



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y
LA CONSTRUCCION**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**TESIS PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

**AUTORES: GUTIERREZ CRUZ, LUIS SANTIAGO
LLUMIQUINGA GUALOTUÑA, JORGE EDUARDO**

**TEMA: ESTUDIO DE LA PREFACTIBILIDAD DE LAS
OBRAS CIVILES DE LA MICRO CENTRAL EL VOLCAN.**

DIRECTOR: ING. SANDOVAL, WASHINGTON Ph.D.

CODIRECTOR: ING. MASABANDA, MARCO Ph.D.

SANGOLQUÍ, MAYO 2015

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el Sr. **JORGE EDUARDO LLUMIQUINGA GUALOTUÑA** y Sr. **LUIS SANTIAGO GUTIÉRREZ CRUZ** como requerimiento parcial a la obtención del título de INGENIERO CIVIL.

Sangolquí, Mayo de 2015

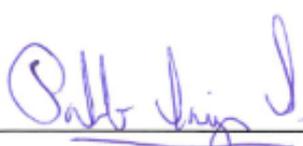


Ing. Washington R. Sandoval E. Ph. D.
DIRECTOR



Ing. Marco V. Masabanda C. Ph. D.
CODIRECTOR

REVISADO POR:



Ing. Pablo Caiza Ph. D.
DIRECTORA DE LA CARRERA

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, JORGE EDUARDO LLUMIQUINGA GUALOTUÑA

Declaro que:

El proyecto de grado denominado **“ESTUDIO DE LA PREFACTIBILIDAD DE LAS OBRAS CIVILES DE LA MICRO CENTRAL EL VOLCAN”** ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan al pie de las página correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de mi autoría.

En virtud de esta declaración me responsabilizo de su contenido, veracidad y alcance científico.

Sangolquí, Mayo de 2015



Jorge Eduardo Llumiquinga Gualotuña

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **LUIS SANTIAGO GUTIÉRREZ CRUZ**

Declaro que:

El proyecto de grado denominado **“ESTUDIO DE LA PREFACTIBILIDAD DE LAS OBRAS CIVILES DE LA MICRO CENTRAL EL VOLCAN”** ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan al pie de las página correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de mi autoría.

En virtud de esta declaración me responsabilizo de su contenido, veracidad y alcance científico.

Sangolquí, Mayo de 2015



Luis Santiago Gutiérrez Cruz

AUTORIZACIÓN

Nosotros, Jorge Eduardo Llumiquinga Gualotuña y Luis Santiago Gutiérrez Cruz

Autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución el “**ESTUDIO DE LA PREFACTIBILIDAD DE LAS OBRAS CIVILES DE LA MICRO CENTRAL EL VOLCAN**” cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Sangolquí, Mayo de 2015



Jorge Eduardo Llumiquinga Gualotuña



Luis Santiago Gutiérrez Cruz

DEDICATORIA

A las personas que por su sola presencia me animaban a culminar este ciclo de mi vida: A mis abuelitos, Manuel, Blanca (que en algún momento la volveré a abrazar), Alicia, Augusto, a mis primos, tíos, sobrinos, mis dos ñaños, mi hija; princesita de mis ojos, a mi esposa; la reina de mi vida, a mi querida y sabia mamita, y por último a mi gran amigo, compañero, mi ejemplo y mi alcalde; mi padre.

Santiago

DEDICATORIA

Dedico este proyecto a mis padres José y Rosa, a quienes les debo la educación que me han inculcado desde pequeño el sueño de ser profesional lo puedo ver hecho realidad gracias a ellos, a mi hermana y amiga Paola, con la cual eh compartido gran parte de mi vida, con Paola conté y contare incondicionalmente en las buenas y las malas.

Jorge

AGRADECIMIENTOS

A Dios, gracias por el milagro de la vida.

A mis padres por el apoyo incondicional en toda decisión en mi vida, sin el ejemplo que me han dado, de seguro yo no estuviera escribiendo estas líneas ni ustedes leyéndolas.

A mis directores de Tesis, Ing. Washington Sandoval Ph. D, e Ing. Marco Masabanda Ph. D., su apoyo y colaboración fue crucial en nuestra Tesis, infinitas gracias.

A mi ñaño Héctor por sus muchos consejos, a mi ñaño Alejo que cuando les visitaba los fines de semana siempre me animaba con sus chistes y ocurrencias.

A Marilyn que desde el primer paso que di en la Universidad y hasta el último, ha estado junto a mí; gracias por iluminar ese, nuestro camino, siempre por el bien. Fuiste para mí una excelente novia, eres una excelente esposa, y hoy, una madre sin igual; gracias por darme esa hija tan maravillosa, ojos tan tiernos como los tuyos.

Agradezco también a mis amigos, ñañines del colegio, en los malos ratos siempre estaban acompañándome.

Y por último, la vida universitaria no habría sido tan entretenida sin esas amistades sinceras que se hacen con el paso de los años, donde estén; muchas gracias. Y por supuesto gracias a mis compañeros de aula, que hicieron llevadero los estudios hasta el final; Daniel, Kike, Jorge, Andrés, German, Micky, nos veremos en el posdoctorado.

Santiago

AGRADECIMIENTOS

Pensar un momento en todo el camino que eh tenido que recorrer para llegar a este punto en mi vida, el día de mi graduación, vienen a mi mente muchas personas que estuvieron junto a mí en este largo camino, pero antes de mencionarlas no quisiera pasar el hecho de que primero tengo que agradecer a Dios por la vida, por los momentos vividos, por las gracias recibidas de parte de él, sin ese motor en mi vida llamado Dios simplemente no hubiese tenido las suficientes fuerzas para afrontar con valentía cada momento en mi vida, cada persona, cada momento, cada gracia de parte de él fueron las correctas en mi camino.

Agradezco a mis padres, por el amor, esfuerzo, confianza y responsabilidad que le pusieron al momento de criarme sin ese apoyo incondicional no hubiera estado disfrutando de este momento; mi madre La señora Rosita Gualotuña, gracias por sus consejos siempre tan acertados por la gran confianza que puso en mi de verme un día como una persona preparada listo para luchar por mis ideales, por el amor que sin importar la situación y el momento recibo de parte de mi madre, por los conocimientos que me impartió y sobre todo gracias por darme la vida y por dejarme estar a tu lado todos los días observando calladamente pero atento siempre, al cariño, las ganas y amor con las que haces las cosas para salir adelante admiro mucho de ti el empeño para sobresalir, para superarte cada día; a mi padre el Señor José Llumiquinga del cual tengo mucho en mí, su personalidad, su carácter que se me va servir mucho en esta nueva etapa que comienzo, por cuidar de mí en todo momento, por preocuparse y siempre hacerme sentir como una persona importante que conseguiré lo que me proponga.

A mi hermana, unas cuantas palabras no me bastaran para decirte lo importante que eres mi vida, eres la princesa de la casa la que siempre me brindo su alegría, con la que eh peleado, me eh reconciliado, amiga de mi niñez, juventud y yo sé que de vejez también, gracias por estar conmigo en los momentos que más lo eh necesitado brindándome tu hombro siempre

como apoyo, llorando conmigo pero después riéndonos. Te amo hermana me siento muy orgulloso de ti, tú serás la próxima alegría de la familia dios te pague por todo.

Y para terminar no puedo dejar a un lado a mis profesores tanto del colegio como de la universidad por brindarme de su conocimiento, a mis compañeros del colegio, mis compañeros de la universidad gracias, a las personas que por diferentes circunstancias no pudieron estar conmigo compartiendo esta gran logro para mí, pero que fueron importantes para lograr este objetivo donde estén muchas gracias por estar presentes en este camino duro pero divertido a la vez.

Jorge

INDICE

<u>CERTIFICACIÓN</u>	<u>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</u>
<u>DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD</u>	<u>I</u>
<u>AUTORIZACIÓN</u>	<u>III</u>
<u>DEDICATORIA</u>	<u>V</u>
<u>AGRADECIMIENTOS</u>	<u>VII</u>
<u>RESUMEN</u>	<u>XVIII</u>
<u>ABSTRACT</u>	<u>XIX</u>
<u>CAPITULO 1</u>	<u>1</u>
1.1. ANTECEDENTES	1
1.2. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DEL PROBLEMA A RESOLVER	2
1.3. OBJETIVOS	3
1.3.1. OBJETIVO GENERAL DEL PROYECTO	3
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
1.4. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA	4
1.5. MARCO TEÓRICO	6
1.5.1. DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LAS PCH'S	6
1.5.2. TIPOS DE PEQUEÑAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS (PCH)	8
A) POR LA POTENCIA GENERADA	8
B) POR LA CAÍDA EN METROS	8
1.5.3. ESTUDIOS NECESARIOS PARA EL DISEÑO DE PCH	9
1.5.4. ESTUDIO TOPOGRÁFICO	9
1.5.5. ESTUDIOS GEOTÉCNICOS	10
1.5.6. ESTUDIOS HIDROLÓGICOS	12
1.5.7. MEDICIONES DE CAUDAL	13

	xi
1.5.8. DISEÑO Y SELECCIÓN DE EQUIPO	15
1.5.9. OBRAS HIDRÁULICAS	16
CAPITULO 2	25
2.1. ESTUDIO HIDROLÓGICO	25
2.2. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO	32
2.2.1. METODOLOGÍA DE MEDICIÓN	32
2.3. AFOROS DE LAS VERTIENTES	37
CAPITULO 3	40
3.1. TANQUE DE RECOLECCIÓN	40
3.2. TUBERÍA DE PRESIÓN	41
3.3. TANQUE DE PRESIÓN	42
3.4. VERTEDEROS	43
3.4.1. VERTEDERO SUMERGIDO DEL TANQUE RECOLECTOR AL TANQUE De Presión	44
3.4.2. VERTEDERO DEL TANQUE RECOLECTOR AL DESAGÜE	46
3.4.3. VERTEDERO DEL TANQUE DE PRESIÓN AL DESAGÜE	47
3.5. COLCHÓN DE AGUAS	48
3.5.1. COLCHÓN DE AGUAS PARA EL TANQUE DE RECOLECCIÓN	48
3.5.2. COLCHÓN DE AGUAS PARA EL TANQUE DE PRESIÓN	50
3.6. CÁLCULO DE LA REJILLA A LA SALIDA DEL TANQUE DE PRESIÓN	52
3.7. CALCULO DE PÉRDIDAS DE CARGA	53
3.7.1. PÉRDIDAS POR LONGITUD	53
3.7.2. PÉRDIDAS POR ACCESORIO	56
3.8. CÁLCULO DE LA TURBINA	59
3.9. CALCULO DE APOYOS	67
3.9.1. DIMENSIONAMIENTO DE APOYOS	68
3.9.2. FUERZAS QUE ACTÚAN SOBRE LOS APOYOS	70
3.9.3. ESTABILIDAD DE LOS APOYOS	73
3.10. CALCULO DE ANCLAJES	77
3.10.1. DIMENSIONAMIENTO DE LOS ANCLAJES	80

	xii
3.10.2. FUERZAS QUE ACTÚAN SOBRE LOS ANCLAJES	84
3.10.3. FUERZAS RESULTANTES	90
3.10.4. ESTABILIDAD	91
3.11. DESAGÜE CON CARGA VARIABLE Y FLUJO CONSTANTE	97
<u>CAPITULO 4</u>	<u>100</u>
4.1. LISTA DE MATERIALES	100
4.2. LISTA DE EQUIPO	101
4.3. LISTA DE MANO DE OBRA	101
4.4. PRESUPUESTO REFERENCIAL	102
<u>CAPITULO 5</u>	<u>103</u>
5.1. CONCLUSIONES	103
5.2. RECOMENDACIONES	104
<u>BIBLIOGRAFÍA</u>	<u>105</u>
<u>ANEXOS</u>	<u>107</u>

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. 1	Clasificación de las Centrales Hidroeléctricas según la potencia generada.....	8
Tabla 1. 2	Clasificación de las Centrales Hidroeléctricas según la su caída en metros.....	9
Tabla 1. 3	Identificación y clasificación de los materiales.....	11
Tabla 1. 4	Clasificación de las turbinas según su forma de transformar la energía cinética en mecánica	24
Tabla 2. 1	Cotas y longitud de cada una de las curvas de nivel	27
Tabla 2. 2	Precipitaciones máximas datos obtenidos con el pluviómetro más cercano a los terrenos	30
Tabla 2. 3	Puntos y Coordenadas UTM, resultado del levantamiento topográfico.....	33
Tabla 2. 4	Coordenadas UTM de la zona en pendiente del terreno. Condiciones Geológicas	35
Tabla 2. 5	Descripción Geológica de la parroquia Pintag	36
Tabla 3. 1	Valores de Rugosidad Equivalente k	55
Tabla 3. 2	Dimensiones principales de turbinas Michell-Banki estandarizadas	62
Tabla 3.3	Dimensiones estándar para según el diámetro del rodete....	65
Tabla 3. 4	Dimensiones de los apoyos para cada uno de los tramos....	70
Tabla 3. 5	Fuerzas que actúan en los apoyos	73
Tabla 3. 6	Primera condición de estabilidad resultados	73
Tabla 3. 7	Segunda condición de estabilidad resultados.....	75
Tabla 3. 8	Tensiones de compresión.....	76
Tabla 3. 9	Resistencia del terreno a los esfuerzos transmitidos por los apoyos	77
Tabla 3. 10	Ángulos θ_1 , θ_2 , θ_3 , θ_4 aguas arriba y aguas abajo, según el tipo de anclaje horizontal o vertical.....	80

Tabla 3. 11	Dimensiones generales y volumen total de los anclajes.....	84
Tabla 3. 12	Resumen de fuerzas que actúan en los anclajes aguas arriba (F_m) y aguas abajo (F_j).	89
Tabla 3. 13	Longitudes necesarias para calcular cada una de las fuerzas.....	89
Tabla 3. 14	Resumen de fuerzas resultantes que actúan en cada uno de los anclajes	91
Tabla 3. 15	Resumen de la primera condición de estabilidad	92
Tabla 3. 16	Segunda condición de equilibrio Relación de momentos	93
Tabla 3. 17	Tercera condición de equilibrio, esfuerzos admisibles.....	95
Tabla 3. 18	Tiempo vaciado tanque de recolección	98
Tabla 3. 19	Tiempo vaciado tanque de presión.....	99

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. 1	Ubicación geográfica de la zona del proyecto	5
Figura 1. 2	Ubicación geográfica de la zona del proyecto.	5
Figura 1. 3	Ruta que debemos tomar desde la Universidad de las Fuerzas Armadas hasta la zona El Volcán	6
Figura 1. 4	Representación general de una Pequeña Central hidroeléctrica.	7
Figura 1. 5	Salto de agua.....	10
Figura 1. 6	Ciclo hidrológico	13
Figura 1. 7	Medición del caudal utilizando el método del recipiente.	14
Figura 1. 8	Medición del caudal utilizando el método del flotador.....	15
Figura 1. 9	Tanque de presión.....	17
Figura 1. 10	Esquema general de los elementos del sistema de conducción a presión.....	19
Figura 1. 11	Sistema de apoyos y anclajes de una tubería de presión.....	21
Figura 1. 12	Esquema general de un apoyo	21
Figura 1. 13	Esquema general de un anclaje para variar las pendiente horizontal y vertical	22
Figura 1. 14	Casa de máquinas para pequeñas centrales hidroeléctricas según la potencia generada.	23
Figura 2. 1	Carta topográfica Fuente: Instituto geográfico militar.	25
Figura 2. 2	Trazo de la cuenca.	26
Figura 2. 3	Cuenca de la zona en estudio	26
Figura 2. 4	Curvas de nivel dentro de la cuenca.....	27
Figura 2. 5	Forma de medición con distancia horizontal y vertical para pendientes inclinadas.	34
Figura 2. 6	Panorámica de la zona en estudio, donde se aprecia el tipo de suelo de tonalidad color rojizo.	37

Figura 2. 7	Croquis de la ubicación de la vertiente, ramificaciones y el punto de aforo.....	38
Figura 3. 1	Detalle arquitectónico en planta del tanque recolector.	40
Figura 3. 2	Vista en planta del trazado del tendido de tubería.....	41
Figura 3. 3	Detalle arquitectónico en planta del tanque de presión	43
Figura 3. 4	Vertedero de Pared Delgada Sumergido.....	45
Figura 3. 5	Vista en corte del vertedero sumergido	46
Figura 3. 6	Alzado tridimensional del Tanque Recolector, Tanque de Presión y vertederos.....	47
Figura 3. 7	Colchón de aguas formado por un muro	48
Figura 3. 8	Alzado tridimensional de los tanques recolector, presión y colchones de agua.....	51
Figura 3. 9	Alzado e implantación tridimensional de los tanques recolector, presión y colchones de agua.	51
Figura 3. 10	Vista de en planta del dimensionamiento de la rejilla.	52
Figura 3.11	Perfil del terreno detalles de accesorios y longitudes de tuberías.....	54
Figura 3. 12	Diagrama de selección de turbinas aplicada a nuestro proyecto.....	59
Figura 3. 13	Esquema de Turbina Michell-Banki, Olade.....	60
Figura 3. 14	Gráfico de selección de Turbinas Michell-Banki estandarizadas, aplicada al proyecto El Volcán	61
Figura 3. 15	Vista en corte del Rodete y sus respectivas dimensiones	63
Figura 3. 16	Inyector de turbina Michell-Banki para turbinas estandar	64
Figura 3. 17	Trazado de líneas según medidas estándar para el diseño del inyector.	65
Figura 3. 18	Diseño final de la turbina Michell-Banki para la microcentral Hidroeléctrica “El Volcán”	66
Figura 3. 19	Despiece de la turbina Michell-Banki para el proyecto “El Volcán”	66

Figura 3. 20	Montaje de la Turbina Michell-Banki para el proyecto “El Volcán”	67
Figura 3. 21	Esquema general de los apoyos vista frontal y en corte.....	68
Figura 3. 22	Dimensiones y fuerzas consideradas para el diseño de los apoyos.	68
Figura 3. 23	Separación máxima entre apoyos (Ls).	70
Figura 3. 24	Distancias para verificar segunda condición de estabilidad.....	74
Figura 3. 25	Esquema general de la forma y función de un anclaje.	78
Figura 3. 26	Anclaje para varia la pendiente Vertical ángulos θ_1 y θ_2	79
Figura 3. 27	Anclaje para variar la pendiente horizontal ángulos θ_3 y θ_4 ..	79
Figura 3. 28	Esquema general de las dimensiones de un anclaje tipo.	81
Figura 3. 29	Dibujo tridimensional de un anclaje tipo	82
Figura 3. 30	Componente de la fuerza del peso de la tubería y el agua... 85	
Figura 3. 31	F2 fuerza generada por el movimiento longitudinal de la tubería en los apoyos	86
Figura 3. 32	F4 fuerza generada por la componente paralela del peso de la tubería.....	87
Figura 3. 33	F5 fuerza generada por la variación de temperatura.....	88
Figura 3. 34	Diagrama de fuerzas que actúan en los anclajes	90
Figura 3. 35	Estabilidad de un anclaje.....	93
Figura 3.36	Perfil del terreno identificando tramos de apoyos, ubicación y número de anclajes.....	96
Figura 3. 37	Tanque para tipo para diseñar el desagüe del tanque te presión y recolección.	97

RESUMEN

Las obras hidráulicas son una parte imprescindible para el desarrollo de los pueblos. Aprovechar la fuerza del agua y convertirla en energía eléctrica es una de las formas más antiguas, seguras y económicas utilizadas hoy en día. Es por tanto, que el presente proyecto se ha planteado como objetivo identificar la factibilidad para la implementación de una Microcentral Hidroeléctrica en un sector denominado “El Volcán” ubicado en la parroquia Pintag, provincia de Pichincha, con el fin de obtener energía propia a utilizarse en el desarrollo del sector. Para lo cual, se realizó un estudio de la hidrología como microcuencas, aforos, vertientes, además de un estudio de la topografía, geología y otros factores del sector. Se concluyó que las condiciones son adecuadas para llevar a cabo las obras civiles en la implementación de la microcentral hidroeléctrica en donde se determinó que la turbina más adecuado es la turbina Michell-Banki con la que se obtendrá 19.72Kw de energía, lo cual es suficiente para la implementación de un sistema de bombeo de agua para regadío y el alumbrado del complejo turístico “El Volcán”.

Palabras clave:

ENERGÍA

MICROCENTRAL

HIDRAULICA

TURBINAS

MICHELL-BANKI

ABSTRACT

The hydraulic works are essential for the development of peoples. Harnessing the power of water and turn it into electrical energy is one of the oldest, safe and economical forms used today. Therefore, this project has set targets to identify the feasibility of implementing a hydroelectric plant in the area called "El Volcán", is located in the Pintag zone, Province of Pichincha, in order to obtain own energy for use in developing the sector. For this purpose, a study of hydrology as watersheds, gauging, sheds was made, and a study of the topography, geology and other factors of the sector. It was concluded that conditions are suitable for carrying out the civil works on the implementation of the hydroelectric plant where it was determined that the most appropriate turbine is the Michell-Banki turbine, with which you get 19.72Kw energy, which is enough to implement a system of water pumping for irrigation and lighting in the resort called "El Volcán".

Keywords:

ENERGY

MICROCENTRAL

HYDRAULIC

TURBINES

MICHELL-BANKI

CAPITULO 1

1.1. Antecedentes

El agua es un recurso natural importante para el desarrollo de las naciones ya que de este recurso a más de ser un elemento indispensable para la vida humana, animal y vegetal, podemos generar energía eléctrica sin causar un impacto ambiental alto. El Ecuador cuenta con el potencial hídrico necesario para cubrir con la demanda energética del país, con el paso de los años se han desarrollado algunas obras hidráulicas de gran magnitud, podemos mencionar proyectos como el Coca Codo Sinclair, Sopladora, Minas San Francisco, Mandariacu y otros que se encuentran en construcción. A pesar de que el actual gobierno está invirtiendo en grandes proyectos, la energía eléctrica, importante para el desarrollo de los pueblos, no siempre llega a zonas alejadas del País, de aquí nace la importancia de la construcción de pequeñas centrales hidroeléctricas con inversión privada o estatal. Estas centrales generan considerables cantidades de energías capaces de satisfacer las necesidades de un pequeño sector en cuanto a energía eléctrica, facilitando su diario vivir y aportando con las actividades económicas a la que la zona se dedica.

Las obras hidráulicas son una parte imprescindible del desarrollo de los pueblos, ya que aprovechar la fuerza del agua para convertirla en energía eléctrica es una forma muy segura y económica de obtenerla. En el Ecuador, las prácticas para la obtención de energía eléctrica por medio de hidroeléctricas se registra hace poco más de siglo y medio, por lo que estas obras son las más comunes para la producción de energía eléctrica.

La inversión para el diseño y construcción de pequeñas centrales hidroeléctricas suele ser alta, por esta razón se debe realizar un estudio en el cual se justifique la inversión a realizarse. Generalmente los indicadores

económicos de las centrales hidroeléctricas, en la mayoría, son bastante conveniente, por lo que la empresa privada está interesada en invertir en este tipo de energía.

Para visualizar si la construcción de una Pequeña Central Hidroeléctrica es factible, es imprescindible llevar a cabo una visita técnica al sitio del proyecto, en la que se debe observar las vertientes disponibles, la topografía del terreno y también realizar un preanálisis de los posibles lugares donde se implantarían las diferentes obras civiles que aumentarán el aprovechamiento energético.

1.2. Justificación e importancia del problema a resolver

El problema nace fundamentalmente en la necesidad de energía eléctrica en la zona de nuestro proyecto, el proyecto se va realizar con inversión privada por parte del Señor Edmundo Gordillo propietario de los terrenos, los cuales cuentan con una concesión de 120 lt/s, un caudal suficiente para generar energía eléctrica, a más de esto, la topografía del terreno ofrece una caída suficiente para la construcción de una Pequeña Central Hidroeléctrica

La energía eléctrica generada será utilizada para potenciar el turismo de la zona, el Sr. Edmundo Gordillo planea realizar un complejo turístico en sus terrenos, los cuales contarán con hospedaje y atractivos turísticos como son la pesca, senderismo, entre otros. Para el cumplimiento de su objetivo se necesita iluminar la zona, mediante la generación de energía eléctrica. Sus terrenos cuentan con varias vertientes que tienen un origen subterráneo propio, que son utilizadas por el momento para actividades Piscícolas (criadero de truchas). Con el proyecto no se busca afectar la actual actividad sino mantenerla, por lo que se utilizara el recurso hídrico saliente de las piscinas piscícolas. Según las mediciones preliminares realizadas brevemente, el caudal disponible de estas descargas es suficiente para

generar una moderada cantidad de energía. Como se mencionó anteriormente el generar energía eléctrica mediante una Pequeña Central Hidroeléctrica nace de una necesidad que se verá resuelta con la construcción de la misma.

Además, se tiene contemplada la posibilidad de bombear agua hacia a ciertos sembríos de Pintag implementando un sistema de bombeo, que funcionara con la energía eléctrica generada por la microcentral hidroeléctrica, debido a que en épocas de verano el agua es escasa en zonas altas y la actividad agrícola se ve afectada.

El tema también se justifica por la necesidad de manejar los recursos naturales como recursos sustentables, considerados en el Plan Nacional del Buen Vivir. El diseño de las obras civiles de la microcentral hidroeléctrica “El Volcán”, se relaciona con un aumento de la calidad de vida de la población aledaña al proyecto, y aparte que fortalecerá las capacidades y potencialidades de la ciudadanía, impulsándoles hacia el desarrollo. En un aspecto particular, garantizará los derechos de la naturaleza y a su vez promoverá la sostenibilidad ambiental territorial, así en un ámbito global, impulsará también la transformación de la matriz productiva, puesto que el proyecto ayudará no solo a población ajena a industrias si no que ayudará al desarrollo agrícola y ganadero mejorando la producción y productividad.

Por estas razones que se vinculan estrechamente con un plan nacional, vemos la oportunidad de apoyar al desarrollo nacional ejecutando esta Tesis.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general del proyecto

Identificar, esquematizar y diseñar una alternativa de las obras civiles de la Microcentral Hidroeléctrica de nombre “El Volcán” como un

aprovechamiento hídrico para obtener energía propia a utilizarse en el proyecto de desarrollo del sector de la cantera de Pintag.

1.3.2. Objetivos específicos

- Realizar el estudio de hidrológico de la cuenca en la zona “El Volcán” sector Pintag.
- Realizar el estudio topográfico de la zona de implantación del proyecto e identificar las condiciones morfológicas de la Micro cuenca a la que pertenecen las aguas del aprovechamiento hidroeléctrico.
- Realizar el diseño hidráulico y estructural de las obras civiles requeridas por el proyecto.
- Seleccionar la turbina más óptima para asegurar el funcionamiento del proyecto y calcular la potencia óptima de la turbina para la Microcentral Hidroeléctrica.
- Calcular la cantidad de energía eléctrica anual disponible que tendremos producto de la transformación de energía hidráulica a energía eléctrica a través de un generador.
- Elaborar un presupuesto de las obras contempladas en el proyecto y un análisis financiero del mismo.

1.4. Localización geográfica

El proyecto está localizado en la ciudad de Quito, Parroquia de Pintag aproximadamente a 21 km de la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE, tomando la Vía Panamericana norte en la zona llamada El Volcán, dentro de los terrenos del Sr. Edmundo Gordillo.



Figura 1. 1 Ubicación geográfica de la zona del proyecto donde se implementara la Pequeña Central Hidroeléctrica.
Fuente: fotografía original, Googlemaps Image © 2015 Digital Globe.



Figura 1. 2 Ubicación geográfica de la zona del proyecto donde se implementara la Pequeña Central Hidroeléctrica.
Fuente: fotografía original, Google maps Image © 2015 Digital Globe

El sector donde se realizara el presente estudio cuenta con servicio de transporte interparroquial hasta la parroquia de Pintag, por lo que para llegar al sitio conocido como “El Volcán” se debe hacer uso del transporte de carga “camioneta”. En su mayoría la vía se encuentra asfaltada, en condiciones poco óptimas pero transitable, el acceso al lugar de nuestro proyecto se presentan dificultades puesto que la vía es angosta y empedrada en bajada con una pendiente medianamente pronunciada. La parroquia de Pintag

cuenta con el servicio de energía eléctrica en su totalidad. Sin embargo, conforme se sigue avanzando en la carretera se observa que la red eléctrica es cada vez más escasa. En los alrededores del proyecto existe una cantera de materiales pétreos, además de varias haciendas las cuales se dedican a la siembra de alimentos, al ganando y la extracción de leche, ascendiendo en las partes altas se encuentra la laguna de la mica punto turístico muy visitado por extranjeros y ecuatorianos.

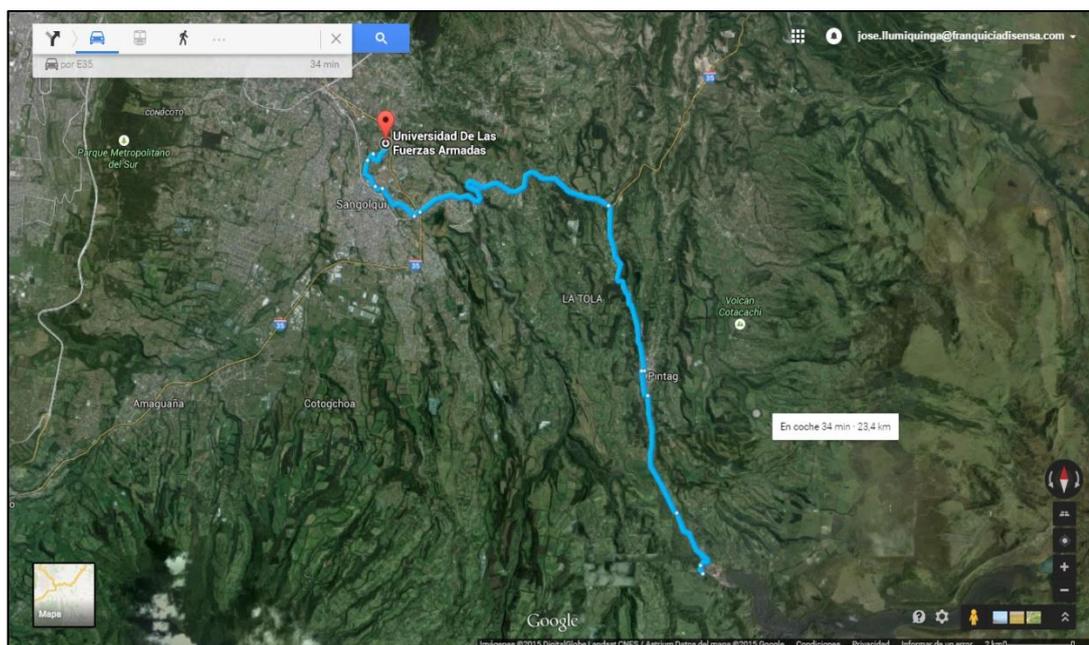


Figura 1. 3 Ruta que debemos tomar desde la Universidad de las Fuerzas Armadas hasta la zona “El Volcán”.

Fuente: fotografía original, Google maps Image © 2015 Digital Globe

1.5. Marco Teórico

1.5.1. Definición y clasificación de las PCH's

Para definir las Pequeñas Centrales Hidroeléctricas se considera criterios técnicos como son; potencia, salto o caída, de la misma manera podemos mencionar criterios en relación a su aplicación que se verá afectada por las necesidades del sector en donde se prevé implementar una Pequeña Central Hidroeléctrica (Ortiz, 2001).

Según la OLADE (Organización Latinoamericana de Energía), nos menciona que una PCH se refiere a un conjunto de estructuras hidráulicas, en donde utilizamos la energía hidráulica generada por el agua en cantidades medianamente grandes para generar reducidas cantidades de electricidad (Ortiz, 2001).

Para obtener energía eléctrica de una Pequeña Central Hidroeléctrica se aprovecha la energía potencial que adquiere cierto caudal Q al final de una caída H , esta energía al llegar a una turbina se convierte en energía mecánica la cual posteriormente en energía eléctrica al pasar por un generador (Ortiz, 2001).



Figura 1. 4 Representación general de una Pequeña Central hidroeléctrica.

Cabe mencionar que las Pequeñas Centrales hidroeléctricas aprovechan pequeñas fuentes de agua. Además, normalmente este tipo de Centrales hidroeléctricas constituye un bajo costo en su construcción y se las implementa normalmente en sitios que se encuentran alejados de la red de energía eléctrica.

1.5.2. Tipos de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (PCH)

De acuerdo la OLADE, las PCH se clasifican según su potencia y su caída en metros:

a) Por la potencia generada

La clasificación de las pequeñas Centrales Hidroeléctricas por la cantidad de potencia generada se detalla en la tabla 1.1.

Tabla 1. 1

Clasificación de las Centrales Hidroeléctricas según la potencia generada

POTENCIA	TIPO
0 – 5 KW	Picocentrales
0 – 50 KW	Microcentral
50 – 500 KW	Minicentral
500 – 5000 KW	Pequeña central

Fuente: (Ortiz, 2001).

b) Por la caída en metros

Según su caída en metros se adopta la siguiente clasificación (Tabla 1.2).

Tabla 1. 2

Clasificación de las Centrales Hidroeléctricas según la su caída en metros.

CAIDA EN METROS			
	BAJA	MEDIA	ALTO
MICROCENTRAL	H<15	15<H<50	H>50
MINICENTRAL	H<20	20<H<100	H>100
PEQUEÑA CENTRAL	H<25	25<H<130	H>130

Fuente: (Ortiz, 2001)

1.5.3. Estudios necesarios para el diseño de PCH

Para identificar los posibles aprovechamientos hídricos de una cuenca determinada se realiza estudios de prefactibilidad. Los cuales ayudan a seleccionar el aspecto técnico-económico más viable. Una vez identificado el aprovechamiento se profundizan los estudios y se pasa a una etapa de factibilidad, el cual nos indica la opción más adecuada para su diseño y construcción (Ortiz, 2001).

Para empezar el diseño de una Pequeña Central hidroeléctrica es necesario realizar varios estudios como los de topografía, hidrología, geología. La profundidad de cada estudio está determinada por el tipo de proyecto (Ortiz, 2001).

1.5.4. Estudio topográfico

El funcionamiento de una Pequeña Central Hidroeléctrica se resume en la transformación de energías. La energía potencial se transforma en energía cinética y posteriormente en energía eléctrica, este proceso necesita de una altura de caída mínima del recurso hídrico, la cual determinamos mediante cartas topográficas del lugar del proyecto, o a su vez, se puede

realizar levantamientos topográficos con el uso de equipos como la estación total. Estos equipos nos permiten obtener datos planimétricos y altimétricos necesarios para establecer la forma del terreno en donde se implantara el proyecto. Cabe mencionar que, la topografía del terreno proporciona la potencia del recurso hidroenergetico (Buchhold & H., 1959).

Realizar un levantamiento topográfico complementa la información necesaria para conocer áreas, ubicación de las obras, trazado de la conducción, perfil de la tubería, caída neta, sección transversal etc.

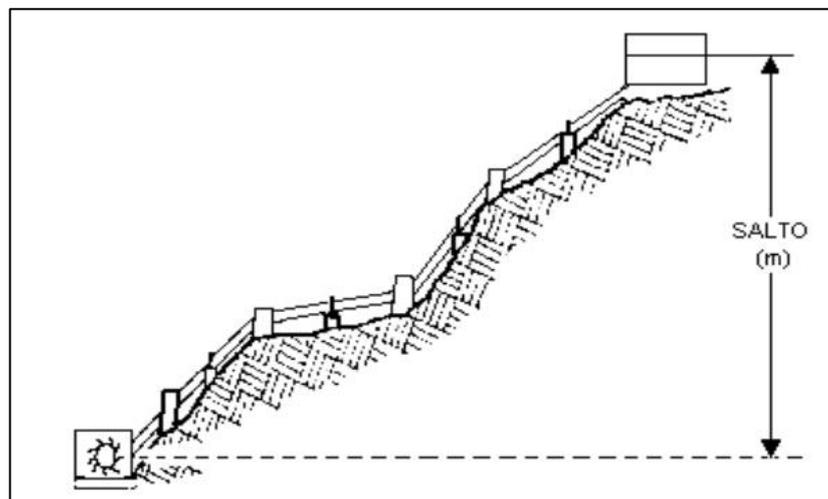


Figura 1. 5 Salto de agua

1.5.5. Estudios geotécnicos

La composición de los suelos está determinada por las propiedades físicas y mecánicas de los diferentes materiales como son rocas, arcillas, limos, gravas, arenas que se encuentran en el mismo. Por esta razón realizar los estudios geológicos del suelo permite identificar dichas propiedades para conocer la estructura del suelo, su capacidad portante, estabilidad del terreno, propiedades importantes para la ubicación de las obras civiles de la Pequeña Central hidroeléctrica (Ortiz, 2001).

Estos estudios tratan, entre otros, dos aspectos importantes:

- La ubicación de la captación y obras anexas, de modo que garanticen una elección adecuada y segura, sobre todo en cuanto a los cimientos o bases de las obras.
- La calidad de los suelos y su composición para su uso como materiales naturales de construcción, utilizados en las obras que constituyen el aprovechamiento.

Tabla 1. 3

Identificación y clasificación de los materiales.

CLASIFICACION DE LOS MATERIALES	IDENTIFICACION Y DESCRIPCION GENERAL	GRANULOMETRIA (mm)	USOS
ARCILLAS	Partículas finas	MENOR DE 0.005	Diques y barreras de tierra
LIMOS	Partículas más visibles	0.005 – 0.05	Diques y barreras de tierra
ARENAS	Granos redondeados visibles	0.05 - 4.8	Agregados finos para el concreto
CONGLOMERADOS	Materiales gruesos	4.8 – 76	Construcción de enrocados y como agregados gruesos para el concreto
ENROCAMIENTOS	Materiales de pedrerías de grandes dimensiones constituidas por bloques	Mayores de 100	Obras de protección

Fuente: (Ortiz, 2001).

1.5.6. Estudios hidrológicos

La cuenca hidrográfica se define como el conjunto de terrenos que drenan sus aguas hacia un cause común (Olade, Novillo, Galarza, & Romero, 1985).

Podemos determinar el comportamiento de una cuenca hidrográfica en función de sus características como son clima, cobertura vegetal, geomorfología, fisiografía de la misma (Ortiz, 2001).

Para aprovechar de manera óptima el recurso hidroenergetico en las zonas aisladas se requiere información hidrológica de la región en estudio, que por lo general es escasa, asociada con cuencas relativamente pequeñas, donde la información es aún menor. En este sentido, según Ortiz (2001), el estudio hidrológico debe realizar los siguientes trabajos:

- Observaciones de los caudales de agua (caudal máximo, caudal mínimo, caudal medio y caudal de mayor permanencia).
- Medición de las velocidades de la corriente
- Determinación de los caudales
- Observaciones sobre los cuerpos solidos (sedimentos) que son arrastrados por las corrientes y pueden llegar a afectar al funcionamiento de la Pequeña Central hidroeléctrica.

En un estudio hidrológico pueden suscitarse tres casos:

- Que existan series de información de caudales, temperatura, precipitación etc.
- Que no exista información hidrológica para los puntos estudiados, en este caso se puedan extrapolar información de cuencas vecina y afines hidrológicamente
- Que no exista series de caudales



Figura 1.6 Ciclo hidrológico
Fuente: (Valdivieso, 2012)

1.5.7. Mediciones de caudal

En el caso de no existir los datos hidrológicos necesarios para realizar el estudio hidrológico se opta por recolectar datos a partir de mediciones instantáneas de caudal, se recomienda realizar mediciones diarias, aunque también se usan mediciones semanales y mensuales. Entre los principales métodos de medición de caudales tenemos el método del recipiente y la medición de caudal con flotador.

De acuerdo a Ortiz (2001), el método del recipiente consiste en llenar un recipiente de volumen conocido registrando el tiempo de llenado; la relación entre estos dos valores indica el caudal. Se recomienda realizar varias medidas del caudal con el fin de obtener un promedio de caudales, este método se limita a recursos hídricos en cuencas muy pequeñas.

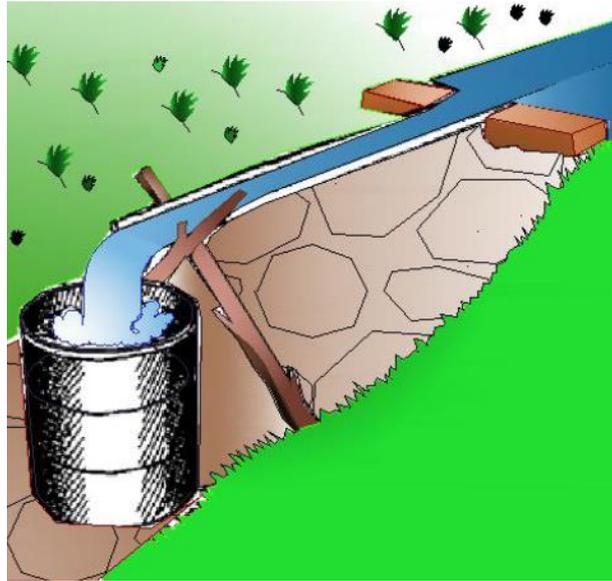


Figura 1.7 Medición del caudal utilizando el método del recipiente.
Fuente: (Quintero, 2009).

La medición del caudal con flotador se ajusta a cuencas proporcionalmente mayores y permite medir el caudal en forma puntual, este método está basado en la medición del tiempo para una distancia determinada que recorre un volumen de agua delimitado por el lecho de la corriente, el caudal se determina de la siguiente forma:

- Elegimos un tramo del río de sección recta y en lo posible homogénea.
- Medimos la longitud del tramo seleccionado.
- Medimos la sección transversal (área) del trecho.
- Se prepara un flotador de madera o una botella llena en un equivalente a un tercio de su volumen a fin de tomar velocidades superficiales e internas del cauce.
- Se coloca el flotador algunos metros antes del trecho elegido y se cronometra el tiempo utilizado en recorrer la longitud seleccionada.
- Se determina la velocidad como la relación entre la longitud y el tiempo.

Se recomienda realizar varias mediciones y en diferentes lugares con el fin de tomar varias medidas de velocidad, ya que esta disminuye al acercarse a las paredes de las orillas y del lecho del cauce (Ortiz, 2001).

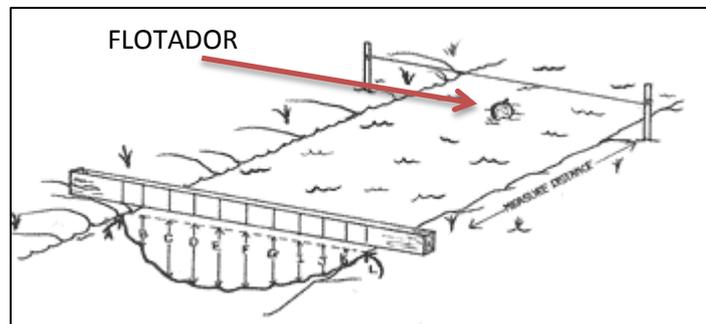


Figura 1. 8 Medición del caudal utilizando el método del flotador

1.5.8. Diseño y selección de equipo

Una vez que se ha determinado que el proyecto hidroenergetico es viable se procede con la etapa de diseño. Dentro de la etapa de diseño se encuentra la ubicación final de las obras civiles, la tubería, casa de máquinas.

A partir de este diseño según Ortiz (2001), tenemos dos fases: diseño de las obras civiles y selección de equipo

El diseño de las obras civiles comprende: bocatoma, aliviadero, obra de conducción, desarenador, tanque de presión, anclajes para la tubería de presión, casa de máquinas.

La selección de equipo comprende: tubería de presión o su diseño, compuertas o su diseño, turbina, válvula, generador, volante, regulador de tensión y frecuencia, protecciones, redes de transmisión, accesorios.

1.5.9. Obras Hidráulicas

Se entiende por obras hidráulicas a la construcción del conjunto de estructuras construidas con el objeto de manejar el agua, cualquiera que sea su origen, en este caso, las estructuras hidráulicas aplicadas al estudio de perfectibilidad de la pequeña central hidroeléctrica “El Volcán” son:

a) Tanque de presión o cámara de carga

La cámara de presión es un tanque con capacidad suficiente para garantizar la partida o parada brusca de las turbinas, de la misma manera mantiene una altura de agua suficiente que evite de todas las maneras posibles la entrada de aire a los equipos de generación y además permite la conexión entre el sistema de conducción y la tubería de presión (Quintero, 2009).

La cámara de presión cumple con las siguientes funciones:

- Crear un volumen de reserva de agua que permita satisfacer las necesidades de las turbinas durante los aumentos bruscos de demanda.
- Impide la entrada a la tubería de presión de elementos sólidos de arrastre y flotantes los cuales al llegar a la turbina pueden afectar a su funcionamiento.
- Produce la sedimentación de los materiales sólidos en suspensión en el canal y permite su eliminación.
- Desaloja el exceso de agua en las horas en las que el caudal de agua consumido por las tuberías es inferior al caudal de diseño.
- Mantiene sobre la tubería una altura de agua suficiente para evitar la entrada de aire.
- Dispone de un volumen que le permite amortiguar el golpe de ariete, originado por las paradas bruscas.

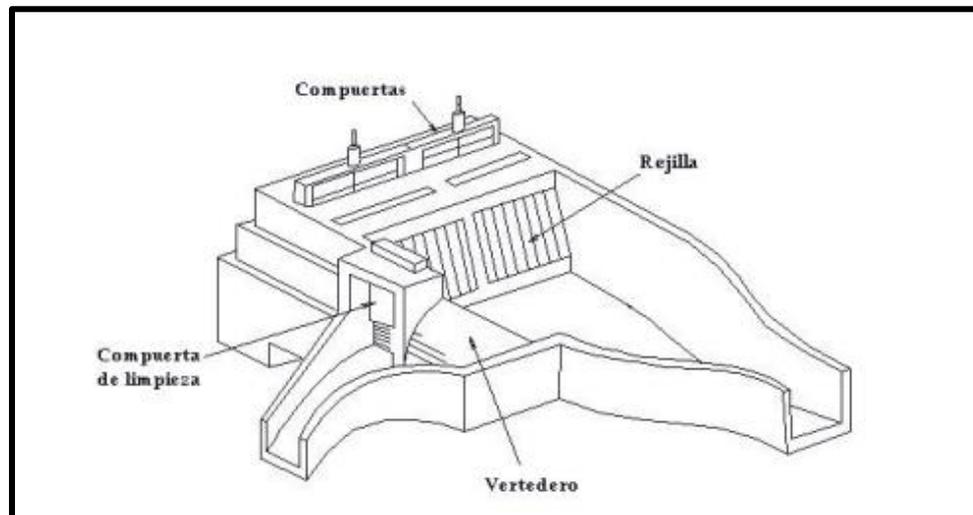


Figura 1. 9 Tanque de presión.

Fuente: (Ortiz, 2001).

El dimensionamiento de la cámara de presión debe considerar dos condiciones críticas de operación:

- En partida brusca garantizar que no entre aire en la tubería de presión.
- En parada brusca garantizar la estabilidad funcional de la cámara de presión y del canal de la conducción.

El tanque de presión se dimensiona para cumplir con las condiciones de parada y partida bruscas, y las que de ellas se derivan, como evitar que ingresen burbujas de aire a la tubería y reducir la posibilidad del ingreso de elementos flotantes o en suspensión.

Para su dimensionamiento se requiere la siguiente información: caudal de diseño, altura total de la PCH, altura de la conducción, diámetro de la tubería de presión, longitud de la tubería de presión (Ven Te Chow, 1994).

b) Tubería de presión

La tubería de presión es el equipo más importante de la Pequeña Central hidroeléctrica, esta se encarga de transformar la energía potencial existente en cierta altura por el agua. La tubería de presión debe ser preferiblemente recta, aunque en la mayoría de casos obtener estas condiciones no es posible, por lo que ajustarse al perfil topográfico del terreno es la opción más viable para esto se dispone de estructuras de concreto de apoyo que ayudan a sostener la tubería de presión (apoyos), y a variar la pendiente (anclajes) (Ortiz, 2001).

La tubería de presión sirve como medio para conducir o canalizar el agua disponible a cierta altura hasta las turbinas desde la salida del tanque de presión.

La tubería de presión de acuerdo a Ortiz (2001), consta de los siguientes elementos:

- Toma de agua, la cual va acompañada de una rejilla.
- Codos de variación de pendiente.
- Juntas de unión.
- Juntas de expansión ubicadas entre anclajes, las cuales asimilan la contracción o dilatación del material por variación de temperatura.
- Bifurcaciones que le permiten dividir el caudal para varias unidades.
- Válvulas independientes a la tubería de presión, ubicadas entre el final de la tubería y la turbina.
- Anclajes y apoyos que se encargan de sostener y variar la pendiente de la tubería de presión.

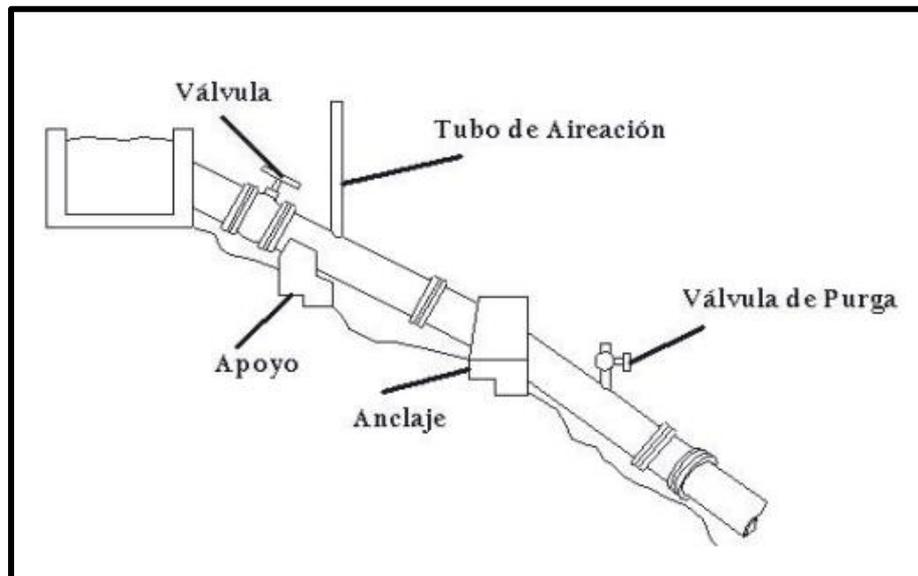


Figura 1. 10 Esquema general de los elementos del sistema de conducción a presión.

Fuente: (Ortiz, 2001) .

Para el dimensionamiento de la tubería de presión deben tenerse en cuenta los siguientes parámetros:

- El diámetro se selecciona de acuerdo con un análisis técnico y económico que permita determinar el diámetro que causa las menores pérdidas y el menor costo.
- El espesor se determina de acuerdo con los esfuerzos generados por el golpe ariete, el peso del agua y de la tubería.
- El material de la tubería permite seleccionar tuberías de mayor resistencia a los esfuerzos mecánicos.

Para el diseño de la tubería se deben tener en cuenta todos los aspectos técnicos-económicos puesto que el costo que representa la misma puede ser muy alto, entonces, optimizar su diseño para reducir no solo costos de mantenimiento sino la inversión inicial. Una selección adecuada del material y del espesor de la tubería de presión podrá significar beneficios económicos en la reducción del número de anclajes y de apoyos (Buchhold & H., 1959).

c) Sistema de apoyos

La tubería a presión a cielo abierto en su perfil se adapta a las condiciones del terreno con la pendiente respectiva; en su trayecto para sostenerse se soporta en estructuras de concreto llamadas apoyos; en lugares donde se requiere variar la pendiente la tubería tiene su respectivo codo sujeto a un anclaje que se encarga de absorber los esfuerzos que se derivan por variación de pendiente.

Los apoyos de la tubería de presión consisten en bloques de concreto que admiten pequeños desplazamientos del tubo en dirección longitudinal. En lugares de cambio de pendiente, la tubería de presión será anclada con apoyos fijos que van a impedir movimientos en toda dirección y que facilita la absorción de esfuerzo de desviación por medio del peso del bloque de concreto. Estas estructuras pueden ser:

- Anclaje para variar pendiente longitudinal.
- Anclaje para variar pendiente longitudinal y transversal.
- Anclaje para variar pendiente transversal.

El perfil de la tubería de presión que viene dado por la topografía del terreno determinara el número de apoyos a ser colocados y su ubicación basados en un criterio técnico-económico. El número de anclajes vienen dado por las variaciones de pendiente las que pueden ser longitudinales y transversales (Ortiz, 2001).

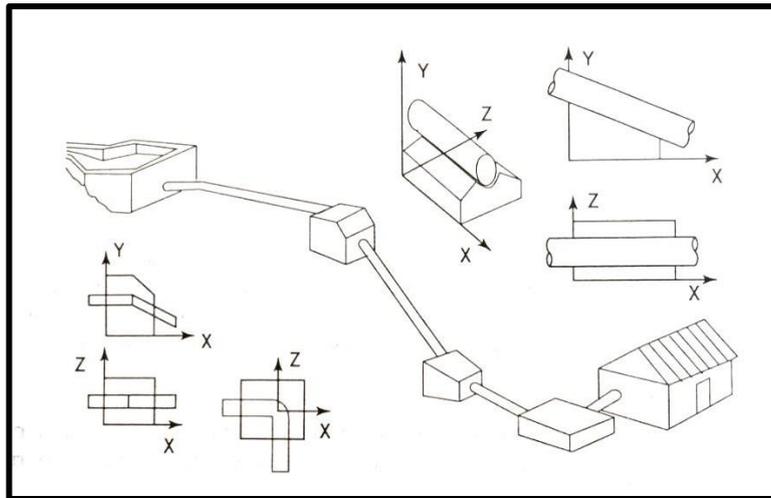


Figura 1. 11 Sistema de apoyos y anclajes de una tubería de presión.
Fuente: (Ortiz, 2001)

d) Apoyos

Los bloques de apoyo se utilizan para sostener adecuadamente la tubería de presión, debe ser dimensionado de forma que sean de bajo costo y de fácil construcción.

El apoyo se encarga de sostener la tubería de presión y facilita su deslizamiento por dilatación o contracción debido a variaciones de temperatura.

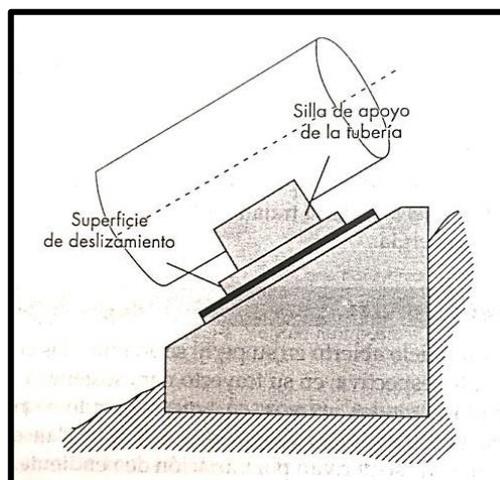


Figura 1. 12 Esquema general de un apoyo.
Fuente: (Valdivieso, 2012)

e) Anclajes

Los anclajes son bloques de hormigón que impiden el movimiento de la tubería. Pueden ser de tipo abierto cuando la tubería está descubierta y sujeta al bloque por medio de piezas especiales de acero, o de tipo macizo cuando el hormigón cubre totalmente la tubería embebida dentro del bloque. Los anclajes ajustan la tubería de presión al perfil topográfico del terreno y permiten variar la pendiente horizontal y/o vertical. Para el diseño de los anclajes se necesita realizar un análisis de fuerzas que existen a lo largo de la tubería por dilatación, peso del agua, peso de la tubería.

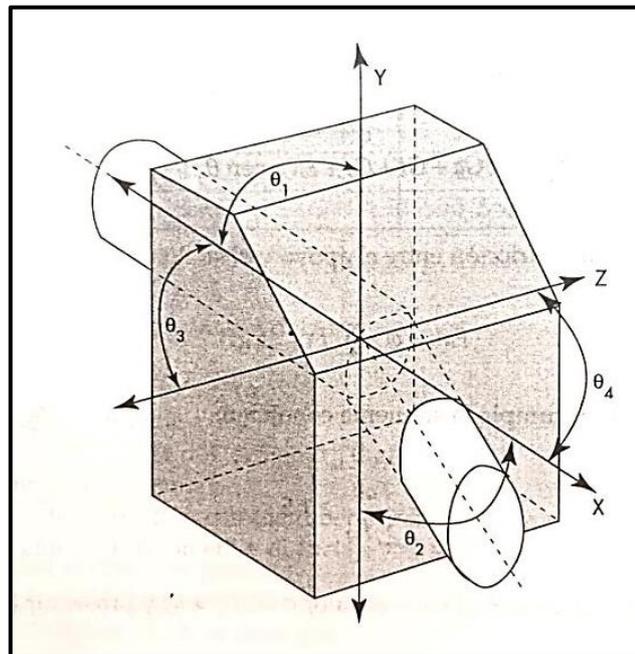


Figura 1. 13 Esquema general de un anclaje para variar las pendiente horizontal y vertical.
Fuente: (Ortiz, 2001).

f) Casa de maquinas

La casa de máquinas está destinada para la ubicación de la mayor parte del equipo electromecánico, en esta estructura es en donde la energía hidráulica se transforma en energía mecánica al pasar por la turbina y

posteriormente en eléctrica al pasar por el generador, por esta razón su ubicación es sumamente importante para el buen desempeño y funcionamiento de la Pequeña Central hidroeléctrica. Para su diseño debemos tener en cuenta los siguientes parámetros:

- La casa de máquinas debe ubicarse de tal manera que está cercana al afluente o río al cual se le entregara el agua turbinada, tomando en cuenta que el canal de desagüe no se depositen sedimentos que disminuyan su sección.
- La casa de máquinas se debe ubicar en un lugar donde los terrenos sean estables y fuera del alcance de crecidas repentinas del nivel de las aguas de un río, ya que estas crecidas pueden depositar una cantidad significativa de sedimentos en el canal de desagüe o en caso extremo afectar a la casa de máquinas.
- La casa de máquinas va ser un lugar al cual van acceder personas por lo cual debe estar ubicada para el fácil acceso de las personas
- Para una posible ampliación de la casa de máquinas se debe tener la facilidad de adquirir terrenos aledaños.

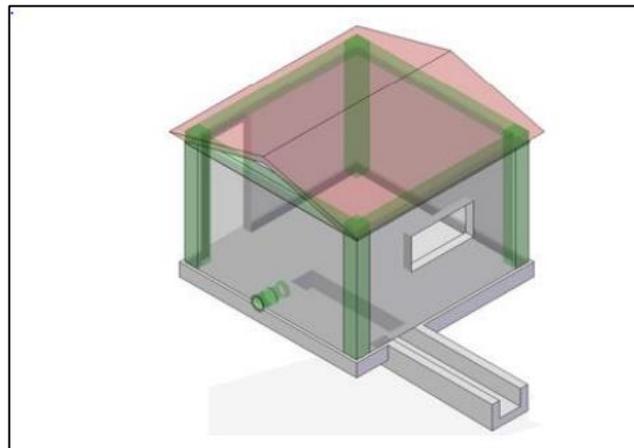


Figura 1. 14 Casa de máquinas para pequeñas centrales hidroeléctricas según la potencia generada.

Fuente: (Ortiz, 2001).

g) Turbinas

La turbina es el equipo en el cual se transforma la energía hidráulica en energía mecánica; la turbina trabaja conjuntamente con el generador y ambas se encargan de atender la demanda energética. Según la manera de transformar la energía cinética en energía mecánica se puede agrupar de la siguiente forma:

Tabla 1. 4

Clasificación de las turbinas según su forma de transformar la energía cinética en mecánica.

TIPO DE TURBINA	FORMA DE TRANSFORMAR LA ENERGÍA
<p style="text-align: center;">Turbina de reacción</p>	<p>El agua entra a presión y en los conductos móviles del rodete cambia de dirección y aceleración. En ella la presión estática disminuye entre la entrada y la salida del rodete</p>
<p style="text-align: center;">Turbina de acción</p>	<p>El agua entra sin presión (a presión atmosférica) y cambia solamente de dirección más no de aceleración. En ella la presión estática permanece constante entre la entrada y la salida del rodete</p>

Fuente: (Ortiz, 2001) .

CAPITULO 2

2.1. Estudio Hidrológico

Para realizar el estudio hidrológico de la zona en donde se desea implementar el proyecto se utilizó una carta cartográfica del lugar en escala 1:25000 en donde se puede observar de la configuración del terreno, es decir poder observar cuales son las posibles ríos, ríos intermitentes etc.

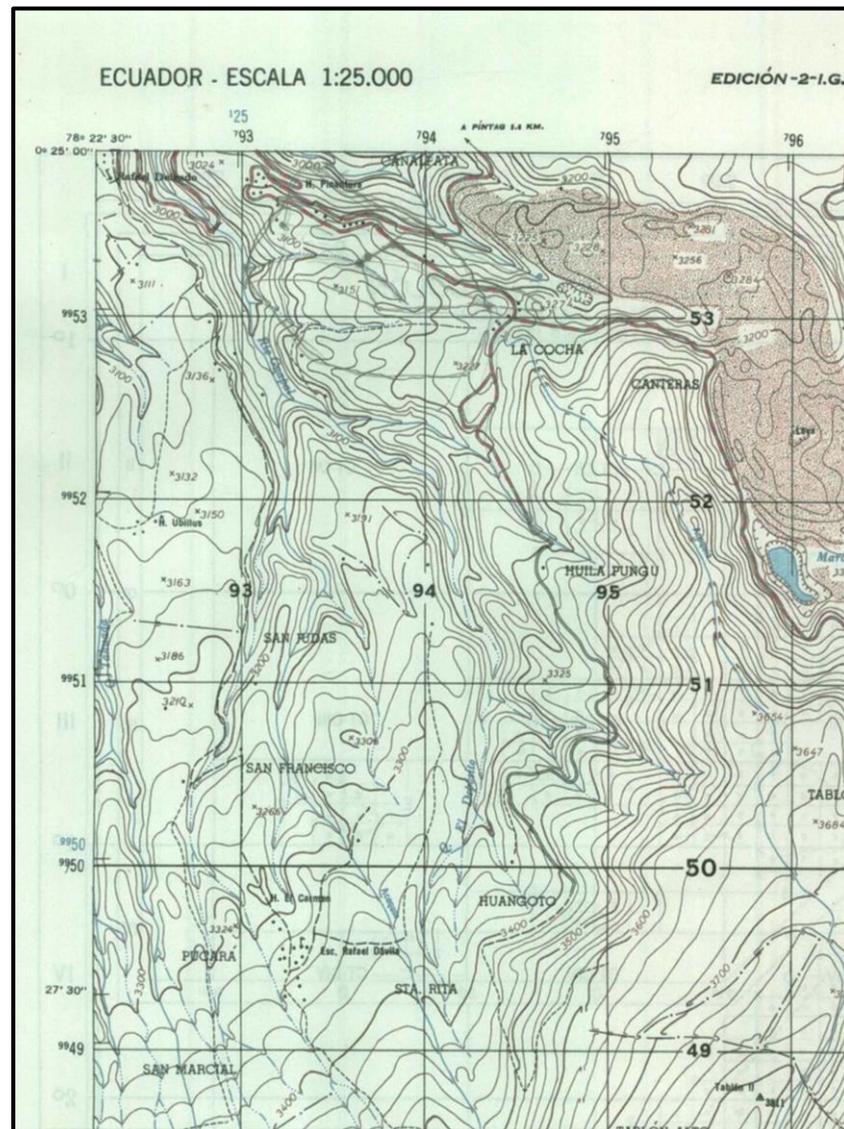


Figura 2.1 Carta topográfica
Fuente: Instituto geográfico militar.

En la carta topográfica se procede el trazo se realiza por los partideros de la topografía como se muestra en la siguiente imagen (Figura 2.2):

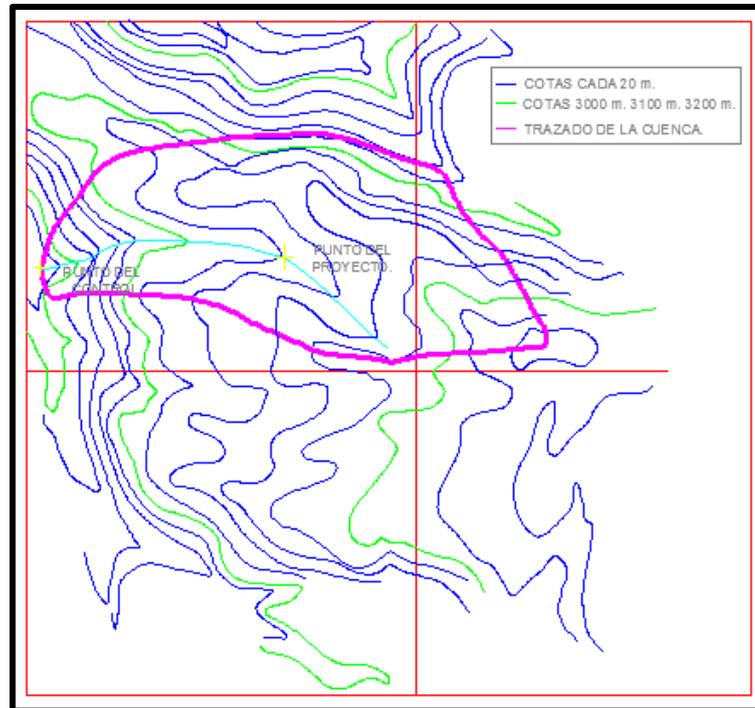


Figura 2. 2 Trazo de la cuenca.

Del trazado realizado se determinan las propiedades geomorfológicas de la cuenca es decir el Área de la cuenca, perímetro de la cuenca, Longitud de cauce y otros.

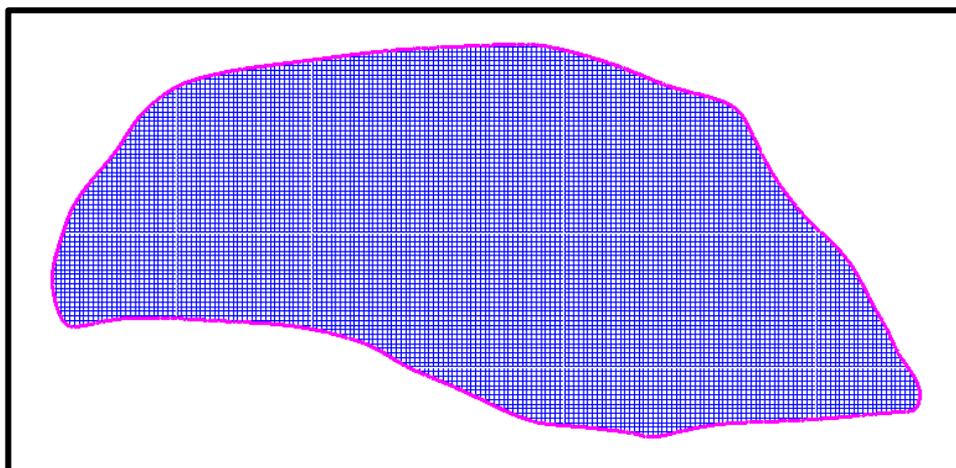


Figura 2. 3 Cuenca de la zona en estudio

Se obtuvo las longitudes de cada curva de nivel dentro del trazado de la cuenca obteniendo la tabla 2.1:

Tabla 2.1

Cotas y longitud de cada una de las curvas de nivel

COTA	LONGUITUD
2080	116,44
3000	214,21
3020	247,74
3040	246,28
3060	299,62
3080	347,86
3080	582,5
3100	557,01
3100	691,89
3120	1018,35
3120	839,7
3140	1950,77
3160	1492,84
3180	859,6
3200	482,54
3220	329,45
3240	177,87
Longitud total	10454,67

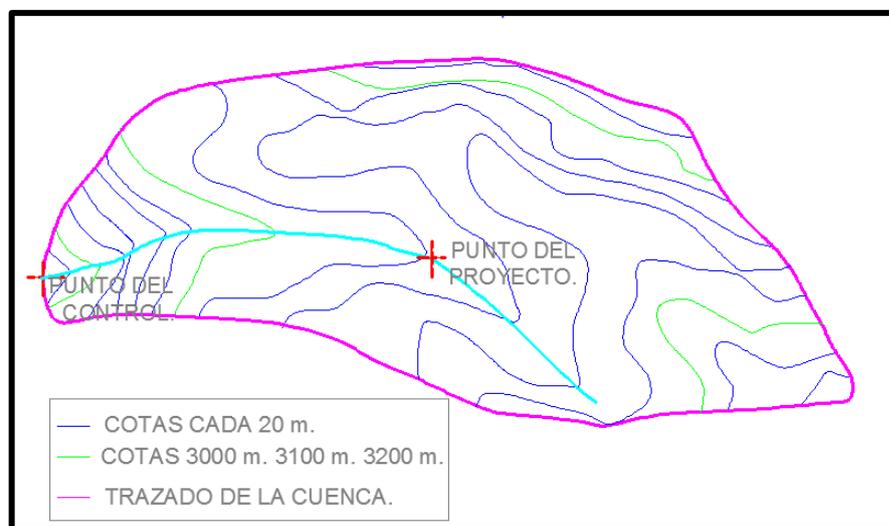


Figura 2. 4 Curvas de nivel dentro de la cuenca

Distancia entre cotas = 20 m → 0.02 km

Longitud del cauce = 994.48 m → 0.99 km

Area de la cuenca = 519705 m² → 0.52 km²

$$S = \frac{D * longitud\ del\ cauce}{Area\ de\ la\ cuenca}$$

$$S = \frac{0.02 * 0.99}{0.52}$$

$$S = 0.038$$

$$S = 3.81\% \rightarrow 4\%$$

Coeficiente de Gravelius

$$Kc = 0,28 * \frac{P}{\sqrt{A}} \quad Kc > 1 \text{ alargada}; Kc < 1 \text{ circular}$$

Dónde:

P = Perímetro de la Cuenca

A = Área de la Cuenca

Datos de la Cuenca del Proyecto Micro central Hidroeléctrica el Volcán

A = 519705 m² → 0.52 km²

P = 3173.48 m → 3.17 km

$$Kc = 0,28 * \frac{3.17}{\sqrt{0.52}}$$

$$Kc = 1.23$$

Por lo tanto según el valor del coeficiente presentamos una cuenca de forma ovalada.

CÁLCULO DE LA PENDIENTE DEL CAUCE

$$S = \frac{H}{L}$$

Dónde:

- *S = pendiente del tramo del cauce*
- *H = desnivel entre los extremos del tramo del cauce*
- *L = longitud horizontal del tramo del cauce*

Cálculo de la pendiente del cauce principal de la cuenca del proyecto Micro central Hidroeléctrica el Volcán

Datos:

Cota mayor de la cuenca = 3160 m → 3.16 km

Cota menor de la cuenca = 2080 m → 2.08 km

Longitud del cauce = 0.99 km

Pendiente del cauce principal

$$m = \frac{3.16 - 2.08}{0.99}$$

$$m = 109.09\%$$

Cálculo del caudal en la cuenca del proyecto Pequeña Central Hidroeléctrica El VOLCAN

Para la determinación de la precipitación media de la Cuenca, emplearemos el Método aritmético en siguiente cuadro mostraremos las precipitaciones máximas durante tres años, datos que se pudieron obtener del pluviómetro más cercano a la cuenca.

Tabla 2. 2

Precipitaciones máximas datos obtenidos con el pluviómetro más cercano a los terrenos

AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	SUMATORIA
2010	0	9,2	16,5	25,9	22,6	26,1	11	4,7	6,7	18,2	25,1	19,9	185,9
2011	22	27,5	17,5	27	16	9,8	12,4	9,3	2,4	14,1	31,4	16,6	206
2012	24,9	0	0	25	12,5	2,7	3	0,4	6,8	27,4	31,4	15,3	149,4

PRECIPITACION MEDIA	180,43	mm
----------------------------	---------------	----

Módulo específico de la escorrentía, según Pourrut

$$M_o = 10 - 20 \text{ L/S/Km}^2 \rightarrow 0.015 \text{ m/s/km}^2$$

Área de la cuenca

$$A = 0.52 \text{ km}^2$$

Cálculo del Coeficiente de Escorrentía en la cuenca del proyecto Pequeña Central Hidroeléctrica El VOLCAN

$$M_o = 31,71 \frac{CP}{10^6}$$

De la anterior expresión despejamos el valor de C

$$C = \frac{M_o * 10^6}{31.71 * P}$$

$$C = \frac{0.015 * 10^6}{31,71 * 180.43}$$

$$C = 2.62$$

Cálculo del caudal medio en la cuenca del proyecto Pequeña Central Hidroeléctrica El VOLCAN

$$Q_o = 0.015 * 0.52$$

$$Q_o = 7.8 \text{ lt/seg}$$

Cálculo del caudal ecológico en la cuenca del proyecto Pequeña Central Hidroeléctrica El VOLCAN

$$Q_{min} = \frac{PA}{10^6}$$

$$Q_{min} = \frac{180.43 * 0.52}{10^6}$$

$$Q_{min} = 0.10 \text{ lt/seg}$$

Con los resultados obtenidos podemos comprobar que para realizar un estudio hidrológico del proyecto es necesario ampliar la cuenca incluyendo en estas lagunas que se encuentran en las cercanías y otros cauces que existan en la zona.

La existencia de pluviómetros en la zona es escasa. Por esta razón, no se tienen datos precisos de precipitaciones, con lo mencionado anteriormente podemos concluir que el agua que vierte en los terrenos del proyecto en su mayoría tiene un origen subterráneo.

2.2. Levantamiento Topográfico

Se realizó el reconocimiento del sector bajo la supervisión de los Directores de Tesis, Ing. Washington Sandoval, Ph. D. e Ing. Marco Masabanda, Ph. D., con quienes se coordinó la ubicación de las obras hidráulicas para la microcentral hidroeléctrica.

Posteriormente con el objetivo de recolectar datos planimétricos y altimétricos de base para el cálculo hidráulico de la microcentral, se llevó a cabo el levantamiento topográfico utilizando como equipo de medición una Estación Total marca Trimble Robotica M3 con sus respectivos prismas de offset -30mm. Adicionalmente para la calibración inicial se utilizó un receptor GPS marca GARMIN 76Csx. Se trabajó con el sistema geodésico de referencia (datum) WGS84 y con el sistema de coordenadas UTM (Universal Transversal de Mercator).

2.2.1. Metodología de medición

Como metodología de medición para la zona alta del terreno, en donde se ubicará el tanque de presión y tanque recolector se ocupa el método polar

estación-punto. Se planta la Estación Total en un sitio donde se pueda observar la mayor parte del sector a medir, posteriormente se calibra la estación ingresando las coordenadas UTM y la altura con la ayuda del receptor GPS. Con esto colocamos también un punto de referencia al Norte. Con el calibrado inicial se procedió a la colocación del prisma en la mayor parte de puntos posibles, teniendo así la coordenada ESTE, NORTE y COTA de cada punto dando como resultado la siguiente tabla:

Tabla 2. 3

Puntos y Coordenadas UTM, resultado del levantamiento topográfico

N	Pto	ESTE	NORTE	ALTUR	N	Pto	ESTE	NORTE	ALTUR
1	E1	793698	9953461	3015	26	P27	793703.18	9953487.68	3012.44
2	N1	793698	9953464.09	3014.69	27	P28	793705.2	9953480.46	3012.19
3	P1	793706.2	9953456.32	3014.94	28	P29	793708.82	9953475.38	3012.27
4	P2	793703.41	9953457.4	3015.06	29	P33	793703.24	9953462.83	3013.69
5	P3	793703.57	9953461	3014.81	30	P34	793699.51	9953466.03	3013.59
6	P4	793697.28	9953465.6	3014.61	31	P35	793695.61	9953469.07	3013.48
7	P5	793692.97	9953469.78	3014.04	32	P36	793690.67	9953474.69	3013.4
8	P6	793687.56	9953475.72	3014.08	33	P37	793705.9	9953450.59	3015.01
9	P7	793694.65	9953480.12	3013.23	34	P38	793711.77	9953457.78	3014.96
10	P10	793698.06	9953484.38	3012.85	35	P39	793711.45	9953445.55	3015.06
11	P11	793699.03	9953493.03	3013.91	36	P24R	793714.27	9953485.44	3012.5
12	P12	793704.66	9953499.93	3013.88	37	P24R	793720.33	9953487.24	3013.91
13	P13	793713.63	9953499.29	3014.1	38	P30R	793705.39	9953472.94	3012.23
14	P14	793719.91	9953494.81	3014.4	39	P31R	793704.51	9953472.28	3011.89
15	P15	793723.08	9953489.69	3015.3	40	P32R	793706.63	9953466.92	3012.23
16	P16	793725.13	9953485.44	3015.62	41	P32R	793709.04	9953464.4	3012.6
17	P17	793725.89	9953481.17	3015.69	42	P8R1	793698.2	9953479.87	3011.88
18	P18	793723.21	9953498.71	3015.59	43	P9R2	793698.69	9953482.51	3011.73
19	P19	793721.14	9953500.33	3015.49	44	P40	793677.74	9953485.5	3001.5
20	P20	793720.47	9953500.92	3015.51	45	P41	793671.98	9953486.28	2998.84
21	P21	793719.9	9953505.52	3015.29	46	P42	793665.26	9953487.24	2997.14
22	P22	793715.71	9953506.39	3014.08	47	P43	793646.07	9953490.01	2989.87
23	P23	793714.48	9953486.87	3012.66	48	P44	793629.47	9953492.37	2987.08
24	P25	793721.39	9953483.2	3013.56	49	P45	793609.69	9953495.19	2986.24
25	P26	793716.38	9953477.84	3012.2					

Se utilizó un procedimiento diferente para la zona con pendiente inclinada, sector en donde se ubicará la mayor parte de la tubería de presión.

Con un *jalón* estandarizado de 1.20m, se tomó la distancia en nivel horizontal y en vertical, dando así el ángulo y la pendiente. En total se tomaron 20 medidas en con esta metodología para todo el tramo inclinado para su posterior correlación con el fin de encontrar las coordenadas UTM con su respectiva cota.

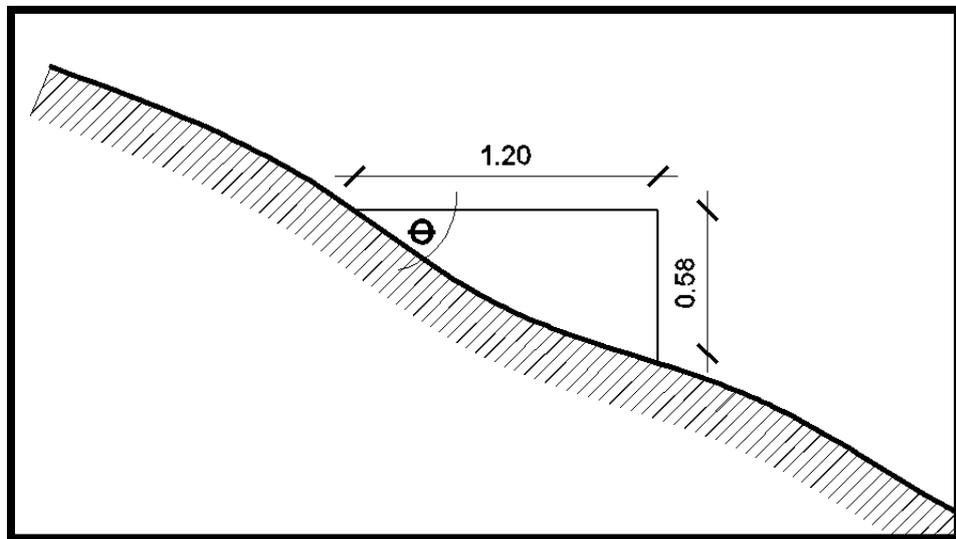


Figura 2. 5 Forma de medición con distancia horizontal y vertical para pendientes inclinadas.

Para el plano topográfico final se hizo la correlación entre los puntos UTM y las medidas en pendiente, dando como resultado la planimetría y altimetría con sus respectivas curvas de nivel a cada un metro de distancia entre sí. (Ver **Anexo 2.3**)

Tabla 2. 4
 Coordenadas UTM de la zona en pendiente del terreno. Condiciones Geológicas

No	Pto	ESTE	NORTE	ALTURA
50	a1	793679.51	9953489.79	3003
51	b1	793673.54	9953490.66	3001
52	c1	793666.7	9953491.85	2998.64
53	d1	793647.76	9953495.63	2992.07
54	e1	793631.75	9953499.69	2989.58
55	f1	793613.98	9953508.15	2989.24
56	a2	793678.83	9953487.72	3001.7
57	b2	793672.71	9953489.05	2999
58	c2	793665.86	9953490.6	2997.24
59	d2	793647.46	9953494.09	2990.17
60	e2	793630.67	9953498.07	2987.28
61	f2	793612.82	9953506.42	2986.39
62	a3	793677.08	9953482.75	3001.7
63	b3	793671.45	9953484.15	2999
64	c3	793664.21	9953485.19	2997.14
65	d3	793645.54	9953487.65	2990.17
66	e3	793627.5	9953487.23	2987.18
67	f3	793607.79	9953486.91	2986.39
68	a4	793676.51	9953480.65	3003.3
69	b4	793671.12	9953481.66	3001
70	c4	793663.99	9953483.61	2999
71	d4	793645.15	9953486.07	2992.57
72	e4	793627.63	9953485.09	2989.58
73	f4	793607.46	9953485.06	2988.74

En la parroquia de Pintag se tienen datos geológicos donde predomina las Lavas Indiferenciadas y piroclástos, existe también una gran mayoría de tobas, depósitos aluviales, depósitos coluviales, esto producto de su cercanía de los volcanes Antisana y Sincholagua.

Tabla 2. 5

Descripción Geológica de la parroquia Pintag.

NOMBRE	AREA (Ha.)
Aglomerado volcánico / arenas, cenizas/ Toba Aglomerados	11,010
Antisanilla HA	946,285
Ceniza, Lapilli	2570,080
Depósito aluvial	303,683
Depósito fluvio glacial	1952,754
Depósito glacial	587,585
Deposito coluvial	33,376
Lava Indiferenciada, Iv/ Piroclásticos, pr	13935,312
Formación Pisayambo, Lava ,lv / Piroclásticos, pr	8335,758

Fuente: Hoja Geológica Pintag N° 85

Nos centramos específicamente en la zona de “El Volcan”, donde predominan las rocas volcánicas que incluyen lavas de composición intermedia, estas rocas volcánicas incluyen principalmente andesitas-basálticas (Orozco & Granja, 2006).

Dado que el material se debe al flujo lávico pues las andesitas porfiríticas con ferro magnesianos hacen que en el sector prolifere la explotación de material petreo caracterizado para la construcción (Asmal, Ocaña, Perdomo, & Pérez, 2012).

De acuerdo a Orozco (2006), el flujo de lava se encuentre en dirección Este-Oeste y alcanza una longitud de 11 Km. Esto hace que nuestro proyecto se encuentre en una zona donde predominan las andesitas basálticas de color gris oscuro a negro y de color rojizo algunos bloques.



Figura 2. 6 Panorámica de la zona en estudio, donde se aprecia el tipo de suelo de tonalidad color rojizo.

Fuente: Los autores

2.3. Aforos de las vertientes

El propietario de los terrenos en estudio tiene una concesión de la Secretaría Nacional del Agua de 120 l/s. Puesto que a la zona del proyecto llega una vertiente con un caudal mayor, se toman dos ramificaciones para obtener el caudal en concesión.

El hecho de que en el sitio en donde se unen las dos ramificaciones exista capa vegetal y secciones irregulares se imposibilitó el aforo constante en ese determinado punto. Con este antecedente se buscó el mejor sector para el aforo, y fue justamente en el inicio de la zona en pendiente.

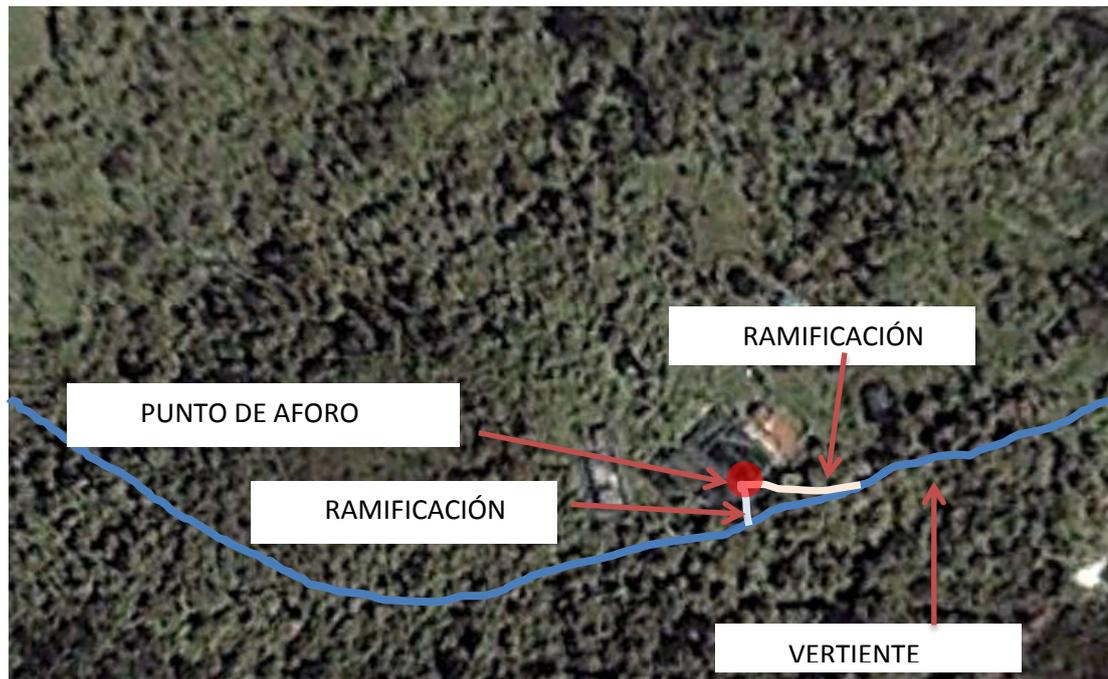


Figura 2. 7 Croquis de la ubicación de la vertiente, ramificaciones y el punto de aforo.

Fuente: fotografía original, GoogleEarth Image © 2015 Digital Globe.

Para el **PUNTO DE AFORO** se utilizó el método volumétrico, el cual consiste en medir el tiempo en el que se demora llenar un recipiente gradado. Posteriormente se divide el volumen para el tiempo y se obtiene el Caudal.

Se obtuvo un registro de caudales con treinta y cinco datos tomados durante nueve semanas consecutivas, posterior obtenemos los Caudales mínimo, máximo y medio.

$$Q_{\max} = 123.26 \text{ l/s}$$

$$Q_{\min} = 123.15 \text{ l/s}$$

$$Q_{\text{med}} = 124.39 \text{ l/s}$$

Posteriormente se desarrolla la curva de duración de caudales por el método de Frecuencia y Probabilidad de caudal recomendado por Ortiz (2001).

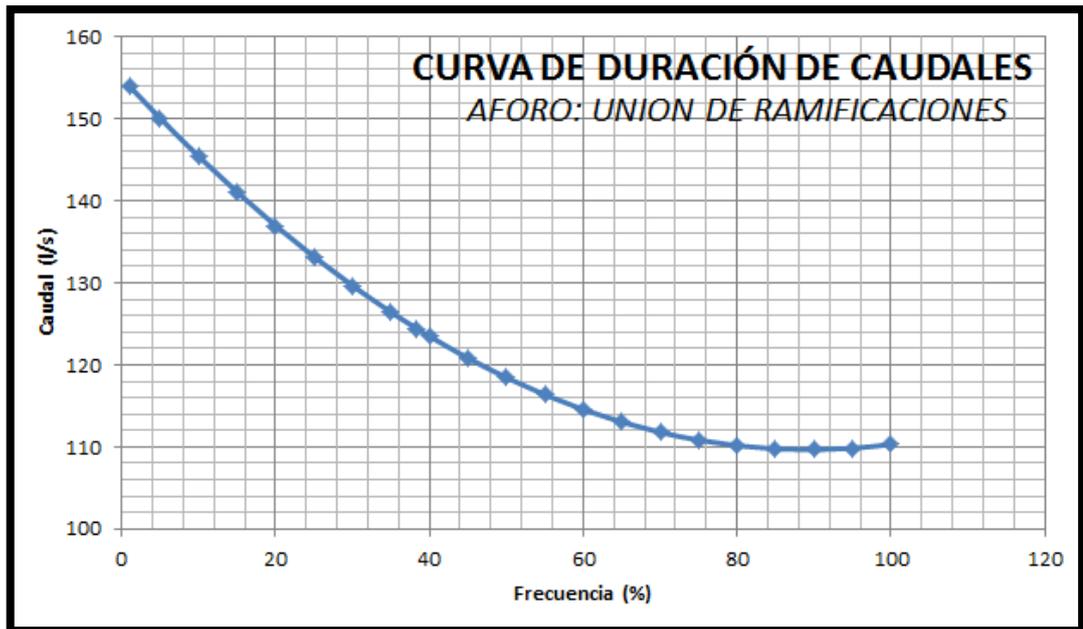


Figura 2.7. Curva de duración de caudales, Caudal vs Probabilidad de Permanencia, en el Punto de Aforo de unión de Ramificaciones

En la Figura 2.6, se observa que el valor de 110.00 l/s tiene una mayor frecuencia que se mantiene entre el 80 y 90%. Este hecho muestra que es un valor recomendable para seleccionarlo como caudal de diseño, con el cuál se desarrollarán todos los cálculos hidráulicos posteriores.

$$Q_{\text{diseño}} = 0.11 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

CAPITULO 3

3.1. Tanque de recolección

Con el fin de asegurar el volumen y el caudal constante que se vierten desde las piscícolas hacia el tanque de presión, se opta por la colocación de un tanque recolector, de dimensiones suficientes para que pueda ser ubicado junto a las estructuras existentes y que sin necesidad de un canal de acercamiento, existan pérdidas.

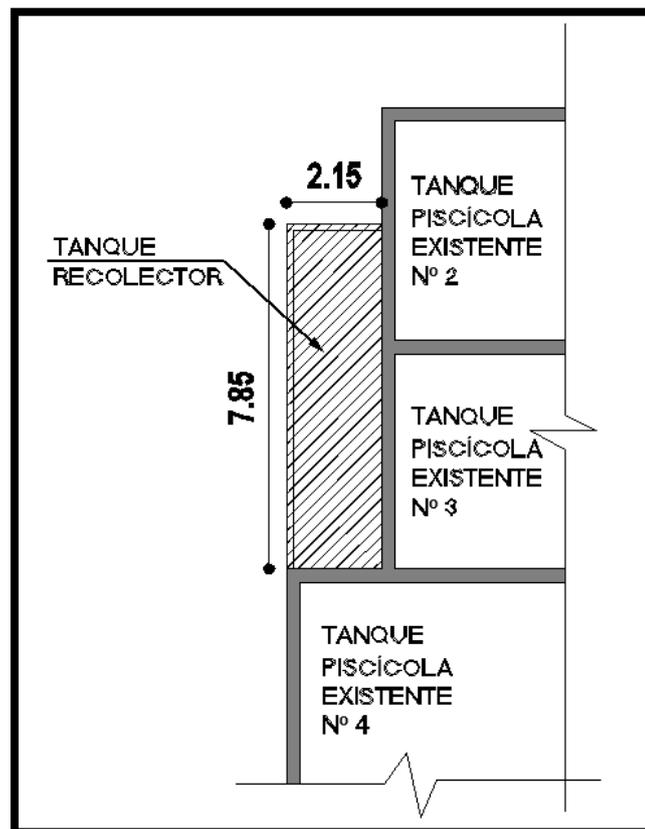


Figura 3. 1 Detalle arquitectónico en planta del tanque recolector.

Las dimensiones del tanque recolector se establecieron con las siguientes dimensiones: 2.15 de ancho y 7.85 de largo, como se especifica en la FIGURA Nº 3.1. La profundidad de este tanque recolector la calcularemos dependiendo de las dimensiones del tanque de presión.

3.2. Tubería de presión

Para el cálculo de la tubería de presión, es necesario tomar en cuenta la altura de caída bruta, que según la topografía del terreno es de 28.00 m (ver ANEXO LAMINA 2). La Olade *et al* (1985), recomienda que para alturas con menos de 100m de caída bruta se utilice la fórmula:

$$D = \sqrt[7]{0.0052 * Q^3}$$

Donde:

D = diámetro de tubería

Q = Caudal de Diseño.

Reemplazando datos, con un caudal de diseño de 0.11m^3 , resulta de la formula un diámetro de tubería de 0.1831m, lo que para nuestro caso correspondería a una tubería de presión comercial de 200 mm de diámetro.

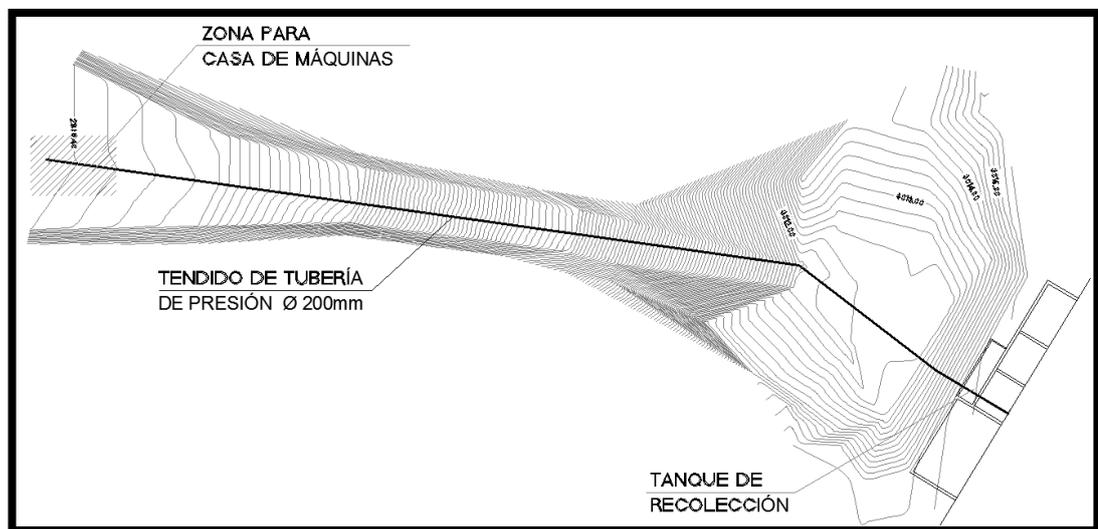


Figura 3. 2 Vista en planta del trazado del tendido de tubería, implantado en la topografía del terreno.

3.3. Tanque de presión

El volumen necesario del tanque de presión está directamente ligado con el volumen que se transite por la tubería de presión. Según la topografía, se tiene un trazado provisional de la tubería de presión que sirve para predimensionar el tanque.

Para saber el volumen en la tubería, obtenemos el área de la sección tubular y la multiplicamos por la longitud total, en tal virtud:

$$A_{st} = \frac{\pi * \varnothing^2}{4} = 0.031416$$

La tubería tiene una longitud de 118.00 m,

$$V_{st} = A_{st} * 118.00 = 3.70 \text{ m}^2$$

V_{st} = volumen de la sección circular

A_{st} = área de la sección transversal del tubo.

El tanque de presión deberá tener un volumen de al menos el doble del volumen que transitará por la tubería, tendremos entonces un volumen para el tanque de presión de 7.4 m³.

El tiempo de llenado del agua en el tanque de presión, calculamos con los datos de caudal de diseño y el volumen que recolectará en tanque:

$$Q = \frac{\text{Volumen}}{\text{tiempo}}$$

$$t = \frac{7.4 \text{ m}^3}{0.11 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}$$

$$t = 67.27 \text{ s}$$

Tenemos un tiempo de llenado del tanque de 67.27 segundos, el tiempo recomendable para un proyecto con estas características es de 90 segundos. Calcularemos el volumen necesario para dicho tiempo.

$$Q = \frac{\text{Volumen}}{\text{tiempo}}$$

$$V = 0.11 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 90\text{s}$$

$$V = 9.9\text{m}^3$$

En consecuencia el volumen para este tanque lo asumimos de 10.00 m³. Se ubicara adosado al lado occidente del tanque recolector (ver Anexo Lamina 6).

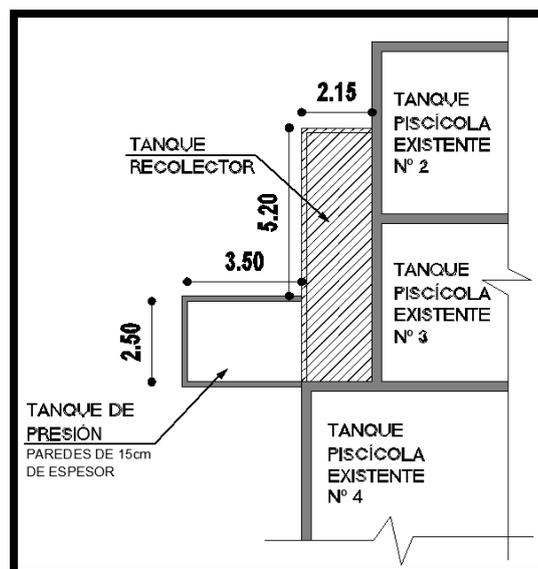


Figura 3. 3 Detalle arquitectónico en planta del tanque de presión

3.4. Vertederos

Para empezar el cálculo se considerarán vertederos de pared delgada, los cuales el ancho de la cresta no influye en la forma de la lámina vertiente para los casos en que $e \leq 0.67H$ (Sandoval W. , 2013).

3.4.1. Vertedero sumergido del Tanque Recolector al Tanque de Presión

Según la ecuación principal de vertederos, $Q = m * b\sqrt{2g} * H^{2/3}$, que se obtiene a partir de la ecuación de Bernoulli, para considerar la variación de caudal en los vertederos sumergidos, introducimos un coeficiente adicional (Sandoval, 2013), teniendo así:

$$Q = n_s * m * b\sqrt{2g} * H^{2/3}$$

Despejamos el valor de H que es la altura de agua sobre el vertedero:

$$H = \left(\frac{Q}{n_s * m * b * \sqrt{2g}} \right)^{2/3}$$

H = altura de agua sobre el vertedero

Q = caudal

n_s = coeficiente de inmersión

m = coeficiente de caudal de un vertedero de pared delgada

b = longitud de la cresta

g = aceleración de la gravedad

Para el cálculo de la altura necesitamos el valor del coeficiente de inmersión, para lo cual ocupamos la ecuación de Bazin.

$$n_s = 1.05 \left(1 + 0.2 * \frac{h_s}{p_2} \right)^3 \sqrt{\frac{Z}{H}}$$

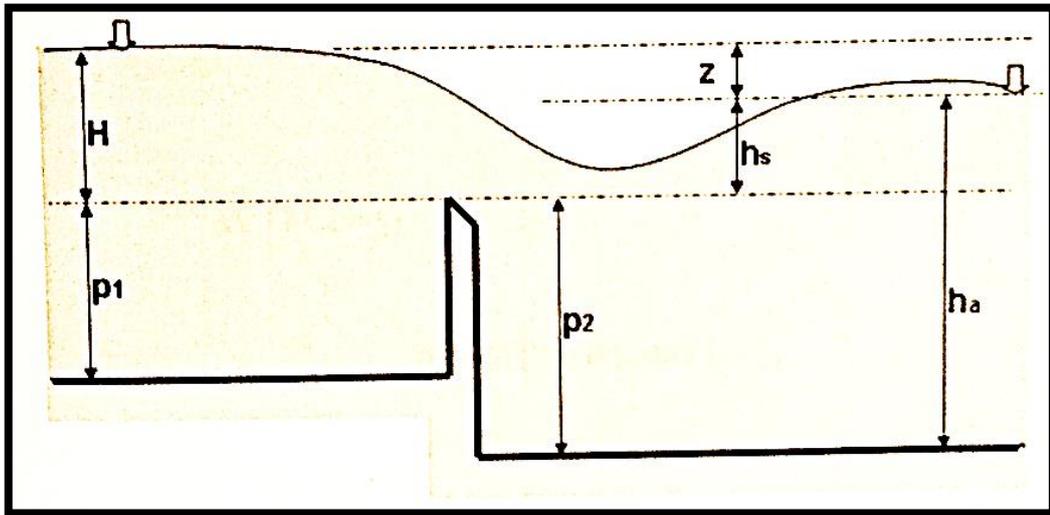


Figura 3. 4 Vertedero de Pared Delgada Sumergido.
Fuente: (Sandoval, 2013)

El coeficiente de caudal de un vertedero de pared delgada según R. Chugaev:

$$m = 0.4 + 0.005 \frac{H}{p_1}$$

Con la ayuda de una hoja de cálculo, se inició el proceso de iteración con $m = 0.40$, $Q = 0.11 \text{ m}^3/\text{s}$, longitud de la cresta $b = 1.5 \text{ m}$, $p_1 = 0.5$, $p_2 = 0.5$, $z = 0.08$, $h_s = 0.5$, hasta llegar a los valores finales:

$$n_s = 1.05 \left(1 + 0.2 * \frac{0.084}{0.50} \right)^3 \sqrt{\frac{0.084}{0.16}} = 0.6703341$$

$$H = \left(\frac{0.11}{0.6703341 * 0.40167858 * 1.50 * \sqrt{19.62}} \right)^{2/3} = 0.165 \text{ m}$$

La altura final de agua sobre el vertedero es: 0.17 m .

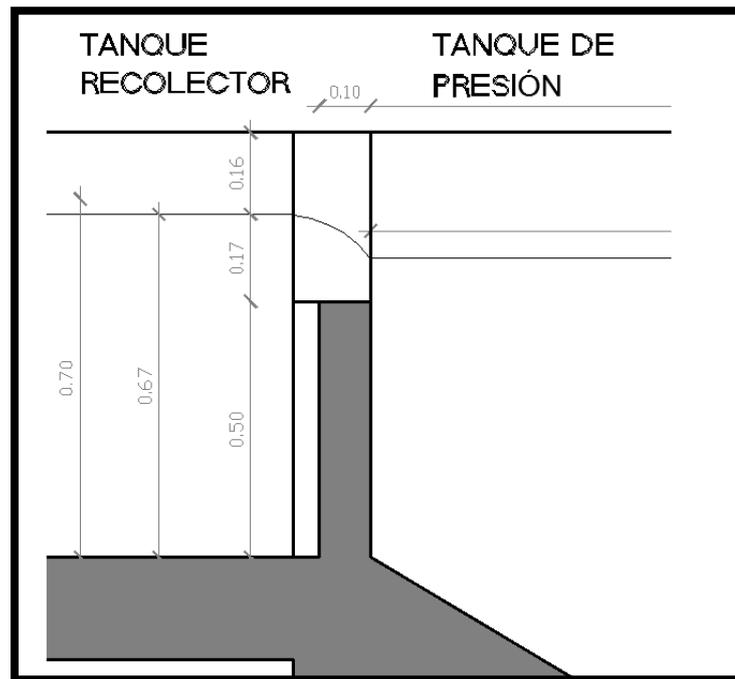


Figura 3. 5 Vista en corte del vertedero sumergido

En el caso de que hubiese una crecida de caudal con probabilidad de 1%, que es un caudal de 150 l/s, se calculó también el tirante con ese dato, como resultado fue 0.20m, por tal motivo se sube la pared del tanque recolector y del tanque de presión 0.33m a partir del vertedero para asegurar crecidas de caudal.

3.4.2. Vertedero del Tanque Recolector al desagüe

Cuando el vertedero no es sumergido se utiliza la ecuación sin el coeficiente de inmersión $H = \left(\frac{Q}{m \cdot b \cdot \sqrt{2g}} \right)^{2/3}$. Para el cálculo se considera que la cresta del vertedero es de 1.00 m:

$$H = \left(\frac{0.11}{0.40 \cdot 1.00 \cdot \sqrt{2g}} \right)^{2/3} = 0.156m$$

El tirante será entonces de 0.16 m

3.4.3. Vertedero del Tanque de Presión al desagüe

El vertedero no es sumergido, el ancho de la cresta del vertedero es 1.00m, por tal motivo se hace uso de la ecuación:

$$H = \left(\frac{Q}{m * b * \sqrt{2g}} \right)^{2/3}$$

$$H = \left(\frac{0.11}{0.40 * 1 * \sqrt{2g}} \right)^{2/3} = 0.156m$$

Se asume el tirante de 0.16, y que al igual se eleva las paredes del tanque 0.33m para asegurar crecidas de caudal.

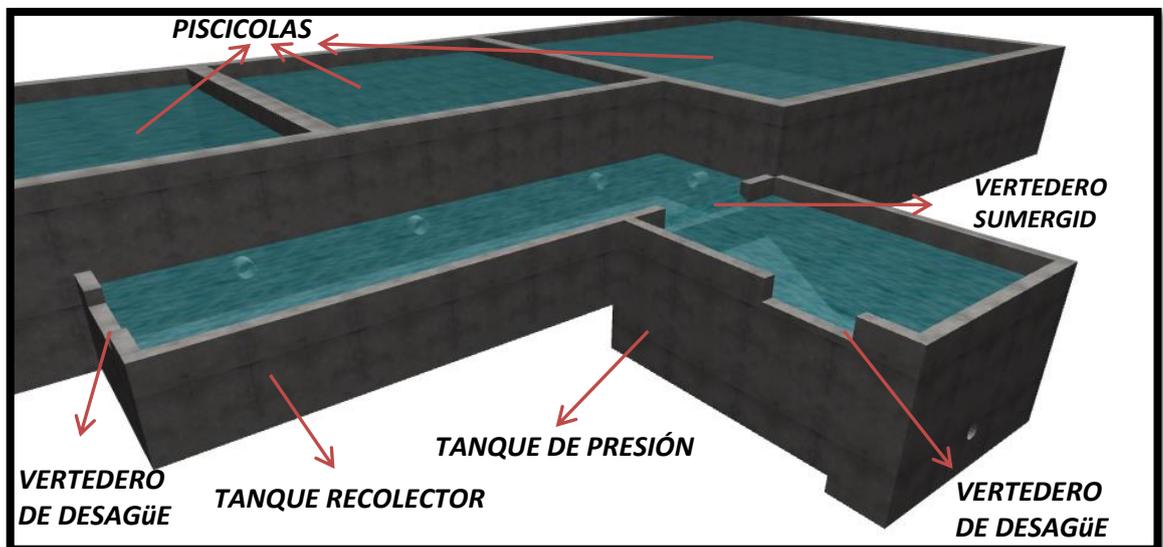


Figura 3. 6 Alzado tridimensional del Tanque Recolector, Tanque de Presión y vertederos

3.5. Colchón de aguas

Para asegurar las estructuras de obra civil delante de los vertederos de desagüe del contacto brusco del agua al caer, lo que ocasionaría el socavamiento del suelo y por ende el desgaste de la cimentación de dichas estructuras, es necesario un colchón de aguas que soporte la caída del agua.

Por ende el colchón de aguas debe tener profundidad suficiente para que el resalto y su turbulencia no se desplacen aguas abajo (Sandoval W. , 2013)

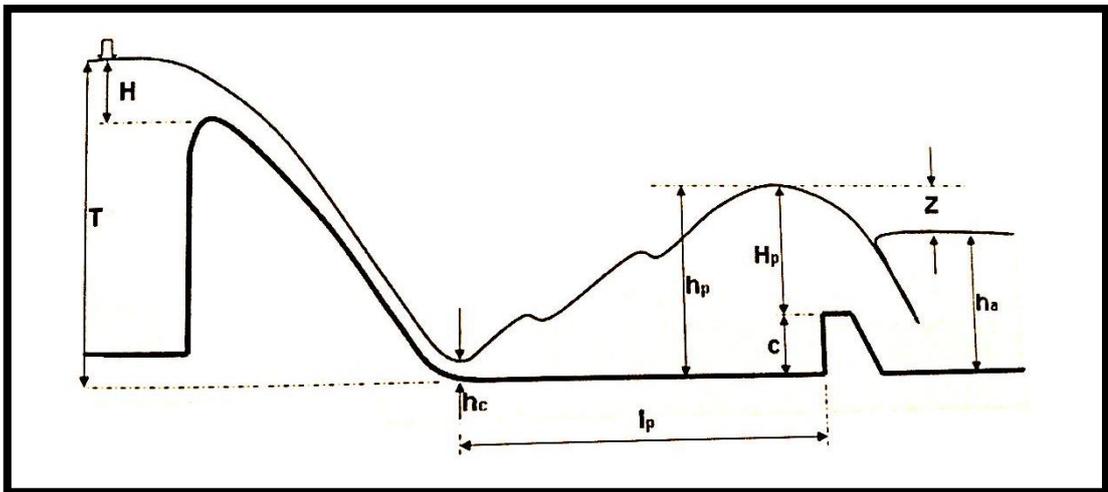


Figura 3. 7 Colchón de aguas formado por un muro
Fuente: (Sandoval, 2013)

3.5.1. Colchón de aguas para el tanque de recolección

Calcularemos la primera conjugada con la fórmula:

$$h_c = \frac{Q}{b * C * \sqrt{2g * (T - hc)}}$$

Q = Caudal

b = ancho del colchón

C = altura del muro (asumida)

T = Altura del vertedero + tirante

Empezamos el proceso de iteración con $hc = 0.018$

$$h_c = \frac{0.11}{2 * 0.67 * \sqrt{2g * (0.83 - 0.018)}} = 0.02056$$

En la segunda iteración obtenemos el resultado de $hc = 0.02059$.

Obtenemos el área transversal en la primera conjugada:

$$Ac = hc * (\text{longitud de la cresta del vertedero})$$

$$Ac = 0.020 * 1 = 0.020m^2$$

Velocidad en la Primera conjugada:

$$V = Q/Ac = 0.11/0.0205999$$

$$V = 5.34$$

Calculamos el número de Froude:

$$Fr = \sqrt{\frac{(vel)^2}{g * h_1}}$$

$$Fr = \sqrt{\frac{(5.34)^2}{g * 0.02059}} = 11.89$$

Según Sandoval:

$$ls = hc * (-0.1Fr^2 + 7.5Fr - 4.1)$$

$$ls = 1.46$$

Por ende lp (distancia longitudinal del colchón) según Pavlovsky se puede tomar del 80% al 100% de ls .

$$Lp = 0.8 * ls$$

$$Lp = 1.16.$$

Las dimensiones finales serán 1.16 en longitudinal, 2.00 en sentido transversal, y de altura del muro $C = 0.60$.

3.5.2. Colchón de aguas para el tanque de presión

Calcularemos la primera conjugada con la fórmula:

$$h_c = \frac{Q}{b * C * \sqrt{2g * (T - hc)}}$$

Q = Caudal

b = ancho del colchón

C = altura del muro (asumida)

T = Altura del vertedero + tirante

Empezamos el proceso de iteración con $hc = 0.020$

$$h_c = \frac{0.11}{1.7 * 0.68 * \sqrt{2g * (1.44 - 0.020)}} = 0.01802$$

En la segunda iteración obtenemos el resultado de $hc = 0.01802$.

Obtenemos el área transversal en la primera conjugada:

$$Ac = hc * (\text{longitud de la cresta del vertedero})$$

$$Ac = 0.01802 * 1.70 = 0.0306m^2$$

Velocidad en la Primera conjugada:

$$V = Q/Ac = 0.11/0.0306$$

$$V = 3.59$$

Calculamos el número de Froude:

$$Fr = \sqrt{\frac{(vel)^2}{g * h_1}}$$

$$Fr = \sqrt{\frac{(3.59)^2}{g * 0.01802}} = 8.54$$

Según Sandoval:

$$l_s = hc * (-0.1Fr^2 + 7.5Fr - 4.1)$$

$$l_s = 0.94$$

Por ende l_p (distancia longitudinal del colchón) según Pavlovsky se puede tomar del 80% al 100% de l_s .

$$L_p = 0.8 * l_s$$

$$L_p = 0.75$$

Las dimensiones finales serán 1.00 en longitudinal, 1.70 en sentido transversal, y de altura del muro $C = 0.80$.

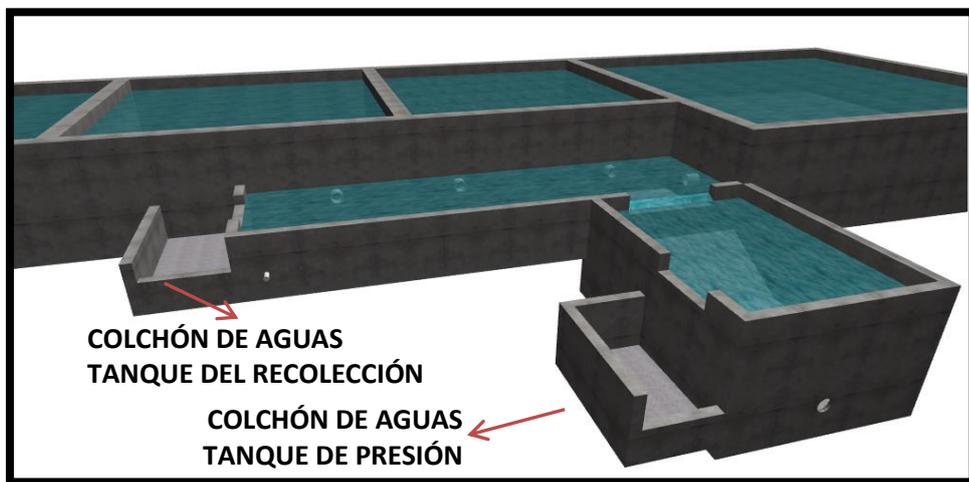


Figura 3. 8 Alzado tridimensional de los: tanques recolector, presión y colchones de agua.

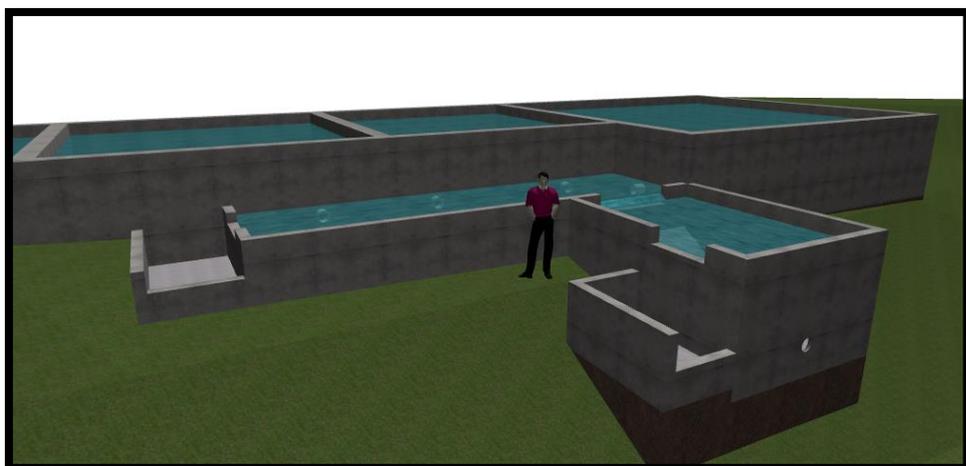


Figura 3. 9 Alzado e implantación tridimensional de los tanques recolector, presión y colchones de agua.

3.6. Cálculo de la rejilla a la salida del tanque de presión

Pese a que las estructuras de piscícolas existentes cuentan con rejillas y mallas en el punto de unión de las ramificaciones para que materiales flotantes no dañen a los peces, es necesario una rejilla a la salida del tanque de presión.

Se asume la separación entre barrotes que puede variar entre 2 y 6 cm (Olade, Novillo, Galarza, & Romero, 1985), que depende de la separación de los alabes de la turbina. Asumimos una separación de 0.06m, y el grosor de los barrotes según varios autores puede ser de 2 cm, en nuestro caso pondremos el espesor de 1.6cm lo que corresponde a una varilla comercial lisa de 16mm.

El ancho de la rejilla será el mismo que el del tanque de presión que es 2.50m.

Con esta configuración de la rejilla tendremos 32 barrotes de 1.6cm de espesor con separación de 0.06cm, con ángulo recomendado por la OLADE de 50° para limpieza a mano.

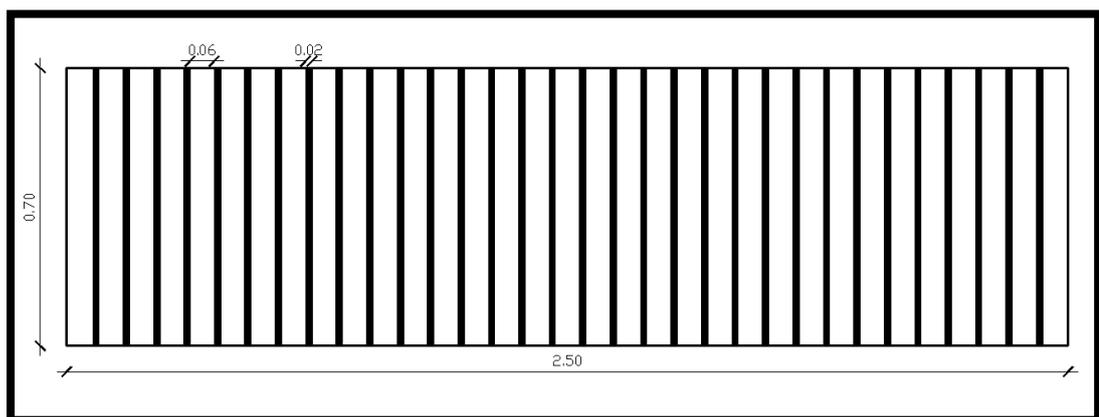


Figura 3. 10 Vista de en planta del dimensionamiento de la rejilla.

3.7. Cálculo de pérdidas de carga

A lo largo del tramo que conforma la tubería de presión, tenemos diferentes tipos de accesorios que hacen que exista pérdida de altura, a continuación se detalla el cálculo de pérdidas por tipo de accesorio y por longitud.

3.7.1. Pérdidas por longitud

Viene dada por la ecuación de Darcy-Weisbach: $hr = \lambda \frac{l v^2}{D 2g}$

$\lambda =$ coeficiente de pérdidas

$l =$ longitud de la tubería

$v =$ velocidad en la tubería

$D =$ diámetro de la tubería

$g =$ gravedad

$$\text{velocidad} = \frac{\text{Caudal}}{\text{Area transversal de tubería}} = \frac{0.11}{0.0314} = 3.503 \text{ m/s}$$

El coeficiente de pérdidas λ para pared de transición según A. D. Altshul es igual a:

$$\lambda = 0.11 \left(\frac{68}{Re} + \frac{k}{D} \right)^{0.25}$$

$\lambda =$ coeficiente de pérdidas

$Re =$ Número de Reynolds

$k =$ valor de rugosidad equivalente, depende del tipo de material

$D =$ diámetro de la tubería

$$Re = \frac{\text{velocidad} * \text{Diámetro}}{\text{viscosidad del agua } 14^{\circ}\text{C}} = \frac{3.503 * 0.2}{1.14e^{-6}} = 614561.404$$

Se utilizará tubería de PVC, según la Tabla N° 3.1 el valor para k es igual a 0.07mm.

$$\lambda = 0.11 \left(\frac{68}{614561.404} + \frac{0.07}{200} \right)^{0.25} = 0.01611517$$

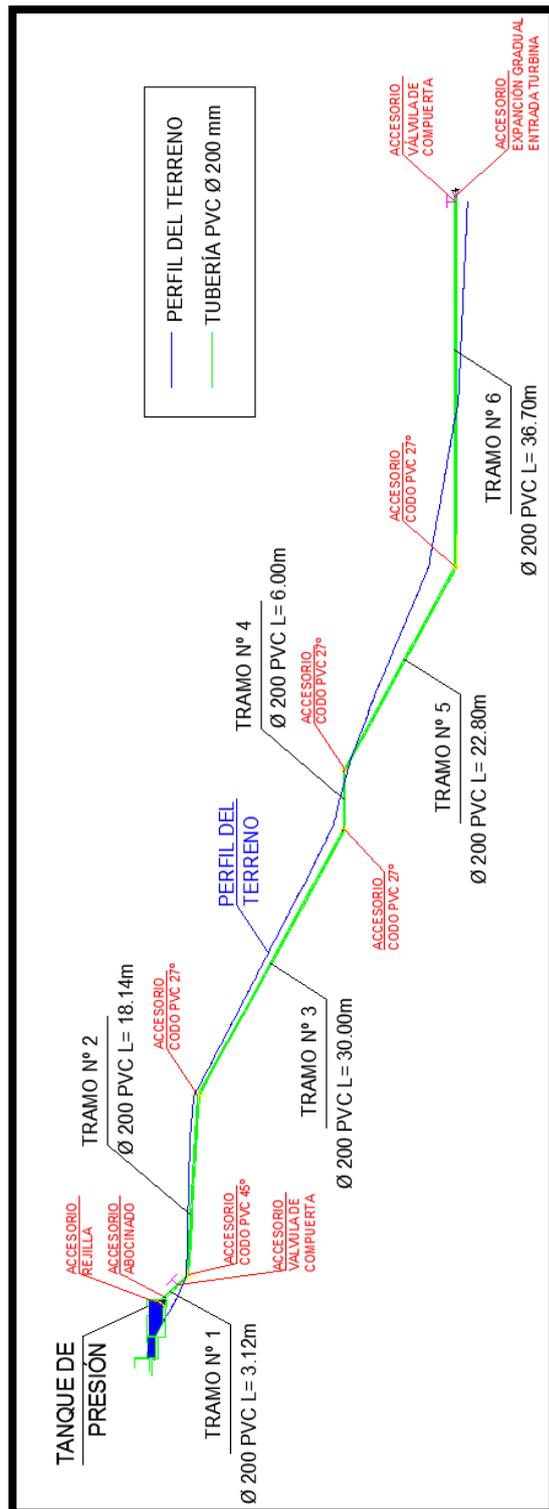


Figura 3.11 Perfil del terreno detalles de accesorios y longitudes de tuberías

Para el tramo N° 1 se tiene una longitud de tubería de 3.12m

$$hr1 = \lambda \frac{l v^2}{D 2g}$$

$$hr1 = 0.01611 \frac{3.12}{0.20} * \frac{3.503^2}{2g}$$

$$hr1 = 0.157 m$$

Lo propio para los siguientes tramos cuyas longitudes de tuberías se detallan en la figura N° 3.11, teniendo así el resultado de las pérdidas de carga por longitud de tubería:

Tramo 1 $hr1 = 0.157 m$

Tramo 2 $hr2 = 0.914 m$

Tramo 3 $hr3 = 1.511 m$

Tramo 4 $hr4 = 0.302 m$

Tramo 5 $hr5 = 1.149 m$

Tramo 6 $hr6 = 1.849 m$

La pérdida total por longitud de tubería es $h_f = 5.88 m$

Tabla 3. 1 Valores de Rugosidad Equivalente k.

TIPO DE TUBERÍA	k (mm)
Vidrio, plomo, cobre, latón	0,0015 a 0,01
PVC y mangueras plásticas	0,06 a 0,07
Mangueras de caucho	0,03
Tubos industriales de latón	0,025
Hierro fundido nuevo	0,02 a 0,1
Hierro fundido con protección interior de asfalto	0,014 a 0,018
Hierro fundido medio oxidado	0,3 a 0,7
Hierro galvanizado	0,15 a 0,3
Acero laminado nuevo	0,04 a 0,1
Acero soldado nuevo	0,05 a 0,1
Asbesto-cemento nuevo	0,16
Concreto centrifugado nuevo	0,15 a 0,3
Concreto en galerías, encofrado madera normal	1,0 a 2,0
Concreto armado con acabado liso	0,2 a 0,3

Fuente: (Sandoval, 2013)

3.7.2. Pérdidas por accesorio

Para el tendido de la tubería de presión fue necesario utilizar accesorios para controlar el flujo del agua, como son válvulas, tees, codos, abocinado etc., por tal motivo es imprescindible el cálculo de estas, las pérdidas por resistencia de forma las calculamos con la ecuación:

$$h_f = \zeta \frac{v^2}{2g}$$

h_f = pérdidas por accesorios

ζ = coeficientes de pérdidas locales

v = velocidad

Como se observa en la Figura N° 3.11 tenemos diez diferentes tipos de accesorios que los detallamos a continuación con su respectivo coeficiente de pérdidas (ζ).

Accesorio N° 1 – Rejilla

$$\zeta = ki \left(\frac{s}{b} \right)^{4/3} \text{sen } \alpha$$

El valor de ki para los barrotes que serán de varilla lisa Ø12mm es $ki=2.42$ (Sandoval, 2013)

s = espesor de las barras

b = separación de barrotes

α = ángulo de inclinación de los barrotes

$$\zeta = 2.42 \left(\frac{0.016}{0.06} \right)^{4/3} \text{sen } 50$$

$$\zeta = 0.32$$

$$h_f = 0.32 \frac{3.5^2}{2g} = 0.20m$$

Accesorio N° 2 – Abocinado

El valor del coeficiente de pérdidas locales para el abocinado es de $\zeta = 0.05$ (Sandoval, 2013)

$$h_f = 0.05 \frac{3.5^2}{2g} = 0.0312m$$

Accesorio N° 3 – Válvula de compuerta

El valor del coeficiente de pérdidas locales para la válvula de compuerta es de $\zeta = 0.05$ (Sandoval, 2013)

$$h_f = 0.05 \frac{3.5^2}{2g} = 0.27m$$

Accesorio N° 4 – Codo a 45°

El valor del coeficiente de pérdidas locales para el codo de 45° es de $\zeta = 0.32$ (Sandoval, 2013)

$$h_f = 0.32 \frac{3.5^2}{2g} = 0.2m$$

Accesorio N° 5,6,7,8 – Codo a 27°

El valor del coeficiente de pérdidas locales para el codo de 27° es de $\zeta = 0.16$ (Sandoval, 2013)

$$h_f = 0.16 \frac{3.5^2}{2g} = 0.1m$$

A este valor lo multiplicamos por los 4 codos similares ocupados en el proyecto $h_f = 0.4m$.

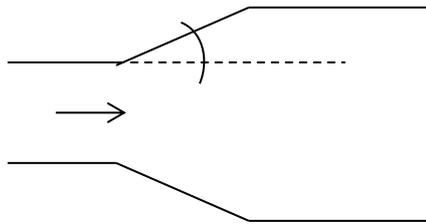
Accesorio N° 9 – Válvula de compuerta

El valor del coeficiente de pérdidas locales para la válvula de compuerta es de $\zeta = 0.05$ (Sandoval, 2013)

$$h_f = 0.05 \frac{3.5^2}{2g} = 0.27m$$

Accesorio N° 10 – Expansión gradual, entrada a turbina

$$\zeta = \left(\frac{k + \lambda}{8 \operatorname{sen} \theta} \right) \left(\frac{A_2 - A_1}{A_2} \right)^2$$



El valor de k viene dado por θ , los cuales respectivamente son, 0.42 y 10° (Sandoval, 2013)

$$\zeta = \left(\frac{0.42 + 0.016}{8 \operatorname{sen} \theta} \right) \left(\frac{0.0684 - 0.0314}{0.0684} \right)^2$$

$$\zeta = 0.091$$

$$h_f = 0.091 \frac{3.5^2}{2g} = 0.057m$$

La sumatoria de pérdidas por accesorios es:

$$h_{f \text{ accesorios}} = h_{f1} + h_{f2} + h_{f3} + h_{f4} + h_{f5} + h_{f6} + h_{f7} + h_{f8} + h_{f9} + h_{f10}$$

$$h_{f \text{ accesorios}} = 1.43 m$$

La pérdida total de carga viene dado por la pérdida por accesorios + pérdida por longitud de tubería:

$$h_{fTOTAL} = h_{f\text{accesorios}} + h_{f\text{longitud}}$$

$$h_{fTOTAL} = 1.43m + 5.88m$$

$$h_{fTOTAL} = 7.31 m$$

La altura bruta del proyecto es 28.56 m, menos las pérdidas totales, resulta la altura neta con la cuál contamos para el cálculo de la potencia de la turbina.

$$\text{Altura Neta} = \text{Altura Bruta} - h_{f\text{total}}$$

$$\text{Altura Neta} = 21.24m$$

3.8. Cálculo de la Turbina

Para el cálculo de la turbina es indispensable conocer que tipo será la apropiada para nuestro proyecto, para esto utilizamos el diagrama de selección de turbinas

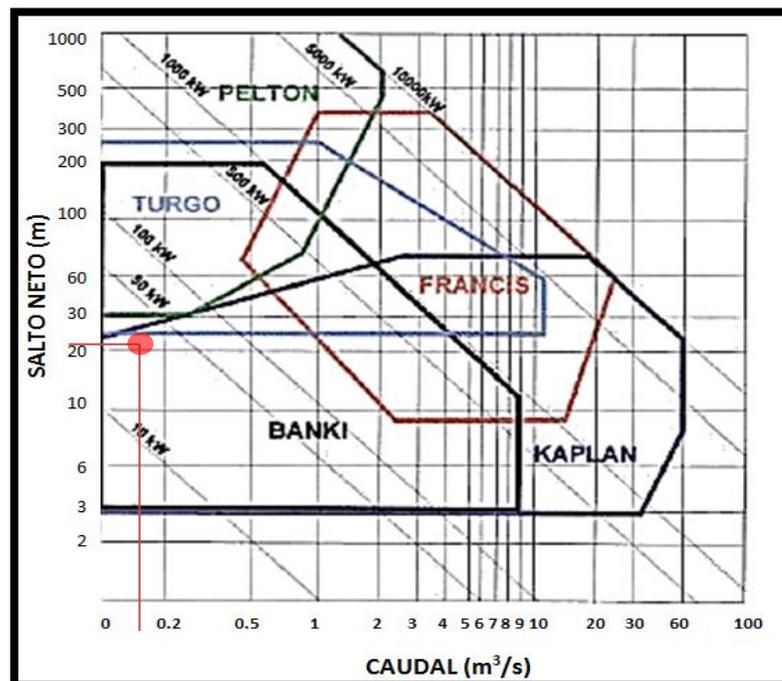


Figura 3. 13 Diagrama de selección de turbinas aplicada a nuestro proyecto.
Fuente (Paccha, 2011).

Según el caudal de diseño que es $0.11\text{m}^3/\text{s}$ y nuestra altura neta de 21.24m , la turbina Michell-Banki es la adecuada para nuestro proyecto. Es clasificada como una turbina de acción, entrada radial, de admisión parcial y flujo transversal y el rango de operación recomendable para altura en dicha turbina es $H = 1\text{m} < H < 100\text{m}$ (Paz, Carrocci, Paulo, & Romero, 2007).

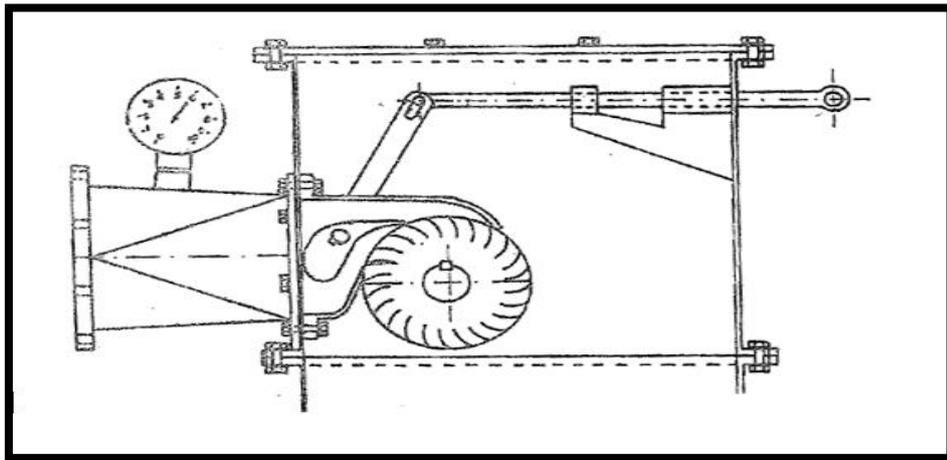


Figura 3. 14 Esquema de Turbina Michell-Banki.
Fuente: (Hernández, 1980).

La ecuación de rendimiento de las Turbinas Michell-Banki, modificada por Banki en 1923 es:

$$\eta_{max} = 0.863 - 0.264 \frac{D}{H}$$

Donde D es el diámetro de la tubería expresado en metros y H la altura neta en metros.

El rendimiento de la turbina a ocupar para el proyecto es:

$$\eta_{max} = 0.863 - 0.264 \frac{0.20}{21.24}$$

$$\eta_{max} = 0.8605$$

Paralelamente calculamos la potencia hidráulica con la ecuación:

$$P_{hidraulica} = \gamma * Q * H_n * \eta_{max}$$

$\gamma =$ Peso específico del agua en (N/m^3)

$Q =$ Caudal de diseño (m^3/s)

$H_n =$ Altura neta (m)

$\eta_{max} =$ Rendimiento de la turbina

$$P_{hidraulica} = 9810 * 0.11 * 21.24 * 0.8605$$

$$P_{hidraulica} = 19722.73 \text{ w}$$

$$P_{hidraulica} = 19.72 \text{ Kw}$$

Para el diseño mecánico de la turbina, ocupamos el *Manual de diseño y estandarización de turbinas Michell-Banki de la OLADE*, (Hernández, 1980).

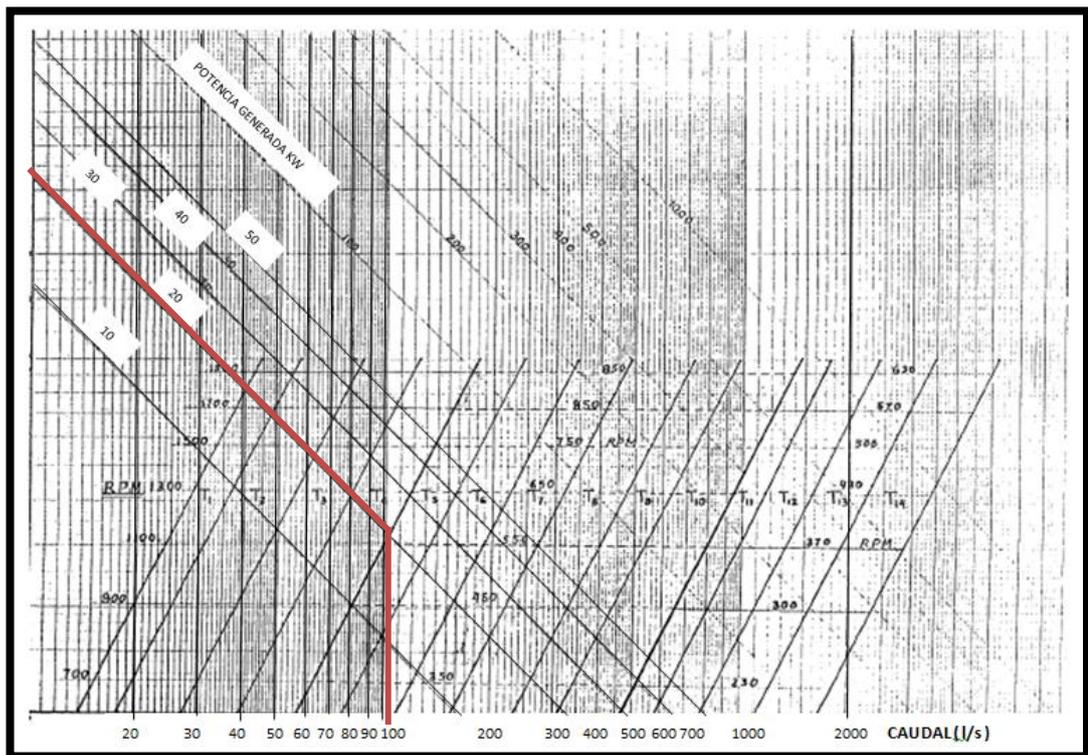


Figura 3. 15 Gráfico de selección de Turbinas Michell-Banki estandarizadas, aplicada al proyecto "El Volcán".

Fuente: (Hernández, 1980).

Según el caudal y la potencia, la OLADE recomienda una turbina estandarizada tipo T4, en la tabla N°3.2 se observa las diferentes dimensiones del rodete según la turbina estandarizada dada.

Tabla 3. 2 Dimensiones principales de turbinas Michell-Banki estandarizadas

DIMENCIONES PRINCIPALES DE TURBINAS MICHELL-BANKI ESTANDARIZADAS			
Nº	Diámetro de Rodete	Ancho del Inyector B	Ancho del Rodete Br
T1	200	30	40
T2	200	45	60
T3	200	65	85
T4	200	*60 - 30	160
T5	400	60	80
T6	400	85	110
T7	400	120	160
T8	400	*120 - 60	305
T9	400	240	315
T10	400	*240 - 120	610
T11	600	270	350
T12	600	390	500
T13	600	560	700
T14	600	*560 - 270	1200

Fuente: (Hernández, 1980).

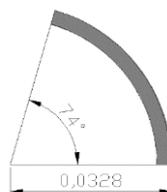
En tal virtud, se tiene para la Turbina tipo T4 un Diámetro exterior de Rodete de 200mm.

Para el diámetro interior ocupamos la fórmula:

$$Di = \frac{2}{3} De = \frac{2}{3} * 0.2 = 0.1333m$$

El radio de curvatura del álabe en función del diámetro exterior:

$$r = \frac{De}{6.1} = \frac{0.2}{6.1} = 0.0327$$



Según la OLADE, el ángulo del álabe recomendable es de 73° a 74°, y espesor de 3mm.

El diámetro máximo del eje que atraviesa el interior del rodete en función del diámetro exterior:

$$d_{max} = 0.325 * D_e$$

$$d_{max} = 0.325 * 0.20 = 0.065$$

Lado constante del inyector B:

$$B = \frac{Q}{(\pi D_e - e Z) K_0 K_c \sqrt{2 g H} \operatorname{sen} \alpha} = 0.3442m$$

Q	Caudal de diseño (m ³ /s)
De	Diámetro exterior del rodete (m)
e	espesor de los álabes (m)
Z	número de álabes del rodete (24)
K ₀	Porcentaje del arco de admisión (32%)
K _c	coeficiente de velocidad (0.98)
H	salto neto aprovechable (m)
α	ángulo de orientación del chorro de agua al ingreso (16°)

Ancho interior del rodete en función del ancho interior B del inyector.

$$Br = 1.3 * B$$

$$Br = 1.3 * 0.3442 = 0.4475m$$

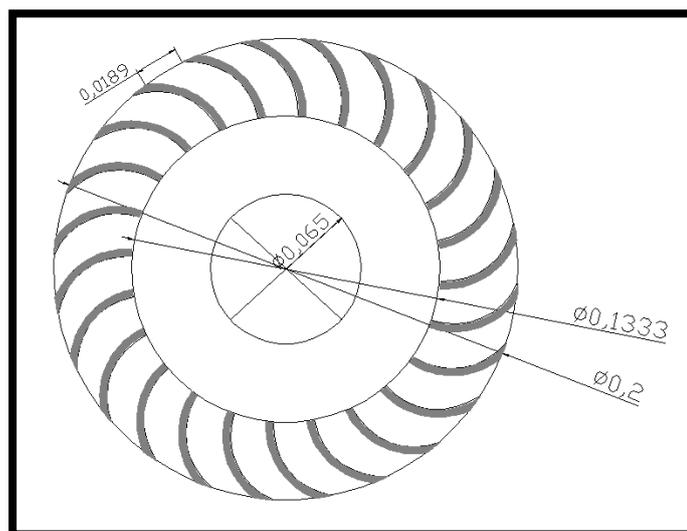


Figura 3. 16 Vista en corte del Rodete con sus respectivas dimensiones

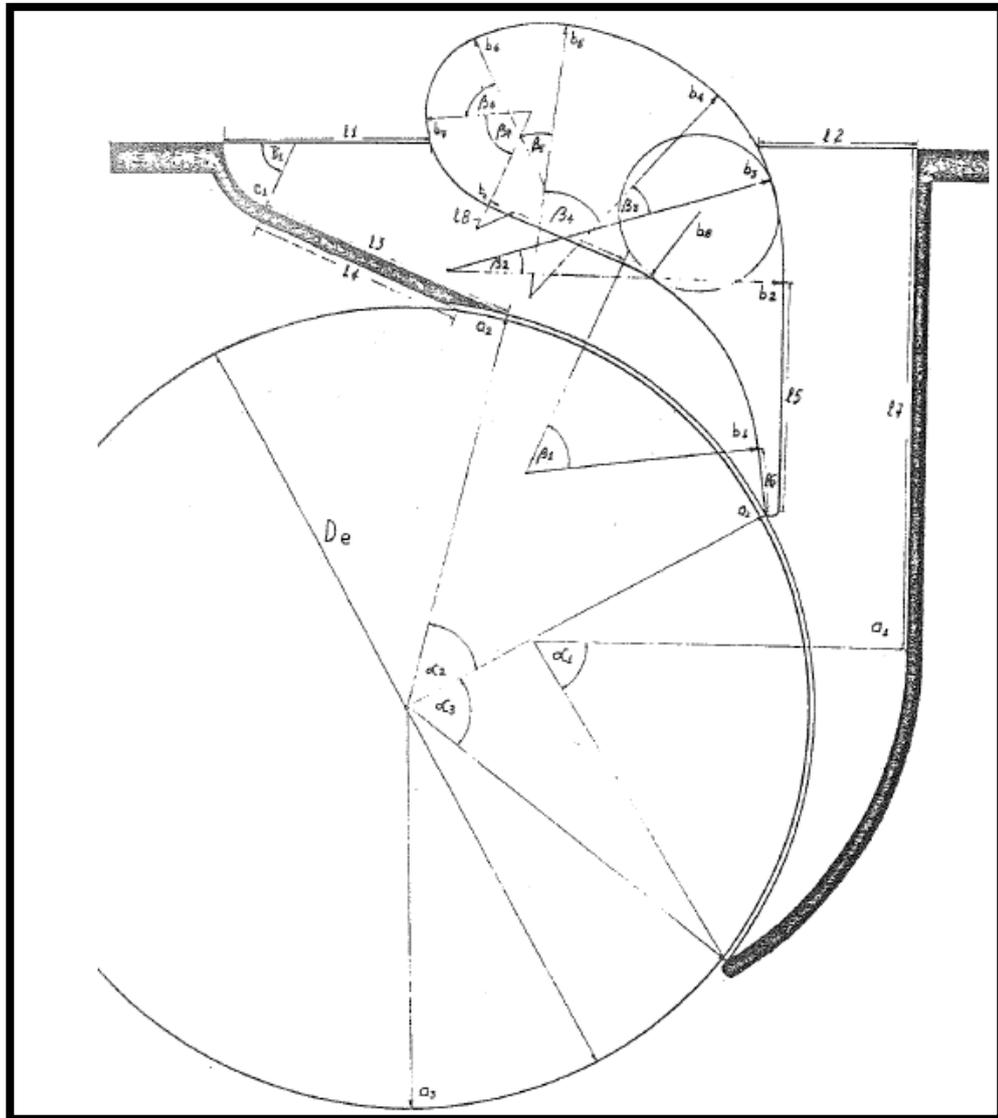


Figura 3. 17 Inyector de turbina Michell-Banki para turbinas estándar.
Fuente: (Hernández, 1980)

Para el diseño del inyector utilizamos la gráfica con valores recomendados para turbinas estándar dado por la OLADE, que con sus respectivas medidas se procedió a graficarla:

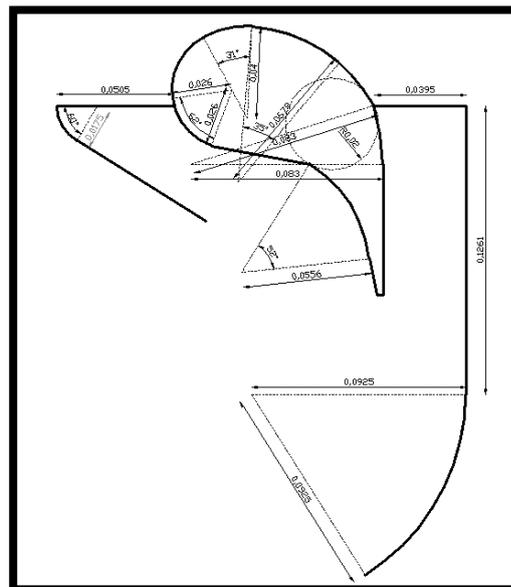
Tabla 3.3

Dimensiones estándar para según el diámetro del rodete.

DIMENSION LITERAL	DIAMETRO DEL RODETE D_e (mm)		
	200	400	600
a_1	92.5	185.0	277.5
a_2	101.0	202.0	303.0
a_3	100.0	200.0	300.0
b_1	57.0	114.0	171.0
b_2	83.0	166.0	249.0
b_3	46.0	92.0	138.0
b_4	68.0	136.0	204.0
b_5	40.0	80.0	120.0
b_6	20.5	41.0	61.5
b_7	26.0	52.0	78.0
b_8	20.0	40.0	60.0
c_1	17.5	35.0	52.5
e_1	50.5	101.0	151.5
e_2	39.5	79.0	118.5
e_3	65.5	131.0	196.5
e_4	54.0	108.0	162.0
e_5	57.0	114.0	171.0
e_6	16.0	32.0	48.0
e_7	126.0	252.0	378.0
e_8	115.0	230.0	345.0

$\alpha_1 = 58^\circ$; $\alpha_2 = 47^\circ 5'$; $\alpha_3 = 67^\circ$;
 $\beta_1 = 60^\circ$; $\beta_2 = 18^\circ$; $\beta_3 = 32^\circ$; $\beta_4 = 35^\circ$; $\beta_5 = 31^\circ$
 $\beta_6 = 70^\circ$; $\beta_7 = 62^\circ$.

Fuente: (Hernández, 1980)

**Figura 3. 18** Trazado de líneas según medidas estándar para el diseño del inyector.

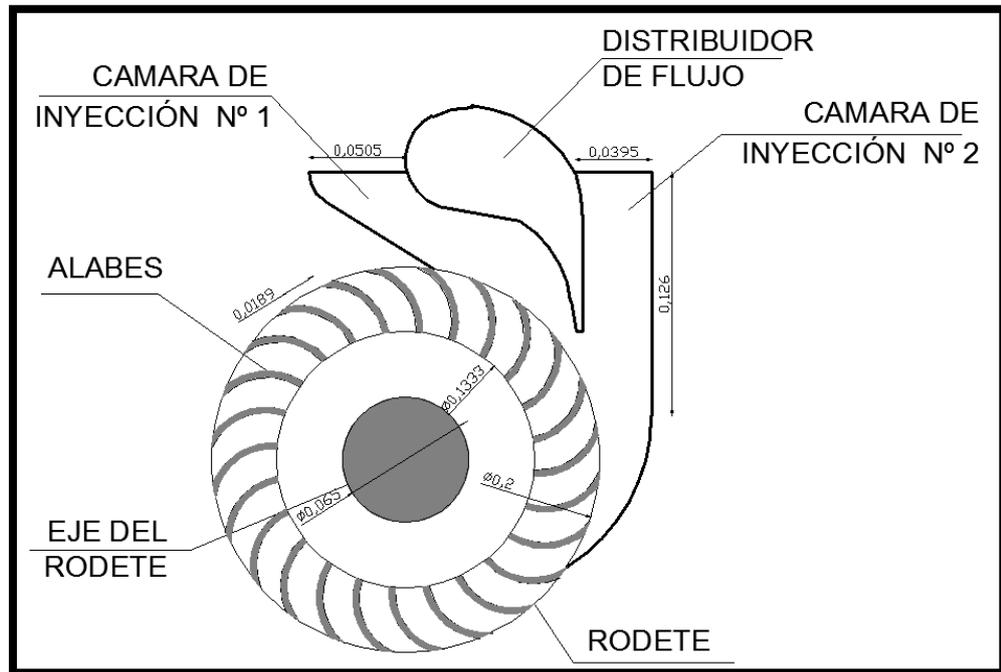


Figura 3. 19 Diseño final de la turbina Michell-Banki para la microcentral Hidroeléctrica “El Volcán”

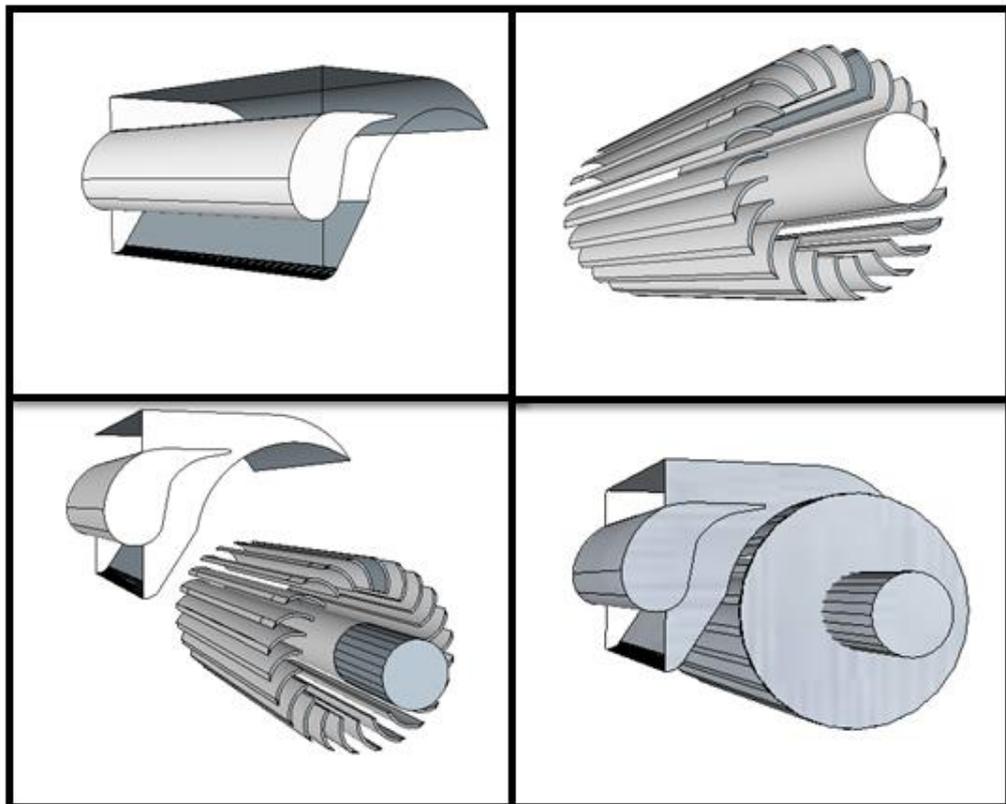


Figura 3. 20 Despiece de la turbina Michell-Banki para el proyecto “El Volcán”

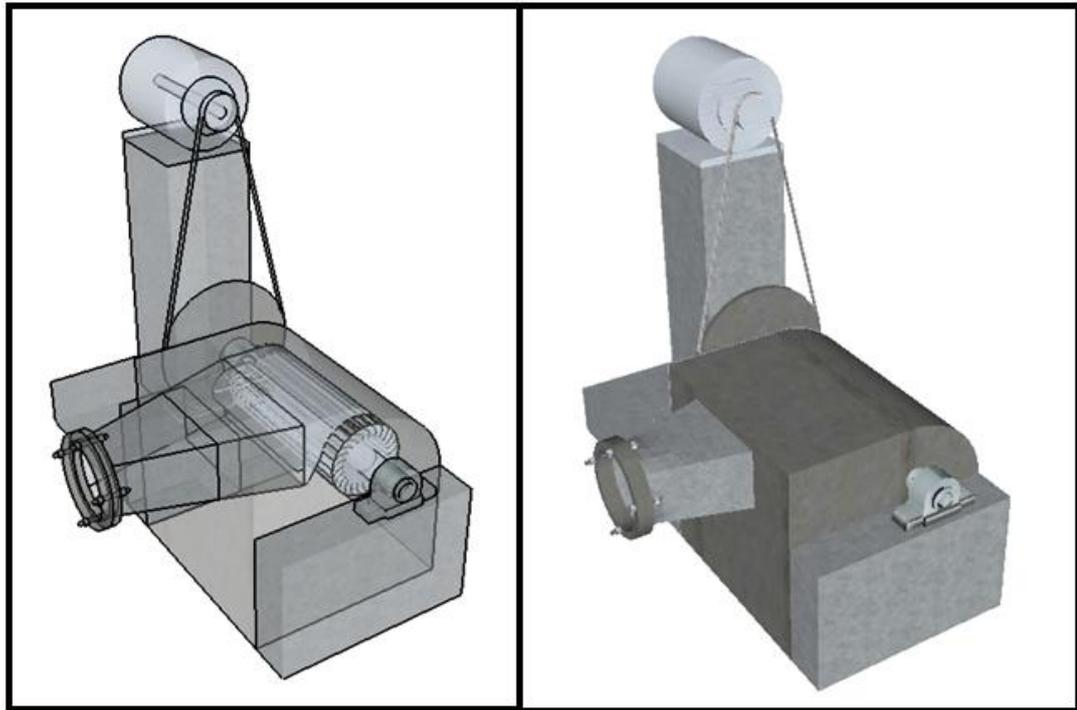


Figura 3. 21 Montaje de la Turbina Michell-Banki para el proyecto “El Volcán”

3.9. Cálculo de apoyos

Los apoyos deben ser construidos de tal manera que puedan resistir los esfuerzos longitudinales (deben permitir el movimiento longitudinal de la tubería) producidos por los cambios de temperatura, tomando en cuenta que no excedan el límite de resistencia del suelo.

Para evitar la erosión de los cimientos se recomienda hacer canales de drenaje a lo largo de la ubicación de la tubería, además para facilitar su mantenimiento se deben construir gradas que permitan el fácil acceso hacia las estructuras de soporte de la tubería con el fin de brindar el mantenimiento adecuado. De la misma manera debemos colocar los apoyos de tal forma que no permita que la tubería se flexione produciendo fisuras en la misma para esto debemos calcular la separación máxima de los apoyos.

- Una altura mínima para facilitar el escurrimiento de aguas lluvias:

$$E_{min} = 0.25 \times D$$

- La sección de la base C y B deben ser de las siguientes medidas:

$$C = B = 1.5 \times D$$

- La dimensión A, dependiendo del tipo del suelo, puede ser

$$A = 1.2 \times D$$

- Calculo de la dimensión J

$$J = A + 0.5 \times C \times \tan \theta$$

- Calculo de la dimensión F

$$F = A - 0.5 \times C \times \tan \theta$$

Dónde:

A = Altura del bloque, (m)

C= Ancho del bloque, (m)

Θ= Angulo de la tubería aguas arriba (°)

D= Diámetro de la tubería

- Para calcular la distancia máxima entre apoyos, los del prorecto no podrán sobrepasar de esta distancia máxima

$$L_{scal} = 182.61 \times \sqrt[3]{\frac{(D + 2e)^4 - D^4}{P}}$$

Dónde:

D= Diámetro de la tubería

e= espesor de la tubería

$$P = 785.4 \times D^2 + 24662 \times e \times (D + e) \left(\frac{kgf}{m} \right)$$

Ls(cal)	3,76	m
----------------	------	---

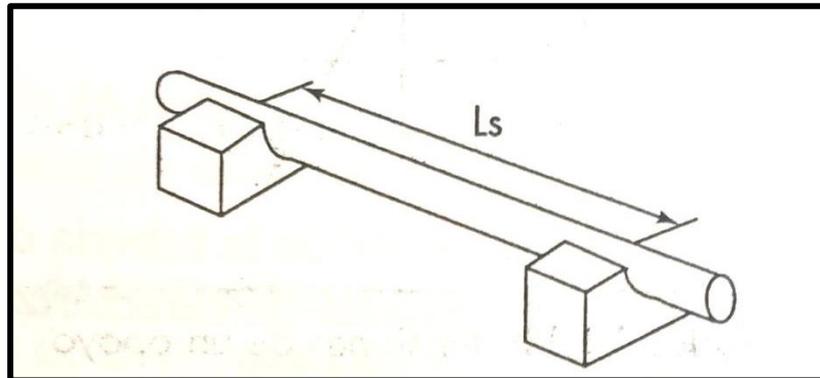


Figura 3. 24 Separación máxima entre apoyos (Ls).
Fuente: (Ortiz, 2001).

Las diferentes dimensiones de los apoyos en cada uno de los tramos de la tubería:

Tabla 3. 4

Dimensiones de los apoyos para cada uno de los tramos

TRAMO	θ	Ls asumido (m)	C(m)	B(m)	Emin(m)	A(m)	F(m)	J(m)
1	3	3,00	0,30	0,30	0,05	0,24	0,23	0,25
2	27	3,00	0,50	0,50	0,05	0,24	0,11	0,36
3	0	2,80	0,30	0,30	0,05	0,24	0,24	0,24
4	27	3,20	0,50	0,50	0,05	0,24	0,11	0,36
5	0	3,00	0,30	0,30	0,05	0,24	0,24	0,24

3.9.2. Fuerzas que actúan sobre los apoyos

Fuerza por el peso de la tubería y el peso del agua

$$G_{at} = G_a + G_t$$

Dónde:

- G_a = Peso del agua
- G_t = Peso de la tubería

$$G_a = \delta_a * \frac{\pi * D^2}{4} * L_s$$

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

Dónde:

- δ_a = Peso específico del agua, $1000 \text{ kgf}/\text{m}^3$
- δ_t = Peso específico del materia de la tubería, $1400 \text{ kgf}/\text{m}^3$
- e = Espesor de la tubería, $e = 0.0095 \text{ m}$
- L_s = Longitud o separación máxima entre apoyos
- D = Diámetro de la tubería

Fuerza por el peso del apoyo

$$G_s = \delta_s * V_s$$

Dónde:

- δ_s = Peso específico del concreto, $2400 \text{ kgf}/\text{m}^3$
- V_s = Volumen del apoyo en m^3

Para este caso el volumen del apoyo es

$$V_s = \frac{C * B}{3} * (F + J + \sqrt{F * J}) + \frac{C * (D + 2e)}{4 * \cos \theta} * \left(B - \frac{\pi * (D + 2e)}{180} * \arctg \left(\frac{B}{D} \right) \right)$$

Dónde:

- D = Diámetro de la tubería, $D=0.2 \text{ m}$
- C = Ancho del apoyo, (m)

- B = Longitud del apoyo, (m)
- J = Dimensión posterior del apoyo, (m)
- F = Dimensión frontal del apoyo, (m)
- θ = Angulo de la tubería aguas arriba, (m)
- e = Espesor de la tubería, $e = 0.0095 \text{ m}$

Fuerza por fricción entre la tubería y el apoyo

$$Fa' = \mu * (Ga + Gt) * \cos \theta$$

$$Fa' = \mu * Gat * \cos \theta$$

Dónde:

- μ = Coeficiente de fricción entre la tubería y el apoyo, $\mu = 0.3$
- Ga = Peso del agua, kgf
- Gt = Peso de la tubería, kgf
- θ = Angulo de la tubería aguas arriba, (m)

El apoyo ofrece una resistencia al deslizamiento de la tubería y es mayor que la fuerza de fricción, la cual se toma igual a:

$$Fa = 1.1 * Fa'$$

Fuerza horizontal

$$\sum FH = Fa * \cos \theta$$

Fuerza vertical

$$\sum FV = Ga + Gt + Gs + Fa * \sin \theta$$

Fuerza de fricción entre el suelo y el apoyo

$$Fab = 0.35 * \sum FV$$

Dónde:

- $\varphi = 0.35$ coeficiente de fricción entre el concreto y el terreno.

Con las fuerzas detalladas anteriormente tenemos la Tabla N° 3.5., fuerzas que actúan en el apoyo:

Tabla 3. 5
Fuerzas que actúan en los apoyos

TRAMO	Ga (kgf)	Gt (kgf)	Gat (kgf)	Vs (m3)	Gs (kgf)	Fa' (kgf)	Fa (kgf)	ΣFH (kgf)	ΣFV (kgf)	Fab (kgf)
1	94,25	6,57	100,82	0,03	76,16	30,2	33,22	33,18	178,72	62,55
2	94,25	6,57	100,82	0,06	136,23	26,95	29,64	26,21	250,5	87,67
3	87,96	6,13	94,09	0,03	77,86	28,23	31,05	31,05	171,95	60,18
4	100,53	7	107,53	0,06	136,23	28,74	31,62	28,17	258,11	90,34
5	94,25	6,57	100,82	0,03	77,86	30,24	33,27	33,27	178,68	62,54

3.9.3. Estabilidad de los apoyos

La primera condición de estabilidad que deben cumplir los apoyos es:

$$\frac{Fab}{\sum FH} \geq 1.5$$

Los resultados de la primera condición de estabilidad se muestran en la tabla N° 3.6.

Tabla 3. 6
Primera condición de estabilidad resultados

TRAMO	ΣFH (kgf)	Fab (kgf)	Fab/ΣFH>1,5 (kgf)	CONDICION 1
1	33,18	62,55	1,89	CUMPLE
2	26,21	87,67	3,34	CUMPLE
3	31,05	60,18	1,94	CUMPLE
4	28,17	90,34	3,21	CUMPLE
5	33,27	62,54	1,88	CUMPLE

La primera condición de estabilidad cumple en su totalidad con todos los apoyos, por lo que adoptamos las dimensiones expuestas anteriormente.

Para verificar la segunda condición de estabilidad necesitamos obtener el centro de gravedad de cada apoyo: as .

$$as = \frac{C}{14.40 * D} * (7.2 * D - C * \tan \theta)$$

Dónde:

- as = Centro de gravedad
- θ = Angulo de la tubería aguas arriba, (m)

La Distancia a_{at} es la distancia entre el punto O y la fuerza ejercida por el peso del agua y la tubería.

$$a_{at} = 0.5 * (C - D * \sin \theta)$$

La distancia a_a es la distancia entre el punto O y la fuerza ejercida por la fricción de la tubería y el apoyo.

$$a_a = (A - 0.5 * C * \tan \theta) * \cos \theta$$

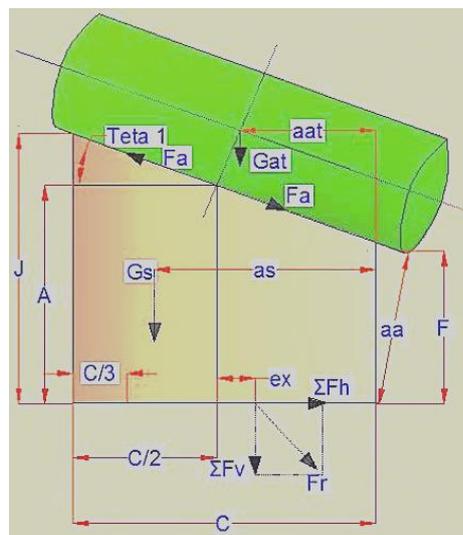


Figura 3. 25 Distancias para verificar segunda condición de estabilidad.
Fuente: (Ortiz, 2001).

Garantizamos la estabilidad al vuelco si las fuerzas resultantes pasan por un tercio de la base de la superficie de apoyo. Considerando los momentos desde el punto O. De la siguiente expresión podemos despejar el valor de e_x

$$Gs * a_s + Gat * a_{at} - Fa * a_a = \sum FV * (0.5 * C - e_x)$$

$$e_x = \frac{0.5 * C * \sum FV + Fa * a_a}{\sum FV} - \frac{(Gs * a_s + Gat * a_{at})}{\sum FV}$$

$$e_x < C/6$$

La tabla N^a 3.7.muestra los resultados del segundo criterio de estabilidad:

Tabla 3. 7
Segunda condición de estabilidad resultados

TRAMO	aat (m)	aa (m)	as (m)	C/6	ex	ex<C/6
1	0,14	0,23	0,15	0,05	0,04	SI CUMPLE
2	0,2	0,1	0,21	0,08	0,07	SI CUMPLE
3	0,15	0,24	0,15	0,05	0,04	SI CUMPLE
4	0,2	0,1	0,21	0,08	0,07	SI CUMPLE
5	0,15	0,24	0,15	0,05	0,04	SI CUMPLE

3.9.4. Resistencia del terreno a los esfuerzos transmitidos por los apoyos

Para cumplir con este requerimiento observamos si la capacidad portante del terreno es superior a la presión transmitida por el apoyo, esto lo garantizamos verificando la tensión de compresión como primera condición.

$$\sigma_c \leq \sigma_{adm}$$

Dónde:

- σ_c = tensión a la compresión transmitida por el apoyo
- σ_{adm} = tensión admisible del suelo

La tensión de compresión transmitida por el apoyo es igual a:

$$\sigma_c = \frac{\sum FV}{B * C} * \left(1 + \frac{6 * e_x}{C}\right) \text{ kgf/m}^2$$

Dónde:

- $\sum FV$ = sumatoria de todas las fuerzas verticales.
- B = Longitud del apoyo, (m)
- C = Ancho del apoyo, (m)
- e_x = excentricidad del apoyo, (m)

Tabla 3. 8

Tensiones de compresión. Fuente: Ramiro Ortiz, Pequeñas centrales hidroeléctricas

TENSIONES DE COMPRESION	
Suelo del apoyo	$\sigma_{adm} \left(\text{kgf/m}^2 \right)$
Roca granítica	4.2×10^3
Roca calcárea o arenítica	2.8×10^5
Pedregal	2.8×10^4
Arcilla dura	1.5×10^4

Si la primera condición cumple, pasamos a verificar la segunda condición con relación al terreno, esta se refiere a que la tensión de tracción que debe ser mayor que cero.

$$\sigma_t > 0$$

Dónde:

- σ_t = tensión de tracción transmitida por el apoyo

La tensión de tracción es igual a:

$$\sigma_t = \frac{\sum FV}{B * C} * \left(1 - \frac{6 * e_x}{C}\right) \text{ kgf/m}^2$$

Dónde:

- $\sum FV$ = sumatoria de todas las fuerzas verticales.
- B = Longitud del apoyo, (m)
- C = Ancho del apoyo, (m)
- e_x = Distancia a la cual debe pasar la suma de esfuerzos verticales para que el apoyo no se voltee (m)

En la Tabla N° 3.9., se muestra un resumen con la segunda condición de resistencia del terreno.

Tabla 3. 9

Resistencia del terreno a los esfuerzos transmitidos por los apoyos

TRAMO	σ_c (kg/m ²)	$\sigma_c < \sigma_{adm}$	σ_t (kg/m ²)	$\sigma_t > 0$
1	3900,16	CUMPLE	71,2	CUMPLE
2	1810,07	CUMPLE	193,9	CUMPLE
3	3566,53	CUMPLE	254,59	CUMPLE
4	1875,13	CUMPLE	189,78	CUMPLE
5	3759,6	CUMPLE	210,97	CUMPLE
δ_{ad}(tabla 15.9)	4200		kgf/m ²	

3.10. Calculo de anclajes

Los anclajes son bloques de hormigón que impiden el movimiento de la tubería. Debido al peso y área que involucran están diseñados para poder resistir cualquier carga que la tubería ejerza sobre él, sin causarle daños

como volcamiento o fisuras, además debe encontrarse bien anclado al terreno.

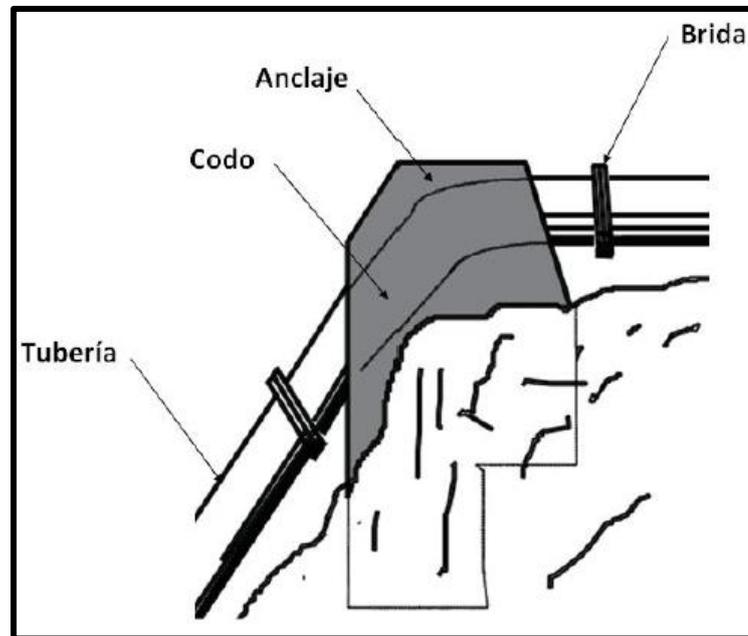


Figura 3. 26 Esquema general de la forma y función de un anclaje.
Fuente: (Vasconez & Tello, 2001).

Para proceder con el diseño nuestros anclajes, van a contar con la siguiente nomenclatura: para el cálculo de fuerzas aguas arriba tomaremos la letra m, y para el cálculo de fuerzas aguas abajo tomaremos la letra j. Los ángulos variaran de acuerdo al tipo de anclaje que tengamos, como ya es de conocimiento tenemos anclajes para variar la pendiente vertical, anclajes para variar la pendiente horizontal y anclajes para variar la pendiente horizontal y vertical con su respectivos ángulos θ_1 , θ_2 , θ_3 , θ_4 .

Las Figuras 3.26. y 3.27., muestran con más detalle la disposición de los anclajes y sus respectivos ángulos

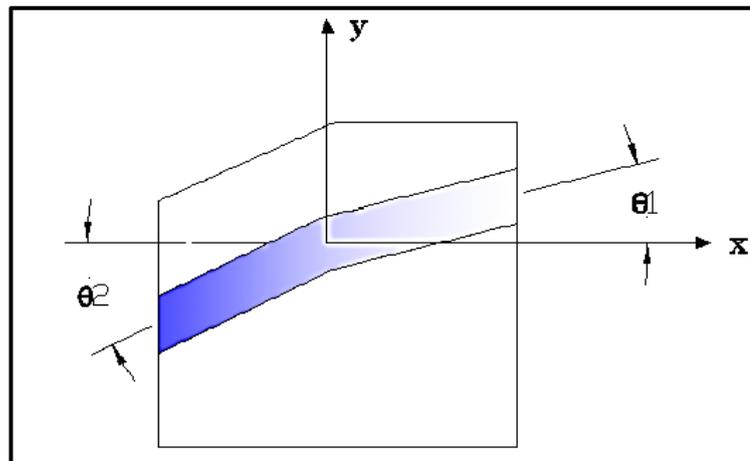


Figura 3. 27 Anclaje para varia la pendiente Vertical ángulos θ_1 y θ_2 .
Fuente: (Vasconez & Tello, 2001).

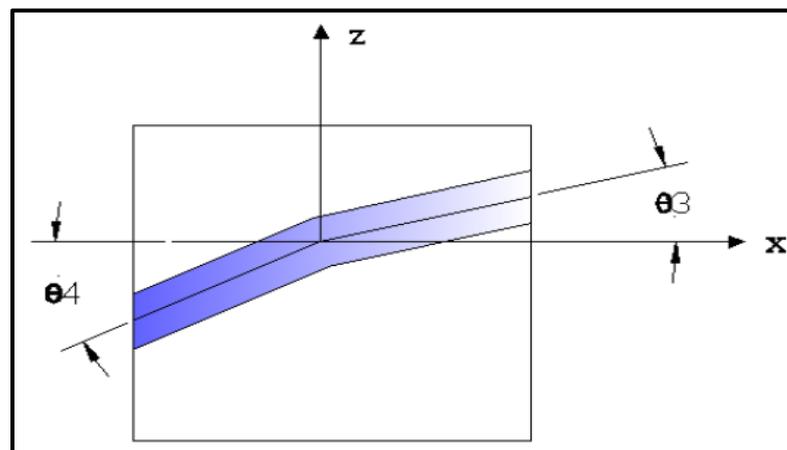


Figura 3. 28 Anclaje para variar la pendiente horizontal ángulos θ_3 y θ_4 .
Fuente: (Vasconez & Tello, 2001) .

Para un mayor entendimiento se procedió a realizar una tabla con cada uno de los ángulos según la clase de anclaje que tengamos, en total se van a diseñar y calcular fuerzas de cinco anclajes. Vamos a tener cuatro anclajes que varían la pendiente vertical y un anclaje que es el numero dos que va variar la pendiente horizontal y vertical.

Tabla 3. 10

Ángulos θ_1 , θ_2 , θ_3 , θ_4 aguas arriba y aguas abajo, según el tipo de anclaje horizontal o vertical

ANGULOS θ_1, θ_2, θ_3, θ_4				
ANCLAJE	θ_1	θ_2	θ_3	θ_4
1	45	3	0	0
2	3	27	37,75	81,89
3	27	0	0	0
4	0	27	0	0
5	27	0	0	0

3.10.1. Dimensionamiento de los anclajes

Para dimensionar los anclajes se opta por imponerse dimensiones, basados en la recomendación que nos hace Ramiro Ortiz en su libro Pequeñas centrales hidroeléctricas. Luego de obtener las dimensiones de los cinco anclajes que requiere el perfil trazado de la tubería pasaremos a la comprobación de las mismas con el cálculo de las fuerzas aguas arriba y aguas abajo, cabe mencionar que se presentara un cuadro con todas las dimensiones de los anclajes las cuales ya se encuentran comprobadas y son definitivas para el proyecto.

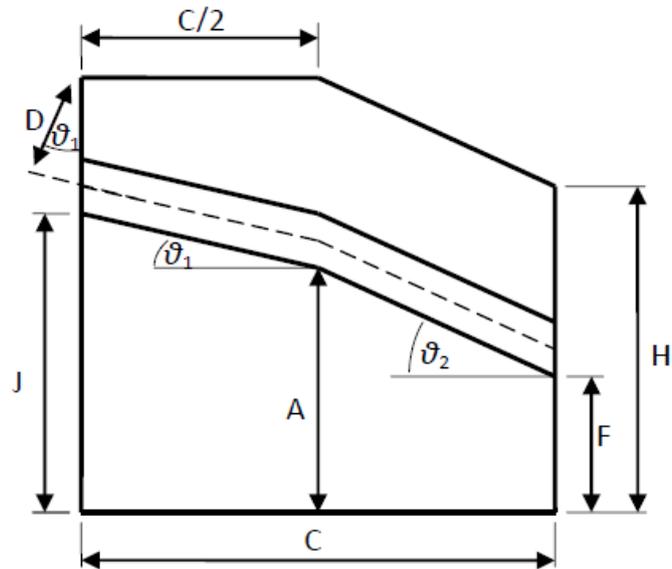


Figura 3. 29 Esquema general de las dimensiones de un anclaje tipo vista lateral.

Fuente: (Vasconez & Tello, 2001).

- La dimensión A es aquella que va desde la base del anclaje hasta el cambio de pendiente de la tubería

$$A = 4 * D$$

- El largo del anclaje está definido por la distancia B que la detallaremos a continuación en la vista frontal del anclaje.

$$B = 3 * D$$

- Al ancho del anclaje está definido por la distancia C

$$C = 3 * D$$

- La dimensión F es aquella que va desde la base del anclaje hasta la parte inferior de la salida de la tubería.

$$F = A - 0.5 * C * \tan \theta_2$$

- La dimensión J es aquella que va desde la base del anclaje hasta la parte inferior de la entrada de la tubería.

$$J = A + 0.5 * C * \tan \theta_1$$

- La dimensión H es la altura total del anclaje aguas abajo.

$$H = 1.5 * D * F$$

Dónde:

- D = Diámetro de la tubería $D = 0.20m$.
- θ_1 = Angulo aguas arriba
- θ_2 = Angulo aguas abajo.

Para entender de mejor manera las dimensiones de un anclaje realizamos un dibujo tridimensional del mismo donde se muestra la dimensión B.

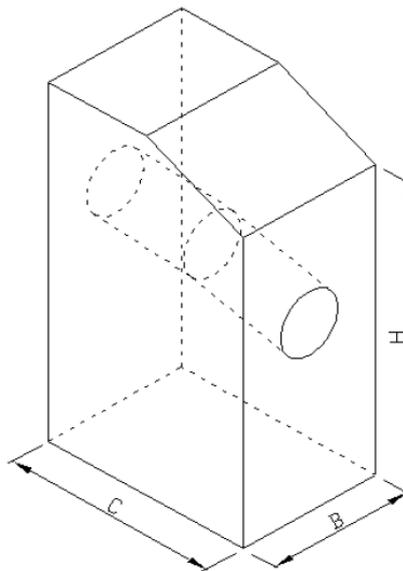


Figura 3. 30 Dibujo tridimensional de un anclaje tipo.
Fuente: (Vasconez & Tello, 2001) .

Con las dimensiones descritas anteriormente procedemos al cálculo del volumen de concreto de los anclajes para lo cual tenemos la siguiente expresión:

$$V_c = V_{total} - V_t$$

Dónde:

- V_{total} = Volumen total de concreto en el anclaje
- V_t = Volumen de la tubería que se encuentra dentro del mismo

Para calcular el volumen total de concreto:

$$V_{total} = B * \left(\left(\frac{C}{4} + 3 * J * (J + 1.5 * D * \cos \theta_1) \right) + H \right)$$

Dónde:

- C = Ancho del anclaje (m)
- B = Largo del anclaje (m)
- J = Dimensión desde la base del anclaje y la tubería aguas arriba (m)
- H = Altura total del anclaje aguas abajo (m)
- θ_1 = Angulo de la tubería aguas arriba respecto a la horizontal XY ($^{\circ}$)
- D = Diámetro de la tubería $D = 0.20m$.

Para calcular el volumen de la tubería que se encuentra dentro del anclaje tenemos:

$$V_t = \frac{\pi}{8} * C * (D + 2 * e) * \left(\frac{1}{\cos \theta_1} + \frac{1}{\cos \theta_2} \right)$$

Dónde:

- C = Ancho del anclaje (m)
- θ_1 = Angulo de la tubería aguas arriba respecto a la horizontal XY ($^{\circ}$)
- θ_2 = Angulo de la tubería aguas abajo respecto a la horizontal XY ($^{\circ}$)
- e = espesor de la tubería $e = 0.0095m$.
- D = Diámetro de la tubería $D = 0.20m$.

Se presentara la Tabla N°3.11, un resumen de las dimensiones y volúmenes de cada uno de los anclajes.

Tabla 3. 11
Dimensiones generales y volumen total de los anclajes

DIMENSIONAMIENTO DE LOS ANCLAJES			D	0,2	m
			e	0,0095	m
	ANCLAJE 1	ANCLAJE 2	ANCLAJE 3	ANCLAJE 4	ANCLAJE 5
B (m)	0,70	0,85	0,85	0,95	0,95
C (m)	0,80	0,95	1,00	1,05	1,10
A (m)	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
F (m)	0,78	0,56	0,80	0,53	0,80
J (m)	1,20	0,82	1,05	0,80	1,08
H (m)	1,08	0,86	1,10	0,83	1,10
VC (m3)	1,18	1,24	1,60	1,42	1,90

3.10.2. Fuerzas que actúan sobre los anclajes

Todas las fuerzas están expresadas en kgf.

F1: es la fuerza resultado del peso de la tubería y el agua las calculamos con la siguiente expresión:

$$F1_m = (W_t + W_a) * Lsm * \cos \theta_1$$

$$F1_j = (W_t + W_a) * Lsj * \cos \theta_2$$

Dónde:

- W_t = Peso de la tubería por unidad de longitud
- W_a = Peso del agua por unidad de longitud
- θ_1 = Angulo de la tubería aguas arriba respecto a la horizontal XY ($^{\circ}$)
- θ_2 = Angulo de la tubería aguas abajo respecto a la horizontal XY ($^{\circ}$)

- L_{sm}, L_{sj} = longitud media tomada desde el anclaje hasta el apoyo próximo

Para W_t y W_a tenemos:

$$W_t = \gamma_t * \frac{\pi}{4} * e * (D + e)$$

$$W_a = \gamma_a * \pi * \frac{D^2}{4}$$

Dónde:

- γ_t = Peso específico de la tubería. $\gamma_t = 1400 \text{ kg/m}^3$
- γ_a = Peso específico del agua $\gamma_a = 1000 \text{ kg/m}^3$
- e = espesor de la tubería $e = 0.0095m$.
- D = Diámetro de la tubería $D = 0.20m$.

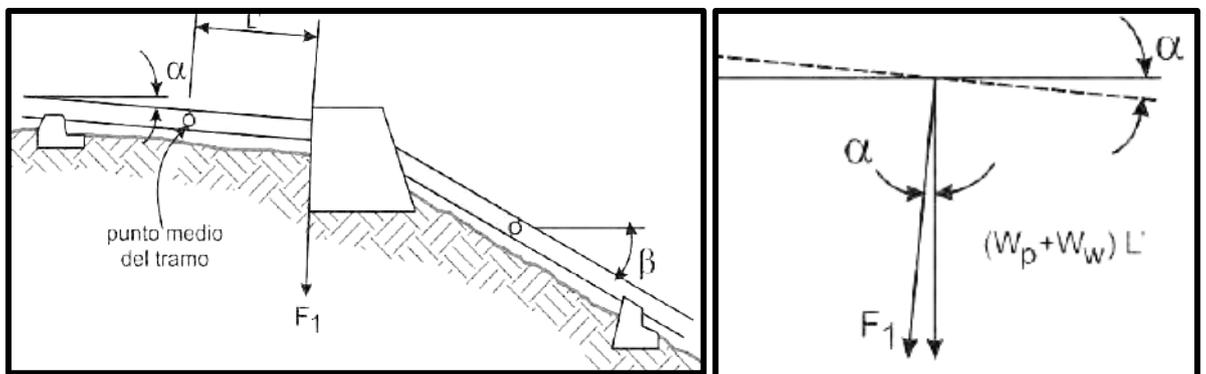


Figura 3. 31 Componente de la fuerza del peso de la tubería y el agua.
Fuente: (Vasconez & Tello, 2001) .

F2 Fuerza de fricción entre la tubería y los soportes

La tubería se mueve en sentido longitudinal sobre los apoyos creando una fuerza de fricción en cada uno de ellos. Esta fuerza la calculamos así:

$$F2m = \mu * (W_t + W_a) * Lim + \cos \theta_2$$

$$F2j = \mu * (W_t + W_a) * Lij + \cos \theta_3$$

Dónde:

- W_t = Peso de la tubería por unidad de longitud
- W_a = Peso del agua por unidad de longitud
- μ = Coeficiente de rozamiento $\mu = 0.3$
- θ_1 = Angulo de la tubería aguas arriba respecto a la horizontal XY ($^\circ$)
- θ_2 = Angulo de la tubería aguas abajo respecto a la horizontal XY ($^\circ$)
- L_{im}, L_{ij} = longitud de tubería que se encuentra sujeta a movimiento distancia entre los puntos medios de los tramos entre apoyo y anclaje respectivo.

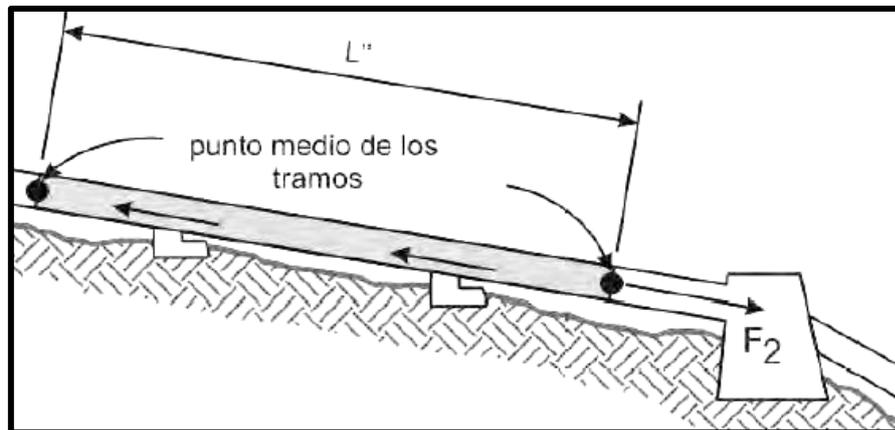


Figura 3. 32 F2 fuerza generada por el movimiento longitudinal de la tubería en los apoyos.

Fuente: (Vasconez & Tello, 2001) .

F3 Fuerza generada por la presión del agua, esta fuerza se genera en el cambio de dirección de la tubería se podría decir que se produce en los codos puesto que estos accesorios ayudan a variar la pendiente para adaptarnos a la topografía del terreno, se considera como la fuerza más importante para el diseño de anclajes; se la calcula con la siguiente expresión:

$$F_{3m} = F_{3j} = \gamma_a * P * \frac{\pi * D^2}{4}$$

Dónde:

- γ_a = Peso específico del agua $\gamma_a = 1000 \text{ kg/m}^3$
- P = Presión hidrostática en el punto de interés o la altura vertical entre el nivel normal del tanque de presión y el centro del bloque
- D = Diámetro de la tubería $D = 0.20\text{m}$.

F4 Es la fuerza generada por la componente paralela del peso de la tubería, esta fuerza tiende a empujarlo hacia abajo al anclaje. Debemos considerar las secciones de tubería tanto aguas abajo como aguas arriba de un anclaje.

$$F4m = W_t * L_4 * \sin \theta_1$$

$$F4j = W_t * L_4 * \sin \theta_2$$

Dónde:

- W_t = Peso de la tubería por unidad de longitud
- L_4 = Longitud de tubería que debe ser controlada por el anclaje
- θ_1 = Angulo de la tubería aguas arriba respecto a la horizontal XY ($^\circ$)
- θ_2 = Angulo de la tubería aguas abajo respecto a la horizontal XY ($^\circ$)

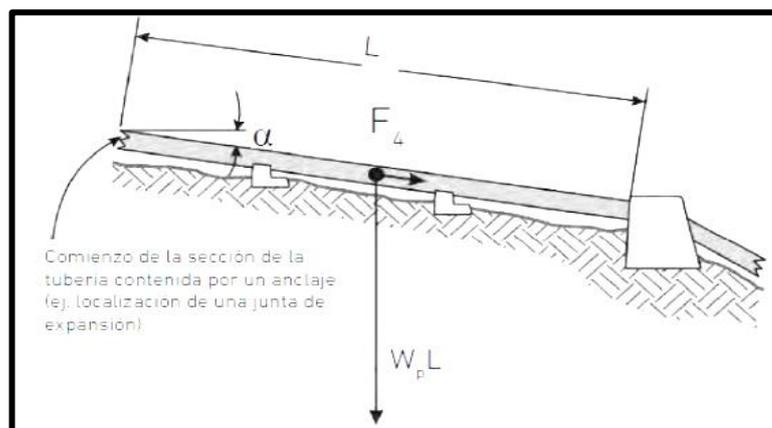


Figura 3. 33 F4 fuerza generada por la componente paralela del peso de la tubería.

Fuente: (Vasconez & Tello, 2001).

F5 Fuerza por variación de temperatura en las paredes del tubo. Los esfuerzos causados pueden ser de compresión, cuando la temperatura se eleva y de tracción cuando disminuye, estos esfuerzos llegan a los anclajes cuando no existen juntas de expansión como es nuestro caso:

$$F_{5m} = F_{5j} = \pm \alpha * E * \pi * e * (e + D) * \Delta t$$

Dónde:

- α = Coeficiente de dilatación del material
- E = Módulo de elasticidad del material
- e = espesor de la tubería

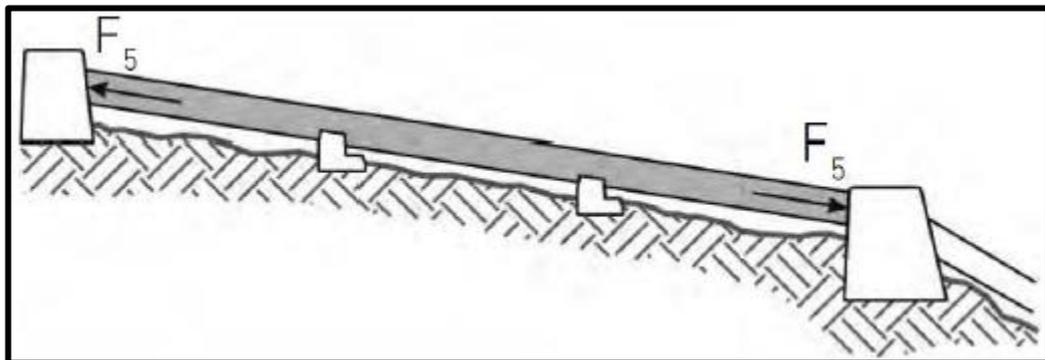


Figura 3. 34 F5 fuerza generada por la variación de temperatura.
Fuente: (Vasconez & Tello, 2001) .

Existen fuerzas como son F6: fuerza dentro de una junta de dilatación y F7: fuerza debido a la presión hidrostática dentro de las juntas de expansión. Fuerzas que en nuestro proyecto no existen ya que no se cuenta con una junta de dilatación en la tubería trazada.

La Tabla N° 3.12., muestra un las fuerzas actuantes en los anclajes:

Tabla 3. 12

Resumen de fuerzas que actúan en los anclajes aguas arriba (Fm) y aguas abajo (Fj).

FUERZAS EN LOS ANCLAJES					
	ANCLAJE 1	ANCLAJE 2	ANCLAJE 3	ANCLAJE 4	ANCLAJE 5
F1m kgf	43,25	49,67	44,91	50,41	50,90
F1j kgf	57,72	44,91	50,41	50,90	53,77
F2m kgf	12,97	150,81	242,53	28,23	173,27
F2j kgf	150,81	242,53	28,23	173,27	353,55
F3m kgf	114,35	144,20	572,08	572,08	897,24
F3j kgf	114,35	144,20	572,08	572,08	897,24
F4m kgf	5,46	0,68	5,94	0,00	6,56
F4j kgf	0,70	5,98	0,00	6,56	0,00
F5m kgf	744,05	744,05	744,05	744,05	744,05
F5j kgf	744,05	744,05	744,05	744,05	744,05
F6m kgf	0	0	0	0	0
F6j kgf	0	0	0	0	0
F7m kgf	0	0	0	0	0
F7j kgf	0	0	0	0	0

Tabla 3. 13

Longitudes necesarias para calcular cada una de las fuerzas

	F1		F2		F3	F4	
	LSm (m)	LSj (m)	LiSm (m)	LiSj (m)	P (m)	L4Sm (m)	L4Sj (m)
ANCLAJE1	1,82	1,72	1,82	14,98	3,64	3,53	6,15
ANCLAJE2	1,48	1,5	14,98	27	4,59	5,98	6,02
ANCLAJE3	1,5	1,5	27	2,8	18,21	5,98	3
ANCLAJE4	1,5	1,7	2,8	19,29	18,21	3	6,6
ANCLAJE5	1,7	1,6	19,29	35,07	28,56	6,6	3

3.10.3. Fuerzas resultantes

Sumamos todas las fuerzas paralelas que actúan sobre el anclaje aguas arriba y aguas abajo

$$F_{em} = F_{2m} + F_{3m} + F_{4m} + F_{5m} + F_{6m} + F_{7m}$$

$$F_{ej} = -F_{2j} - F_{3j} + F_{4j} - F_{5j} - F_{6j} - F_{7j}$$

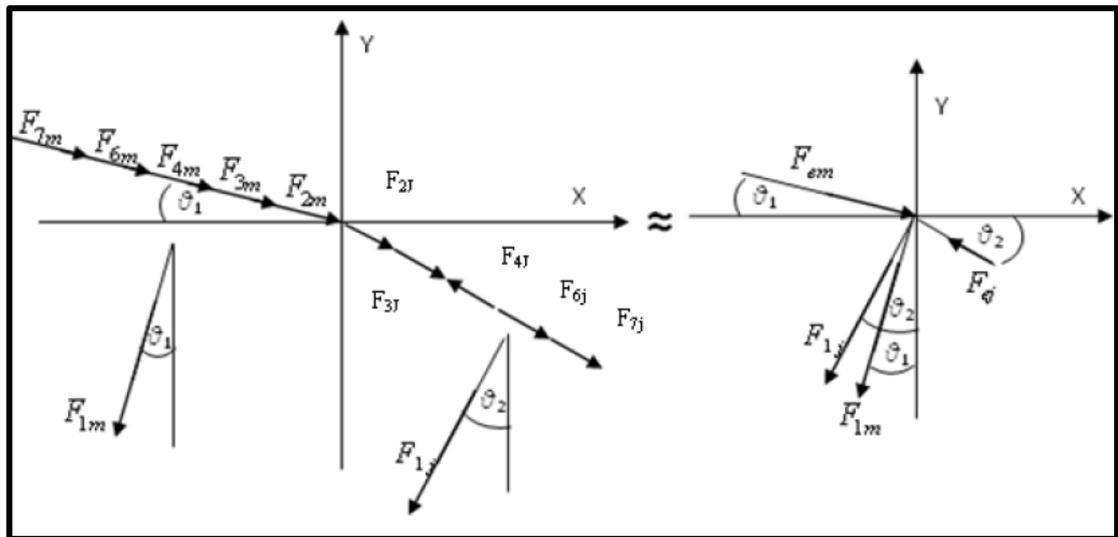


Figura 3. 35 Diagrama de fuerzas que actúan en los anclajes.
Fuente: (Vasconez & Tello, 2001) .

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

- La componente horizontal en el eje X

$$F_{XV} = -F_{1m} * \sin \theta_1 + F_{em} * \cos \theta_1 - F_{1j} * \sin \theta_2 - F_{ej} * \cos \theta_2$$

- La componente vertical en el eje Y

$$F_{YV} = -F_{1m} * \cos \theta_1 - F_{em} * \sin \theta_1 - F_{1j} * \cos \theta_2 + F_{ej} * \sin \theta_2$$

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

- La componente horizontal en el eje X

$$F_{XH} = Fem * \cos \theta_3 - Fej * \cos \theta_4$$

- La componente horizontal en el eje Z

$$F_{ZH} = Fem * \sin \theta_3 - Fej * \sin \theta_4$$

La siguiente tabla nos muestra las fuerzas resultantes descritas:

Tabla 3. 14

Resumen de fuerzas resultantes que actúan en cada uno de los anclajes.

CALCULO DE FUERZAS RESULTANTES					
	ANCLAJE 1	ANCLAJE 2	ANCLAJE 3	ANCLAJE 4	ANCLAJE 5
Fem kgf	876,84	1039,75	1564,61	1344,37	1821,12
Fej kgf	-1008,51	-1124,80	-1344,37	-1482,85	-1994,84
Fxv kgf	1593,55	2017,54	2718,05	2642,49	3594,37
Fyv kgf	-761,03	-654,68	-800,74	-768,96	-925,89
Fxh kgf	1885,36	980,80	2908,97	2827,22	3815,97
Fzh kgf	0,00	1750,10	0,00	0,00	0,00

3.10.4. Estabilidad

Los anclajes al igual que los apoyos deben ser estables al deslizamiento y al vuelco, para esto debe cumplir con tres condiciones:

- Como primera condición verificamos que el anclaje no se voltee, de manera simultánea comprobamos que la suma de las fuerzas pase por el tercio medio de la base en relación a sus dimensiones B, C

$$e_{xc} < \frac{C}{3}$$

$$e_{xc} = \frac{(F_{em} * \cos \theta_1 - F_{ej} * \cos \theta_2) * A}{F_{YV} + Gc} - \frac{[Gc - (W_t + W_a)] * C/2}{F_{YV} + Gc}$$

Tenemos que $W_t + W_a$ es igual a:

$$W_t + W_a = \frac{F1m}{\cos \theta_1} + \frac{F1j}{\cos \theta_2}$$

Tenemos que Gc es el peso del concreto es igual a

$$Gc = \gamma_c * V_c$$

Dónde:

- γ_c = Peso específico del concreto
- V_c = Volumen del anclaje

Si esta condición no se cumple tenemos que aumentar las dimensiones B, C

Tabla 3. 15
Resumen de la primera condición de estabilidad

	exc	c/3	exc<c/3		ecb	b/3	exb<b/3
ANCLAJE 1	0,10	0,27	CUMPLE	ANCLAJE 1	0,17	0,23	CUMPLE
ANCLAJE 2	0,12	0,32	CUMPLE	ANCLAJE 2	0,18	0,28	CUMPLE
ANCLAJE 3	0,11	0,33	CUMPLE	ANCLAJE 3	0,20	0,28	CUMPLE
ANCLAJE 4	0,15	0,35	CUMPLE	ANCLAJE 4	0,21	0,32	CUMPLE
ANCLAJE 5	0,12	0,37	CUMPLE	ANCLAJE 5	0,21	0,32	CUMPLE

- Como segunda condición Comprobamos la relación de momentos M_{XC} Y M_{XB} con la componente vertical F_{YV}

$$\frac{M_{XC}}{F_{YV}} \geq 1.5 \quad y \quad \frac{M_{XB}}{F_{YV}} \geq 1.5$$

Tenemos que:

$$M_{XC} = F_{YV} * \frac{Ls}{2} - (F_{XV} + F_{XH}) * \frac{C}{2}$$

$$M_{XB} = F_{YV} * \frac{Ls}{2} - F_{ZH} * \frac{B}{2}$$

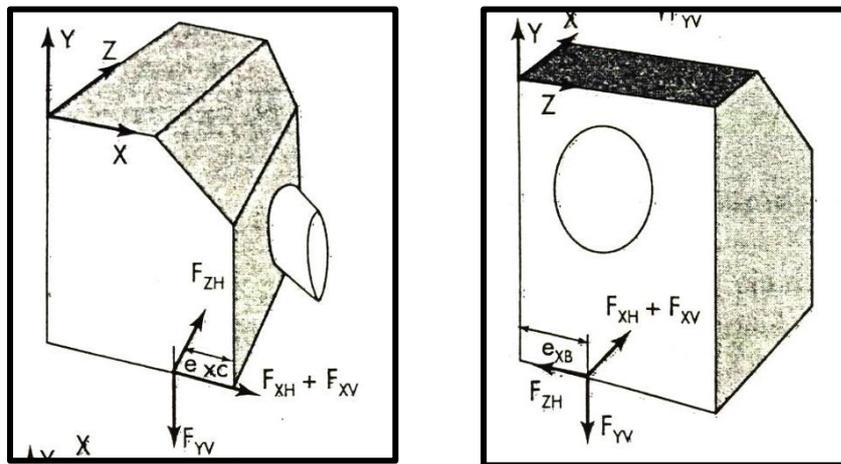


Figura 3. 36 Estabilidad de un anclaje. (Ortiz, 2001).

Tabla 3. 16

Segunda condición de equilibrio Relación de momentos

	Mxc kgf-m	Mxb kgf-m	Fyv kgf	Mxc/Fyv>1,5 kgf	Mxc/Fyv>1,5	Mxb/Fyv>1,5 kgf	Mxb/Fyv>1,5
ANCLAJE 1	-4869,45	-3477,89	-761,03	6,40	CUMPLE	4,57	CUMPLE
ANCLAJE 2	-6223,02	-5542,60	-654,68	9,51	CUMPLE	8,47	CUMPLE
ANCLAJE 3	-4014,62	-1201,11	-800,74	5,01	CUMPLE	1,50	CUMPLE
ANCLAJE 4	-6754,85	-3883,25	-768,96	8,78	CUMPLE	5,05	CUMPLE
ANCLAJE 5	-12487,41	-8411,73	-925,89	13,49	CUMPLE	9,09	CUMPLE

- Y finalmente tenemos la condición de estabilidad, para que el anclaje no se entierre el terreno debe tener una capacidad portante superior a la presión que ejerce aquel:

$$\sigma_c \leq \sigma_{adm}$$

Dónde:

- σ_c = tensión a la compresión transmitida por el anclaje
- σ_{adm} = tensión admisible del suelo

La tensión de compresión transmitida por el anclaje es igual a:

$$\sigma_c = \frac{\sum FV}{B * C} * \left(1 + \frac{6 * e_x}{C}\right) \text{ kgf/m}^2$$

$$\sum FV = Gc + W_t + W_a + Fe * \sin \theta_1 + Fej * \sin \theta_2$$

Dónde:

- $\sum FV$ = sumatoria de todas las fuerzas verticales.
- B = Longitud del anclaje, (m)
- C = Ancho del anclaje, (m)
- e_x = excentricidad del anclaje, (m).

Si la primera condición cumple pasamos a verificar la segunda condición con relación al terreno que se refiere a que la tensión de tracción debe ser mayor que cero

$$\sigma_t > 0$$

Dónde:

- σ_t = tensión de tracción transmitida por el anclaje

La tensión de tracción es igual a:

$$\sigma_t = \frac{\sum FV}{B * C} * \left(1 - \frac{6 * e_x}{C}\right) \text{ kgf/m}^2$$

Dónde:

- $\sum FV$ = sumatoria de todas las fuerzas verticales.
- B = Longitud del anclaje, (m)
- C = Ancho del anclaje, (m)
- e_x = Distancia a la cual debe pasar la suma de esfuerzos verticales para que el anclaje no se voltee (m)

En la Tabla N° 3.17., mostramos un resumen con la tercera condición de resistencia del terreno.

Tabla 3. 17

Tercera condición de equilibrio, esfuerzos admisibles.

	ψ_t kg/m ²	$\psi_t > 0$	ψ_c kg/m ²	$\psi_c < \psi_{adm}$		ΣF_v	exc (m)
ANCLAJE 1	1385,5	CUMPLE	10893,8	CUMPLE			
ANCLAJE 2	828,46	CUMPLE	5476,6	CUMPLE	ANCLAJE1	3438,19	0,10
					ANCLAJE2	2545,66	0,12
ANCLAJE 3	1895,9	CUMPLE	8863,2	CUMPLE	ANCLAJE3	4572,63	0,11
					ANCLAJE4	2773,59	0,15
ANCLAJE 4	395,0	CUMPLE	5166,1	CUMPLE	ANCLAJE5	5421,24	0,12
					δ_{ad}(tabla 15.9)	15000	kgf/m ²
ANCLAJE 5	1712,0	CUMPLE	8663,6	CUMPLE			

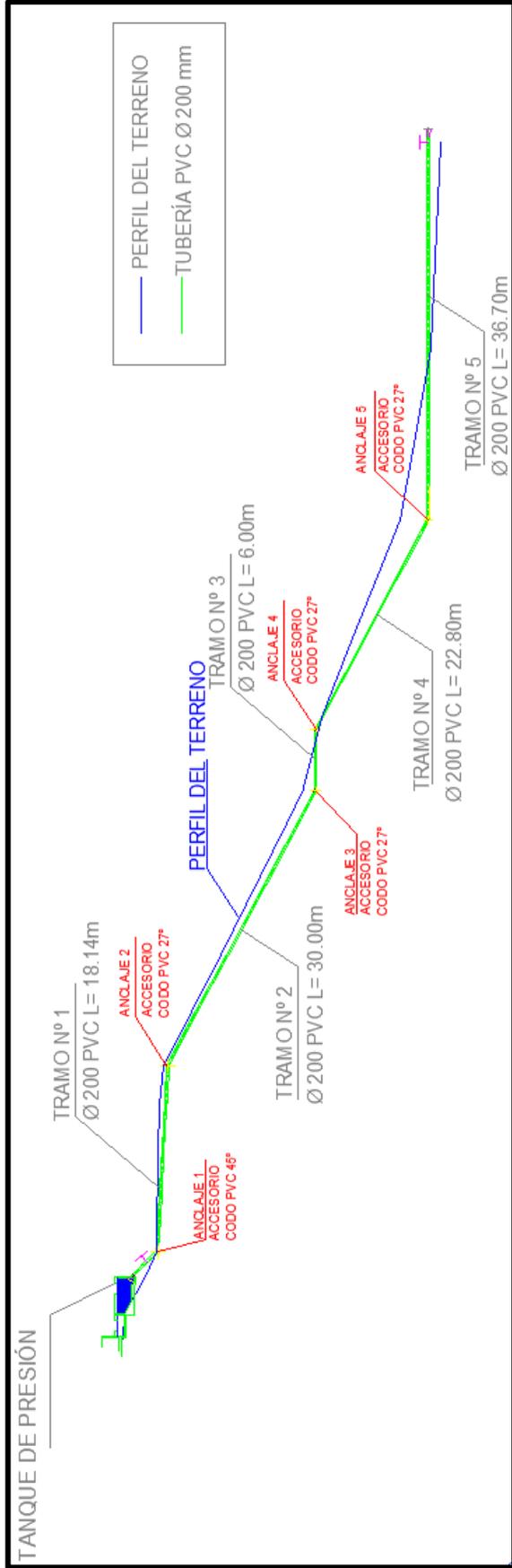


Figura 3.37 Perfil del terreno identificando tramos de apoyos, ubicación y número de anclajes

3.11. Desagüe con carga variable y flujo constante

Según Sandoval (2013), para diseñar el orificio del tanque de recolección y del tanque de presión tenemos que analizar un tanque de sección variable con descarga libre.

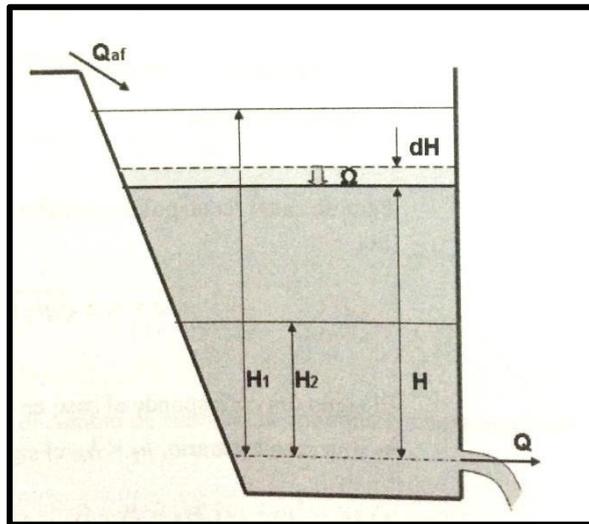


Figura 3. 39 Tanque para tipo para diseñar el desagüe del tanque de presión y recolección.

Fuente: (Sandoval W. , 2013).

Al tanque de recolección y presión llega un caudal Q_{af} (caudal de entrada al tanque), caudal que es constante, por el desagüe de área A tiene que salir la misma cantidad de agua es decir Q_{af} , esta dependerá del área de desfogue, tiempo que tome vaciar los tanques. Para esto es necesario una carga H_{af} que la podemos determinar de la siguiente ecuación (Sandoval, 2013)

$$Q_{af} = Cq * A * \sqrt{2g * H_{af}}$$

De donde:

$$H_{af} = \frac{Q_{af}^2}{2g * C * q^2 * A^2}$$

Para calcular el tiempo de vaciado del tanque a través de un orificio de área A tenemos la siguiente ecuación:

$$t = \frac{2\Omega}{C * q * A * \sqrt{2g}} * \left(\sqrt{H1} + \sqrt{H2} + \sqrt{Haf} * \ln \frac{\sqrt{Haf} - \sqrt{H1}}{\sqrt{Haf} - \sqrt{H2}} \right)$$

$H1 =$ nivel del tanque completamente lleno

Para calcular el tiempo de vaciado del tanque hemos elaborado una tabla iterativa en una hoja de cálculo, en la cual con las diferentes alturas $H2$, altura que representa el nivel del agua y es variable conforme el agua va saliendo de los tanques.

Para ambos tanques: recolección y el tanque de presión se tomó un desagüe de 75mm con un área de 0.00441 m². Se presenta la Tabla N°3.18 con el tiempo que llevaría vaciar los tanques con el diámetro mencionado.

El tanque de recolección vaciara en 31.67 min, **H2** es la altura de agua conforme el agua desfoga, **t** es el tiempo que le toma al orificio de 75 mm vaciar el tanque de recolección.

Tabla 3. 18 Tiempo vaciado tanque de recolección

h2	t (s)	t (min)
0,5	1612,50	26,88
0,4	1642,01	27,37
0,3	1681,15	28,02
0,2	1738,98	28,98
0,1	1848,53	30,81
0,075	1900,10	31,67

El tanque de presión con un orificio de 75mm le toma 31,34 minutos vaciado hasta una altura $h_2=0.075\text{m}$

Tabla 3. 19

Tiempo vaciado tanque de presión.

h_2	t (s)	t (min)
0,5	1684,48	28,07
0,4	1704,55	28,41
0,3	1731,17	28,85
0,2	1770,51	29,51
0,1	1845,02	30,75
0,075	1880,10	31,34

CAPITULO 4

4.1. Lista de Materiales

Para determinar el presupuesto referencial del proyecto, tenemos la lista de materiales, equipos y mano de obra que se utilizará en el mismo. Se consideran costos de materiales de acuerdo a los precios ofertados por las ferreterías de la zona a la fecha. Y para el sistema de implementación eléctrica de la turbina se considera la cotización de una empresa privada externa, costos que han sido detallados en los cuadros de materiales, equipo y mano de obra siguientes:

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS
CUADRO AUXILIAR: COSTOS DE MATERIALES

DESCRIPCION	UNIDAD	PRECIO UNIT.	CANTIDAD	COSTO TOTAL
ACEITE	GL	0.50	0.50	0.25
ACEITE QUEMADO	GLN	0.50	7.54	3.77
ACERO A36	KG	0.87	120.00	104.40
ACERO DE REFUERZO	KG	1.15	2,782.50	3,199.88
AGUA	M3	0.50	16.76	8.38
ALAMBRE NEGRO # 18	KG	1.30	133.25	173.23
ALFAJIAS 5x5x240 cm	ML	0.41	1,177.50	482.78
ALFAJIAS 5x5x240 cm	U	1.00	27.95	27.95
ARENA	M3	6.00	47.73	286.38
BLOQUE POMEZ e=10 cm	U	0.22	1,400.00	308.00
CEMENTO PORTLAND	SACO	8.00	450.63	3,605.04
CLAVOS 2 1/2"	KG	1.22	184.72	225.36
CODO PVC-S 200 mm	U	20.14	5.00	100.70
ELECTRODOS 6011	KG	3.20	3.00	9.60
ENCOFRADO LOSA	M2	2.00	16.20	32.40
PEGATUBO	LT	3.21	14.38	46.16
PERNOS 2"x3/8" CON TUERCA	U	0.50	50.00	25.00
PIEDRA BOLA	M3	7.00	9.00	63.00
PINGOS DE MADERA	ML	3.00	854.40	2,563.20
POLIPEGA	LT	7.60	0.08	0.61
RIPIO	M3	8.00	66.84	534.72
SISTEMA DE GENERACION ELECTRICA	U	13,000.00	1.00	13,000.00
SISTEMA DE TRANSICION DE POTENCIA MECANICA	U	7,000.00	1.00	7,000.00
SUB-BASE CLASE 3	M3	4.50	3.06	13.77
TABLA DE ENCOFRADO 0.30*2.40 m	ML	2.50	1,062.00	2,655.00
TABLA DE ENCOFRADO 0.30*2.40 m	U	2.00	189.18	378.36
TIRAS DE MADERA 7 cm	ML	0.50	2.70	1.35
TUB. PVC 200mm DESAGUE	ML	11.67	115.00	1,342.05
VALVULA COMPUERTA H.F. 200mm	U	731.98	2.00	1,463.96
VALVULA COMPUERTA H.F. 90mm	U	224.14	2.00	448.28

TOTAL: 38,103.58

4.2. Lista de Equipo

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS
CUADRO AUXILIAR: TARIFA DE EQUIPOS

DESCRIPCION	COSTOxHORA	HORA-EQUIPO	COSTO TOTAL
Herramienta menor(% total)	456.97		456.97
AMOLADORA	2.00	5.00	10.00
COMPACTADOR 5.5 HP	3.00	3.60	10.80
CONCRETERA 1 SACO	4.00	88.85	355.40
ELEVADOR	4.00	1.80	7.20
RETROEXCAVADORA 150 HP	30.00	5.20	156.00
SOLDADORA ELECTRICA 220A	4.00	10.00	40.00
VIBRADOR	2.50	47.25	118.13
		TOTAL:	1,154.50

4.3. Lista de Mano de Obra

Se toma en cuenta el Salario Mínimo por Ley según las estructuras ocupacionales dadas para el año en curso. Para el sistema de implementación eléctrica de la turbina se considera los precios de los profesionales de la empresa privada externa.

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS
CUADRO AUXILIAR: COSTOS DE MANO DE OBRA

DESCRIPCION	CAT.	SAL.REALxHORA	HOR-HOMBRE	COSTO TOTAL
INGENIERO ELECTRICO	EO B1	7.00	7.50	52.50
MAESTRO ELECTR./LINIERO/SUBEST	EO C1	4.00	20.00	80.00
MAESTRO MAYOR EJEC. OBRA CIVIL	EO C1	3.57	133.67	477.20
MAESTRO MAYOR EJEC. OBRA CIVIL	EO C2	3.39	0.70	2.37
ALBAÑIL	EO D2	3.22	704.80	2,269.46
CARPINTERO	EO D2	3.22	9.00	28.98
ELECTRICISTA	EO D2	3.22	3.00	9.66
ENCOFRADOR	EO D2	3.22	76.50	246.33
FIERRERO	EO D2	5.00	136.00	680.00
PLOMERO	EO D2	3.22	20.50	66.01
TECNICO ELECTROM. DE CONSTRUC.	EO D2	3.22	8.00	25.76
PEON	EO E2	3.18	1,649.10	5,244.14
OPERADOR EQUIPO PESADO 1	OP C1	3.57	5.20	18.56
			TOTAL:	9,200.97

4.4. Presupuesto Referencial

A continuación se presenta un presupuesto referencial de las obras civiles de la Microcentral Hidroeléctrica “El Volcán”, los costos de la turbina y el sistema eléctrico que conlleva el funcionamiento de la misma, No se considera costos de mejoramiento de las estructuras existentes como son las piscinas piscícolas.

Se ha tomado como costos indirectos el 17 %, que contempla la residencia de obra y costos administrativos.

<i>Rubro / Descripción</i>	<i>Unidad</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Precio unitario</i>	<i>Precio global</i>
OBRAS CIVILES				
REPLANTEO MANUAL PARA ESTRUCTURAS	M2	2,950.00	2.42	7,139.00
EMPEDRADO MANUAL (e=15-20 cm)	M2	45.00	3.37	151.65
HORMIGON S. f'c=140 kg/cm2 EN REPLANTILLOS	M3	38.00	118.15	4,489.70
ACERO DE REFUERZO f'y= 4200 kg/cm2	KG	2,650.00	2.06	5,459.00
HORMIGON S. f'c=210 kg/cm2 EN MUROS INC. ENCOFRADO	M3	22.00	335.32	7,377.04
EXCAVACION A MAQUINA EN TOBA H=0-2 m	M3	80.00	3.07	245.60
DESALOJO MANUAL TIERRA/ESCOMBROS dist=50 m	M3	24.00	6.29	150.96
SISTEMA DE TUBERÍA DE PRESIÓN				
TUBERIA PVC D=200 mm DESAGUE	ML	115.00	15.13	1,739.95
CODO PVC-S D=200 mm x 90°	U	5.00	26.84	134.20
VALVULA DE COMPUERTA H.F. D=200 mm(INC.ACESORIOS)	U	2.00	880.79	1,761.58
VALVULA DE COMPUERTA H.F. D=90 mm (INC.ACESORIOS)	U	2.00	280.52	561.04
CASA DE MAQUINAS				
HORMIGON S. f'c=210 kg/cm2 EN PLINTO SIN ENCOFRADO H>4m	M3	3.60	189.22	681.19
HORMIGON S. f'c=210 kg/cm2 EN COLUMNAS INC. ENCOF	M3	1.50	292.63	438.95
HORMIGON S. f'c=210 kg/cm2 EN VIGAS INC. ENCOFRADO	M3	1.10	296.31	325.94
HORMIGON S. f'c=210 kg/cm2 EN CADENAS INF. INC. EN	M3	0.90	198.98	179.08
HORMIGON EN LOSA ENTREPISO f'c=210 kg/cm2 INC. ENC	M3	1.80	211.30	380.34
CONTRAPISO H.S e=10cm 180 kg/cm2 SUBBASE e=15 cm	M2	18.00	21.38	384.84
MAMPOSTERIA BLOQUE LIVIANO e=10 cm	M2	100.00	10.66	1,066.00
TURBINA Y MONTAJE				
TURBINA MICHELL-BANKI INC. INSTALACIÓN	U	1.00	503.98	503.98
SISTEMA DE GENERACION INC. GENERADOR, TABLERO, REGULADOR	U	1.00	15,248.96	15,248.96
SISTEMA DE TRANSICION DE POTENCIA MECANICA	U	1.00	8,259.05	8,259.05
			TOTAL:	56,678.05

SON : CINCUENTA Y SEIS MIL SEISCIENTOS SETENTA Y OCHO, 05/100 DÓLARES

CAPITULO 5

5.1. Conclusiones

- De acuerdo a la planimetría, altimetría y perfil topográfico de la zona del proyecto ubicado en la parroquia de Pintag sector el Volcán. Se determinó la altura bruta y neta de caída con la que contará la Microcentral Hidroeléctrica, lo que hace factible implementar una turbina para generación de energía eléctrica por medio de un caudal disponible en la zona.
- De acuerdo al estudio hidrológico realizado se concluye que la mayor parte de las aguas son de infiltración, no pertenece a la microcuenca y llegan a los terrenos por medio de vertientes con suficiente caudal para aportar al proyecto.
- De acuerdo a la topografía, configuración del terreno y las obras existentes, como son las piscinas piscícolas ayudan a que las obras civiles no tenga mayores complicaciones ni para el diseño, ni la implementación en la Microcentral Hidroeléctrica.
- Con el fin de utilizar el caudal saliente de las piscinas piscícolas, se opta por un tanque recolector al pie de las estructuras existentes, que asegura un volumen de agua suficiente para abastecer de flujo al tanque de presión, obviándonos así, el diseño de obras de toma, canales de acercamiento, desripadores y presas, estructuras que son anteriores al tanque de presión.
- El tanque de presión está diseñado con un volumen suficiente para abastecer con por lo menos el doble del volumen que transitaría por la tubería de presión, dando así un tiempo de permeancia del volumen del agua de $t = 90$ segundos.
- De acuerdo al caudal disponible se elige una tubería comercial PVC de diámetro 200 mm.
- Según el caudal de diseño $Q = 110$ lt/seg y la altura de caída neta $H_n = 21.24$ m. se encontró que la turbina más adecuada para asegurar

la generación de energía eléctrica, con una eficiencia del 86% es la turbina Michell-Banki.

- La potencia generada por la turbina Michell-Banki es de 19.72 Kw, energía eléctrica suficiente como para implementar un sistema de bombeo de agua para riego y para el alumbrado del complejo de pesca turístico.

5.2. Recomendaciones

- Se recomienda impermeabilizar las piscinas piscícolas existentes con geomalla, para evitar filtraciones, pérdidas de volumen y por ende pérdidas de caudal en el ingreso al tanque recolector.
- Para evitar la erosión de los cimientos se recomienda hacer canales de drenaje a lo largo de la ubicación de la tubería.
- Para facilitar el mantenimiento de las obras civiles se deberá construir gradas que permitirá el fácil acceso hacia las estructuras de soporte de la tubería con el fin de brindar el mantenimiento adecuado
- Se recomienda un mantenimiento permanente de la turbina para evitar desgaste de los álabes, que podrían poner en riesgo el funcionamiento de la misma.
- Se recomienda también seguir los planos anexos de detalles constructivos y conexiones para la construcción de cada obra civil hidráulica.

BIBLIOGRAFÍA

- Asmal, A., Ocaña, J., Perdomo, A., & Pérez, J. (2012). Estudio del Modulo de elasticidad estático del hormigon en base a la resistencia a la compresión ($f'c= 21.28\text{MPA}$) Fabricado con maerial de la mina de Pintag.
- Buchhold, T., & H., H. (1959). *Centrales y Redes Eléctricas*. México DF.: Segunda Edición.
- Costa, C. (2009). *Estudio de pre factibilidad del aprovechamiento múltiple del rio Huarhuallá*. Quito: Universidad Politecnica Nacional.
- Hernández, C. (1980). *Diseño y estandarización de Turbinas Michell-Banki*. Quito.
- Olade, Novillo, M., Galarza, L., & Romero, G. (1985). *Manual de diseño de pequeñas central hidroeléctricas*. Bucaramanga: Olade.
- Orozco, K., & Granja, A. (2006). Zonificación socio ambiental del sector de Pintag.
- Ortiz, R. (2001). *Pequeñas centrales hidroeléctricas*. Bogotá: McGraw Hill.
- Paccha, E. (2011). Descripción de las características de operación y funcionamiento de la Minicentral Hidroeléctrica de agua fluyente "Odina". (U. N. Loja, Ed.) *Revista Técnica Energía*.
- Paz, E., Carrocci, L., Paulo, M., & Romero, C. (2007). Metodología de diseño hidraulico y mecánico de una turbina MICHELL-BANKI. *8º Congreso Iberoamericano de Ingeniería mecánica*.
- Quintero, B. (2009). *Metodología de diseño de obras hidráulicas en estudios de pre factibilidad de pequeñas centrales hidroeléctricas*. Quito: Universidad Politécnica Ncional.

- Sandoval. (2014). Determinación de caudales en cuencas con poca información hidrológica. *CIENCIA*, 100-110.
- Sandoval, W. (2013). *Principios de la hidráulica 2*. Sangolquí: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.
- Valdivieso, O. (2012). *Apuntes de Hidrología*. Loja: Universidad Técnica Particular de Loja.
- Vasconez, A., & Tello, H. (2001). Tesis Estudio de factibilidad Técnica-Económica del sistema de turbobombeo para la comunidad de Cananvalle.
- Ven Te Chow. (1994). *Hidrología Aplicada*. Bogotá: McGraw-Hill Interamericana S.A.
- Wahington, S., & Aguilera, E. (2014). Determinación de Caudales en cuencas con poca información Hidrológica. *CIENCIA*, 100-110.

ANEXOS