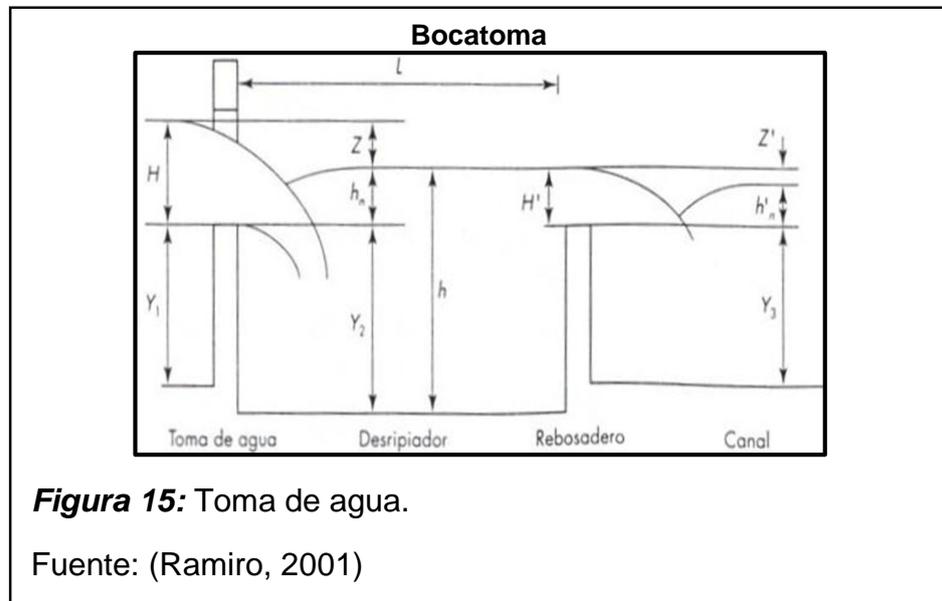
### **2.5.1. Obras civiles.**

#### **Bocatoma**

Sirve para desviar la parte del caudal del río que será utilizado para el micro central.

Para su construcción se usan estructuras de cemento o una combinación de cemento y madera.

Cuando se trata de centrales muy pequeñas, las comunidades utilizan piedra, barro y ramas, como en las bocatomas que se construyen para el riego.



**Figura 15:** Toma de agua.

Fuente: (Ramiro, 2001)

### Toma de agua

Para determinar los coeficientes M y s de la toma de agua se aplican las siguientes ecuaciones:

**Ecuación 22: Según Bazin, el coeficiente (s) es igual a:**

$$s = 1.05 * (1 + 0.2 * \left(\frac{h_n}{Y_2}\right) * \left(\frac{Z}{H}\right)^{1/3}$$

Dónde:

$h_n$  = Elevación del agua bajo el vertedero sobre la cresta:

$$h_n = H - Z \quad (m)$$

$Y_2$  = Altura del desripiador

$$Y_2 = h - h_n \quad (m)$$

Z = Desnivel entre las superficies de agua.

H = Altura del agua del río sobre el umbral (Altura de ventana).

**Ecuación 23: Según Konovalov, el coeficiente (M) es igual a:**

$$M = \left( 0.407 + \frac{0.045H}{H + Y_1} \right) * \left( 1 + 0.285 \left( \frac{H}{H + Y_1} \right)^2 \right) * \sqrt{2g}$$

H= Altura del agua del rio sobre el umbral (Altura de ventana).

Y<sub>1</sub> = Altura del umbral sobre el fondo del rio debe ser (0.6 - 0.8).

g = gravedad.

**Ecuación 24: Caudal para un vertedero sumergido**

$$Q = k * s * M * b_1 * H^{3/2} \text{ (m}^3\text{/s)}$$

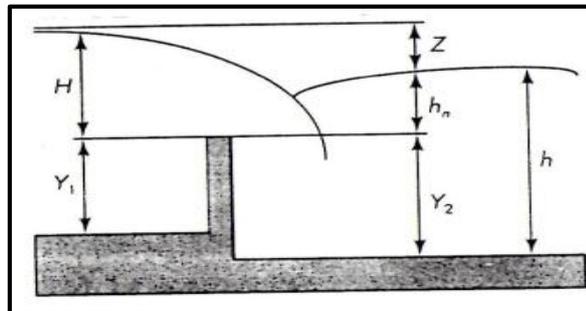
k = Coeficiente por pérdida en los barrotes.

s = Según Bazin, el coeficiente.

M = Según Konovalov, el coeficiente.

b<sub>1</sub> = el ancho del vertedero (longitud de la cresta). (m)

H = Altura del agua del rio sobre el umbral (Altura de ventana) (m)



**Figura 16:** Toma de agua con vertedero sumergido.

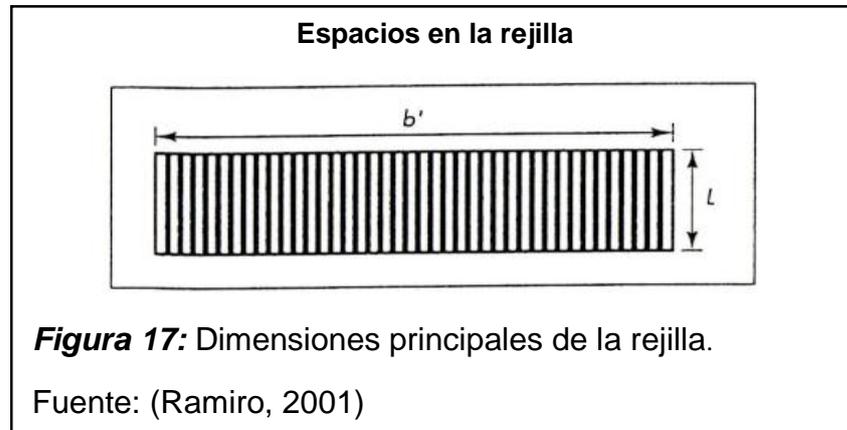
Fuente: (Ramiro, 2001)

**Ecuación 25: Número de espacios en la rejilla**

$$n = \frac{b_1}{b'}$$

b<sub>1</sub> = el ancho del vertedero (longitud de la cresta).

$b'$  = separación entre los barrotos.



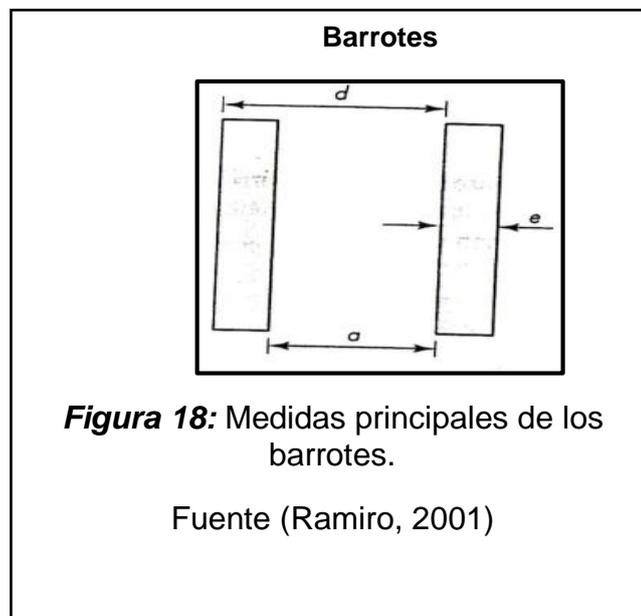
**Ecuación 26: Número de barrotos**

$$N = n - 1$$

**a:** es al abertura (espaciamiento) entre las barras de la rejilla. (m)

**d:** es la distancia entre ejes de las barras. (m)

**e:** espesor. (m)



**Ecuación 27: Ancho total de la rejilla**

$$B = b_1 + N * a' \text{ (m)}$$

$a'$  = ancho de los barrotes. (m)

$b_1$  = el ancho del vertedero (longitud de la cresta) (m).

$N$  = número de barrotes.

**Ecuación 28: Determinación de la velocidad media anual del río**

$$V_r = Q_m/P \text{ (m/s)}$$

$Q_m$  = caudal medio anual. (m/s)

$P$  = Perímetro mojado (m)

**Ecuación 29: Perímetro mojado**

$$P = P_1 + P_2 + P_3 \text{ ó } P = b_s + 2 * d * \sqrt{1 + m^2} \text{ (m)}$$

**Ecuación 30: Determinación del ángulo entre la velocidad del río y la velocidad de entrada a la toma.**

$$\alpha = \arcsin(V_r/V_e)$$

$V_r$  = velocidad media del río correspondiente al caudal medio anual. (m/s)

$V_e$  = velocidad de entrada al canal. (m/s)

**Ecuación 31: Altura del baraje.**

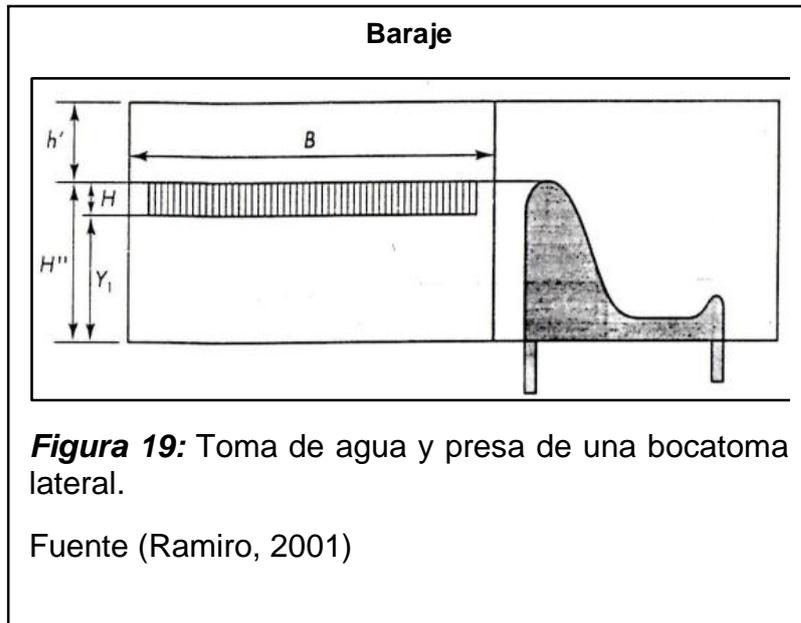
$$H'' = Y_1 + H \text{ (m)}$$

$Y_1$  = Altura del umbral sobre el fondo del río debe ser (0,6 – 0,8). (m)

$H$  = Altura del agua del río sobre el umbral (altura de ventana) (m)

$h'$ : altura de la ventana de la toma de agua. (m)

$B$ : ancho total de la reja de la toma de agua. (m)



### Desripiador

Consiste en una cámara que sirve para detener las piedras que han logrado pasar entre los abarrotos, los cuales no deben pasar al canal.

### Ecuación 32: Caudal del vertedero sumergido

$$Q = k * s * M * b_1 * H'^{3/2} \left( \frac{m^3}{s} \right)$$

### Ecuación 33: Según Bazin

$$s = 1.05 * \left( 1 + 0.2 * \left( \frac{h_n}{Y_2} \right) * \left( \frac{Z}{H'} \right)^{1/3} \right)$$

### Ecuación 34: Según Konovalov

$$M = \left( 0.407 + \frac{0.045H'}{H' + Y_1} \right) * \left( 1 + 0.285 \left( \frac{H'}{H' + Y_1} \right)^2 \right) * \sqrt{2g}$$

### Ecuación 35: El ancho del rebozadero

$$b_2 = \frac{Q}{s * M * H'^{3/2}} \text{ (m)}$$

### **Ecuación 36: Longitud del desripiador**

$$Ld = \frac{b_1 - b_2}{2 * \text{tg}(12.5^\circ)} \text{ (m)}$$

b1: ancho de la toma de agua (m)

b2: ancho del vertedero (m)

### **Canal de purga del desripiador**

#### **Ecuación 37: Área del canal**

$$A = b_s * d + m * d^2 \text{ (m)}$$

bs: ancho de la solera. (m)

d: calado. (m)

m: talud de las paredes (m)

#### **Ecuación 38: Perímetro mojado**

$$P = P1 + P2 + P3 \text{ ó } P = b_s + 2 * d * \sqrt{1 + m^2} \text{ (m)}$$

#### **Ecuación 39: Radio hidráulico**

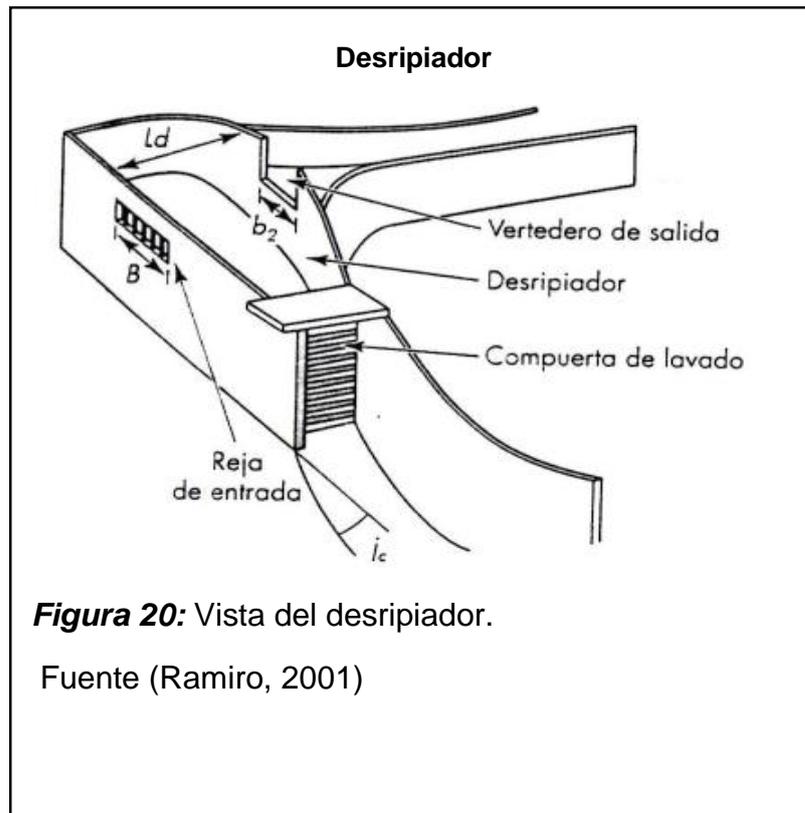
$$R = A/P \text{ (m)}$$

#### **Ecuación 40: Pendiente del canal del desripiador**

$$jC = \frac{v^2 * n^2}{R^{4/3}}$$

v: velocidad del agua. (m/s)

n: coeficiente de rugosidad.



### Compuerta de purga del desripiador

Se debe verificar que el caudal que se evacua por la compuerta es mayor que el caudal captado por la toma:

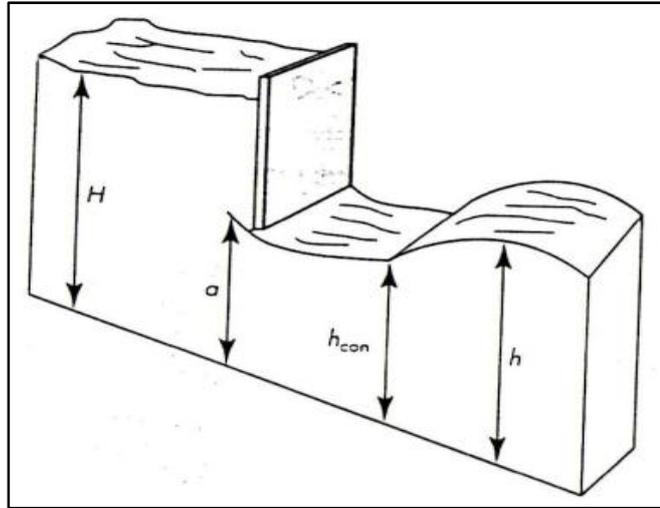
Se tiene un coeficiente, según la tabla de:

$$\frac{a}{H}$$

a: es la apertura de la compuerta.

H: es la altura del nivel de las aguas en el desripiador. (m)

**Compuerta de purga del desripiador**



**Figura 21:** Curso del caudal por la compuerta.

Fuente (Ramiro, 2001)

**Tabla 5:** Coeficiente de e, dado en función a/H

Coeficiente e	
a/H	E
0,00	0,611
0,10	0,615
0,15	0,618
0,20	0,620
0,25	0,622
0,30	0,625
0,35	0,628
0,40	0,630
0,45	0,638
0,50	0,645
0,55	0,650
0,60	0,660
0,65	0,675
0,70	0,690
0,75	0,705
0,80	0,720
0,85	0,745
0,90	0,780
0,95	0,835
1,00	1,000

Fuente (Ramiro, 2001)

**Ecuación 41: El caudal al abrir la compuerta.**

$$Q = K * e * a * b_c * \sqrt{2g * (H + \frac{v^2}{2g} - e * a)}$$

a: es la apertura de la compuerta.

H: es la altura del nivel de las aguas en el desripiador.(m)

v: velocidad del agua.(m/s)

K: es una constante.

e: es una coeficiente dado en función de a/H.

v: velocidad del caudal.(m/s)

b<sub>c</sub>: ancho de la compuerta.(m)

**Tabla 6:** Límites de velocidad del agua en el canal

Tipo de Suelo	V máx. (m/s)	
	Agua Limpia	Material en suspensión
Lodo	0,10	0,15
Barro suelto	0,15	0,20
Arena fina (0.02 - 0.2 mm)	0,30	0,40
Arena media (0.2 - 0.5 mm)	0,35	0,50
Limo arenoso (natural)	0,40	0,60
Arena gruesa (2 - 5 mm)	0,45	0,65
Grava muy arenosa	0,60	0,80
Grava media (5 - 20 mm)	0,70	1,00
Tierra arcillosa grasosa (natural)	0,80	1,15
Grava gruesa, piedras (20 - 50 mm)	1,00	1,30
Piedras (50 - 75 mm)	1,40	1,60
Cantos rodados (75 - 100 mm)	1,70	1,80
Césped/prado, bien radicado	1,90	2,00
Tipo de revestimiento	1,80	1,80
Concreto (materia en suspensión, mucha arena)		2,00
Concreto (agua sin arena)	4,00	
Mampostería con piedras sentadas y mortero	5,00	

Fuente: (Ramiro, 2001)

### **Aliviadero**

Toda central corre el riesgo de sufrir desperfectos a causa de demasías o caudales superiores de los de diseño.

Por este motivo en ninguna central debe faltar un aliviadero encargado de regular el nivel del agua y de ese modo proteger el sistema de los riesgos que puede sufrir.

**Ecuación 42: Aliviadero de cresta redondeada su coeficiente es:**

$$M = (0.70 - 0.75)$$

**Ecuación 43: Ancho de aliviadero**

$$Q_V = \frac{2}{3} * M * B * \sqrt{2g} * H^{3/2}$$

M: coeficiente.

B: ancho del aliviadero. (m)

H: altura del vertedero (m)

**Ecuación 44: Altura de seguridad**

$$S = j * L + H + C + 0.05 \text{ (m)}$$

S: altura de seguridad. (m)

j: pendiente longitudinal del canal.

L: longitud entre aliviaderos. (m)

H: sobre elevación del agua. (m)

C: altura de la onda de traslación.

0,05: incremento adicional en metros

### **Canal de aducción**

Es una obra que sirve para conducir el agua desde la bocatoma hasta la cámara de carga. Pueden ser de tierra, revestidos con cemento, tubos de PVC u otros materiales.

### **Canal trapezoidal:**

**Ecuación 45: Sección requerida del canal trapezoidal.**

$$A = \frac{Qd}{V} \text{ (m}^2\text{)}$$

**Ecuación 46: Área mojada del canal trapezoidal.**

$$A = b * d * m * d^2 \text{ (m}^2\text{)}$$

**Ecuación 47: Perímetro mojado del canal trapezoidal.**

$$P = b + 2d\sqrt{1 + m^2} \text{ (m)}$$

**Ecuación 48: Ancho de la solera**

$$b = \frac{A}{d} - m * d \text{ (m)}$$

**Ecuación 49: Calado**

$$d = \sqrt{\frac{A}{-m + 2\sqrt{1 + m^2}}} \text{ (m)}$$

**Ecuación 50: Radio hidráulico.**

$$R = 0.5 * D \text{ (m)}$$

**Ecuación 51: Perímetro mínimo.**

$$P = 2 \left( 2\sqrt{1 + m^2} - m \right) d \text{ (m)}$$

**Ecuación 52: Gradiente hidráulico.**

$$j = \tan \alpha$$

**Ecuación 53: Velocidad real en el canal. (Chezy – Manning)-  
Canal Trapezoidal**

$$V = \frac{1}{n} * R^{2/3} * j^{1/2} \left( \frac{m}{s} \right)$$

$$V < V_{max}$$

**Canal rectangular:**

**Ecuación 54: Tirante del canal rectangular**

$$d = \sqrt{\frac{A}{2}} \text{ (m)}$$

**Ecuación 55: Ancho del canal rectangular.**

$$b = 2 * d \text{ (m)}$$

**Ecuación 56: Perímetro mojado del canal rectangular.**

$$P = b + 2 * d \text{ (m)}$$

**Ecuación 57: Radio hidráulico del canal rectangular.**

$$R = \frac{A}{P} \text{ (m)}$$

$$V = \frac{1}{n} * R^{2/3} * j^{1/2} \left(\frac{m}{s}\right)$$

$$V < V_{ma}$$

**Tabla 7:** Valores de n (coeficiente del tipo de material)

Material del cauce	Mínimo	Medio	Máximo
Canales de Tierra			
Arcilla		0,0130	
Material solido suave		0,0167	
Arena con algo de arcilla o roca partida		0,0200	
Fondo de arena y grava, con lados empedrados		0,0213	
Grava fina de unos 10/20/30 mm		0,0222	
Grava regular de unos 20/40/60 mm		0,0250	
Grava gruesa de unos 50/100/150 mm		0,0286	
Greda en terrones		0,0333	
Revestido con piedras		0,0370	
Arena, greda, grava y hiervas		0,0455	
Canales en Roca			
Roca mediana		0,0370	
Roca irregular		0,0455	
Roca muy irregular con muchas salientes		0,0588	
Mampostería de piedra con cemento		0,0200	
Paredes de mampostería con base de arena y grava		0,0213	
Canales de Concreto			
Buen acabado con cemento (enlucido)		0,0100	
Acabado con yeso o concreto suave con alto contenido de		0,0118	
Concreto no enlucido		0,0149	
Concreto con superficie suave		0,0161	
Revestimiento de concreto irregular		0,0200	
Otros			
Roca áspera		0,04	0,045
Roca igualada las asperezas	0,02	0,033	0,035

Canales grandes en buen estado	0,02	0,0225	0,025
Canales grandes en estado regular	0,023	0,025	0,027
Canales grandes en mal estado	0,025	0,0275	0,03
Canales malos semiderrumbados	0,028	0,03	0,033
Canal irregular con vegetación	0,033	0,035	0,04
Madera cepillada	0,01	0,013	0,014
Madera sin cepillar	0,012	0,015	0,018
Concreto sin alisado con buen encofrado	0,013	0,014	0,015
Concreto con huellas de tablas	0,015	0,016	0,018
Concreto alisado	0,011	0,012	0,013
Mampostería, piedra	0,017	0,0225	0,03
Gaviones	0,025	0,027	0,032
Ladrillo enlucido	0,012	0,015	0,017

Fuente: (Ramiro, 2001)

### **Reservorio**

Capta la cantidad de agua necesaria que se necesitara para el funcionamiento, ya puede ser reservorios diarios y/o reservorios semanal,

### **Reservorio para cubrir requerimientos:**

**Ecuación 58: No requiere reservorio,**

$$Q_m > Q_{md}$$

$$V_d > V_{de}$$

**Ecuación 59: Si es necesario reservorio diario,**

$$Q_m < Q_{md}$$

$$V_d > V_{de}$$

### Ecuación 60: Construir reservorio semanal,

$$Q_m < Q_{md}$$

$$V_d < V_{de}$$

$Q_m$ : caudal medio,

$Q_{md}$ : caudal máxima demanda,

$V_d$ : volumen diario,

$V_{de}$ : volumen para producir energía que necesito,

#### 1. Cámara de carga y desarenador

Evita que piedritas y arenilla que viene con el agua ingrese a la tubería de presión y a la turbina, Asegura que la tubería de presión esté llena, evitando el ingreso de aire, Es una estructura de hormigón armado,

#### Desarenador

**Tabla 8:** Velocidades de sedimentaciones de las partículas sólidas en suspensión de acuerdo con su tamaño,

<b>d (mm)</b>	<b>Vs (m/s)</b>
0,05	0,178
0,10	0,692
0,15	1,56
0,20	2,16
0,25	2,70
0,30	3,24
0,35	3,78
0,40	4,32
0,45	4,86
0,50	5,40

0,55	5,94
0,60	6,48
0,70	7,32
0,80	8,07
1,00	9,44
2,00	15,39
3,00	19,25
5,00	24,90

*Fuente: (Ramiro, 2001)*

Se dice que para pequeñas centrales hidroeléctricas, el diámetro, máximo de partículas admitidas según su caída es de:

$d_{lim} = (0,2-0,5 \text{ mm}) \quad h < 10\text{m}$  caída baja,

$d_{lim} = (0,1-0,2 \text{ mm}) \quad h < 100\text{m}$  caída media,

$d_{lim} = (0,01-0,05 \text{ mm}) \quad h \geq 100\text{m}$  caída alta,

#### **Velocidad de sedimentación (vs):**

La velocidad horizontal de la corriente de la cámara de sedimentación no debe ser mayor a 0,5m/s,

Según Dubuat las velocidades límites son:

Para arcilla = 0,081m/s,

Para arena fina = 0,16m/s,

Para arena gruesa = 0,216m/s

También se dice que es de (0,1 -0,4) m/s,

#### **Velocidad horizontal (vd):**

La profundidad media del desarenador es generalmente de 1,5 a 4 m,

Altura del desarenador (h),

**Ecuación 61: Empuje ascensional dinámico (W), según Sokolov**

$$W = 0,152 * V_s \left(\frac{m}{s}\right)$$

**Ecuación 62: Factor de seguridad,**

$$F = 1$$

**Ecuación 63: Longitud mínima del desarenador,**

$$L = \frac{V_d * h}{V_s - W} \text{ (m)}$$

Vs: Velocidad de sedimentación (m/ s)

Vd: Velocidad horizontal, (m/s)

h: Altura del desarenador, (m)

W: Empuje ascensional dinámico, (m/s)

**Ecuación 64: Ancho del desarenador,**

$$B = \frac{Q_d}{h * V_d} \text{ (m)}$$

Qd: caudal de diseño, (m<sup>3</sup> /s)

Vd: Velocidad horizontal, (m/s)

h: Altura del desarenador, (m)

**Transición:**

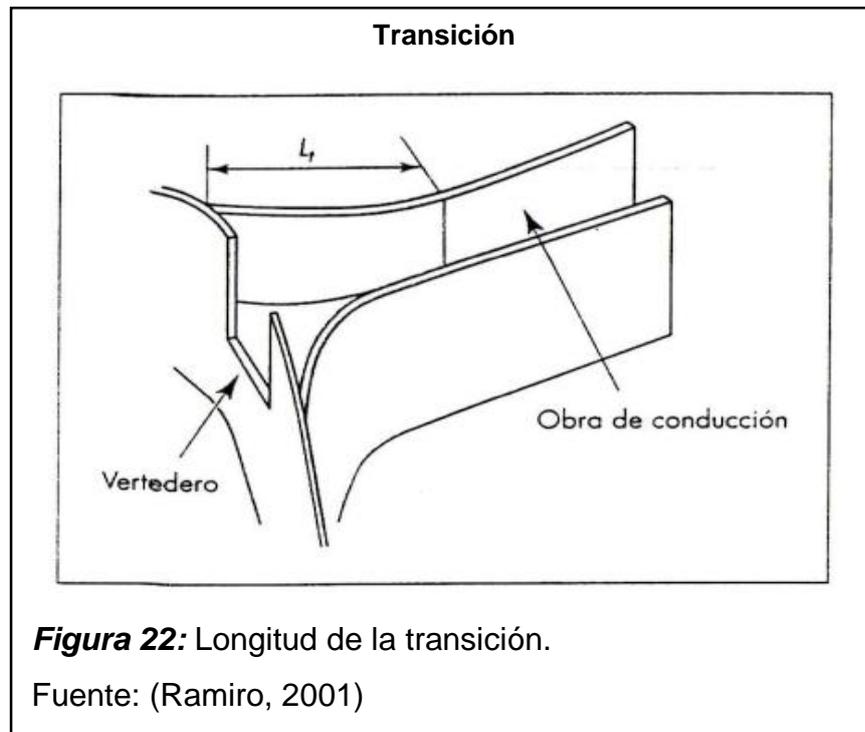
La transición debe tener un ángulo de divergencia suave (12° - 30°),

**Ecuación 65: Longitud de la transición,**

$$l = \frac{B - B'}{2 \tan \alpha} \leq \frac{1}{3} L \text{ (m)}$$

l: es la longitud de la transición, (m)

- B: es el ancho del desarenador, (m)
- B': es el ancho del canal, (m)
- $\alpha$  : ángulo de divergencia,(12° - 30°),
- L: longitud de la cámara de transición, (m)



### Cámara de carga

#### Ecuación 66: Diámetro de la tubería,

$$D = (1,27) * \frac{Q^{0,4268}}{(HB + hs)^{0,1423}} (m)$$

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),

$$h_2 = 1,3 \text{ m}$$

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

$$V_2 = (0,6 < 1,0) \text{ m/s}$$

**Ecuación 67: Ancho del tanque de presión,**

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

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

$$b_2 = 0,88 \text{ m}$$

**Ecuación 68: Altura de agua en el tanque para el arranque,**

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

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,

**Ecuación 69: Longitud de la cámara de presión,**

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

Q: es el caudal de diseño ( $m^3/s$ )

L: es la longitud de la tubería de presión (m)

$h_2$ : altura de la cámara, (m)

$H_c$  = es una constante de sobre elevación del golpe de ariete, (1,3)

D: diámetro de la tubería de presión (m)

**Ecuación 70: Altura del nivel máximo,**

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

**Ecuación 71: Ancho del vertedero**

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

Para aliviaderos de cresta gruesa de cantos rodados,

$$M = 0,50(0,50 - 0,55)$$

Ecuación 72: 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,

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

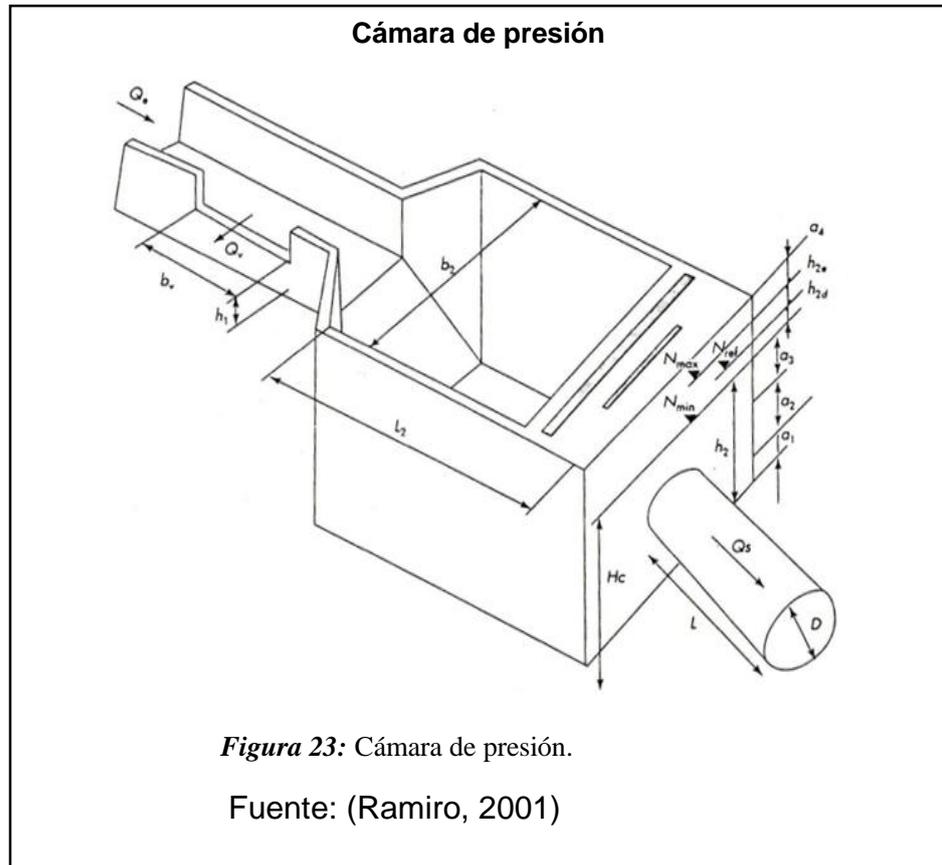


Figura 23: Cámara de presión.

Fuente: (Ramiro, 2001)

$Q_e$ : caudal de entrada, ( $m^3/s$ )

$Q_s$ : caudal de salida, ( $m^3/s$ )

$Q_v$ : caudal del vertedero, ( $m^3/s$ )

$b_v$ : ancho del vertedero, (m)

$h_1$ : altura de la conducción, (m)

$b_2$ : ancho del tanque de presión, (m)

$L_2$ : longitud de la cámara, (m)

$N_{max}$ : nivel máximo

$N_{min}$ : nivel mínimo

D: diámetro de la tubería de presión, (m)

L: longitud de la tubería de presión, (m)

$h_{2d}$ : es la altura del volumen de reserva, (m)

$h_{2e}$ : altura del nivel máximo, (m)

$H_c$ : altura total (m)

$h_2$ : altura de la cámara, (m)

$a_1$ : valor de altura  $0,3 < a_1 < 0,5$  (m)

$a_2$ : valor equivalente al diámetro, de la tubería de presión, (m)

$a_3$ : valor mínimo equivalente,  $0,5D < a_3 < 1,5D$  (m)

$a_4$ : valor de altura, (m)

### **Tubería de presión o forzada,**

Es la encargada de Transportar el agua desde la cámara de carga hasta la casa de máquinas, donde se encuentra la turbina,

Puede ser construida en acero, PVC o polietileno,

#### **Ecuación 73: Diámetro de la tubería de presión (Según: Bondschu)**

$$D = (1,27) * Q^{0,4268} / (HB + h_s)^{0,1423} (m)$$

Q: caudal de diseño ( $m^3/s$ ),

$H_B$ : caída bruta dada en metros (m),

$h_s$ : sobrepresión por golpe de ariete (m),

#### **Ecuación 74: Radio de la tubería de presión,**

$$r = \frac{D}{2} (m)$$

**Perdidas en la tubería de presión:**

**Ecuación 75: Velocidad del caudal que fluye en la tubería de presión,**

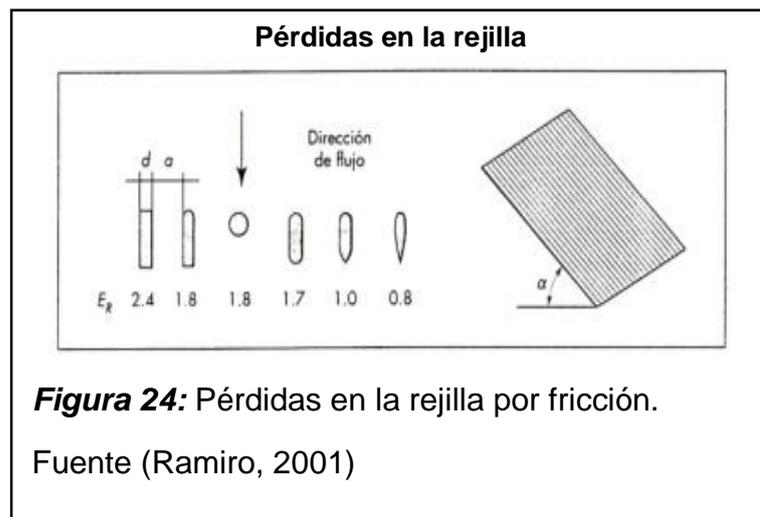
$$V = \left( \frac{Q}{\pi * r^2} \right) (m)$$

**Ecuación 76: Pérdidas en la rejilla,**

$$h_r = \xi_R * \left( \frac{V^2}{2g} \right) (m)$$

$\xi_R$ : es el coeficiente de pérdida

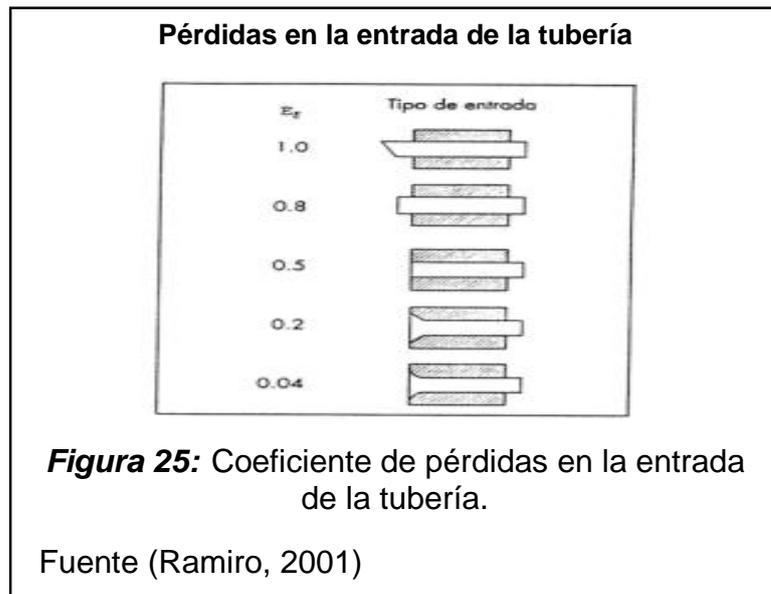
V: es la velocidad del agua entrante a la rejilla (m/s)



$$h_E = \xi_E * \left( \frac{V^2}{2g} \right) (m)$$

$\xi_E$ : es el coeficiente de pérdida que depende de la forma de la entrada,

V: es la velocidad en el tubo (m/s),



**Ecuación 78: Pérdidas en los codos**

$$h_k = \xi_k * \left( \frac{V^2}{2g} \right) (m)$$

$\xi_k$ : es el coeficiente de pérdida que depende del ángulo del codo,

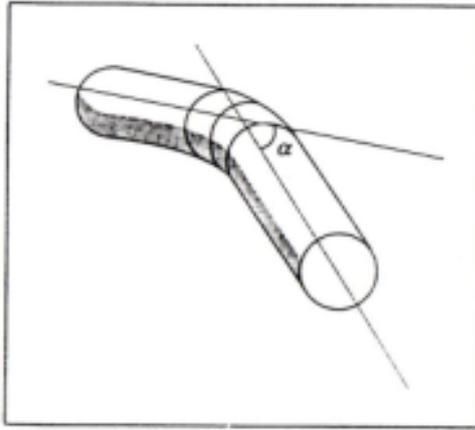
V: es la velocidad en el tubo (m/s)

**Tabla 9:** Coeficiente de pérdidas para codos de tubos circulares,

Coeficiente de pérdidas para codos de tubos circulares							
$\alpha$ (grados )	10	15	22,5	30	45	60	90
$\xi_k$	0,044	0,062	0,154	0,165	0,320	0,684	1,265

Fuente: (Ramiro, 2001)

### Codo



**Figura 26:** Angulo en un codo.

Fuente (Ramiro, 2001)

### Ecuación 79: Pérdidas por fricción,

$$h_{fricc} = \lambda \left( \frac{L V^2}{D 2g} \right) \quad (m)$$

$\lambda$ : es el coeficiente de pérdida

$L$ : es la longitud de la tubería (m)

$D$ : es el diámetro interno de la tubería (m)

$V$ : es la velocidad dentro del tubo (m/s)

### Ecuación 80: Coeficiente de pérdidas,

$$\lambda = 0,01(K/D)^{0,134}$$

**Tabla 10:** Valores de k para calcular el coeficiente de pérdidas,

Valores de k para calcular el coeficiente de pérdidas	
Material del tubo	k
Tubo de acero (nuevo)	1,15
Tubo de hierro fundido (nuevo)	2,50
Tubo de acero corroído (en operación)	5
Tubo plástico	0,50

Fuente: (Ramiro, 2001)

## Perdidas en válvulas

**Tabla 11:** Valores usuales de  $\xi_v$ ,

Valores usuales de $\xi_v$	
Válvula mariposa	$\xi_v$ : 0,2-0,4
Válvula esférica	$\xi_v$ : 0,1
Válvula anular	$\xi_v$ : 1,2-2,5

Fuente: (Ramiro, 2001)

## Ecuación 81: Pérdidas en válvulas,

$$h_v = \xi_v \left( \frac{V^2}{2g} \right) (m)$$

$E_v$  : es el coeficiente de pérdida que depende del tipo de la válvula,

V: es la velocidad en el tubo (m/s)

**Perdidas por bifurcación de la tubería  $h_{ram}$ :**

**Tabla 12:** Coeficiente  $\xi_{ram}$  para bifurcaciones de tubos circulares de cantos aristas de diámetros iguales  $x$ ,

Coeficiente $\xi_{ram}$ para bifurcaciones de tubos circulares de cantos aristas de diámetros iguales $x$ ,				
Angulo de desviación $\beta$	90°		45°	
Coeficiente de perdidas $\xi_{ram}$	$\xi_{ram}a$	$\xi_{ram}d$	$\xi_{ram}a$	$\xi_{ram}d$
Qa/Q=0	0,95	0,04	0,90	0,04
0,2	0,88	0,08	0,68	0,06
0,4	0,89	0,05	0,50	0,04
0,6	0,95	0,07	0,38	0,07
0,8	1,10	0,21	0,35	0,20
1,0	1,28	0,35	0,48	0,33

Fuente:(Ramiro, 2001)

**Ecuación 82: Pérdidas por bifurcación de la tubería  $h_{ram}$ ,**

$$h_{ram} = \xi_{ram} \left( \frac{V^2}{2g} \right) \quad (m)$$

V: es la velocidad del agua dentro antes de la bifurcación (m/s)

$\xi_{ram}$ : Es el coeficiente de perdida,

$$h_{ram}a = \xi_{ram}a \left( \frac{V^2}{2g} \right) \quad (m)$$

$$h_{ram}d = \xi_{ram}d \left( \frac{V^2}{2g} \right) \quad (m)$$

$$h_{ram}t = \xi_{ram}a + h_{ram}d \quad (m)$$

### Perdidas por estrechamiento de la tubería:

No se tiene este tipo de pérdidas,

#### Ecuación 83: Pérdidas totales,

$$h_T = h_r + h_E + h_k + h_{fricc} + h_v + h_{ramt} \quad (m)$$

#### Ecuación 84: Espesor de la tubería,

$$e = \frac{P_s * D}{2\delta t * k_f} + e_s = \frac{(H_B * h_s)D}{2\delta t * k_f} + e_s \quad (mm)$$

$P_s$ : presión máxima considerando el golpe de ariete,

$H_B$ : es la caída bruta, (m)

$H_s$ : es la sobrepresión ejercida por el golpe de ariete, (m)

$D$ : es el diámetro de la tubería, (m)

$\delta t$ : es la tensión de tracción del material ( $kg/cm^2$ ),

$k_f$ : es la eficiencia de las uniones  $k_f=0,8-1,0$

$e_s$ : es un espesor adicional  $e_s=3mm$

Hallamos las tensiones en la tubería para comprobar si el espesor soporta estos esfuerzos,

#### Ecuación 85: La tensión tangencial ejercida por el golpe de ariete ( $kgf/cm^2$ )

$$\delta ta = \frac{P_s * D}{2e} = \frac{(H_B * h_s)D}{2e} = 0,05(H + h_s) \frac{D}{e} \quad \left(\frac{kgf}{cm^2}\right)$$

$H_B$ : es la caída bruta (m)

$h_s$ : es la sobrepresión ejercida por el golpe de ariete (m)

$e$ : es el espesor de la tubería (m)

$D$ : es el diámetro interno (m)

**Ecuación 86: Tensión longitudinal debido a la variación de temperatura (No se dispone de junta de dilatación),**

$$\delta_{te} = E * \alpha * \Delta t \quad (\text{kgf/cm}^2)$$

$\alpha$ : es el coeficiente de dilatación

$\Delta t$ : es la variación de temperatura, (C°)

E: es el módulo de elasticidad del material,

**Tabla 13: Propiedades físicas de materiales para tuberías,**

Propiedades físicas de materiales para tuberías				
Material	Módulo de Young GN/m <sup>2</sup>	Coef, exp, Lineal °C	Esfuerzo de ruptura MN/m <sup>2</sup>	Densidad KN/m <sup>2</sup>
Acero bajo %C	207	12*10 <sup>-6</sup>	350	78,6
PVC	2,75	54*10 <sup>-6</sup>	28	14
Polietileno	0,19 - 0,78	140*10 <sup>-6</sup>	5,9-8,8	9,4
Hierro dúctil	170	11*10 <sup>-6</sup>	310 - 520	70

Fuente (Ramiro, 2001)

**Ecuación 87: Tensión longitudinal debido a la presión hidrostática, con válvula cerrada,**

$$\delta_{tl} = 0,025 \frac{(H + h_s)D^2}{e(e + D)} \quad (\text{kgf/cm}^2)$$

**Ecuación 88: Tensión de flexión entre apoyos debida al peso propio de la tubería y al peso del agua,**

$$\sigma_f = \frac{M_{max}}{W} = \frac{F * \left(\frac{Ls^2}{8}\right) \text{sen}\theta}{W} \quad (\text{kgf/cm}^2)$$

**Ecuación 89: Momento flector máximo,**

$$Mf_{max} = F \left(\frac{Ls^2}{8}\right) \text{sen } \theta$$

Dónde:

F: es el peso del agua y de la tubería, ( tf/ m)

Ls: es la distancia entre soportes, (m)

**Ecuación 90: Momento de resistencia W,**

$$w = \frac{\pi (D_e^4 + D^2)}{32 D_e} = 0,393 \frac{(D + e)(2D^2 + 4De + 4e^2)}{D + 2e}$$

**Ecuación 91: El peso del agua y de la tubería,**

$$F = \gamma_t * \pi * e * (D + e) + \gamma * \pi \left(\frac{D^2}{4}\right) \quad \left(\frac{tf}{m}\right)$$

$\gamma_t$ : es el peso específico de la tubería (para el acero es 7,850 kgf/m<sup>3</sup>)

$\gamma$ : es el peso específico del agua (para el agua es 1,000 kgf/m<sup>3</sup>)

Se toma el criterio de ubicar los apoyos cada 2,00 m (Ls)

**Ecuación 92: Tensión longitudinal debido a la inclinación por variación de la pendiente del terreno,**

$$\delta_j = \frac{4 * F * L_s * \cos\theta}{\pi(D_e^2 - D^2)} = \frac{F * L_s * \cos\theta}{\pi * e * (D + e)} \quad (\text{kgf/cm}^2)$$

**Tensión resultante,**

El espesor de la tubería debe soportar la suma de las tensiones que actúan sobre ella,

**Ecuación 93: Tensión resultante,**

$$\delta_{ad} > \delta_{te} + \delta_{tl} + \delta_f + \delta_j + \delta_{ta}$$

La distancia crítica donde el material puede colapsar se encuentra entre 7,5 y 8 metros para un buen rango de seguridad se toma distancia (Ls) los apoyos de 3 metros,

**Apoyos**

$$A = 1,2 * D$$

1,2 (disminuir 0,02 cuando no cumple la condición final),

$$B = 1,5 * D$$

1,5 (aumentar 1,25 cuando no cumple la condición final)

$$C = B$$

1,7 (aumentar 0,5 cuando no cumple la condición final)

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

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

$$E_{min} = 0,25 * D$$

Se corrobora que la distancia entre apoyos es correcta,

**Ecuación 94: Fuerza del peso del agua y de la tubería,**

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

$$P = 785,4 * D^2 + 24662 * e(D + C) \quad (kgf/m)$$

**Ecuación 95: Longitud entre apoyos,**

$$L_s = 182,61 * \sqrt[3]{\frac{(D + 2e)^4 - D^4}{P}} \quad (m)$$

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

**Ecuación 96: Peso del agua,**

$$G_a = 785,4 * D^2 * L_s \quad (kgf)$$

**Ecuación 97: Peso del tubo,**

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

**Ecuación 98: Peso del apoyo,**

$$G_s = \gamma_s * V_s \quad (kgf)$$

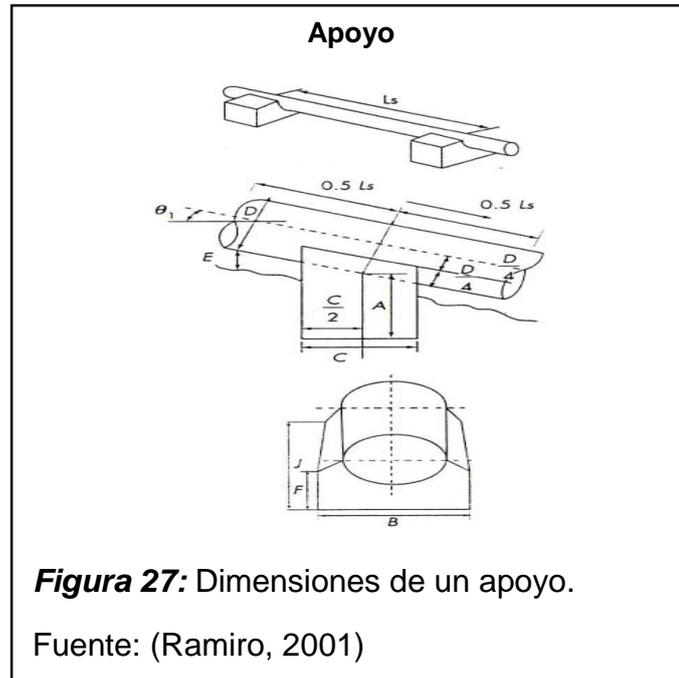
Dónde:

$V_s$ : es el volumen del apoyo  $m^3$ ,

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

**Ecuación 99: Volumen del apoyo,**

$$V_s = F * B * C + \frac{(J - 0,5 * C * \tan(36,6))}{2} * C * B + \frac{C * De}{4 * \cos(36,6)} (B - \frac{\pi * De}{180^\circ} * \arctan\left(\frac{B}{D}\right)) \quad (m^3)$$



**Ecuación 100: Fuerza por el movimiento de fricción entre la tubería y el apoyo,**

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

$$Fa' = \mu * Fn = \mu(Ga + Gt) \quad (kgf)$$

**Tabla 14:** Coeficiente de rozamiento

Coeficiente de rozamiento	$\mu$
Acero sobre hormigón con capa intermedia de cartón asfaltado	0,40
Acero sobre hormigón o mampostería de piedra	0,45 - 0,50
Acero sobre acero	0,30 - 0,50
Acero sobre acero con lubricantes de grafito	0,20
Acero sobre acero con lubricante solido	0,12 - 0,10
Apoyos con cojinetes de rodillas o soportes basculantes	0,05 - 0,10

Fuente: (Ramiro, 2001)

**Ecuación 101: Apoyo ofrece una resistencia de deslizamiento de la tubería y es mayor que la fuerza de fricción,**

$$Fa = 1,1 * Fa' \quad (kgf)$$

**Ecuación 102: Fuerzas horizontales y verticales,**

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

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

**Ecuación 103: Fuerza de fricción entre el apoyo y el suelo,**

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

**Tabla 15:** Coeficiente de fricción entre el apoyo y el terreno,

$\varphi$	0,35 para concreto – roca
$\varphi$	0,25 para concreto – arcilla

Fuente (Ramiro, 2001)

Se observa que cumpla la siguiente condición,

$$Fab / \Sigma FH \geq 1,5$$

Se hallan las distancias,

**Ecuación 104: Centro de gravedad del apoyo,**

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

**Ecuación 105: Distancia entre el punto O y la fuerza ejercida por el peso del agua y la tubería,**

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

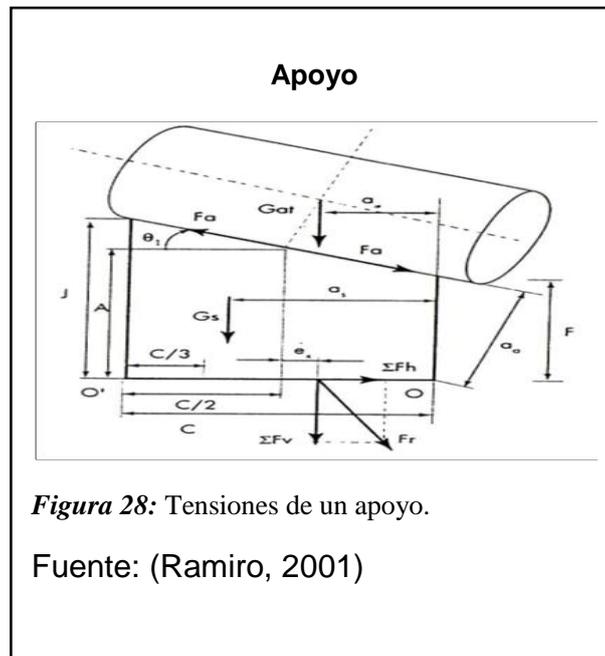
**Ecuación 106: Distancia entre el punto O y la fuerza ejercida por la fricción de la tubería y el apoyo,**

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

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 ex:

**Ecuación 107: Estabilidad**

$$e_x = \left( \frac{0,5 * C * \Sigma Fv + Fa * a_a}{\Sigma Fv} \right) - \left( \frac{Gs * a_s + Gat * a_{at}}{\Sigma Fv} \right) \quad (m)$$



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

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

Dónde:

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

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

**Ecuación 108: Tensión de compresión transmitida por el apoyo,**

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

**Tabla 16:** Tensiones de compresión,

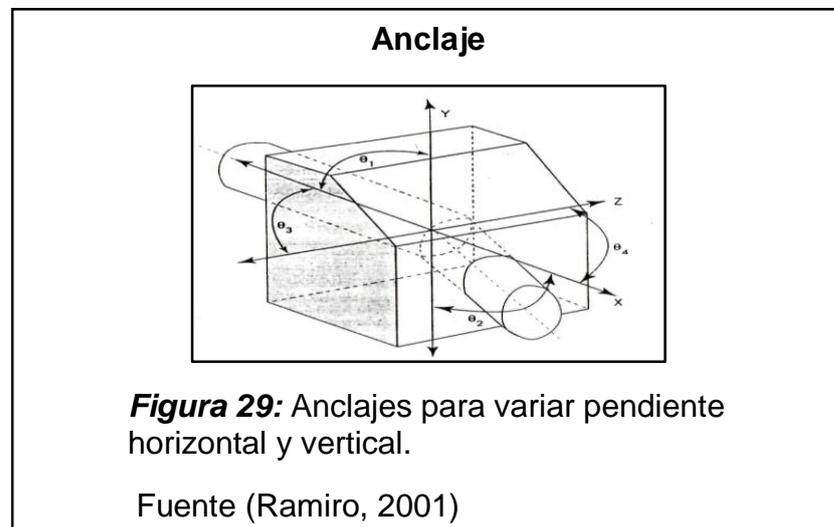
Tensiones de compresión	
Suelo del apoyo	$\sigma_{ad}(kgf/m^2)$
Roca granilita	$4,2 * 10^3$
Roca calcárea o arenítica	$2,8 * 10^5$
Pedregal	$2,8 * 10^4$
Arcilla dura	$1,5 * 10^4$

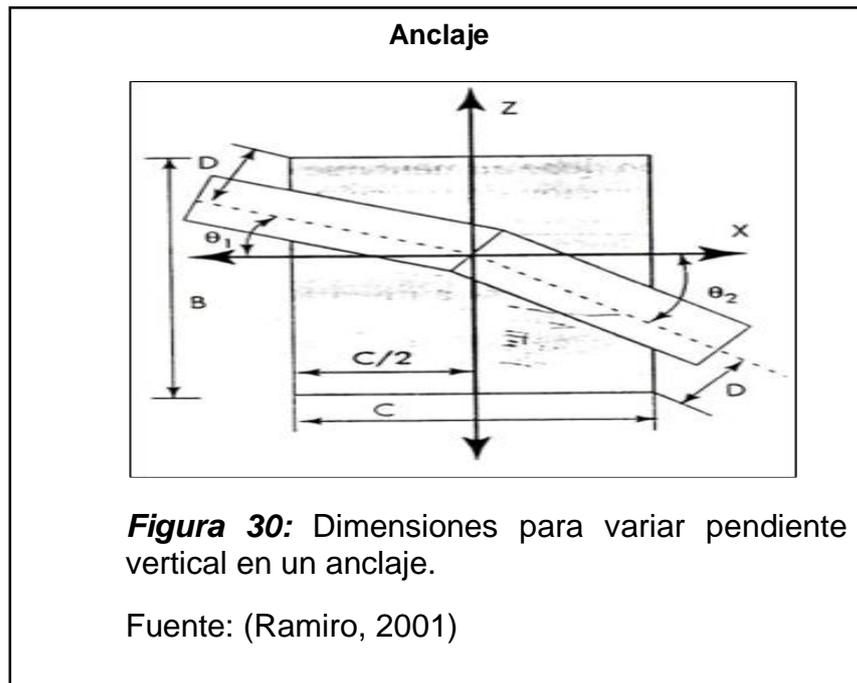
Fuente: (Ramiro, 2001)

**Ecuación 109: Tensión de tracción sea mayor de cero,**

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

**Anclajes:**

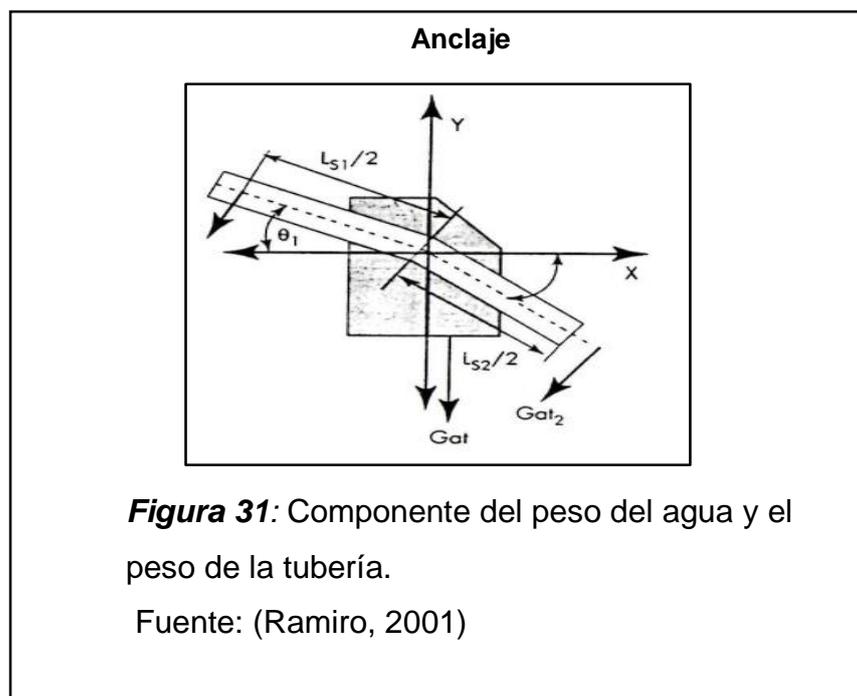




Se halla el peso de la tubería y del agua  $G_{at}$  (kgf)

**Ecuación 110: Componente del peso del agua  $G_a$  y el peso de la tubería  $G_t$ ,**

$$G_{at} = G_{ai} + G_{ti} \quad (\text{kgf})$$



**Ecuación 111: Peso del agua  $G_a$  y el peso de la tubería  $G_t$ ,**

$$G_{at} = G_{a1} + G_{t1} + G_{a2} + G_{t2} \quad (kgf)$$

**Ecuación 112: Peso del agua,**

$$G_{a_i} = \gamma_a * \frac{\pi D^2}{4} L_{si} = 785,4 * D^2 * L_{si} \quad (kgf)$$

$L_{si}$ : es la longitud media entre el anclaje y el apoyo próximo,

D: diámetro de la tubería,

$G_{a1}$ : (Peso de agua en tubería aguas arriba),

$G_{a2}$ : (Peso de agua en tubería aguas abajo),

i: sud índice es igual a 1 cuando corresponde a aguas arriba del anclaje o es igual a 2 si corresponde a aguas abajo,

**Ecuación 113: Peso de la tubería,**

$$G_{t_i} = \gamma_1 * \frac{\pi}{4} * e * (D + e) * L_{si} \quad (kgf)$$

$L_{si}$ : es la longitud media entre el anclaje y el apoyo próximo,

D: diámetro de la tubería,

$G_{t1}$ : (Peso de tubería aguas arriba),

$G_{t2}$ : (Peso de tubería aguas abajo),

e: espesor de la tubería,

i: sud índice es igual a 1 cuando corresponde a aguas arriba del anclaje o es igual a 2 si corresponde a aguas abajo,

$G_{at1}$ : (Peso de tubería + agua, aguas arriba),

$G_{at2}$ : (Peso de tubería + agua, aguas abajo),

La componente del peso de la tubería paralela al eje de la misma,



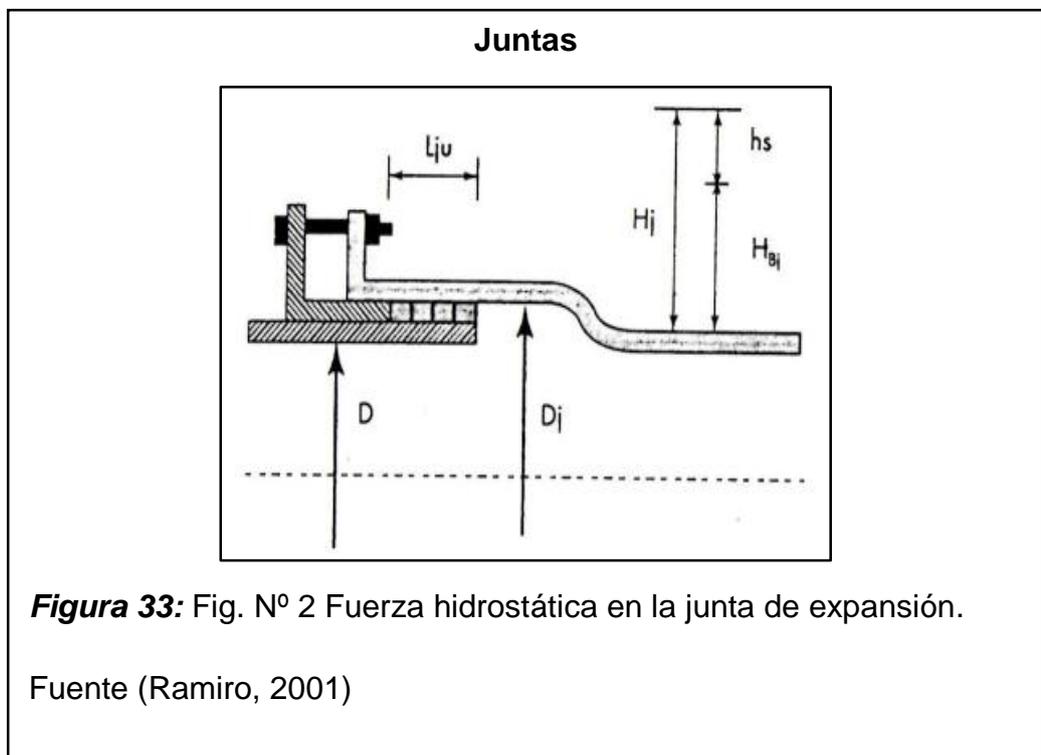
Fp1: La fuerza de presión agua, aguas arriba,  
 Fp2: La fuerza de presión agua, aguas abajo,

**Ecuación 117: Fuerza de velocidad**

$$F_{cm} = F_{cj} = \gamma * Q * C = \gamma * \left(\frac{Q}{D}\right)^2 \quad (kgf)$$

Fc1: La fuerza de velocidad agua, aguas arriba,  
 Fc2: La fuerza de velocidad agua, aguas abajo,

**La fuerza hidrostática en las juntas**



**Ecuación 118: Fuerza hidrostática en las juntas,**

$$F_{jm} = \gamma * H_{1m} * \frac{\pi}{4} * (D_j^2 - D^2) \quad (kgf)$$

$$F_{jj} = \gamma * H_{1j} * \frac{\pi}{4} * (D_j^2 - D^2) \quad (kgf)$$

$\gamma$ : es el peso específico del agua,

H1m y H1j son las distancias verticales entre el nivel normal del tanque de carga y el centro de la junta de expansión incluida el aumento de altura por efecto del golpe de ariete,

Dj y D son los diámetros de la tubería,

Fj1: La fuerza hidrostática en las juntas agua, aguas arriba,

Fj2: La fuerza hidrostática en las juntas agua, aguas abajo,

### **La fuerza creada por la expansión radial de los tubos**

Cuando los tubos reciben la presión del agua se expanden radialmente y se contraen en forma longitudinal, provocando una tracción en el bloque, Esta fuerza se considera cuando la tubería no tiene junta de expansión.

#### **Ecuación 119: Fuerza creada por la expansión radial de los tubos**

$$F_{rm} = F_{rj} = \gamma * \frac{\pi * D^2}{2 * m} * (H_B + H_S) \quad (kgf)$$

Donde "m" es el módulo de presión del material de la tubería

#### **Ecuación 120: Fuerza creada por la variación de la sección de la tubería de presión**

$$F_v = \gamma * H_{BV} * \frac{\pi}{4} * (D_1^2 - D_2^2) \quad (kgf)$$

$$F_v = 785,4 * H_{BV} * (D_1^2 - D_2^2) \quad (kgf)$$

Donde HBV es la distancia vertical entre el nivel normal del tanque y el centro del empalme para variar la sección de la tubería incluido el aumento de altura por efecto del golpe de ariete

D1: es el diámetro de la tubería en la sección 1, (m)

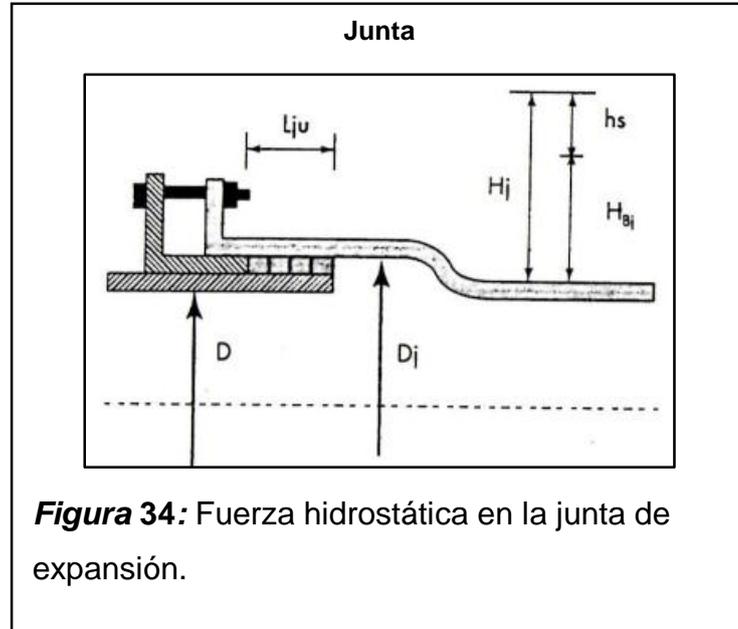
D2: es el diámetro de la tubería en la sección 2, (m)

#### **Fuerza en la junta de dilatación:**

Son esfuerzos creados por variación de temperatura

**Ecuación 121: Fuerza en la junta de dilatación**

$$F_{ajm} = \mu_j * \gamma * H_j * \pi * D_j * L_{ju}$$



Dónde:

$\mu$ : Es el coeficiente de fricción, se toma igual a:0,3

$H_j$ : Es la distancia vertical entre el nivel normal del tanque de presión y el centro de la junta de expansión, incluido el aumento de altura por efecto del golpe de ariete

$L_{ju}$ : Es el comprimiendo en la junta de expansión

**Ecuación 122: Fuerza de la junta de expansión por expansión,**

$$F_{ajm} = 942,54 * H_j * D_j * L_{jum}$$

$$F_{ajj} = 942,54 * H_j * D_j * L_{juj}$$

Faj1: La fuerza de junta de expansión agua, aguas arriba

Faj2: La fuerza de junta de expansión agua, aguas abajo

### **Fuerza por variación de temperatura en las paredes del tubo**

Los esfuerzos causados por la variación de temperatura en las paredes del tubo pueden ser de compresión, cuando se ha elevado la temperatura, o de tracción cuando la temperatura ha disminuido, estos esfuerzos pueden llegar al anclaje por fallas en la junta de expansión,

#### **Ecuación 123: Fuerza por variación de temperatura en las paredes del tubo,**

$$F_{ajm} = 942,54 * H_j * D_j * L_{jum}$$

$$F_{ajj} = 942,54 * H_j * D_j * L_{juj}$$

#### **Ecuación 124: Fuerza por variación de temperatura en las paredes del tubo,**

$$F_{tm} = F_{tj} = \pm \alpha * E * \pi * e * (e + D) * \Delta t \quad (kgf)$$

**$\alpha$** : Es el coeficiente de dilatación del material,

**E**: Es el módulo de elasticidad del material,

**e**: Es el espesor, (m)

**D**: Es el diámetro interno, (m)

**$\Delta t$** : Es la variación de la temperatura,

Estas fuerzas se calculan para verificar la estabilidad del anclaje al vuelco, cuando la junta de expansión no funciona,

#### **Ecuación 125: Fuerza generada por la fricción de la tubería con los apoyos,**

$$F_{am} = \mu [G_{a1} + G_{a1}] \quad (kgf)$$

$$F_{aj} = \mu [G_{a2} + G_{a2}] \quad (kgf)$$

$\mu$ : es el coeficiente de fricción entre el tubo y el anclaje, Los valores del coeficiente según el tipo de materia,

**Tabla 17:** Coeficiente de rozamiento

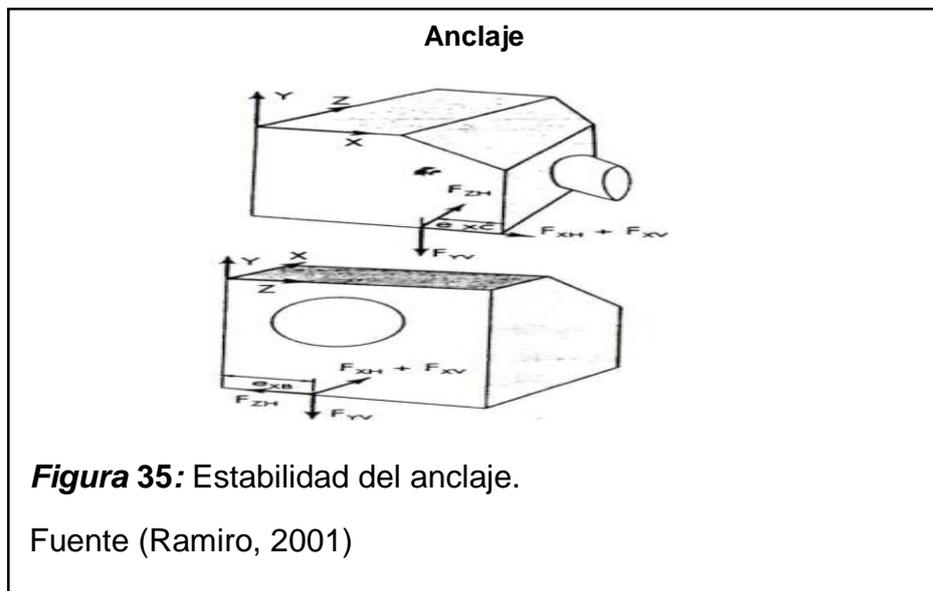
Coeficiente de rozamiento	M
Acero sobre hormigón con capa intermedia de cartón asfaltado	0,40
Acero sobre hormigón o mampostería de piedra	0,45 - 0,50
Acero sobre acero	0,30 - 0,50
Acero sobre acero con lubricantes de grafito	0,20
Acero sobre acero con lubricante solido	0,12 - 0,10
Apoysos con cojinetes de rodillas o soportes basculantes	0,05 - 0,10

Fuente: (Ramiro, 2001)

### Fuerzas resultantes

Un anclaje permite variar la pendiente de la tubería de presión, bien sea en sentido vertical u horizontal,

$F_{XV}$ ,  $F_{YV}$ ,  $F_{XH}$ ,  $F_{ZH}$ : fuerzas verticales y horizontales



Las fuerzas resultantes que actúan sobre un anclaje que permite variar la pendiente vertical, son:

### **Ecuación 126: Componente horizontal en el eje de X,**

$$F_{XV} = -G_{at1} * \text{sen}\theta1 + F_{em} * \text{cos}\theta1 - G_{at2} * \text{sen}\theta2 + F_{ej} * \text{cos}\theta2 \quad (\text{kgf})$$

Gat1 y Gat2 son los esfuerzos generados por el peso del agua y la tubería corresponde respectivamente aguas arriba y aguas debajo de la tubería,

Fem y Fej son la suma vectorial de las fuerzas que actúan sobre el anclaje,

$\theta1$  y  $\theta2$  son los ángulos verticales de la tubería de presión,

$$F_{em} = (Fi + Fpm + Fcm + Fjm + Fvm - Frm \pm Fajm \pm Ftm \pm Fam) \quad (\text{kgf})$$

$$F_{ej} = (Fi + Fpj + Fcj + Fjj + Fvj - Frj \pm Fajj \pm Ftj \pm Faj) \quad (\text{kgf})$$

### **Ecuación 127: Componente vertical en el eje de y**

$$F_{yV} = -G_{at1} * \text{cos}\theta1 + F_{em} * \text{sen}\theta1 - G_{at2} * \text{cos}\theta2 + F_{ej} * \text{sen}\theta2 \quad (\text{kgf})$$

Las fuerzas resultantes que actúan sobre un anclaje que permite variar la pendiente horizontal son:

### **Ecuación 128: Componente horizontal en el eje de X**

$$F_{XH} = F_{em} * \text{cos}\theta3 - F_{ej} * \text{sen}\theta4 \quad (\text{kgf})$$

Dónde:

$\theta3$  y  $\theta4$  son los ángulos horizontales de la tubería de presión,

### Ecuación 129: Componente horizontal en el eje de Z

$$F_{ZH} = F_{em} * \text{sen}\theta_3 - F_{ej} * \text{sen}\theta_4 \quad (\text{kgf})$$

Se hallan las fuerzas verticales y horizontales  $F_{em}$  y  $F_{ej}$ ,

Se hallan las fuerzas verticales y horizontales  $F_{yv}$ ,  $F_{yx}$  y  $F_{zh}$ ,

### Determinación el volumen del anclaje:

#### Ecuación 130: Volumen del anclaje,

$$B = 3 * D \quad (m)$$

$$C = 3 * D \quad (m)$$

$$A = 4 * D \quad (m)$$

$$F = A - 0,5 * c * \text{tan}\theta_1 \quad (m)$$

$$J = A + 0,5 * c * \text{tan}\theta_2 \quad (m)$$

$$H = 1,5 * D + F \quad (m)$$

El volumen de concreto del anclaje  $V_c$  es igual a la diferencia entre el volumen total del anclaje y el volumen

#### Ecuación 131: Volumen de concreto del anclaje

$$V_c = V_b - V_t \quad (m^3)$$

#### Ecuación 132: Peso de concreto del anclaje,

$$G_c = 2400 * V_c \quad (\text{kgf})$$

Se observa que cumpla la siguiente condición

$$\frac{2c}{3} > e_{xc} > c/3$$

$$e_{xc} = \frac{((F_{em} * \cos\theta_1 - F_{ej} * \cos\theta_2) * A) - G_b * (\frac{C}{2}) - G_{at} * C/2}{F_{yv} + G_b} \quad (m)$$

Se observa que se cumpla la siguiente condición

$$\frac{\varphi * (F_{YV} + Gb)}{F_{XV} + F_{ZH}} \geq 1,5$$

Así mismo se observa que se cumplan estas otras condiciones:

$$\delta < \delta_{ad}$$

Si no se cumple con ella debe aumentarse el valor de C y/o B, La tensión de compresión transmitida por el apoyo equivale a:

### Ecuación 133: Tensión de compresión

$$\delta_c = \frac{Gb \pm Fyv}{BC} \left( \frac{kgf}{m^2} \right)$$

Esta tensión es inferior a las indicadas en la tabla es decir, el terreno la cumple a cabalidad,

**Tabla 18:** Tensiones de compresión

Tensiones de compresión	
Suelo del apoyo	$\sigma_{ad}$ (kgf/m <sup>2</sup> )
Roca granilita	4,2*10 <sup>3</sup>
Roca calcárea o arenítica	2,8*10 <sup>5</sup>
Pedregal	2,8*10 <sup>4</sup>
Arcilla dura	1,5*10 <sup>4</sup>

Fuente: (Ramiro, 2001)

También es condición que la tensión de tracción sea mayor que cero,

### Ecuación 134: Tensión de tracción

$$\delta_t = \frac{Gb \pm Fyv}{BC} \left( \frac{kgf}{m^2} \right)$$

## 2.6. Definición de términos básicos

Es importante hacer definiciones y explicar los conceptos utilizados en el campo de las Micro Centrales Hidroeléctricas, los

cuales ayudaran para interpretar la literatura o información técnica escrita sobre el tema.

### **Mini central hidroeléctrica**

Es una planta que utiliza generación hidráulica para la generación de energía eléctrica,

Estas centrales aprovechan la energía potencial que posee la masa de agua pasando por una turbina hidráulica a cual transmite la energía a un generador donde se transforma en energía eléctrica,

### **Recurso hídrico**

Es el beneficio del recurso más importante de la vida, el Agua, En este caso por medio de un canal de derivación para el mejor uso energético,

### **Caudal**

Es la cantidad de fluido que pasa en una unidad de tiempo, Normalmente se le conoce con el flujo volumétrico o volumen que circula por un área dada en la unidad de tiempo, Menos frecuentemente, se identifica con el flujo másico o masa que pasa por un área dada en la unidad de tiempo.

### **Altura**

Distancia vertical de un cuerpo con respecto a la tierra o a cualquier otra superficie tomada como referencia.

### **Energía cinética**

Energía que posee un cuerpo en movimiento,  $E_c = 1/2(mv^2)$  siendo m la masa y v la velocidad.

### **Energía mecánica**

Suma de las energías cinética y potencial gravitatoria.

**Energía potencial**

Es la Energía que posee un cuerpo por su posición respecto a otra de referencia en el campo gravitatorio terrestre.

**Estiaje**

Es el Nivel más bajo o caudal mínimo que en ciertas épocas del año tienen las aguas de un río por causa de la sequía, Período que dura ese nivel.

**Salto bruto**

Desnivel existente entre el nivel de agua en el aliviadero del azud y el nivel normal del río en el punto donde se descarga el caudal turbinado.

**Salto útil**

Desnivel existente entre la superficie libre del agua en la cámara de carga y el nivel de desagüe en la turbina.

**Salto neto**

Es la diferencia entre el salto útil y las pérdidas de carga producidas a lo largo de todas las conducciones.

**Usos productivos**

Que no solo vamos a brindar energía eléctrica para uso doméstico, sino también pequeñas industrias.

# **III**

## **MARCO METODOLÓGICO**

### III. MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1. Tipo y diseño de investigación

##### 3.1.1. Tipo de investigación

###### **Cuasi experimental:**

Nuestra investigación se clasifica como cuasi experimental, ya que se ha tomado en cuenta la toma de datos de caudales en el río Omia en el periodo Agosto – Diciembre.

###### **Analítica:**

Porque se ha seguido una metodología de cálculo para llegar a una propuesta de diseño.

###### **Método del flotador**

Consiste en medir la rapidez superficial utilizando un objeto flotante, luego se mide la sección transversal del canal por donde el agua fluya con un flujo laminar sin mayores turbulencias, la cual con este procedimiento encontraríamos el caudal.

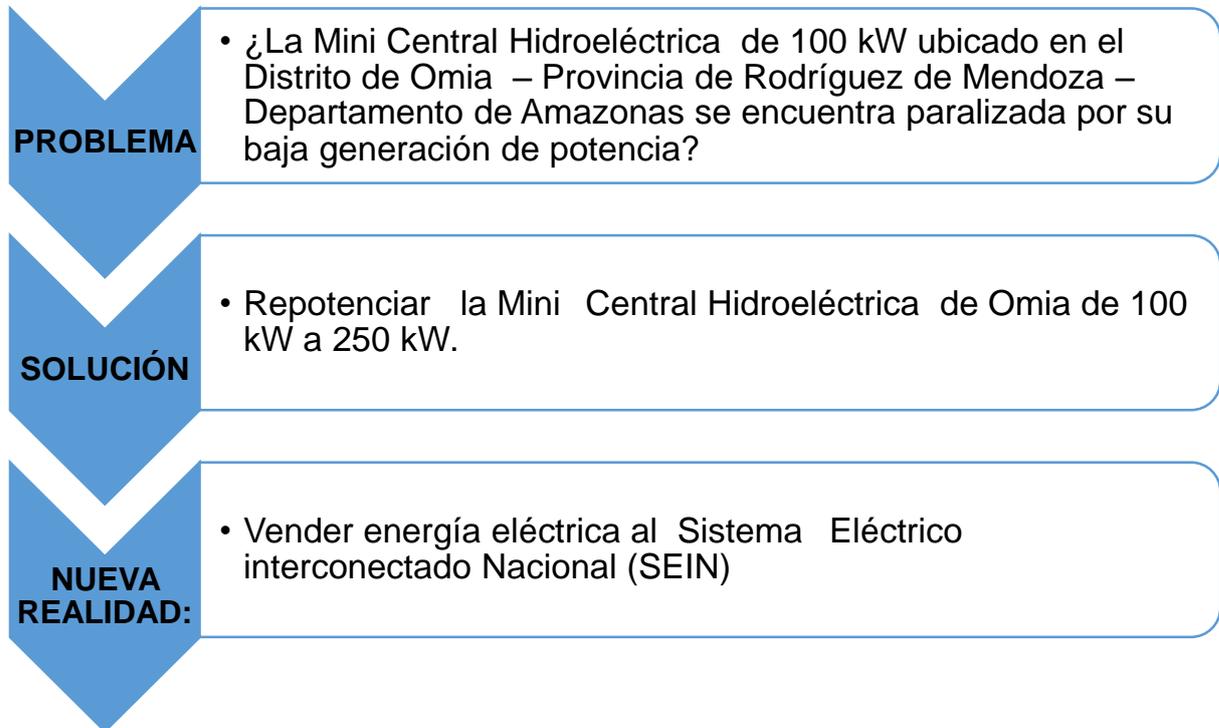
**Tabla 19:** Parámetros eléctricos de la MCH de Omia

<b>Parámetros eléctricos de la MCH de Omia</b>	
Potencia efectiva	100kW
Frecuencia	60 Hz
Voltaje	400 V
Temperatura	40°C
Intensidad promedio	110 A
RPM	1200 rpm
Potencia aparente	70 kVA
Factor de potencia	0,8
Año	1997
IP	23 S 11,2,3,4,78,92

Analítico, porque con datos tomados se realizó el proceso de cálculo del repotenciamiento de la MCH del distrito de Omia,

Se tomó el análisis de la MCH en su estado actual de sus parámetros eléctricos,

### 3.1.2. Diseño de la investigación



### 3.2. Población y muestra,

#### 3.2.1. Población,

La población estará constituida por la fuente hídrica,

#### 3.2.2. Muestra

La muestra estuvo constituida por la fuente hídrica del río Omia,

### 3.3. Hipótesis

El repotenciamiento de la Mini Central Hidroeléctrica de Omia permitió la generación de 250 kW para la venta al SEIN.

### 3.4. Variables

#### 3.4.1. Variables independientes

Análisis Técnico Económico.

#### 3.4.2. Variables dependientes

Repotenciamiento de la Mini central Hidroeléctrica.

### 3.5. Operacionalización

Tabla 20: Operacionalización variables,

VARIABLES		INDICADOR	SUB – INDICADOR	INDICES	TECNICAS DE RECOLECCION	INSTRUMENTOS DE RECOLECCION	INSTRUMENTO DE MEDICION
<b>INDEPENDIENTE</b> <b>Análisis Técnico</b> <b>Económico</b>	<b>Altura</b>	Caída	Sato neto	m	Observación, Observación y Entrevista	Guías de observación, Guía de análisis de planos topográficos, Guías de observación, Guía de análisis de registro hidrográfico, Entrevistas,	Nivel topográfico Caudalimetro
	<b>Caudal</b>	Nivel del agua	Regulación	m <sup>3</sup> /s Lts/s			
	<b>VAN</b>	Valor Actual Neto	Soles	S/,			
	<b>TIR</b>	Tasa Interés de Retorno	Porcentaje	%			
<b>DEPENDIENTE</b> <b>Repotenciamiento</b> <b>de la Mini Central</b> <b>Hidroeléctrica</b>	<b>Potencia Eléctrica</b>	Potencia Eléctrica	Potencia Instalada	kW	Observación,	Guías de observación	Vatímetro
	<b>Energía Eléctrica</b>	Energía Eléctrica	Generación de Energía Eléctrica	kWh	Observación,	Guía de análisis de documentos,	Contador de Energía

Fuente propia

### **3.6. Abordaje metodológico, técnicas e instrumentos de recolección de datos**

#### **3.6.1. Abordaje metodológico**

##### **Observación**

Este método cumplió la función de identificar el lugar o área de investigación donde se podría realizar la modificación para la repotenciación,

##### **Entrevista**

Este método tuvo la finalidad de recabar información necesaria acerca del caudal del río Omia, mediante preguntas planteadas referente a la investigación,

#### **3.6.2. Técnicas de recolección de datos**

##### **Observación**

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

##### **Entrevista**

Mediante una entrevista nos permitió recolectar datos del caudal, entrevistando a personas que viven en la zona,

##### **Revisión documentaria**

En este caso nuestro documento revisado fue el expediente final de la mini central hidroeléctrica de Omia

#### **3.6.3. Instrumentos de recolección de datos**

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

##### **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,

### **Ficha de Revisión documentaria**

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

### **3.7. Procedimiento para la recolección de datos**

#### **Guía de observación**

Se aplicara cuando se haga las mediciones de la toma de caudal en el río, estas mediciones se realizaran cada 30 días, Los datos tomados de las velocidades del caudal serán registrados en la guía,

#### **Hoja de Entrevista**

Se realizó a los pobladores aledaños a la cuenca con los cuales se tendrá una conversación y se indagara tomando como referencia algunas marcas naturales en el rio, los caudales máximos y mínimos de los últimos años,

### **3.8. Análisis estadístico de datos**

Se utilizó el programa Excel con el objetivo de procesar la información y poder obtener los caudales promedio, caudal máximo y caudal mínimo aplicando métodos estadísticos,

### **3.9. Principios éticos**

Se tuvo en cuenta la veracidad de resultados; el respeto por la propiedad intelectual; el respeto por las convicciones políticas, religiosas y morales; respeto por el medio ambiente y la biodiversidad; responsabilidad social, política, jurídica y ética; respeto a la privacidad; proteger la identidad de los individuos que participan en el estudio; honestidad, etc.

### **3.10. Principios de rigor científico**

Los datos obtenidos de la presente investigación han sido realizados por un procedimiento validado con lo cual nosotros damos la conformidad de que son verdaderos y fidedignos.

**IV**

**ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE  
LOS RESULTADOS**

#### IV. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

##### 4.1. Resultados de las técnicas de recolección de datos

###### 4.1.1. Entrevista para saber el caudal del río de Omia, Provincia de Rodríguez de Mendoza, Departamento de Amazonas

Se entrevistó a pobladores que tienen más años viviendo cerca del río del distrito de Omia y así asegurar un caudal exacto en el lapso de los años.

Preguntas:

2. ¿Desde qué año usted vive en el distrito de Omia?

Desde el año 1956,

3. ¿El río siempre permanece con agua desde que usted vive en el sector?

Sí, siempre permanece con agua,

4. ¿El nivel de río es constante todos los años?

El nivel del río no es constante ya que varía con el lapso del tiempo,

5. ¿A qué nivel más alto y en qué fecha llegó a incrementarse el río, indique una referencia conocida que tuvo el nivel del agua?

El nivel más alto que llegó a incrementarse fue en el mes de diciembre, enero, febrero y marzo o en esta referencia:

Referencia del nivel más alto del río Omia.



**Figura 36:** Señal de la altura más alta del río Omia

Fuente propia

6. ¿A qué nivel más bajo llego el río y en qué fecha, indique una referencia conocida que tuvo el nivel del agua?

El nivel más bajo que llego el río fue en el mes de agosto y en esta referencia:

**Referencia del nivel más bajo del río Omia.**



**Figura 37:** Señal de la altura más baja del río Omia  
Fuente propia

7. ¿A qué nivel permanece más constante el río y en qué fecha? Indicar la altura,

El nivel más constante es la mitad del nivel máximo que llega el río del distrito de Omia, Se da en los meses de octubre y noviembre

**Referencia del nivel más constante del río Omia.**

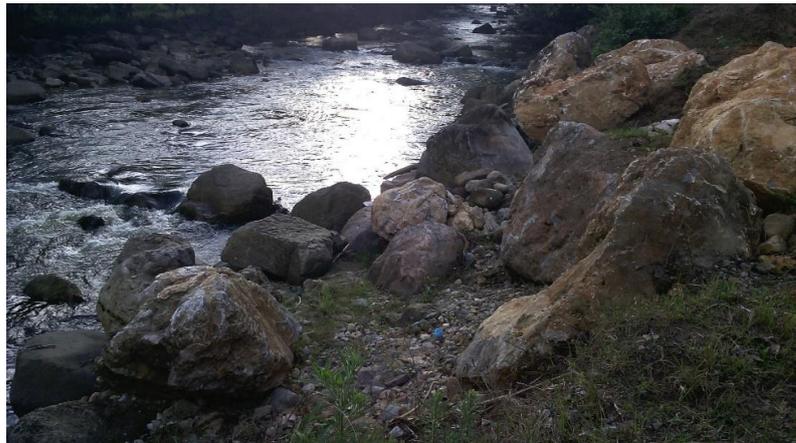


**Figura 38:** Señal de la altura más constante del río Omia  
Fuente propia

8. **¿El río siempre permanece toda su sección transversal con agua o el río corre por parte de su sección? Señale a que parte más se acumula el agua,**

El río no es constante porque al disminuir su caudal hace que el agua se distribuya en una parte de la sección del río, esto se da por las curvas en su trayectoria y costa de muchas piedras que hacen que el agua sea desviada.

Referencia de la circulación del agua del río Omia.



**Figura 39:** Señal de la distribución del agua del río Omia  
Fuente propia

9. **¿Estaría de acuerdo usted que se repotencialice MCH de Omia? ¿Por qué?**

Si, por que se aprovecharía estas aguas ya que tienen un gran potencial, además lograríamos aprovechar nuestro potencial del río de Omia.

#### **4.1.2. Medición del caudal**

##### **Sistema hidrográfico**

El sistema hidrográfico superficial de la subcuenca del río de Omia, tiene sus nacientes en las fuentes de agua de la laguna de Huamanpata y el río Leyva,

##### **Determinación del caudal**

Para este trabajo se ha medido el caudal del río solo 5 meses del año (Agosto, Septiembre, Octubre, Noviembre, Diciembre) y se ha obtenido

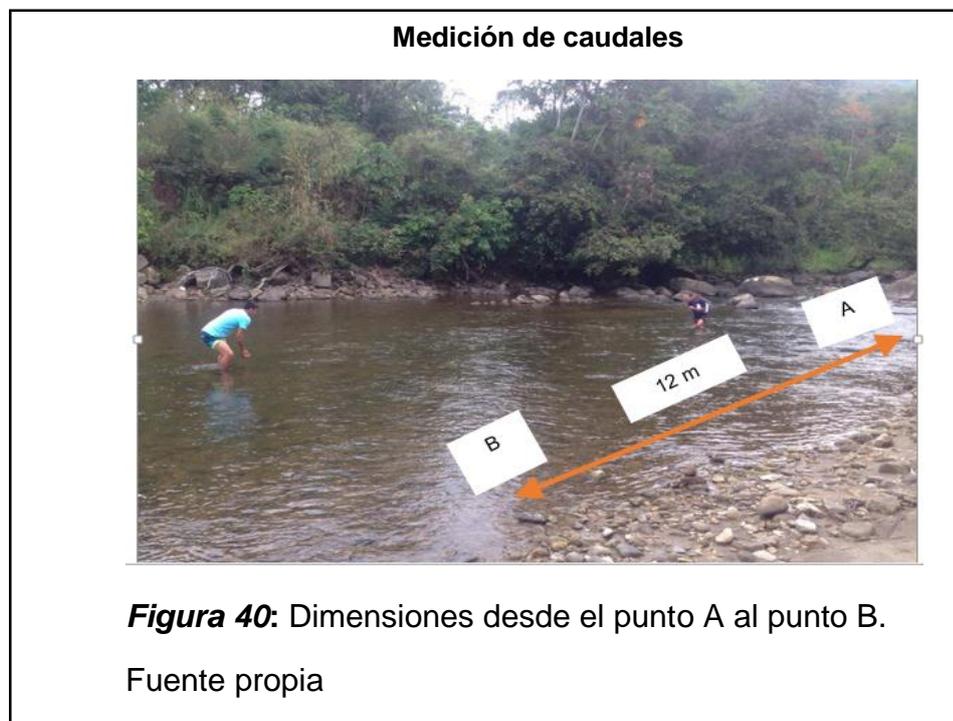
1 caudal por mes, Para la obtención de los caudales se utilizó el método del flotador, mediante este método se obtuvo la velocidad, el tiempo, de igual manera se tomó las medidas respectivas al canal, Dicho procedimiento se realizó en río de Omia,

### **Medida de los caudales**

#### **Selección del lugar adecuado,**

Determinar el área donde se va a trabajar,

Se secciona en dos puntos A y B a lo largo del río, Para ello se vio por conveniente dimensionar una longitud de 12 metros de largo del río, Longitud de A a B = 12 m.



#### **Medición de la velocidad**

Una persona se posiciona en el punto A con el flotador y otra en el punto B con cronómetro, Se mide el tiempo que recorre el flotador del punto A al punto B.

## Medición de los tiempos

**Tabla 21:** Medición de los tiempos y la velocidad de recorrido de los puntos seleccionados,

Número de medidas	FECHA Día/Mes/A ño	HORA		Tiempo(s)				Distancia		
		Inicial	Final	Margen Derecho	Centro	Margen izquierdo	Tiempo promedio	Distancia recorrida por el flotador	V superficial	V media
				F1	F2	F3	$T_p = F1 + F2 + F3 / 3$	d(m)	$V_s = d / t_p$	$V_m = V_s * k$
1	02/08/2016	03:00 p,m,	04:00 p,m,	15,41	14,70	16,99	15,70	12	0,76	0,38
2	02/09/2016	03:00 p,m,	04:00 p,m,	14,62	13,91	16,20	14,91	12	0,80	0,40
3	02/10/2016	03:00 p,m,	04:00 p,m,	11,85	11,14	13,43	12,14	12	0,99	0,49
4	02/11/2016	03:00 p,m,	04:00 p,m,	9,23	8,52	10,81	9,52	12	1,26	0,63
5	02/12/2016	03:00 p,m,	04:00 p,m,	5,00	4,29	6,58	5,29	12	2,27	1,13

Fuente propia

Donde k es el factor de corrección de la velocidad, este factor se determina de acuerdo al tipo de río o canal, Para lo cual nos guiamos de la tabla número 3 (pág, 44), evaluación de recursos hidroenergético, para este caso es  $K = 0,5$ , por ser un riachuelo y supera los 15 cm de profundidad,

**Profundidades promedio del río,**

$$hP = P1 + P2 + P3 + P4 + P5 + P6$$

**Tabla 22;** Profundidad del río Omia

Profundidades del río en metros						
Profundidades(P)						Profundidad promedio(m)
P1	P2	P3	P4	P5	P6	$hp = (p1 + p2 + p3 + p4 + p5 + p6)/6$
0	0,86	0,95	1,08	0,80	0	$Hp1 = 0,62$
0	0,96	1,05	1,18	0,90	0	$Hp2 = 0,68$
0	1,34	1,43	1,56	1,28	0	$Hp3 = 0,94$
0	1,83	1,92	2,05	1,77	0	$Hp4 = 1,26$
0	3,40	3,49	3,62	3,34	0	$Hp5 = 2,31$

Fuente propia

$$hp1 = (P1 + P2 + P3 + P4 + P5 + P6)/6 = \frac{0+0,86+0,95+1,08+0,80+0}{6} = \mathbf{0,62}$$

$$hp2 = (P1 + P2 + P3 + P4 + P5 + P6)/6 = \frac{0+0,96+1,05+1,18+0,90+0}{6} = \mathbf{0,68}$$

$$hp3 = (P1 + P2 + P3 + P4 + P5 + P6)/6 = \frac{0+1,34+1,43+1,56+1,28+0}{6} = \mathbf{0,94}$$

$$hp4 = (P1 + P2 + P3 + P4 + P5 + P6)/6 = \frac{0+1,83+1,92+2,05+1,77+0}{6} = \mathbf{1,26}$$

$$hp5 = (P1 + P2 + P3 + P4 + P5 + P6)/6 = \frac{0+3,40+3,49+3,52+3,34+0}{6} = \mathbf{2,34}$$

## Área De La Sección Transversal (AT)

El área de la sección transversal AT del río se calcula con base en la siguiente ecuación,

$$AT = \text{Ancho del río} * \text{Profundidad promedio}$$

**Tabla 23:** Área de la sección transversal de río Omia

Profundidad promedio(m)	Ancho del río(m)	Área(m <sup>2</sup> /s)
$hp = (p1 + p2 + p3 + p4 + p5 + p6)/6$	<b>a</b>	<b>AT = hp * a</b>
Hp1 = 0,62	a1 = 22,20	AT1 = 13,65
Hp2 = 0,68	a2 = 22,40	AT2 = 15,27
Hp3 = 0,94	a3 = 23,16	AT3 = 21,65
Hp4 = 1,26	a4 = 24,14	AT4 = 30,46
Hp5 = 2,31	a5 = 50,00	AT5 = 115,42

Fuente propia

$$AT1 = Hp1 * a1 = 0,62 * 22,30 = \mathbf{13,65m^2}$$

$$AT2 = Hp2 * a2 = 0,68 * 22,40 = \mathbf{15,27m^2}$$

$$AT3 = Hp3 * a3 = 0,94 * 23,16 = \mathbf{21,65 m^2}$$

$$AT4 = Hp4 * a4 = 1,26 * 24,14 = \mathbf{30,46 m^2}$$

$$AT5 = Hp5 * a5 = 2,31 * 50,00 = \mathbf{115,42 m^2}$$

Para este método de cálculo de los caudales aplica la siguiente ecuación:

$$Q = AT * Vm$$

AT=Área Total

Vm= Velocidad Media

**Tabla 24:** Caudales del río Omia

<b>V media</b>	<b>Área(m<sup>2</sup>/s)</b>	<b>Caudal</b>
$V_m = V_s * k$	$AT = hp * a$	$Q = V_m * A \text{ (m}^3/\text{s)}$
<b>0,38</b>	A1 = 13,65	Q1 = 5,22
<b>0,40</b>	A2 = 15,27	Q = 6,14
<b>0,49</b>	A3 = 21,65	Q1 = 10,70
<b>0,63</b>	A4 = 30,46	Q1 = 19,20
<b>1,13</b>	A5 = 115,42	Q1 = 130,91

Fuente propia

## 4.2. Discusión de resultados

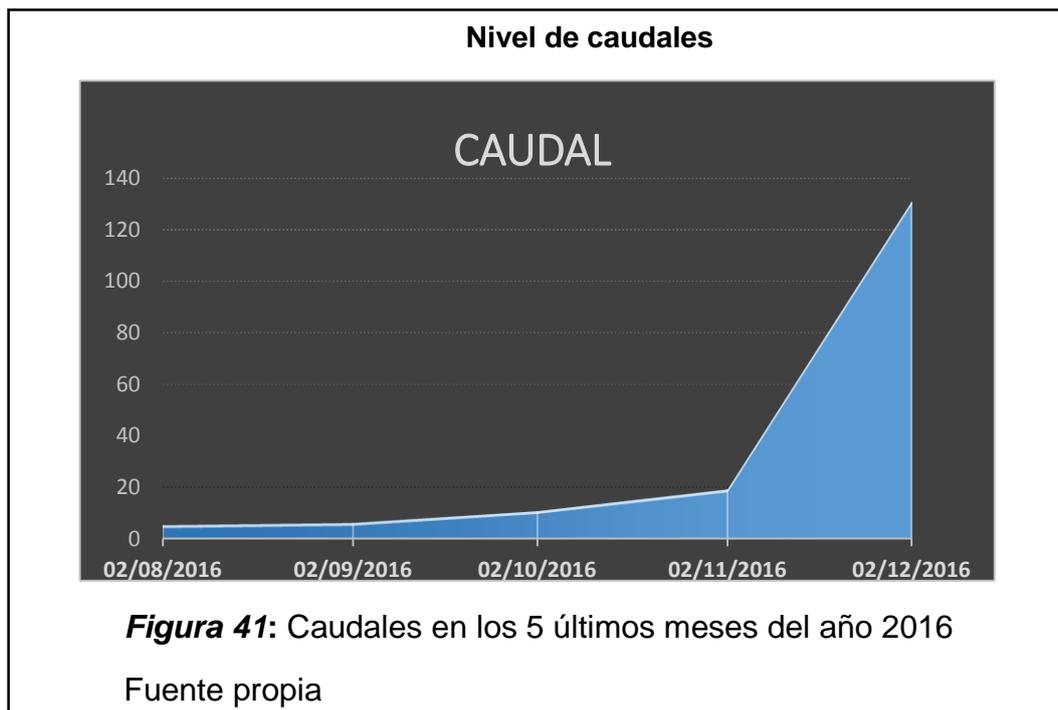
### 4.2.1. Análisis de entrevistas para saber el caudal del río de Omia, Provincia de Rodríguez de Mendoza, Departamento de Amazonas

Según la entrevista que nos proporcionó el poblador del distrito de Omia que vive desde el año 1956 nos mencionó que el río siempre permanece con agua, pero el nivel del río no es constante ya que varía con el lapso del tiempo, También nos informó que el mes de Diciembre se obtuvo un caudal máximo, en el mes de Agosto se obtuvo un nivel mínimo y en los meses de Octubre Y Noviembre se da un nivel constante que es la mitad del nivel más alto, Además nos dio a conocer que el río no es contante todo el tiempo en su trayectoria ya que existen niveles bajos de caudal y eso hace que el agua se acumule en una parte de la sección del río,

Por lo tanto el poblador de Omia está de acuerdo que la central del distrito de Omia sea re potencializada y así usar nuestro potencial que tiene nuestras aguas del río de Omia,

#### 4.2.1. Análisis del control de caudales del río de Omia, Provincia de Rodríguez de Mendoza, Departamento de Amazonas en los 5 últimos meses

La metodología para la estimación de los caudales se encuentra detalladamente en la Ficha 01 del aplicativo en Excel, A continuación se muestra el cuadro de resumen de los caudales encontradas en los 5 últimos meses del año 2016 en el río de Omia.



**V**

**PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN**

## V. PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN

### 5.1. Repotenciamiento de la mini central hidroeléctrica de Omia

#### 5.1.1 Reconocimiento de la zona y estudio preliminar

Para reconocimiento de la zona en estudio, fue necesario visitar en varias oportunidades para ver y/o identificar el estado en que se encuentran las estructuras de la mini central hidroeléctrica del distrito de Omia, por lo que se hizo un recorrido por toda la mini central hidroeléctrica con el fin de determinar datos importantes para el repotenciamiento de esta.

#### 5.1.2. Bocatoma

##### Caudal de diseño

El caudal de diseño requerido es de tres tipos:

Caudal de diseño = 2 m<sup>3</sup>/s

Caudal máximo a 100 años de retorno (avenida) = 140 m<sup>3</sup>/s

Caudal mínimo (estiaje) = 5 m<sup>3</sup>/s

Los caudales de avenidas determinados por una serie de modelos en el estudio hidrológico en magnitudes de promedio de muestra en el siguiente cuadro.

**Tabla 25:** Modelos caudales de avenidas

<b>Periodo de retorno (T) años</b>	<b>Promedio m<sup>3</sup>/s</b>
5	79
10	93
25	110
50	126
<b>100</b>	<b>140</b>
500	170

Por lo tanto el sistema de evaluación de avenida estará en la capacidad de descargar los caudales de avenidas correspondientes a 10 años de retorno y muy próximo al de 25 años.

Diseñar para caudales mayores sería oneroso sobre todo considerando que el barrage Indio se considera como una estructura fusible.

### **Parámetros de diseño hidráulico**

El diseño completo de una obra hidráulica deberá ser realizado en cuatro consecutivas o sobrepuestas fases:

### **Barraje**

El barraje mide 34 m de un extremo a extremo,

El barraje se construirá de concreto ciclópeo del tipo de gravedad, es decir fija (azud) y la compuerta será móvil (estructura metálica), dicho barraje se adaptará bien para usarse como vertedero o aliviadero en la corona, y depende de su propio peso para su estabilidad estructural.

### **Diseño del Azud (H)**

**H=1,8 m**

Generalmente el tirante del agua (h) es mayor que la altura del Azud (H).

Se obtiene mediante la tabla del perfil de CREAGER.

**Tabla 26:** Perfil de CREAGER,

<b>X</b>	<b>Y</b>
0,00	0,126
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

Debe cumplir que:  $h > H$

### Cálculo del tirante del agua (h)

Hemos empleado la fórmula del vertedero, que nos parece más adecuada porque toma en consideración la velocidad de acercamiento de las aguas de la quebrada al azud.

Coeficiente del vertedero según la forma de la cresta:

$$\mu = 0,70$$

Velocidad de acercamiento del río,

$$Vr = 2 \text{ m/s}$$

Gravedad

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

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

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

$$h = \left[ \left( \frac{3 * 140}{2 * 0,70 * 34 * \sqrt{2 * 9,81}} \right) + \left( \frac{2^2}{2 * 9,81} \right)^{\frac{3}{2}} \right]^{\frac{3}{2}} - \left( \frac{2^2}{2 * 9,81} \right)$$

$$h = 2,8 \text{ m}$$

$$2,8 \text{ m} > 1,8 \text{ m}$$

## Cálculo de la velocidad del agua sobre la cresta del azud

Área de la cresta del azud (A):

$$A = h * B$$

$$A = 2,8 \text{ m} * 34 \text{ m}$$

$$A = 95,2 \text{ m}^2$$

Velocidad sobre la cresta del azud (V):

$$V = \frac{Q_{\text{máx}}}{A}$$

$$V = \frac{140}{95,2}$$

$$V = 1,47 \text{ m/s}$$

## 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

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

$$he = 2,8 + \frac{1,47^2}{2 * 9,81}$$

$$he = 2,91 \text{ m}$$

Con este valor calculamos las coordenadas del azud, multiplicando las coordenadas del perfil Creager por 2,91 de modo que la tabla de perfil de CREAGER quedara del siguiente modo:

**Tabla 27:** Coordenadas del azud según Creager

X	Y
0,000	0,367
0,291	0,105
0,873	0,000
1,164	0,020

1,746	0,111
2,328	0,326
2,910	0,748
4,074	1,644
5,820	3,550
7,275	5,704
8,730	7,275

### 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:  $h_1$

$$Q_1 = \frac{Q_{m\acute{a}x}}{B}$$

$$Q_1 = \frac{140}{34}$$

$$Q_1 = 4,12 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$$

La altura total del agua sobre el lecho del río  $H_e$ :

$$H_e = H + h_e$$

$$H_e = 1,8 + 1$$

$$H_e = 2,8 \text{ m}$$

La altura de caída de agua  $\Delta h$ :

$$\Delta h = 1,2 * H_e$$

$$\Delta h = 1,2 * 2,8$$

$$\Delta h = 3,36 \text{ m}$$

La velocidad de caída de agua  $V_1$  será:

$$V_1 = \sqrt{2 * g * \Delta h}$$

$$V_1 = \sqrt{2 * 9,81 * 3,36}$$

$$V_1 = 8,12 \text{ m}/\text{seg}$$

La altura del agua al final del Azud  $h_1$ :

$$h_1 = \frac{Q_1}{V_1}$$

$$h_1 = \frac{4,12}{8,12}$$

$$\mathbf{h_1 = 0,51 m}$$

Por lo tanto, la profundidad de la cuenca o colchón "pc" será:

$$pc = H_e - \Delta h - h_1$$

$$pc = 2,8 - 3,36 - 0,51$$

$$\mathbf{pc = -1,07 m}$$

La cota vertical del Azud  $Y_{az}$ :

$$Y_{az} = \Delta h - h_1 + h_e$$

$$Y_{az} = 3,36 - 0,51 + 1$$

$$\mathbf{Y_{az} = 3,86 m}$$

Suponemos aguas abajo, el tirante  $t$ :

$$\mathbf{t = 0,80 m}$$

La profundidad de aguas abajo será:

$$h_2 = -pc + t$$

$$h_2 = -(-1,07) + 0,80$$

$$\mathbf{h_2 = 1,87 m}$$

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

$$h_2 = \frac{0,45 * Q_1}{\sqrt{h_1}}$$

$$h_2 = \frac{0,45 * 4,12}{\sqrt{0,51}}$$

$$\mathbf{h_2 = 2,6 m}$$

$$2,6 > 1,87$$

### Cálculo de la longitud de la cuenca

$$L = 5(h_2 - h_1)$$
$$L = 5(2,6 - 0,51)$$
$$L = 10,45 \text{ m}$$

### Ventana de captación

Para un caudal de ingreso de  $2 \text{ m}^3/\text{seg}$ , la ventana trabajará, como un vertedero, entonces el ancho de la ventana "L",

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

Dónde:

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

$$u = 0,71$$

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

$Q_d$  : Caudal de diseño ( $2 \text{ m}^3/\text{s}$ )

$$H = 0,60 \text{ m}$$

$$L = \frac{3 * 2}{2 * 0,85 * 0,71 * \sqrt{2 * 9,81 * 0,60^3}}$$
$$L = 2,41 \text{ m}$$

Para captar  $Q_d = 2000 \text{ lt/s}$  necesitamos un vertedero de ingreso con una longitud de bocal  $L = 2,41 \text{ m}$

### Reja de admisión

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 ( $N_e$ ):

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

Dónde:

$L$ : Longitud del vocal,

$b$ : Distancia entre ejes de las barras (0,15 – 0,20)

$$N_e = \frac{2,41}{0,15}$$

$$N_e = \mathbf{16,07}$$

Número de barras  $N_p$ :

$$N_p = N_e - 1$$

$$N_p = 16,07 - 1$$

$$N_p = \mathbf{15,07}$$

Ancho total de la ventana: (1/2" es igual a 1,27 cm)

$$At = 2,41 + 15,07(0,0127)$$

$$At = \mathbf{2,60\ m}$$

### 5.1.3. Canal de aducción

En nuestro caso tenemos una tubería perfilada diseñada que se encuentra en mal estado, por lo que sería necesario repotenciar la mini central con un canal de conducción.

#### Diseño hidráulico del canal

##### Canal rectangular:

De acuerdo a las fórmulas utilizadas para diseño de canales abiertos tenemos:

Ancho de la plantilla :  $b = 2,6\ m$

Tirante de agua :  $d = 0,60\ m$

Área :  $A = b * d = 1,56\ m^2$

Perímetro mojado :  $P = b + 2d = 3,8\ m$

Radio hidráulico :  $R = \frac{A}{P} = 0,41\ m$

Base mojada :  $B = b = 2,6\ m$

Altura del canal (tirante) :  $h = d = 0,60\ m$

Pendiente :  $S = 1,4/1000$

Rugosidad (concreto) :  $n = 0,015$

Velocidad :  $V = 1,3\ m/s$

Caudal :  $Q = A * V = 2\ m^3/s$

Por lo tanto de acuerdo a estos datos obtenidos, se considera:

Tirante	: $d = 0,60 \text{ m}$
Ancho de la plantilla	: $b = 2,6 \text{ m}$
Borde libre	: $B_l = 0,30 \text{ m}$
Altura total del canal	: $h + B_l = 0,90 \text{ m}$
Espesor de concreto	: $e = 0,30 \text{ m}$

Este canal se encuentra en buen estado y de acuerdo a las dimensiones calculadas, si cumple para el nuevo caudal de diseño que es de:

$$Q = 2 \text{ m}^3/\text{s}$$

### **Desgravador**

Se ubica inmediatamente después de la bocatoma, Esta estructura es una nave, que facilita la decantación del material grueso y evita su ingreso a la conducción, Tiene una longitud de 7 metros y un ancho de 2,60 metros y una altura de 2,60 metros y cuenta con una purga construida por una compuerta de dimensiones 0,60 x 0,60 metros y una tubería de acero de 0,60 metros de diámetro.

### **Canal trapezoidal:**

El canal trapezoidal comprende desde el desarenador hasta la cámara de carga abarcando un tramo de 776 m.

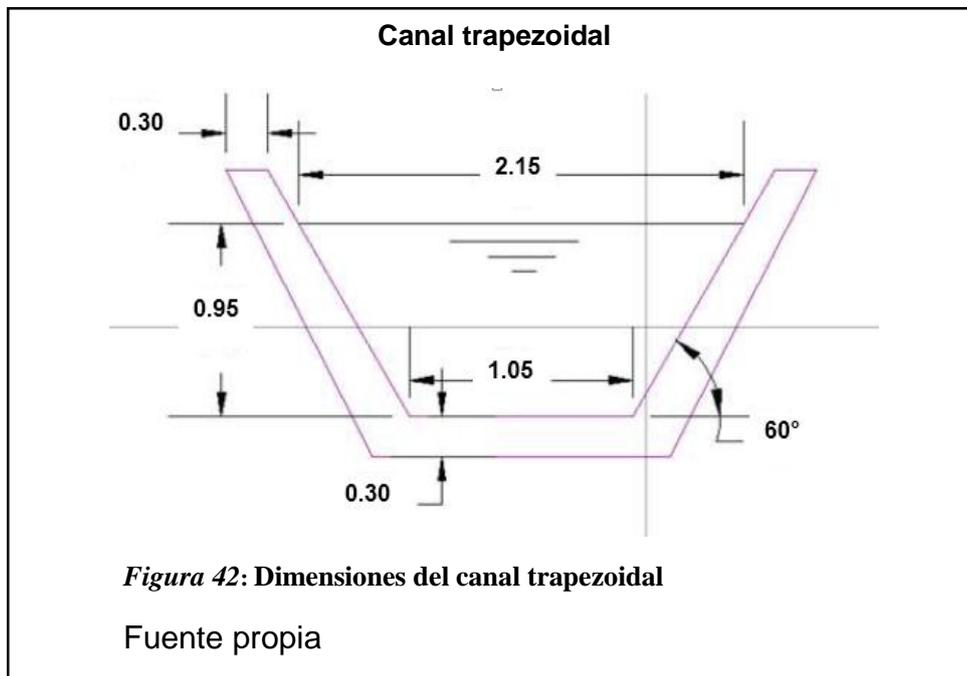
De acuerdo a las fórmulas utilizadas para diseño de canales abiertos tenemos:

Ancho de la plantilla	: $b = 1,05 \text{ m}$
Tirante de agua	: $d = 0,95 \text{ m}$
Talud	: $Z = 1/\text{tag}(\theta = 60^\circ) = 0,58$
Área	: $A = b * d + Z * d^2 = 1,56 \text{ m}^2$
Perímetro mojado	: $P = b + 2 * d * \sqrt{1 + Z^2} = 3,25 \text{ m}$
Radio hidráulico	: $R = \frac{A}{P} = 0,48 \text{ m}$
Base mojada	: $B = b + 2 * Z * d = 2,15 \text{ m}$
Pendiente	: $S = 1,4/1000$
Rugosidad (concreto)	: $n = 0,015$

Velocidad :  $V = 1,3 \text{ m/s}$   
Caudal :  $Q = A * V = 2 \text{ m}^3/\text{s}$

Por lo tanto de acuerdo a estos datos obtenidos, se considera:

Tirante :  $d = 0,95 \text{ m}$   
Ancho de la plantilla :  $b = 1,05 \text{ m}$   
Borde libre :  $B_l = 0,30 \text{ m}$   
Altura total del canal :  $h + B_l = 1,25 \text{ m}$   
Espesor de concreto :  $e = 0,30 \text{ m}$



#### 5.1.4. Desarenador

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

Siendo:

Caudal de diseño :  $Q = 2 \text{ m}^3/\text{s}$

Profundidad del agua en el desarenador ( $1,5 \leq h \leq 4,5 \text{ m}$ ):  $h = 3 \text{ m}$

La velocidad horizontal en la cámara de sedimentación "v" oscila entre 0,1 y 0,4 m/s.

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

### En función de la velocidad de escurrimiento

De baja velocidad  $v < 1$  m/s (0,20 - 0,6 m/s)

De alta velocidad  $v > 1$  m/s (1 - 1,5 m/s)

### Cálculo de la velocidad del flujo o velocidad horizontal "v" en el tanque

Utilizamos la fórmula de Camp

$$v = a\sqrt{d}$$

a	d(mm)
51	< 0,1
<b>44</b>	<b>0,1 – 1</b>
36	> 1

Dónde:

**d** = diámetro (mm)

**a** = constante en función del diámetro

Para: **d** = 0,32 mm = 0,00032

**a** = 44

$v = 44 \cdot \sqrt{0,00032} = 24,82$  cm/s

**v = 0,25 m/s**

### Cálculo de la velocidad ascensional ( $\omega$ )

Según Velikanox Bestelli Bush:

$a = 0,132h$

$a = 0,132 \cdot 3 = 0,6$

$\omega = a \cdot v$

$\omega = 0,6 \cdot 0,25 = 0,1$  m/s

**Cálculo de la velocidad de caída o sedimentación w (aguas tranquilas),**

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

**w** = velocidad de sedimentación (m/s)

**d** = diámetro de la partícula (m)

$$w=3,8*d+3,8d$$

$$d=0,32 \text{ mm}$$

$$d=0,00032 \text{ mm}$$

$$w=3,8*0,00032+3,8*0,00032= \mathbf{0,8 \text{ m/s}}$$

### **Cálculo de la velocidad de sedimentación real (W)**

$$W=w-\omega$$

$$W=0,078-0,021=\mathbf{0,7 \text{ m/s}}$$

### **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, Velocidad de flujo o velocidad horizontal del agua en el desarenador es 0,25 pero asumimos 0,30 para encontrar la constante

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

De acuerdo a la velocidad asumida  $v = 0,30 \text{ m/s}$ , de cuadro el valor de K es:

$$K = 1,50$$

$$L=kv*hW$$

$$L=1,500,25*30,057=\mathbf{19 \text{ m}}$$

### **Cálculo del ancho del Desarenador (b)**

$$b=Qdv*h$$

$$b=20,25*3=\mathbf{2, \text{ m}}$$

Se considera 3,0 metros de ancho,

### **Cálculo del tiempo de sedimentación (t)**

$$t=hW$$

$$t=30,057=52, s$$

### **Volumen de agua conducido en ese tiempo (Vol)**

$$Vol=Qd*t$$

$$Vol=2*52,63$$

$$\mathbf{Vol=105,26 m^3}$$

### **Verificando la capacidad del tanque (Vt)**

$$Vt=b*h*L$$

$$Vt=2,67*3*19$$

$$\mathbf{Vt=152 m^3}$$

En general se debe cumplir que:

$b*h*L$  sea mayor que  $Qd*t$ , entonces las partículas tendrían espacio suficiente para sedimentar,

$$\mathbf{165>105,26}$$

### **Cálculo de la capacidad del tanque colector**

Diferentes dimensiones establecen que un río transporta sedimentos a razón de  $0,05 kg/m^3$  a  $0,20 kg/m^3$  durante todo el año,

En una semana la bocatoma absorberá una determinada cantidad de sedimento:

$$T=3600*24*7=\mathbf{604800 s}$$

$$\gamma=0,05 kg/m^3$$

$$Mt=Qd*T*\gamma$$

$$Mt=2*604800*0,05$$

$$\mathbf{Mt=60480 kg}$$

Densidad de arena:

$$\rho=2600 kg/m^3$$

Supongamos una densidad de acumulación del 50%

Volumen de sedimento:

$$Vols = Mtp = 0,05 \text{ kg/m}^3$$

$$Vols = 604802600 = \mathbf{23, m^3}$$

Capacidad requerida del tanque:

$$Volt = Vols \cdot 0,50$$

$$Volt = 23,260,50 = \mathbf{46,2 m^3}$$

Profundidad del tanque colector:

$$dr = Volt \cdot b \cdot L$$

$$dr = 46,522,67 \cdot 19 = \mathbf{0,2 m}$$

### **Cálculo de la longitud de transición de entrada (Le)**

Para un Desarenador la transición de entrada es una expansión en sub crítico y la longitud se calcula con la ecuación,

$$\text{Espejo del canal} \quad : \quad b1 = 2,15 \text{ m}$$

$$\text{Espejo del Desarenador} \quad : \quad b2 = b = 3,0 \text{ m}$$

$$Le = b2 - b1 \cdot \tan 12,4^\circ$$

$$Le = 3,0 - 2,15 \cdot \tan 12,4^\circ = 1,93 \text{ m}$$

#### **5.1.5. Cámara de carga**

Esta estructura hidráulica busca crear un volumen de reserva de agua que permita satisfacer las necesidades de las turbinas y garantizar la sumergencia del sistema de conducción de alta presión, manteniendo una altura de agua suficiente que evite, a toda costa, la entrada de aire a estos equipos de generación, Las principales funciones de la cámara de carga o tanque de presión son: permitir la conexión entre el sistema de conducción y la tubería de presión, producir la sedimentación y eliminación de materiales sólidos que pudiera transportar el sistema de conducción, impidiendo de esta forma la entrada a la tubería de presión de materiales sólidos, de arrastre y flotantes, También debe desalojar

el exceso de agua en las horas en que la cantidad consumida por las turbinas es inferior al caudal de diseño,

**Para el diseño de la cámara de carga establecemos lo siguiente:**

El caudal de diseño será el mismo que llega a través del canal

El tirante de entrada es equivalente al tirante del canal, de igual manera el ancho de entrada corresponde al ancho del canal,

$$V_t = 0,693 * Q * 2A * i * g$$

Dónde:

$V_t$  = volumen del tanque de carga ( $m^3/s$ )

A = área del canal de conducción ( $m^2$ )

$i$  = pendiente del canal de llegada

$g$  = aceleración de la gravedad ( $m/s^2$ )

**0,693** es un coeficiente de disminución del volumen

A partir del volumen del tanque podemos obtener la constante de capacidad de este, para ello empleamos la siguiente tabla:

**Tabla 28:** Constante de capacidad

V(cientos de $m^3$ )	K
<3	2,0
4 – 6	1,8
7 – 9	1,5
10 – 13	1,3
14 – 16	0,7
>17	0,7

Pre dimensionamiento del tanque:

$$H = \sqrt[3]{V_t + k}$$

$$B = \sqrt[3]{V_t H}$$

Dónde:

H = profundidad del tanque de almacenamiento

B = ancho del tanque de almacenamiento

L = Largo del tanque de almacenamiento

Se considera, para efectos prácticos, que  $B=L$

De esta manera si se tiene un caudal de  $2 \text{ m}^3/\text{s}$ :

$$Vt=0,693*221,56 *0,0014*9,81=\mathbf{130 \text{ m}^3}$$

En cientos de metros cúbicos, será 1,30 por lo que se utiliza  $k = 2$ :

$$H=1,303+2=\mathbf{2, \text{ m}}$$

$$B=1302,43=\mathbf{7, \text{ m}}$$

Por tanto, las dimensiones calculadas para la cámara de carga son:

Profundidad ( $H_{cc}$ ) = 2,43 m

Ancho ( $B$ ) = 7,31 m

Longitud ( $L$ ) = 7,31 m

### 5.1.6. Tubería de presión

En este proyecto se hará uso de una tubería de acero en carbón según ASME B36,10M de 38 pulgadas de diámetro marca DN Brida, porque se adecua perfectamente a las condiciones del proyecto.

#### Diseño de la tubería de presión

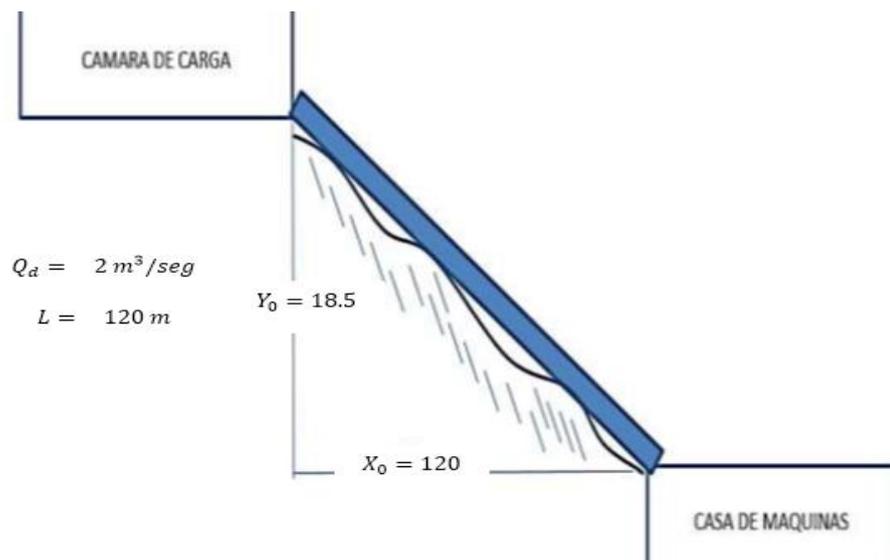


Figura 43: Longitud de la tubería de presión

Datos:

= Caudal de diseño requerido para la tubería de presión,

$L$  = Longitud de la tubería de presión,

$Y_0 = 18,5$  m

$X_0 = 120$  m

### Determinación del diámetro económico

$$D=70,085*Qd^3$$

$$D=70,085*23=0, m$$

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:

$$V=4*Qd\pi*D^2$$

$$V=4*2\pi*0,952=2, m/s$$

### Cálculo de pérdidas de carga debida a la fricción (hf)

$$hf=0,08*f*L*Qd^2D^5$$

$$L=X_0^2+Y_0^2$$

$$L=18,52+1202=121, m$$

Considerando un 10 % de tubería tenemos:

$$L=121,42*1,1=133, m$$

Dónde:

Coeficiente de fricción : =0,012 (tubería PVC)

Longitud de la tubería : =133,56 m

Caudal de diseño :  $d=2$  m<sup>3</sup>/seg

Diámetro de la tubería : =0,95 m

Luego tenemos:

$$hf=0,08*0,012*133,56*220,955$$

$$hf=0,66 m$$

### Calculo de la altura útil

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

$$H_u = Y_0 - h_p$$

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

Dónde:

$h_1$  = 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 ( $h_f$ )

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

### Pérdidas en la bocatoma ( $h_1$ )

$$h_1 = 1,3 * V^2 * g$$

$V$  = Velocidad del agua a la entrada de la compuerta

$$V = 0,64 \text{ m/s}$$

$$h_1 = 1,3 * 0,64^2 * 9,81 = \mathbf{0,7 \text{ m}}$$

### Pérdidas en la rejilla de la bocatoma ( $h_2$ )

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

Dónde:

$\beta = 2,34$  (Caso de barraras cuadradas de fierro)

$t$  = Espesor de la barra

$b$  = Distancia entre ejes de la barra

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

$$h_2 = \mathbf{0,001 \text{ m}}$$

### Pérdidas por pendiente en el canal ( $h_3$ )

$$h_3 = I_0 * L$$

Dónde:

$I_0$  = Se considera una pérdida de (1,4/1000)

$L$  = Se considera una longitud de 776 m

$$h_3 = 1,086 \text{ m}$$

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

$$h_4 = 0,35 * \left( \frac{V^2}{2 * g} \right)$$

Dónde:

$V$  = Velocidad en la rejilla

$$V = 0,72 \text{ m/seg}$$

$$h_4 = 0,35 * \left( \frac{0,72^2}{2 * 9,81} \right) = 0,009 \text{ m}$$

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

$$h_5 = 0,1 * \left( \frac{V^2}{2 * g} \right)$$

Dónde:

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

$$V = 0,65 \text{ m}$$

$$h_5 = 0,1 * \left( \frac{0,65^2}{2 * 9,81} \right) = 0,002 \text{ m}$$

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

$$h_6 = hf$$

$$h_6 = 0,66 \text{ m}$$

#### **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,

$$h_7 = 0,2 \text{ m}$$

### Altura útil ( $H_u$ )

$$H_u = Y_0 - h_p$$

$$h_p = 0,027 + 0,001 + 1,086 + 0,009 + 0,002 + 0,66 + 0,2 = \mathbf{1,985\ m}$$

$$H_u = 120 - 1,985 = \mathbf{118,02\ m}$$

### Cálculo de la sobrepresión por golpe de ariete

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

$$a = \frac{c}{\sqrt{1 + \frac{\varepsilon}{E} * \frac{D}{e}}}$$

Dónde:

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

$\varepsilon$  : Módulo de elasticidad volumétrica del agua ( $2 * 10^8 kg/m^2$ ),

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

$D$  : Diámetro de la Tubería (m)

$e$  : Espesor de la Tubería (m)

$a$  : Celeridad (m/s)

$$a = \frac{1420}{\sqrt{1 + \frac{2 * 10^8}{2,4 * 10^8} * \frac{0,9652}{0,00953}}}$$
$$\mathbf{a = 153,66\ m/s}$$

La longitud de la tubería es " $L = 115,55\ m$ " y la celeridad es " $a = 153,66\ m/s$ ", 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 ( $Tr < 1s$ ), Cuando el " $Tr$ " es menor o igual que el necesario para que la onda que parte del distribuidor vuelva a éste,

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

Para Golpe de Cierre Lento ( $Tr > 1s$ ), Cuando el " $Tr$ " se efectúa en un tiempo mayor que " $T$ "

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

$$T = 1,50$$

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:

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

**Para cierre lento tenemos:**

Dónde:

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

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

Asumiendo  $Tr = 3 s$  y verificamos si  $\Delta H \approx 30 \% Hb$

$$B = \frac{115,55 * 2,82}{9,81 * 18,5 * 3} = 0,61$$

$$\rho > 1$$

$$\Delta H_1 = \frac{18,5}{2} \left( 0,61^2 + 0,61 \sqrt{4 + 0,61^2} \right) = 15,24 \text{ m}$$

$$\Delta H_1 \approx 30 \% Hb$$

$$\rho > 1$$

$$\Delta H_2 = 2 * 0,61 * 18,5 = 22,57 \text{ m}$$

$$\Delta H_2 \approx 30 \% Hb$$

Entonces Tomamos:

$$Tr = 3 s, \quad \Delta H = 15,24 m \text{ para } \rho > 1$$

**Presión total que soportará la tubería**

$$\Delta P = H_b + \Delta H_1$$

$$\Delta P = 18,5 + 15,24 = 33,74 m$$

Sabemos que la densidad específica del agua es:

$$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$$

Luego tenemos:

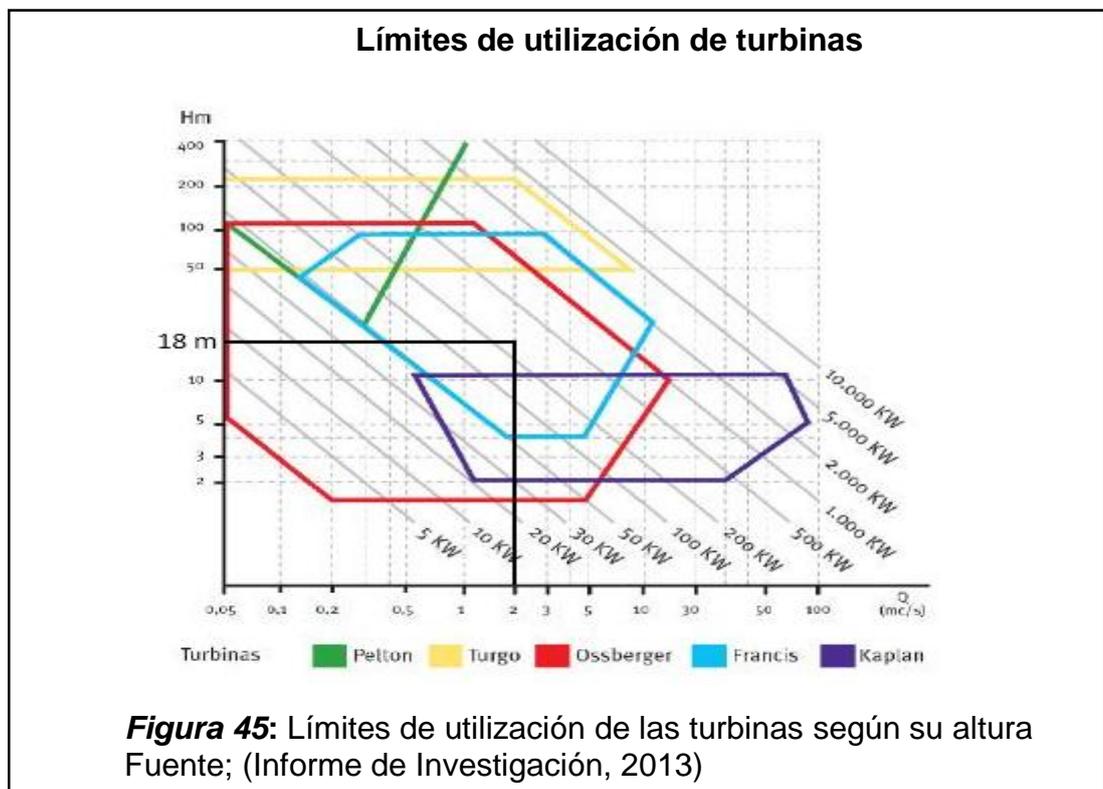
$$\Delta P_{total} = \rho + \Delta P$$

$$\Delta P_{total} = 1000 + 33,74 = 33740 \text{ kg/m}^2$$

$$\Delta P_{total} = 0,0337 \text{ kg/mm}^2$$

### 5.1.7. Turbina

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,



De la figura 45, para un salto neto 18 metros y un caudal de  $2 \text{ m}^3/\text{s}$ , se tiene una posibilidad:

Para una elección más precisa tendremos que analizar su número específico " $N_s$ "

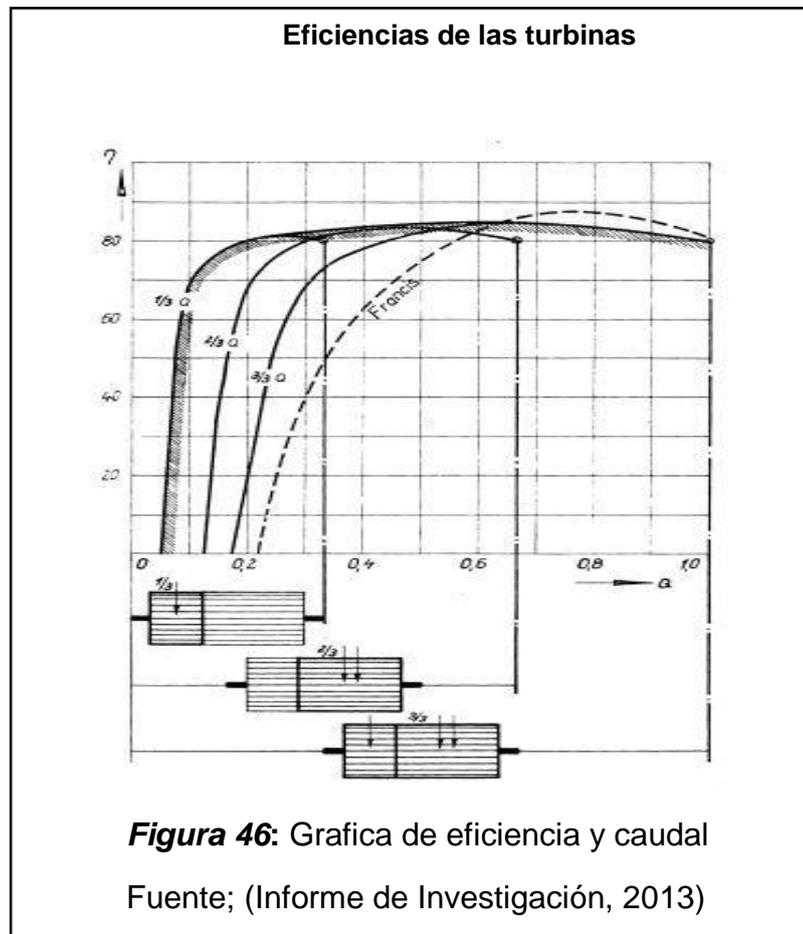
El número específico es un valor muy importante que nos indica que tan rápida va a ser la turbina y por consiguiente será menos costosa,

El  $N_s$  se define de la siguiente manera:

$$N_s = \frac{N\sqrt{P}}{H_n^{1,25}}$$

Primero tendremos que obtener su potencia expresada en "KW" y luego en "HP"

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



Dónde:

$Q$  : Caudal de diseño (2000 litros/s)

$H_n$  : Altura neta (18 metros)

$\eta$  : Eficiencia de la turbina (0,71)

$$P = 2000 * 18 * \frac{0,71}{102} = 250,59 \text{ kW}$$

$$P = 250,59 * \frac{102}{76} = 336,32 \text{ HP}$$

Entonces hallamos el numero especifico " $N_s$ " descartando las demas opciones,

$$N_s = \frac{600\sqrt{250,59}}{18^{1,25}} = 256,18$$

Teniendo en consideración la Altura Neta, el Caudal y el Número Específico de Revoluciones, en este caso corresponde utilizar una turbina marca **Xin Yi Hydro** modelo **Turbina Francis Hydro** de 250 kW de potencia,

### Características de diseño

**Tabla 29:** Características de la turbina

Caudal de diseño	2000 litros/s
Altura de diseño	18 metros
Potencia de la turbina	250 kW
Velocidad nominal	600 RPM

**Tabla 30:** Características de la turbina

Tipo	Francis Water Turbine
Potencia mecánica al eje	250 kW
Altura bruta	18 metros
Velocidad nominal	600 RPM
Número de ruedas	1
Eficiencia	0,82

### 5.1.8. Generador

Los generadores eléctricos son máquinas eléctricas rotativas, que se acoplan directa o indirectamente a los rodets de las turbinas y así, conjuntamente producen energía eléctrica o electricidad,

**Número de polos del generador:**

$$N_p = \frac{120(f)}{N}$$

Dónde:

$N_p$  : Número de polos

$N$  : Revoluciones

$f$  : Frecuencia

Reemplazamos los datos

$$N_p = \frac{120(60)}{600}$$

$$N_p = 12$$

Los dispositivos electrónicos utilizados soportarán las sobretensiones normales de una hidroeléctrica rural,

**Características de Diseño,**

**Tabla 31:** Características del generador

Potencia aparente	250 kW
Velocidad nominal	600 RPM
Factor de potencia	0,80
Tensión de generación	400 V
Frecuencia	60 Hz
Modelo	SFW250-10/990

**Sistema de Transmisión**

La transmisión de potencia hacia el generador será de forma directa es decir el eje de la turbina se acoplará con el eje del generador mediante un acople flexible,

### **Regulador Oleohidráulico**

Para mantener constante la frecuencia y la tensión, se instalará un regulador Oleohidráulico de carga, el cual tendrá equipos sensibles al detectar una elevada tensión y variación de la frecuencia,

### **Tablero de Control**

Llevará un tablero metálico donde irá conectado el regulador Oleohidráulico de carga, asimismo en el tablero se instalarán el frecuencímetro, los amperímetros y voltímetros para el control respectivo

### **Tubería de Presión**

La tubería de presión a utilizar será de 38" de diámetro y tendrá un espesor de  $e = 9,53$  mm, de acero en carbón,

### **Características técnicas del equipo electromecánico,**

De acuerdo a los cálculos realizados para la obtención de datos del Equipo Electromecánico, indicaremos sus características Técnicas de la siguiente manera:

**Tabla 32:** Características del Regulador y Tablero de Control

Tipo	Oleohidráulico
Potencia	250 kW
Numero de fases	3
Frecuencia	60 Hz
Precisión	-3%, 5%
Número de frecuencímetros	1
Número de voltímetros	3
Número de amperímetros	3

Para la transformación de la energía hidráulica en eléctrica será un generador síncrono de 60 Hz de frecuencia y con 12 polos de 600 rpm, modelo SFW250-10/990 el que será acoplado a la turbina, este generador nos permitirá generar una potencia de 250 kW, a un nivel de tensión de 400 V,

El diseño y selección del conductor desde el generador al tablero de control y desde este al transformador, se determina de acuerdo a la potencia útil que genera la pequeña central hidroeléctrica, voltaje de salida de generador, factor de potencia,

Potencia útil ( $P_{UTIL}$ ) : 250 kW = 250 000 W

Voltaje (V) : 400 V,

Factor de Potencia ( $\cos \phi$ ) : 0,80

Corriente de Diseño ( $I_{diseño}$ ) : En Amperios (A)

$$I_{diseño} = \frac{P_{UTIL}}{\sqrt{3} * V * \cos\phi}$$
$$I_{diseño} = \frac{250000}{\sqrt{3} * 400 * 0,80} = \mathbf{451,06 A}$$

## 5.2. Presupuesto y Evaluación Económica

### 5.2.1. Metrado y presupuesto

#### Obras civiles

**Tabla 33:** Obras civiles de la mini central hidroeléctrica de Omia

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	PRECIO EN S/.			
			METRADO	UNITARIO	PARCIAL	SUBTOTAL
	<b><u>A. OBRAS CIVILES</u></b>					
	-					
<b>0.00</b>	<b><u>OBRAS PROVISIONALES</u></b>					<b>6,303.60</b>
0.01	OFICINA ALMACENES Y CASETA DE GUARDIAN	m2	36.00	175.10	6303.60	
0.02	TROCHA DE ACCESO	Km	0.00	8741.42	0.00	
<b>1.00</b>	<b><u>OBRAS PRELIMINARES</u></b>					<b>16,750.00</b>
1.01	TRAZO Y REPLANTE DE OBRAS	Día	5.00	350.00	1750	
1.02	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE EQUIPO	Gbl	1.00	15000.00	15000	
<b>2.00</b>	<b><u>OBRA DE TOMA</u></b>	-	-	-		<b>10,200.00</b>
<b>2.03</b>	<b><u>CARPINTERIA METALICA</u></b>					<b>10,200.00</b>
02.03.01	BARANDA DE TUBO F° . G°. DE 1 1/2" (ALTURA 1.20 m)	ml	0.00	78.35	0.00	
02.03.02	REJILLA DE PERFILES METALICOS - SEGÚN DISEÑO	m2	0.00	169.25	0.00	
02.03.03	COMPUERTA METALICA 1.30 x 0.80	Und.	2.00	5100.00	10200.00	
02.03.04	COMPUERTA METALICA 0.60 x 0.60	Und.	0.00	1867.50	0.00	
02.03.05	COMPUERTA METALICA 1.50 x 1.50	Und.	0.00	11671.88	0.00	

<b>3.00</b>	<b><u>CANAL DE CONDUCCION</u></b>					<b>137,218.92</b>
<b>3.01</b>	<b>MOVIMIENTO DE TIERRAS</b>					<b>24,344.67</b>
03.01.01	EXCAVACION DE ZANJAS EN MATERIAL SUELTO	m3	2405.60	7.25	17440.60	
03.01.02	CAMA DE APOYO CON MATERIAL CERNIDO	m3	0.00	14.89	0.00	
03.01.03	RELLENO CON MATERIAL PROPIO	m3	0.00	7.42	0.00	
03.01.04	ELIMIN. DE MATERIAL EXCEDENTE (Dist. Mínima 500m)	m3	2405.60	2.87	6904.07	
<b>3.02</b>	<b>CANAL DE CONCRETO</b>					<b>112,874.24</b>
03.02.01	CONCRETO SIMPLE f' c = 100 Kg/cm2 - SOLADO	m3	131.92	88.53	11678.88	
	CONCRETO f'c = 210 Kg/cm2	m3	993.28	101.88	101195.37	
<b>4.00</b>	<b><u>CAMARA DE CARGA</u></b>					<b>2,500.00</b>
<b>4.05</b>	<b>VARIOS</b>					<b>2,500.00</b>
04.05.01	SISTEMA DE CONTROL DE NIVELES	Glb	1.00	2500.00	2500.00	
<b>5.00</b>	<b><u>TUBERIA FORZADA</u></b>					<b>102,398.93</b>
<b>5.01</b>	<b>MOVIMIENTO DE TIERRAS</b>					<b>4,875.53</b>
05.01.01	EXCAVACION DE ZANJAS EN MATERIAL SUELTO	m3	262.50	6.73	1766.625	
05.01.02	CAMA DE APOYO CON MATERIAL CERNIDO	m3	147.50	14.89	2196.275	
05.01.03	RELLENO CON MATERIAL PROPIO	m3	35.00	7.42	259.7	
05.01.04	ELIMIN. DE MATERIAL EXCEDENTE (Dist. Mínima 500m)	m3	227.50	2.87	652.925	
<b>5.02</b>	<b>BLOQUES DE ANCLAJE Y APOYO DE CONCRETO</b>					<b>25,126.86</b>
05.02.01	CONCRETO SIMPLE f' c = 100 Kg/cm2	m3	3.49	188.53	657.97	

05.02.02	CONCRETO f'c = 210 Kg/cm2	m3	56.00	301.88	16905.28	
05.02.03	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO PLANO	m2	89.10	29.63	2640.03	
05.02.04	ACERO DE REFUERZO f'y = 4.200 Kg/cm2	Kg	1977.34	2.49	4923.58	
<b>5.03</b>	<b>SUMINISTRO Y COLOCACION DE TUBERIAS</b>					<b>72,396.55</b>
05.03.01	TUBERIA DE ACERO EN CARBON DE 38" DE DIAMETRO	ml	125.00	489.45	61181.25	
05.03.02	TUBERIA DE ACERO DE 24" DE DIAMETRO e = 6.5mm	ml	3.60	786.03	2829.71	
05.03.03	TUBERIA DE ACERO DE 0.50m DE DIAMETRO e = 6.5mm	ml	12.00	662.22	7946.64	
05.03.04	JUNTA CON BRIDA FIJA	Und.	1.00	438.95	438.95	
	<b>SUB TOTAL COSTO DIRECTO</b>				<b>S/.</b>	<b>275,371.45</b>
	<b>GASTOS GENERALES</b>	<b>7.00%</b>			<b>S/.</b>	<b>19,276.00</b>
	<b>UTILIDAD</b>	<b>8.00%</b>			<b>S/.</b>	<b>22,029.72</b>
	<b>TOTAL OBRAS CIVILES</b>				<b>S/.</b>	<b>316,677.17</b>

Fuente propia

## Equipamiento y generación

**Tabla 34:** Equipamiento generación

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	PRECIO EN S/,			
			METRADO	UNITARIO	PARCIAL	SUBTOTAL
	<b><u>B.- EQUIPAMIENTO GENERACION</u></b>					
	-					
	<b><u>B-1: SUMINISTRO ELECTROMECHANICO</u></b>					
	-					
<b>1.00</b>	<b><u>CABLES DE POTENCIA Y EQUIPOS</u></b>					
	-					
1.01	CABLE DE ENERGIA NYY, 1kv, 1x95 mm2	ml	60,00	11,76	705,60	
1.02	TERMINALES PARA CABLE SECO UNIPOLAR DE 95 mm2					
1,02,01	TIPO EXTERIOR 0,6/1 kv	Und	3,00	125,00	375,00	
1,02,02	TIPO EXTERIOR 0,6/1 kv	Und	3,00	100,00	300,00	
1,03	ESTRUCTURA DE IZAJE, TIPO TRIANGULAR DESARMABLE CON PALIPASTO DE 1,5 Tn DE ACCIONAMIENTO MANUAL	Und	1,00	3500,00	3500,00	
1,04	TUBERIA DE ACERO SCH 40 - ASTM A36 - 65 mm DE DIAMETRO CON ACCESORIOS (2 BRIDAS , 04 DE 90")	Cjto	1,00	200,00	200,00	
1,05	VALVULA COMPUERTA EMBRIDADA F" F"65 mm DE DIAMETRO Y 103 kPa DE ACCIONAMIENTO MANUAL	Und	1,00	224,00	224,00	
	<b>SUB - TOTAL 1</b>					<b>5,304,60</b>
<b>2,00</b>	<b><u>INSTALACIONES ELECTRICAS GENERALES</u></b>					
	-					
2,01	TABLERO DE DISTRIBUCION TRIFASICO-ALUMBRADO Y TOMACORRIENTE EQUIPADO CON INTERRUPTORES	Und	1,00	1200,00	1200,00	

	TERMOMAGNETICOS ADOSADO A LA PARED					
2,02	LUMINARIA INDUSTRIAL SEMIPESADO PARA TECHO CON	Und	4,00	115,00	460,00	
	2 LAMPARAS FLUORECENTES 36W CADENA FIJACION					
2,03	LUMINARIA INDUSTRIAL SEMIPESADO PARA ADOSAR CON	Und	7,00	85,00	595,00	
	1 LAMPARAS FLOURECENTES 36W					
2,04	CAJA OCTOGONAL DE FOGO PESADO	Und	13,00	6,00	78,00	
2,05	CAJA RECTANGULAR DE FOGO PESADO	Und	6,00	6,00	36,00	
2,06	TOMACORRIENTE BIPOLAR-IDN-20A-250V TOMA TIERRA	Und	4,00	10,00	40,00	
2,07	CONDUCTOR DE COBRE TIPO THW DE 10 mm2	ml	60,00	1,80	108,00	
2,08	CONDUCTOR DE COBRE TIPO THW DE 4 mm2	ml	300,00	1,20	360,00	
2,09	TUBERIA DE PVC PESADA DE 20 mm DE DIAMETRO	ml	100,00	7,00	700,00	
2,10	CODOS DE 90° PVC SAP DE 20mm DIAMETRO	Und	12,00	5,00	60,00	
2,11	INTERRUPTOR SIMPLE TIPO TICINO	Und	1,00	7,00	7,00	
2,12	INTERRUPTOR DOBLE TIPO TICINO	Und	1,00	9,00	9,00	
	<b>SUB - TOTAL 2</b>					<b>3,653,00</b>
<b>5,00</b>	<b><u>SISTEMA DE GENERACIÓN</u></b>					
5,01	TURBINA Y GENERADOR 250 kW - TIPO FRANCIS	Und	1,00	50000,00	50000,00	
	<b>SUB - TOTAL 5</b>					<b>50,000,00</b>
<b>6,00</b>	<b><u>SUBESTACION ELEVADORA</u></b>					
6,01	TRANSFO, ELEVADOR TRIF,250 kVA 22,9/0,40 kV 1800 m,s	Und,	1,00	25000,00	25000,00	
6,02	SECCIONADOR FUSIBLE-cut out 27 kv 100 A	Und,	3,00	468,80	1406,40	

6,03	PARARRAYOS OXIDO ZINC- DISTRBUACION 21 kV- 10kV	Und,	3,00	508,20	1524,60	
6,04	POSTE DE MADERA TRATADA DE 12 m, CLASE 5	Und,	2,00	834,70	1669,40	
6,05	PERFIL "C" DE A "G"DE 75x38x6mm Y 0,60m LONGITUD	Und,	2,00	13,00	26,00	
6,06	CRUCETA DE MADERA TRATADA DE 90mmx254mmx2,40mm	Und,	2,00	150,00	300,00	
6,07	CRUCETA DE MADERA TRATADA DE 90mmx115mmx2,40mm	Und,	3,00	110,00	330,00	
6,08	AISLADOR DE PORCELANA TIPO PIN, CLASE ANSI 56-2	Und,	6,00	41,55	249,30	
6,09	ESPIGA A" G"- CRUCETA /AISLADOR ANSI 56-2 356 mm	Und,	6,00	15,10	90,60	
6,10	CONDUCTOR DE ALEACION DE ALUMINIO DE 25 mm <sup>2</sup>	Km	0,03	843,51	25,31	
6,11	PERNO CABEZA COCHE A° G° 13 mm φ x 152 mm, PROVISTO DE ARANDELA REDONDA, TUERCA Y CONTRATUERCA	Und,	4,00	3,77	15,08	
6,12	PERNO A° G° 16mm φ x 305 mm,-TUERCA Y CONTRATUERCA	Und,	4,00	6,29	25,16	
6,13	PERNO A° G° 16mm φ x 356 mm,-TUERCA Y CONTRATUERCA	Und,	8,00	7,34	58,72	
6,14	BRAZO-SOPORTE (RIOSTRA)DE PERFIL ANGULAR DE A° G° DE 38x38x6 mmY 1350mm DE LONGITUD	Und,	4,00	31,48	125,92	
6,15	TUBERIA PVC SAP DE 75mm DE DIAMETRO	ml	15,00	11,55	173,25	
6,16	CURVA PVC SAP DE 75mm DE DIAMETRO	Und,	2,00	31,50	63,00	
6,17	PUESTA A TIERRA CONFORMADA POR					
6,17,01	CONDUCTOR DE COBRE DESNUDO , CABLEADO DE 35mm	ml	40,00	3,50	140,00	
6,17,02	CAJA DE REGISTRO DE CONCRETO DE 0,4x0,4x0,4m	Und,	1,00	85,00	85,00	
6,17,03	VARILLA PUESTA A TIERRA COOPERWELD2,40x16m	Und,	1,00	80,00	80,00	
6,17,04	CONECTOR COBRE-PERNO PARTIDO,COND35 mm <sup>2</sup>	Und,	6,00	15,00	90,00	
6,17,05	GRAPA EN "U" DE ACERO RECUBIERTO CON COBRE	Und,	50,00	0,34	17,00	
6,17,06	TRATAMIENTO QUIMICO DE POZO PUESTA A TIERRA GRAPAS VIAS PARALELA BIMETALICO CONDUCTOR AAAC	Und,	1,00	160,00	160,00	
6,17,07	HASTA 35mm <sup>2</sup> Y COBRE DE 35mm <sup>2</sup>	Und,	3,00	5,68	17,04	
6,17,08	LISTON DE MADERA TRATADA 50x12,5 mm, 2,7 m LONGITUD	Und,	1,00	5,50	5,50	
6,17,09	PLANCHA DOBLADA COBRE PARA ESPIGAS Y/O PERNOS	Und,	2,00	0,34	0,68	
6,17,10	ACCESORIOS VARIOS	Und,	1,00	40,00	40,00	



	JUNTAS DE DESMONTE Y TUBERIA DE DESCARGA					
1,02	MONTAJE TABLEROS CONTROL Y MANDO GENERA 1 Y	Cjto	1,00	800,00	800,00	
	INCL, CABLEADO, FIJACION Y ACABADOS FINALES					
1,04	MONTAJE BANCO RESISTENCIAS (CARGA FICTICIA)	Cjto	1,00	550,00	550,00	
1,05	TENDIDO CABLES DE POTENCIA Y CONTROL DE EQUIPOS	Cjto	1,00	2500,00	2500,00	
	SUMINISTRADOS POR EL MEM/DEP, SEGÚN DIAGRAMA					
	Y CUADRO DE CABLEADO RESPECTIVO					
	<b>SUB - TOTAL 1 :</b>					<b>18 350,00</b>
<b>5,00</b>	<b><u>SUBESTACION ELEVADORA</u></b>					
5,01	MONTAJE DE SUBESTACION AEREA DE MADERA, INCL,	Cjto	1,00	3250,00		
	INST, Y MONTAJE POSTES, CRUCETAS, SOPORTE DEL					
	TRAFO, TRAFO 250 KVA, SECCIONADOR, PARARRAYOS					
	AISLADORES, CONEXIONES Y ACABADOS FINALES					
5,02	INSTALACION PUESTATIERRA, INCLUYE EXCAVACION	Cjto	1,00	250,00		
	POZO, TENDIDO CABLES, CONEXIONES Y ACAB, FINALES					
	<b>SUB - TOTAL 5 :</b>					<b>3 500,00</b>
<b>6,00</b>	<b><u>PROTECCION CASA MAQUINA</u></b>					
6,01	MONTAJE PARARRAYO TETRAPUNTUAL TIPO FRANKLIN	Und	1,00	58,00	58,00	
6,02	INSTALACION PUESTA TIERRA, INCLUYE EXCAVACION	Cjto	1,00	150,00	150,00	
	POZO, TENDIDO CABLES, CONEXIONES Y ACAB, FINALES					
	<b>SUB - TOTAL 6 :</b>					<b>208,00</b>

<b>7,00</b>	<b><u>MONTAJE CONTROL NIVEL</u></b>					
7,01	MONTAJE SISTEMA CONTROL NIVEL CAMARA DE CARGA	Cjto	1,00	225,00	225,00	
	INCL, TRASDUCTOR DE NIVEL, CABLES DE CONEXIÓN Y					
	TABLERO DE CONTROL					
	<b>SUB - TOTAL 7 :</b>					<b>225,00</b>
	<b>TOTAL B - 2 : MONTAJE ELECTROMECHANICO</b>				<b>S/,</b>	<b>22 283,00</b>
	<b>TOTAL B - 3 : TRANSPORTE</b>				<b>S/,</b>	<b>6 500,00</b>
	<b>COSTO EQUIPAMIENTO</b>				<b>S/,</b>	<b>122 528,56</b>
	<b>TOTAL COSTO DIRECTO</b>				<b>S/,</b>	<b>122 528,56</b>
	<b>GASTOS GENERALES</b>	<b>7%</b>			<b>S/,</b>	<b>8 577,00</b>
	<b>UTILIDAD</b>	<b>8%</b>			<b>S/,</b>	<b>9 802,28</b>
	<b>TOTAL EQUIPAMIENTO GENERACION</b>				<b>S/,</b>	<b>140 907,84</b>

Fuente propia

### 5.3. Resumen general del metrado y presupuesto

**Tabla 35:** Resumen de metrado y presupuesto

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD
1	OBRAS CÍVILES	275 371,45
2	MATERIALES ELECTROMECÁNICOS	93 745,56
3	MONTAJE ELECTROMECÁNICO	22 283,00
4	TRANSPORTE MAT, ELECTORMECÁNICOS	6 500,00
<b>TOTAL COSTO DIRECTO</b>		<b>397 900,00</b>
<b>GASTOS GENERALES (6%)</b>		<b>27 853,00</b>
<b>UTILIDAD (8%)</b>		<b>31 832,00</b>
<b>TOTAL (S/,)</b>		<b>457 585,00</b>

Fuente propia

## 5.4. Costo teórico de generar energía eléctrica

**Tabla 36:** Costo teórico de generar energía eléctrica

Costo Teórico de Generar Energía Eléctrica			
Ítem	Símbolos	Valor	Unidad
Vida estimada de la instalación	t	20	Año
Inversión inicial	i	457 585,00	S/,
Costes de operación y mantenimiento	Mt	220 544,00	S/,
Energía generada durante la vida del sistema	E	39 900 000,00	kW h
Tasa de descuento	r	12%	

$$LCOE = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{i + Mt}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{E}{(1+r)^t}}$$

$$F1 = \sum_{t=1}^n \frac{i + Mt}{(1+r)^t}$$

$$F2 = \sum_{t=1}^n \frac{E}{(1+r)^t}$$

Años	F1	F2
1	654499,29	35625000,00
2	633401,33	31808035,71
3	614563,87	28400031,89
4	597744,70	25357171,33
5	582727,59	22640331,54
6	569319,46	20214581,73
7	557347,91	18048733,69
8	546659,03	16114940,80
9	537115,38	14388340,00
10	528594,27	12846732,14
11	520986,13	11470296,55
12	514193,16	10241336,21
13	508128,00	9144050,19
14	502712,68	8164330,52
15	497877,57	7289580,82
16	493560,51	6508554,31
17	489705,99	5811209,20
18	486264,46	5188579,65
19	483191,66	4632660,40
20	480448,09	4136303,93
<b>SUMA</b>	<b>10799041,06</b>	<b>298030800,61</b>
<b>LCOE (S/, / kW h)</b>	<b>0,036</b>	
<b>Tarifa de Venta de Energía (S/, / kW h)</b>	<b>0,05</b>	

#### 5.4. Cálculo de TIR y VAN

**Tabla 37:** Calculo de TIR y VAN

AÑOS	EGRESOS		INGRESOS	BENEFICIO NETO
	Inversión	Operación y Mantenimiento	Venta de Energía	
0	-457 585,00	0,00	0,00	-457 585,00
1	0,00	-8 000,00	90 360,15	82 360,15
2	0,00	-8 000,00	90 360,15	82 360,15
3	0,00	-8 000,00	90 360,15	82 360,15
4	0,00	-8 000,00	90 360,15	82 360,15
5	0,00	-9 600,00	90 360,15	80 760,15
6	0,00	-9 600,00	90 360,15	80 760,15
7	0,00	-9 600,00	90 360,15	80 760,15
8	0,00	-9 600,00	90 360,15	80 760,15
9	0,00	-9 600,00	90 360,15	80 760,15
10	0,00	-11 520,00	90 360,15	78 840,15
11	0,00	-11 520,00	90 360,15	78 840,15
12	0,00	-11 520,00	90 360,15	78 840,15
13	0,00	-11 520,00	90 360,15	78 840,15
14	0,00	-11 520,00	90 360,15	78 840,15
15	0,00	-13 824,00	90 360,15	76 536,15
16	0,00	-13 824,00	90 360,15	76 536,15
17	0,00	-13 824,00	90 360,15	76 536,15
18	0,00	-13 824,00	90 360,15	76 536,15
19	0,00	-13 824,00	90 360,15	76 536,15
20	0,00	-13 824,00	90 360,15	76 536,15
<b>VAN (S/,)</b>		<b>959 074,86</b>		
<b>TIR</b>		<b>17%</b>		

Fuente propia

**VI**  
**CONCLUSIONES Y**  
**RECOMENDACIONES**

## VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1. Conclusiones

Se evaluó el potencial hidroenergético con el método del flotador aplicado en la zona de estudio, en el cual se obtuvo un caudal en avenida 140 m<sup>3</sup>/s también se analizó un registro de caudal que data del año 2004 este comprende un periodo de un año, obteniendo un caudal promedio de 5 m<sup>3</sup>/s, suficiente para producir 250 kW, siendo el caudal de diseño de 2 m<sup>3</sup>/s.

Se evaluó el estado de las estructuras de las obras civiles, obteniendo que no están diseñadas para un aumento de capacidad de caudal, por lo que se realizó el diseño para el nuevo caudal que permita el Repotenciamiento de dicha Mini Central.

Se calculó las partes del Repotenciamiento de la mini central hidroeléctrica en el cual se obtuvo: La tubería de presión a utilizar será de 38" de diámetro y tendrá un espesor de  $e = 9,53$  mm, de acero en carbón, marca DN Brida. La cámara de carga tendrá las siguientes dimensiones: Profundidad de 2,43 m, Ancho de 7,31 m y Longitud de 7,31 m. El Tanque Colector tendrá una capacidad de 46,52 m<sup>3</sup> con una profundidad de 0,92 m.

Se seleccionó en base al caudal de diseño de 2 m<sup>3</sup>/s y altura neta de 18,5 m, una turbina marca Xin Yi Hydro modelo Turbina Francis Hydro de 250 kW de potencia, Un Generador de 250 kW, 600 RPM, 400 V, 60 Hz, 451,06 A.

Se elaboró el análisis económico del Repotenciamiento de la Mini Central Hidroeléctrica de Omia, siendo el costo de inversión de S/. 457 585,00, el Costo Teórico de Generar Energía Eléctrica de 0,036 S./ kW-h, la Tarifa de Venta de Energía de 0,050 S./ kW-h, con lo que obtenemos un TIR de 17 % y un VAN de S/. 959 074,86.

## **6.2. 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 BIBLIOGRAFÍA

Real Academia Española. (2001). Obtenido de <http://www.rae.es/recursos/diccionarios/drae>

Informe de Investigación. (2013). Evah.

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)

Alcaraz, M. (2011). Repotenciación de Central Hidroeléctrica: Una Alternativa Para Aumentar La Capacidad De Generación De Energía Eléctrica. Universidad Nacional Autónoma De México.

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)

Céspedes, W. J. (2010). REPOTENCIACIÓN DE LA PEQUEÑA CENTRAL HIDROELÉCTRICA ALGAMARCA. PIURA -PERU.

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>.

Ecology.com. (2013). Hidroenergía en China. Las formas mas usadas de las energías renovables.

Electro Industria. (2011). Central Hidroelectrica de Callarauco. Aportando el establecimiento energetico y el desarrollo del sector agricola.

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>

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-](http://web.ebscohost.com/ehost/detail?vid=12&hid=105&sid=2c94b2dc-1ffb-4e56-bfd7-e9c82d2ad416%40sessionmgr115&bdata=Jmxhbmc9ZXMmc2l0ZT1laG9zdC1saXZI#db=a9h&AN=67626386)

[e9c82d2ad416%40sessionmgr115&bdata=Jmxhbmc9ZXMmc2l0ZT1laG9zdC1saXZI#db=a9h&AN=67626386](http://web.ebscohost.com/ehost/detail?vid=12&hid=105&sid=2c94b2dc-1ffb-4e56-bfd7-e9c82d2ad416%40sessionmgr115&bdata=Jmxhbmc9ZXMmc2l0ZT1laG9zdC1saXZI#db=a9h&AN=67626386)

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, 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.

Labrin, D. (2011). DISEÑO DE UNA MINICENTRAL HIDROELECTRICA. CHICLAYO.

Ortiz, R. (2001). Pequeñas centrales hidroeléctricas. Lima.

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.

Ramiro, o. f. (2001). pequeñas centrales hidroelectricas. Obtenido de pequeñas centrales hidroelectricas.

Sanchez, T., Escobar, R., Ramirez, S., Canedo, W., Alva, G., & Guzmán, Y. (2010). Microcentrales Hidroelectrica: Una alternativa para el desarrollo rural. Lima: Soluciones practicas.

Viani, b. (s.f.). microcentrales hidroelectricas.

# **ANEXOS**

## ANEXO 1

### FOTOS DE LA MEDICION DE CAUDALES DEL RIO OMIA





**UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPAN**

**CONTROL DE CAUDALES**

**Estación:**

**Rio:**

**Mes:**

**Cuenca:**

**Nombre del aforador:**

		Trabajo de campo				Trabajo del gabinete							
FECHA		HORA		Tiempo			Velocidad(m/s)			Caudal			
Día/Mes/ Año	Ini cial	Fin al	Margen Derech o	Centro	Margen izquierd o	Tiempo promedio	Distancia recorrida por el flotador	V superfi cial	V medi a	Profun didad prome dio(m)	Anch o del rio(m )	Áre a(m 2/s)	Caudal (m3/s)
			F1	F2	F3	Tp= F1+F2+F3/3	d(m)	Vs= d/tp	Vm= Vs*0, 85	hp	a	A= hp* a	

# PLANOS