



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE  
CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**“DISEÑO Y SELECCIÓN DE NUEVA TUBERÍA  
DE PRESIÓN PARA LA CENTRAL  
HIDROELÉCTRICA RÍO BLANCO DE LA  
EMPRESA ELÉCTRICA RIOBAMBA S.A”**

**CASTILLO RODRÍGUEZ GEOVANNA PATRICIA**

**TESIS DE GRADO**

Previa a la obtención del Título de:  
**INGENIERA MECÁNICA**

**RIOBAMBA – ECUADOR**

**2010**

**EsPOCH**

Facultad de Mecánica

---

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS**

---

**CONSEJO DIRECTIVO**Octubre, 29 de 2010

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

---

**GEOVANNA PATRICIA CASTILLO RODRÍGUEZ**

---

Titulada:

**“DISEÑO Y SELECCIÓN DE NUEVA TUBERÍA DE PRESIÓN DE LA  
CENTRAL HIDROELÉCTRICA RÍO BLANCO DE LA EMPRESA  
ELÉCTRICA RIOBAMBA S.A”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

**INGENIERA MECÁNICA**

---

Ing. Geovanny Novillo A.  
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

---

Ing. José Pacífico Riofrío R.  
DIRECTOR DE TESIS

---

Ing. Raúl Cabrera F.  
ASESOR DE TESIS

**EsPOCH**

---

## CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

---

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** GEOVANNA PATRICIA CASTILLO RODRÍGUEZ

**TÍTULO DE LA TESIS:**

“DISEÑO Y SELECCIÓN DE NUEVA TUBERÍA DE PRESIÓN DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA RÍO BLANCO DE LA EMPRESA ELÉCTRICA RIOBAMBA S.A”

**Fecha de Exanimación:** Octubre, 29 de 2010.

**RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:**

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
ING. GEOVANNY NOVILLO A.			
ING. JOSÉ PACIFICO RIOFRÍO			
ING. RAÚL CABRERA F.			

\* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

**RECOMENDACIONES:** \_\_\_\_\_

---

El Presidente del Tribunal quien certifica al Consejo Directivo que las condiciones de la defensa se han cumplido.

---

f) Presidente del Tribunal

## **DERECHOS DE AUTORÍA**

El trabajo de grado que presenté, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos - científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad del autor. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

---

f) Geovanna Patricia Castillo Rodríguez

## **AGRADECIMIENTO**

El más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica, a mi Director de Tesis Ing. José Pacífico Riofrío, por su incondicional apoyo, perseverancia, paciencia, profesionalismo al Ing. Raúl Cabrera por todos los conocimientos brindados a lo largo de mi carrera, al Ing. Geovanny Novillo A. por todo lo aprendido en la Facultad, por su tiempo por su comprensión.

Y en especial para el Ing. Ludwing Loza Jefe de Mantenimiento de la Empresa Eléctrica Riobamba S.A, que me apoyó para culminar con éxito una etapa de mi vida.

**Geovanna Castillo Rodríguez**

## **DEDICATORIA**

A Dios por siempre hacerme sentir que está a mi lado, a mi querido Papy Miguel, a mi hermanita Sandry y de manera especial a la mujer que es la luz de mis ojos, mi madre, Mary Rodríguez, quienes con su apoyo incondicional, perseverancia, empuje, hicieron posible la cristalización del sueño de convertirme en una profesional mil gracias.

**Geovanna Castillo Rodríguez**

## TABLA DE CONTENIDOS

### CAPÍTULO PÁGINA

<b>1.</b>	<b>GENERALIDADES</b>	
1.1	Introducción.....	1
1.2	Elementos de una central.....	1
1.3	Tipos de centrales hidráulicas.....	6
1.3.1	Según sus características orográficas.....	6
1.3.2	Según su estructura.....	6
1.3.3	Según la potencia que generan.....	7
1.4	Ventajas e Inconvenientes de la Energía Hidráulica.....	8
1.5	Justificación.....	9
1.6	Objetivos.....	10
1.6.1	Objetivo General.....	10
1.6.2	Objetivo Especifico.....	11
<b>2.</b>	<b>DIAGNÓSTICO TUBERÍA DE PRESIÓN</b>	
2.1	Inspección Visual.....	16
2.2	Corrosión.....	17
2.3	Incrustaciones.....	19
2.4	Sedimentaciones.....	19
2.5	Análisis Metalográfico.....	20
2.6	Análisis de ultrasonido.....	23
2.7	Velocidad de Corrosión.....	29
2.8	Comprobación espesor de la tubería de presión para 30 años de funcionamiento...	30
2.9	Análisis de Agua.....	39
<b>3.</b>	<b>DISEÑO Y SELECCIÓN DE LA TUBERÍA DE PRESIÓN</b>	
3.1	Datos De Placa De La Turbina Peltón.....	42
3.2	Cálculo de la presión atmosférica.....	43
3.3	Presión de diseño.....	45
3.4	Pérdidas secundarias.....	46
3.5	Cálculo del diámetro.....	46
3.6	Cálculo de la velocidad.....	47
3.7	Pérdida por golpe de ariete.....	48
3.8	Pérdidas en la rejilla.....	48
3.9	Pérdidas por fricción en el tubo.....	49
3.10	Pérdidas por fricción en el tubo.....	50
3.11	Pérdida a la entrada.....	50
3.12	Perdidas en los codos.....	51
3.13	Pérdida en la válvula.....	52
3.14	Pérdidas secundarias.....	52
3.15	Potencia disponible.....	52
3.16	Material de la tubería.....	53
3.17	Espesor de la tubería.....	54
3.18	Diámetro exterior tubería de presión.....	56
<b>4.</b>	<b>COMPONENTES DE ENSAMBLE DE LA TUBERÍA DE PRESIÓN</b>	
4.1	Tanque de presión.....	57

4.2	Levantamiento Topográfico .....	59
4.3	Tubería de presión.....	61
4.4	Tensiones en la tubería.....	62
4.5	Apoyos.....	76
4.6	Anclajes.....	99
4.7	Junta de Expansión.....	121
4.8	Válvula Esférica.....	121
<b>5.</b>	<b>INSTALACIÓN DE LA TUBERÍA DE PRESIÓN.....</b>	<b>122</b>
<b>6.</b>	<b>EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES DE LA CENTRAL DE HIDROELÉCTRICA RÍO BLANCO</b>	
6.1	Antecedentes .....	129
6.2	Objetivos.....	130
6.3	Metodología del Trabajo.....	131
6.4	Caracterización Biofísica y socio económico de la zona.....	132
6.5	Descripción de impactos determinados en la Central Río Blanco.....	140
6.6	Valoración de Impactos Ambientales.....	144
6.7	Conclusiones .....	146
6.8	Recomendaciones.....	146
<b>7.</b>	<b>ANÁLISIS ECONÓMICO</b>	
7.1	Evaluación Económica.....	149
7.2	Costos .....	149
7.2.1	Costos de Inversión.....	149
7.3	Ingresos.....	151
<b>8.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	
8.1	Conclusiones.....	152
8.2	Recomendaciones.....	153

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

### **BIBLIOGRAFÍA**

### **LINKOGRAFÍA**

### **ANEXOS**

### **PLANOS**

**LISTA DE ABREVIACIONES**

API	Instituto Americano del Petróleo
AWWA	Asociación Norteamericana de Acueductos (American Water Works Association )
ASTM	Asociación Americana de Ensayo de Materiales (American Society of Testing Materials)
ANSI	Instituto Nacional Americano Estándar (American National Estándar Institute)
ASME	Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos
AWS	Sociedad Americana de Soldadura (American Welding Society)
B.31	Código para Tuberías de Presión

## RESUMEN

Se ha diseñado y seleccionado la nueva tubería de presión de la Central Hidroeléctrica Rio Blanco de la Empresa Eléctrica Riobamba S.A, en base a las normas AWWA (American Wáter Works Association) C200, y sus componente de ensamble como son las obras civiles, con la finalidad de abastecer de agua a la central que genera tres megavatios-hora y realizar un mantenimiento programado para alargar la vida útil de la tubería que se instalara expuesta por lo cual se realizó un despeje en la tubería actual que se encuentra enterrada en tramos significativos para conocer el estado real y el espesor residual que tiene mediante un análisis de medición de espesores, lo cual nos ayuda para satisfacer la demanda de energía que se tiene en el país.

El sistema está conformado por la tubería de presión, accesorios, obras civiles que involucran apoyos, anclajes y una plataforma para revisión de la tubería de presión y colocación de la misma.

Con la implementación de este sistema será fácil conocer el alcance corrosivo externo y el espesor residual que posea la tubería de presión luego de un intervalo de tiempo de funcionamiento y de acorde con las condiciones climáticas del sitio.

Se recomienda instalar un sistema de conducción externo para poder darle mantenimiento preventivo con el fin de evitar daños por corrosión y conocer el lugar exacto en caso de sufrir un desperfecto.

## SUMMARY

It has been designed and selected the new pressure pipe Central Hydroelectric Rio Blanco Empresa Eléctrica Riobamba SA, based on the AWWA (American Water Works Association) C200, and component assembly such as civil works, with purpose of supplying water to the plant that generates three megawatt-hour, and perform scheduled maintenance to extend the life of the exposed pipe was installed so it was a punt in the current pipeline is buried in significant sections know the real state and the residual thickness is through an analysis of density measurement, which helps us to meet the demand of energy you have in the country.

The system consists of pressure pipe, fittings, civil works involving supports, anchors and a platform for review of the discharge pipe and placing it.

With the implementation of this system will be easy to know the extent and thickness external corrosive residual holding pressure pipe after an interval of time of operation and according to the climatic conditions of the site.

When installing external drive system to provide preventive maintenance to avoid damages from corrosion and to know the exact location should you suffer a breakdown.

## CAPÍTULO I

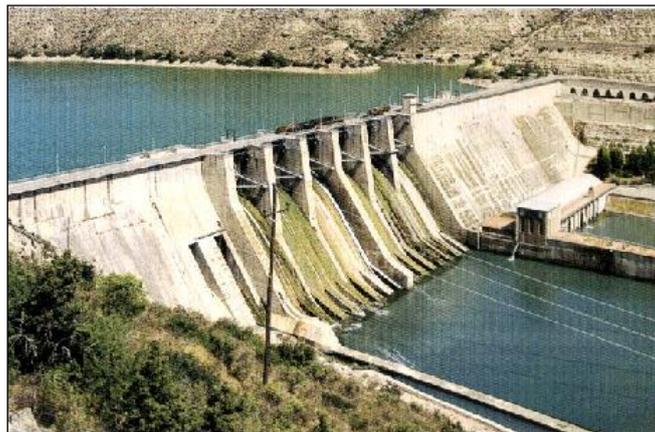
### 1. GENERALIDADES

#### 1.7 Introducción

Una masa de agua situada a una determinada altura posee energía potencial igual al producto de  $m \cdot g \cdot h$ , que se transforma en energía cinética al dejarla caer libremente ( $1/2 mv^2$ ). Pues bien, se entiende como energía hidráulica la energía asociada a las corrientes o saltos de agua, siendo las centrales hidroeléctricas las encargadas de aprovechar esta energía y transformarla en energía mecánica y posteriormente en energía eléctrica [5].

#### 1.8 Elementos de una central

- **Embalse:** Un embalse es el lugar donde se almacena el agua, y consta de la presa y los desagües.



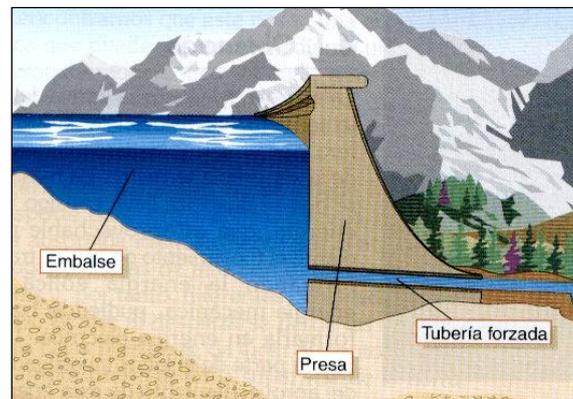
**Figura 1.1:** Embalse de una Central Hidroeléctrica

- **Presa.** Es una barrera interpuesta en el cauce de un río para retener y almacenar su agua, elevando el nivel considerablemente y regulando el caudal de salida. Atendiendo a la forma de resistir el empuje de la corriente hay dos tipos de presa: presas de gravedad, en las que el empuje del agua se contrarresta con el peso del muro que forma la presa, y presas de bóveda, en forma de arco, con lo que se consigue soportar mejor la presión del agua.

- **Desagües.** Son aperturas dispuestas en la pared principal de la presa a través de las cuales se controla la salida del agua. Existen tres tipos de desagües: de superficie, de medio fondo y de fondo.

- **Desagües de superficie o aliviaderos.** Se encuentran en la parte superior de la presa y tienen la función de regular el nivel del agua para evitar el desbordamiento. Pueden ser de tres clases en función del tipo de compuerta utilizada: de compuerta vertical, construida con materiales que resisten la presión del agua (como la chapa reforzada) que se desliza sobre rieles; de compuertas de segmento, que están formadas por una estructura metálica sujeta a un eje de giro cuyo extremo tiene forma de superficie cilíndrica, se

utilizan en caudales no muy elevados; y clapetas, compuestas de una báscula unida por uno de sus extremos a la parte superior de la compuerta de tal forma que cuando la compuerta desciende se abre y fluye el agua.



**Figura 1.2:** Desagüe de superficie

- **Desagües de medio fondo.** Son desagües que se alimentan a media altura de la presa.
- **Desagües de fondo.** Son desagües situados en la parte inferior de la presa.

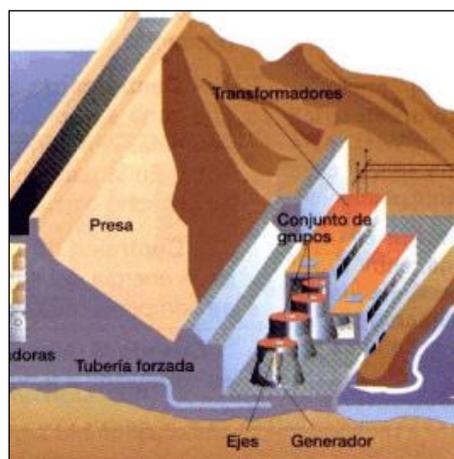
- **Tuberías de conexión o presión [10]:**

Desde las tomas de agua se conduce el agua de la presa hasta estas tuberías de conexión que se encargan de llevar el agua hacia las turbinas.

Están construidas con materiales de gran resistencia como acero, fundición, fibrocemento o plástico reforzado con fibra de vidrio. El diámetro y espesor de las tuberías dependen del caudal de la presa, y se sostienen en el suelo mediante apoyos y anclajes de hormigón en los cambios de dirección; estas pueden ser aéreas o subterráneas.

- **Planta transformadora o casa de máquinas [10]:**

Son las instalaciones donde se transforma la energía cinética del agua en energía mecánica y eléctrica. Las partes que componen una planta transformadora son los elementos de cierre y reguladores, las turbinas y generadores



**Figura 1.3:** Componentes de una Central Hidroeléctrica

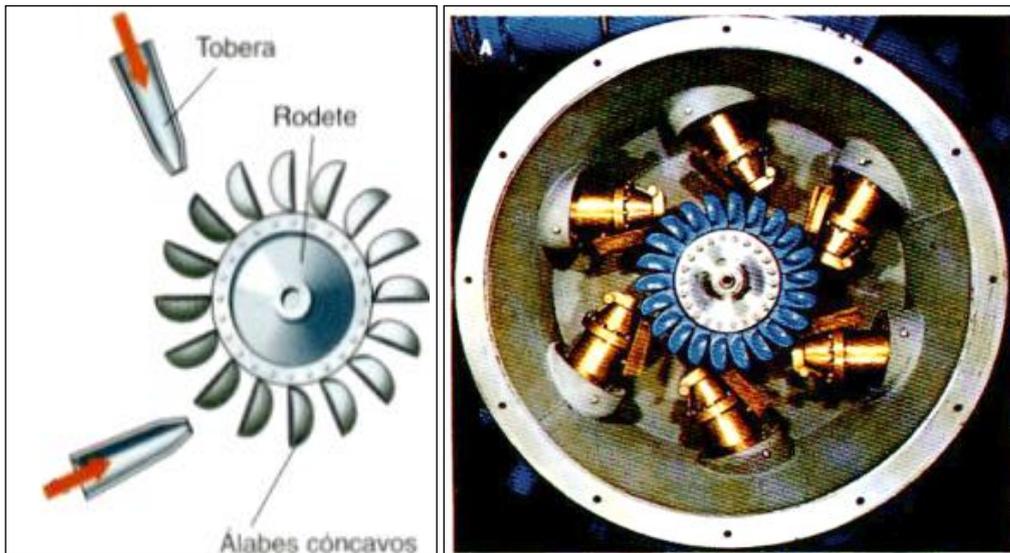
- **Elementos de cierre y reguladores.** Son los encargados de regular o impedir la entrada del agua en la planta.

- **Turbinas.** Los dos tipos más habituales de turbinas hidráulicas son las de acción y las de reacción.

- **Turbinas de acción.** Para hacer girar los alabes se aprovecha sólo la velocidad del agua. Estas turbinas pueden ser de flujo cruzado, Peltón, Turgo, Francis, Kaplan, otras.

La más usada es la turbina Peltón, en la que el agua que acciona los álabes es impulsada por inyectores que regulan el caudal, y se emplea para centrales de pequeño caudal y con un gran salto.

Tiene la característica de que admite una amplia variación de caudal, y, en caso de parada, cuenta con un deflector de chorro, mecanismo que dirige el agua directamente al desagüe evitando una sobrepresión en la tubería[6].

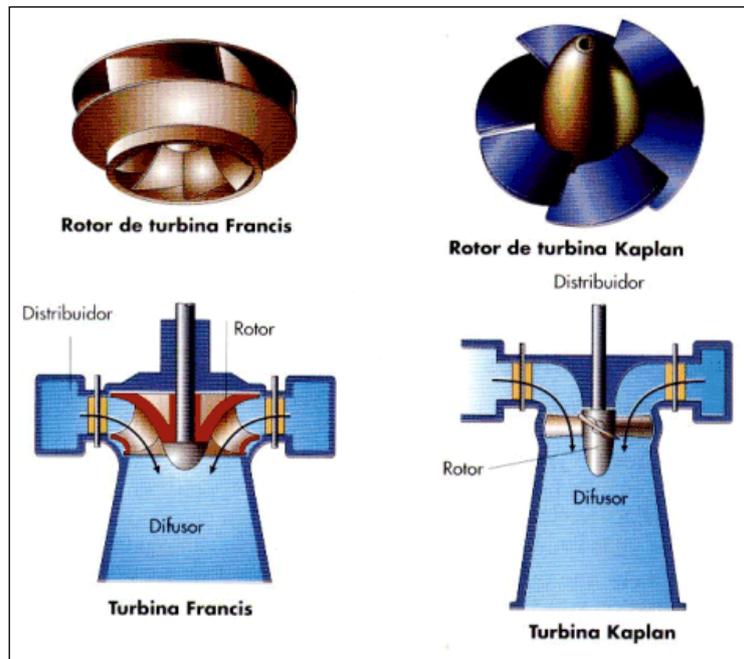


**Figura 1.4:** Turbina de Acción Peltón

(a)

- **Turbinas de reacción.** En estas turbinas el movimiento de los álabes es provocado tanto por la velocidad como por la presión del agua.

Hay varios tipos de turbina de reacción: turbina Francis, Hélice, Kaplan, etc.



**Figura 1.5:** Turbina de Reacción

(b)

**- Generador y elementos anexos.**

El Generador es el dispositivo capaz de mantener una diferencia de potencial eléctrico entre dos de sus puntos, llamados polos, terminales o bornes. Están destinados a transformar la energía mecánica en eléctrica.

Esta transformación se consigue por la acción de un campo magnético sobre los conductores eléctricos dispuestos sobre una armadura (denominada también estator).

Los elementos anexos o complementarios son los elementos necesarios para controlar el proceso de generación de corriente eléctrica y regularlo.

## 1.9 TIPOS DE CENTRALES HIDRAULICAS [1]

Las centrales hidroeléctricas se pueden clasificar según sus características orográficas, atendiendo a su estructura o según la potencia que generen.

1.9.1 **Según sus características orográficas**, las centrales hidráulicas se dividen en centrales de agua fluyente y centrales con regulación:

- **Centrales de agua fluyente.** Están situadas en ríos con un caudal constante, de forma que no requieren la formación de un embalse o éste es de pequeñas dimensiones. La captación del agua se hace directamente del río que va hacia la/s turbinas.

- **Centrales con regulación.** Son las que están situadas en lugares donde es necesario embalsar el agua y provocar un salto elevado de la misma.

1.9.2 **Según su estructura**, se clasifican en centrales por desviación de las aguas y de pie de presa:

- **Centrales por desviación de las aguas**. En éstas se desvía parte del caudal del río mediante un azud o muro situado transversalmente a la corriente. Con ello se crea un remanso sin necesidad de elevar mucho el nivel del agua.

El agua desviada se canaliza con la toma (ensanchamiento en la parte anterior del canal que conduce la entrada del agua) hasta el canal de derivación, que puede ser a cielo abierto o por tubería. Desde allí se dirige a la cámara de carga o depósito donde se almacena el agua y del que parte la tubería forzada, que lleva el agua hacia la planta transformadora.

- **Centrales de pie de presa**. Requieren la construcción de una presa que almacene el agua a una altura determinada. Si son de alta o media caída el agua llega a la turbina (generalmente horizontal de impulsión) a gran velocidad, con lo que no es necesario un generador de mucho diámetro. Si son de baja caída se necesitan turbinas de reacción, que son mucho más voluminosas debido al gran caudal de agua que deben hacer pasar y, además, los generadores son también de grandes dimensiones por la poca velocidad de giro.

1.9.3 **Según la potencia que generan** [10]

La potencia generada por una central hidroeléctrica depende de la altura desde la que cae el agua y de la potencia instalada en el eje de la turbina.

Clasificación según la altura neta del salto:

**Tabla 1.1:** CLASIFICACIÓN DE LAS CENTRALES SEGÚN LA CAÍDA EN METROS

	<b>Baja</b>	<b>Media</b>	<b>Alta</b>
<b>Micro</b>	$H < 15$	$15 < H < 50$	$H > 50$
<b>Mini</b>	$H < 20$	$20 < H < 100$	$H > 100$
<b>Pequeña</b>	$H < 25$	$25 < H < 130$	$H > 130$

- Saltos de pequeña altura:  $H < 15\text{m}$
- Saltos de mediana altura:  $15\text{m} < H < 50\text{m}$
- Saltos de gran altura:  $H > 50\text{m}$

Clasificación según la potencia del eje instalado.

- Micro central: 0 – 50 Kw

- Mini Central : 50 – 500 Kw
- Pequeña Central: 500 – 5000 Kw

### **1.10 Ventajas e Inconvenientes de la Energía Hidráulica**

Entre las ventajas que ofrece tanto el uso de la energía hidráulica como de las instalaciones que la acompañan, se pueden citar las siguientes:

- El proceso de transformación de la energía hidráulica en eléctrica es «limpio», es decir, no produce residuos ni da lugar a la emisión de gases o partículas sólidas que pudieran contaminar la atmósfera.

- Las presas que se construyen para embalsar el agua permiten regular el caudal del río, evitando de esta forma inundaciones en épocas de crecida y haciendo posible el riego de las tierras bajas en los períodos de escasez de lluvias.

- No obstante, la utilización a gran escala de la energía hidráulica también presenta inconvenientes.

Entre ellos se mencionan:

- Los embalses de agua anegan extensas zonas de terreno, por lo general muy fértiles y en ocasiones de gran valor ecológico, en los valles de los ríos.

- Las presas retienen las arenas que arrastra la corriente y que son la causa, a lo largo del tiempo, de la formación de deltas en la desembocadura de los ríos. De esta forma se altera el equilibrio, en perjuicio de los seres vivos (animales y vegetales) existentes en la zona.

- Al interrumpirse el curso natural del río, se producen graves alteraciones en la flora y en la fauna fluvial.

- Si aguas arriba del río existen vertidos industriales o de alcantarillado, se pueden producir acumulaciones de materia orgánica en el embalse, lo que repercutirá negativamente en la salubridad de sus aguas.

- Por último, reseñar la gran dependencia que experimenta la energía hidráulica respecto a las precipitaciones, pues en épocas de sequía es necesario reservar parte del agua embalsada para otros usos no energéticos [1].

### **1.11 Justificación**

El 3 de abril de 1963 nace la Empresa Eléctrica Riobamba S. A., quien compra todos los derechos a la Empresa de Electrificación Chimborazo S.A.

En el año de 1997 la EERSA inaugura la Central Hidroeléctrica Rio Blanco con una potencia de 3 MW, tomando en cuenta que el sistema de abastecimiento de agua a la central es por medio de tubería de presión enterrada la misma que tiene un tiempo de funcionamiento diferente al tiempo de inauguración

de la casa de maquinas debido a que dicha tubería forma parte del proyecto de riego Quimiag – Chambo efectuado en el año de 1989 por el llamado Coderech hoy en la actualidad Inar lo cual permite estimar hasta la actualidad un funcionamiento de la tubería de presión de aproximadamente 22 años en servicio.

En vista que la tubería se presión está enterrada no se ha podido realizar un diagnostico previo para conocer el estado en el que se encuentra debido a los diferentes factores que se involucran en el desgaste como el golpe de ariete, cavitación, incrustaciones, sedimentaciones, corrosión, formación de depósitos entre otros, por el tiempo de funcionamiento continuo.

La tubería de presión suministra aproximadamente un promedio de  $1.3 \text{ m}^3/\text{s}$  de agua, los cuales se utilizan en el funcionamiento de la central que genera 3 MW/H lo que quiere decir que si la tubería presenta problemas de desabastecimiento de agua a la turbina representaría una pérdida de producción a la Empresa Eléctrica Riobamba S.A de 3 MW/H correspondiendo a una perdida diaria de 72 MW/H o 72 000 KW/H, considerando que el precio actual de energía esta en 3.06 centavos de dólar el KW/H, la perdida diaria seria 2 264.4 dólares y un aproximado de 67 932 dólares americanos mensuales.

## **1.12 Objetivos**

### **1.6.1 Objetivo General**

- Diseñar y seleccionar la nueva tubería de presión para la Central Hidroeléctrica Rio Blanco de la Empresa Eléctrica Riobamba S.A.

### **1.6.2 Objetivos Específicos**

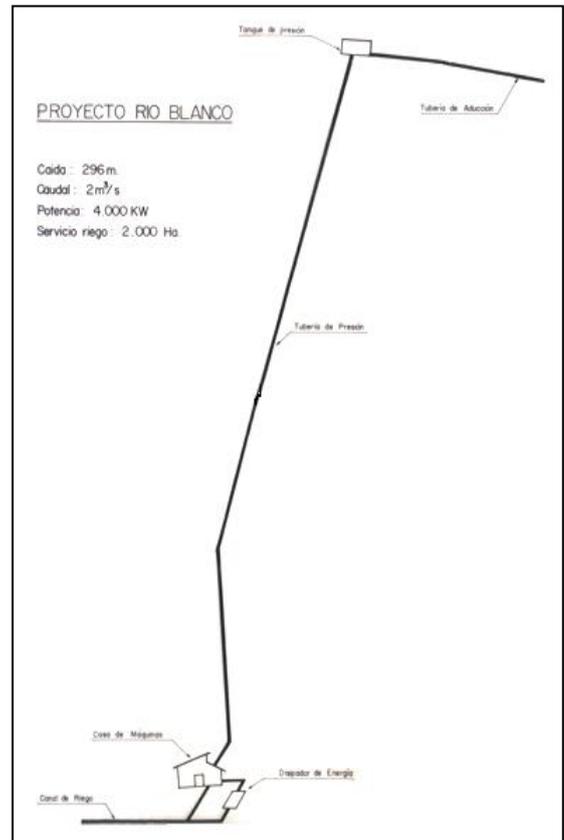
- Verificar el estado actual de la tubería de presión.
- Diseñar la tubería adecuada para la Central Hidroeléctrica Rio Blanco.
- Seleccionar en función a los parámetros de funcionamiento la tubería de presión.
- Diseñar los apoyos y anclajes del sistema.
- Analizar un análisis económico de cambio de la tubería de presión.
- Realizar una evaluación de impactos ambientales de la Central Hidroeléctrica Rio Blanco.

## CAPÍTULO II

### 2. DIAGNÓSTICO TUBERÍA DE PRESIÓN

La central hidroeléctrica Rio Blanco está constituida entre sus elementos principales por una tubería de presión de 30" de diámetro, de 660 m de longitud la misma que se encuentra enterrada.

La foto muestra el perfil de la zanja excavada y la colocación de tubería de presión tomada en Enero de 1989, facilitada por la Empresa Eléctrica Riobamba S.A.



**Figura 2.1:** Colocación de la tubería de presión enterrada enero de 1989.

**Figura 2.2:** Perfil tubería de presión enterrada.

Se realizó un recorrido para constatar el terreno en el cual se encuentra instalada (enterrada), la tubería de presión.

Posteriormente se procedió al desalojo en los catorce tramos de revisión ubicados cada 50 metros de distanciamiento para aproximadamente 660 metros de tubería de presión con el despeje de tierra, piedras, plantas, entre otros con un valor promedio de excavación de 2,20 metros de profundidad y un tramo de tubería encontrado a los 4,50 metros con medidas de revisión de 2 de ancho por 3 metros de largo.



**Figura 2.3:** Perfil actual tubería de presión



**Figura 2.4:** Excavación de puntos de revisión

También se tomaron mediciones en el by - pass y en el último tramo de tubería que se encuentra descubierto antes de la casa de máquinas.

Luego de haber localizado la tubería en los distintos tramos se procedió a la limpieza de la misma retirando con agua, franelas, cepillos metálicos, espátulas, lijas entre otros los depósitos en el exterior de la tubería hasta visualizar la superficie lisa y limpia de impurezas.



**Figura 2.5:** Limpieza exterior de la tubería de presión

Se preparo la tubería de presión dejándole en los puntos de revisión la superficie limpia y lisa, utilizando lijas y piedras de pulir para evitar corrosión por las condiciones climáticas se recubrieron los puntos preparados con aceite.



**Figura 2.6:** Preparación tubería de presión

En la medición de espesores de la tubería de presión se realizó 3 mediciones por cada  $45^\circ$  de todo el perímetro de la tubería en cada zanja de revisión; es decir se realizan 24 lecturas por cada tramo descubierto de tubería de presión.

Para realizar la medición del espesor de la tubería, se empleo un Equipo ultrasónico Marca Panametrics Modelo 25DL y un transductor ultrasónico de 20 Mhz y 4 mm de diámetro, previamente calibrado con una precisión de 0,01 mm.

Luego de realizadas las mediciones se procedió al pintado de tramos de estudio con pintura especial epóxica para evitar la corrosión en los puntos de análisis.

Al final se relleno la zanja al nivel inicial.

Para el Análisis Químico se tomo una muestra de un tapón de la tubería presión del cual se obtuvieron los siguientes resultados.

**Tabla 2.1: RESULTADOS ANÁLISIS QUÍMICO**

ELEM. DISP	CONTENIDO	ELEM. DISP	CONTENIDO
<b>Carbono Equi.</b>	0.2348	<b>%Al</b>	0.013
<b>% C</b>	0.168	<b>% Mo</b>	0.001
<b>% Si</b>	0.035	<b>% V</b>	0.001
<b>% Mn</b>	0.390	<b>% As</b>	0.0003
<b>% S</b>	0.0124	<b>% Nb</b>	0.000
<b>% P</b>	0.0057	<b>% Ti</b>	0.0011
<b>% Cu</b>	0.028	<b>% N</b>	0.0054
<b>%Ni</b>	0.013	<b>%B</b>	0.0007
<b>%Cr</b>	0.006	<b>%Pb</b>	0.0000
<b>%Sn</b>	0.0018	<b>% Sb</b>	0.0000
<b>%Al</b>	0.013	<b>% Fe</b>	99.32

Los resultados de la tabla 2.1, de composición química de aceros de baja aleación fueron obtenidos del laboratorio de control de calidad de Novacero en base a una muestra tomada de un sobrante de la tubería de presión de la Central Hidroeléctrica Rio Blanco.

## 2.1 Inspección Visual

De la inspección visual de la tubería de presión se obtuvieron imágenes como las de la figura 2.7, y otras que se indican al final en anexos.



**Figura 2.7:** Estado actual punto de análisis tubería enterrada

La corrosión externa que presenta la tubería, se debe a que no tiene revestimiento exterior, ya que está enterrada y que el suelo contiene sales y humedad debido a las severas condiciones climáticas.

Esta tubería debió ser instalada con protección catódica pero al no tenerla presenta una alta severidad corrosiva.

## 2.2 Corrosión

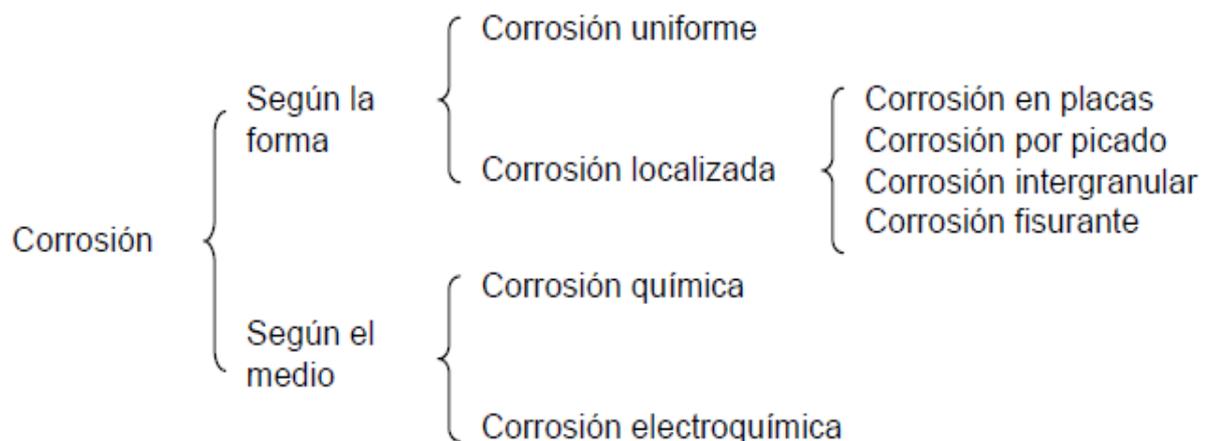
**Corrosión:** Es la transformación indeseable de un material como consecuencia del medio que lo rodea.

Se llaman agentes agresivos a aquellos que producen la corrosión, estos pueden ser: la atmósfera, el agua de mar, el aire húmedo, los vapores ácidos, etc.

El fenómeno de corrosión se extiende a todos los materiales; pero solamente se tendrá en cuenta la corrosión metálica. Todos los metales pueden ser usados siempre que su velocidad de deterioro sea aceptablemente baja. De este modo en corrosión se estudia la velocidad con que se deteriora los metales y las formas en que dicha velocidad puede ser controlada. [1]

### Clasificación de los procesos de corrosión

La corrosión se puede clasificar según su morfología o según el medio en que se desarrolla es decir:



**Figura 2.8:** Clasificación de la corrosión según el medio en el que se desarrolla

Se puede proteger la corrosión electroquímica por dos tipos de métodos:

#### a) PROTECCIÓN ELECTROQUÍMICA:

- CATODICA
  - con ánodo de sacrificio
  - con fuentes de corrientes

- cubiertas galvanizados

➤ ANODICA

- Por formación de películas protectoras de  $\text{CrO}_4^{2-}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ , etc
- 

**b) PROTECCIÓN NO ELECTROQUÍMICA**

- 1) Recubrimiento con pintura
- 2) Eliminación de humedad: con desecantes, silicagel, etc.

**2.3 Incrustaciones.** Son depósitos duros muy adherentes difíciles de remover, que se producen debido a la presencia de sales en las aguas. Las sustancias formadoras de incrustaciones son principalmente el carbonato de calcio, hidróxido de magnesio, sulfato de calcio y sílice, esto se debe a la baja solubilidad que presentan estas sales y algunas de ellas como es el caso del sulfato de calcio, decrece con el aumento de la temperatura.

Las incrustaciones más comunes son las de Carbonato cálcico  $\text{CO}_3\text{Ca}$  que se forman por condiciones de alto ph, más específicamente, su origen se asocia a una pérdida de anhídrido carbónico por el agua.

Las aguas subterráneas suelen estar saturadas en carbonato cálcico en disolución debido a la presencia de anhídrido carbónico disuelto.

La cantidad de anhídrido carbónico disuelto depende de la proporción del mismo en el aire en contacto con el agua y de la temperatura.

Los suelos tienen contenidos en anhídrido carbónico muy superiores al de la atmósfera (hasta 20 veces superior), pueden disolver cantidades notables de carbonato. Al estar estas aguas a presiones inferiores a las que tenían en el terreno, o al entrar en contacto con la atmósfera pierden anhídrido carbónico con la consiguiente sobresaturación en carbonatos.

Si las condiciones son apropiadas, el exceso de carbonato cálcico (en menor medida el carbonato magnésico, que es más soluble) se puede precipitar en forma de pequeños aglomerados fangosos o depositarse en capas duras y estratificadas sobre las superficies sólidas, formando incrustaciones.

**2.4 Sedimentaciones.-** La sedimentación es el proceso por el cual el material sólido, transportado por una corriente de agua, se deposita en el fondo del río, embalse, canal artificial, o dispositivo construido especialmente para tal fin.

Toda corriente de agua, caracterizada por su caudal, tirante de agua, velocidad y forma de la sección tiene una capacidad de transportar material sólido en suspensión.

El cambio de alguna de estas características de la corriente puede hacer que el material transportado se sedimente; o el material existente en el fondo o márgenes del cauce sea erosionado.

El sedimento es un material sólido, acumulado sobre la superficie terrestre (litosfera) derivado de las acciones de fenómenos y procesos que actúan en la atmósfera, en la hidrosfera y en la biosfera (vientos, variaciones de temperatura, precipitaciones meteorológicas, circulación de aguas superficiales o subterráneas, desplazamiento de masas de agua en ambiente marino o lacustre, acciones de agentes químicos, acciones de organismos vivos).

Puesto que la mayor parte de los procesos de sedimentación se producen bajo la acción de la gravedad, las áreas elevadas de la litosfera terrestre tienden a ser sujetas prevalentemente a fenómenos erosivos, mientras que las zonas deprimidas están sujetas prevalentemente a la sedimentación.

## 2.5 Análisis Metalográfico



**Figura 2.9:** Material Base atacado químicamente con 0.5% ácido Hidrofluorico. Estructura con presencia de Ferrítica en las zonas claras y Perlita en las zonas oscuras. Zoom 10x



**Figura 2.10:** Material Base atacado químicamente con 0.5% ácido Hidrofluorico. Estructura con presencia de Ferrítica en las zonas claras y Perlita en las zonas oscuras



Zoom 20x

**Figura 2.11:** Material Base atacado químicamente con 0.5% ácido Hidrofluorico. Estructura con presencia de Ferrítica en las zonas claras y Perlita en las zonas oscuras Zoom 40x

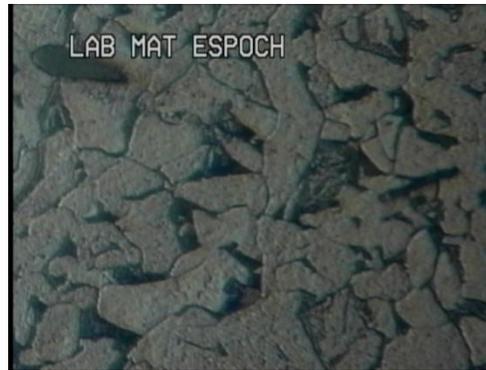
De acuerdo a estas fotografías se podría decir que contiene un 80% de ferrita con un 20% de perlita. Según esto se puede decir que aproximado corresponde a un acero 1020.



**Figura 2.12:** Soldadura atacado químicamente con 0.5% ácido Hidrofluórico. Estructura con presencia de Ferrítica en las zonas claras y Perlita en las zonas oscuras. Zoom 10x



**Figura 2.13:** Soldadura atacado químicamente con 0.5% ácido Hidrofluórico. Estructura con presencia de Ferrítica en las zonas claras y Perlita en las zonas oscuras. Zoom 20x



**Figura 2.14:** Soldadura atacado químicamente con 0.5% ácido Hidrofluorico. Estructura con Presencia de Ferritica en las zonas claras y Perlita en las zonas oscuras.Zoom 40x

Aquí se observa un crecimiento en el tamaño de grano, ya que se analizo donde fue afectada térmicamente.

#### MATERIAL BASE + SOLDADURA



**Figura 2.15:** Material Base + Soldadura atacado químicamente con 0.5% ácido Hidrofluorico. Estructura con presencia de Ferritica y Perlita- Zoom 10x

Aquí se puede ver una recuperación en el tamaño de grano, ya que se analiza el depósito de metal, claramente se aprecia una zona mixta de ferrita y perlita, más ferrita que perlita.

#### 2.10 Análisis de ultrasonido

A continuación se indica dos cuadros de espesor de retiro sugerido, los mismos que fueron calculados de acuerdo al Código ASME VIII División (Recipientes de presión) **Anexo I** de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$t = \frac{P \cdot R}{(S \cdot E + 0.4P)} \quad (2.0)$$

t= espesor de retiro en pulgadas

P= Presión máxima de diseño Psi.

R = Radio exterior en pulgadas

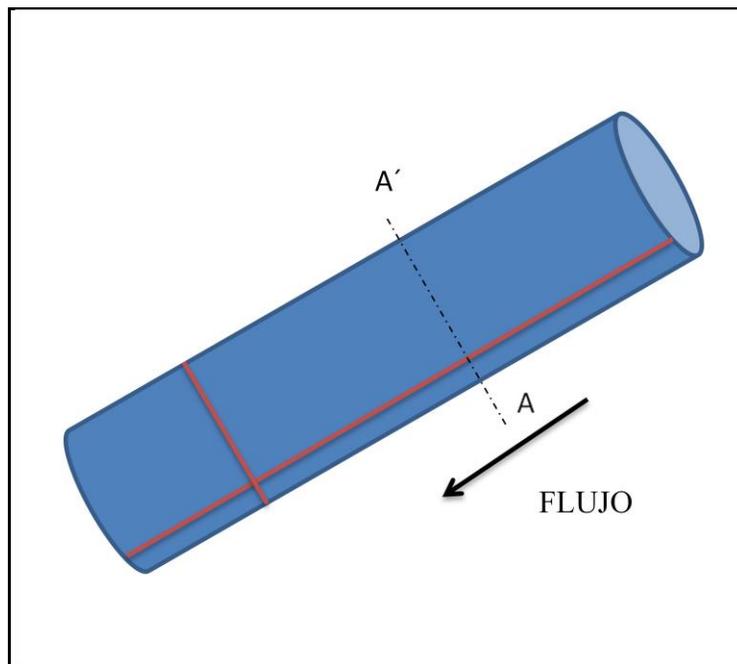
S = Esfuerzo en el material para A36, S= 15 200 Psi o 16 600 Psi

E= eficiencia de la junta E=1, 100%

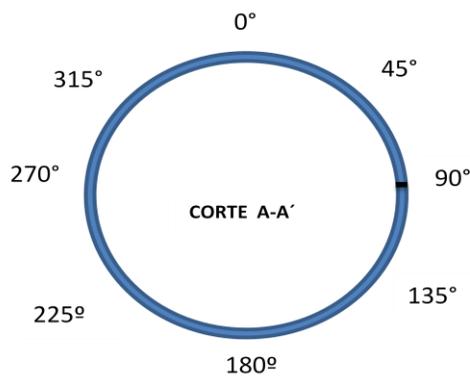
De lo cual el espesor de retiro final es el espesor mínimo que deberá tener la tubería de presión para que funcione a su presión máxima en cada tramo como se muestra en la tabla 2.23.

A continuación se presentan los datos y resultados de los quince tramos de tubería inspeccionados, de los cuales los trece primeros son inspecciones de tubería enterrada, mientras que el tramo catorce es parte de la tubería expuesta del tramo final y el tramo quince es el by-pass.

### TRAMO 1:



**Figura 2.16:** Diagrama de la tubería en el tramo 1.



**Figura 2.17:** Puntos de análisis en el tramo 1.

**Tabla 2.2:** ESPESORES OBTENIDOS MEDIANTE ULTRASONIDO TRAMO 1

P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
5,89	6,09	5,95	6,05	5,81	5,58	5,62	6,14
5,96	6,02	5,86	6,01	5,83	5,6	5,54	6,14
5,95	6,04	5,9	6,03	5,81	5,69	5,41	5,93

A continuación se muestra los resultados obtenidos por cada tramo inspeccionado de la tubería de presión:

**Tabla 2.3:** ESPESORES OBTENIDOS MEDIANTE ULTRASONIDO TRAMO 2

P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
5,92	6,16	6,1	6,22	6,06	6,04	5,96	6,05
6,05	6,15	6,08	6,2	6,02	5,98	5,99	6,09
5,98	6,17	6,09	6,2	6,04	5,92	5,99	6,11

**Tabla 2.4:** ESPESORES OBTENIDOS MEDIANTE ULTRASONIDO TRAMO 3

P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
5,7	5,31	5,35	5,32	5,74	5,56	5,41	5,61
5,73	5,56	5,32	4,9	5,72	5,44	5,27	5,68
5,71	5,33	5,45	4,68	5,74	5,66	5,32	5,64

**Tabla 2.5:** ESPESORES OBTENIDOS MEDIANTE ULTRASONIDO TRAMO 4

P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
9,22	8,48	9,49	9,38	8,98	9,32	8,89	8,97
9,26	9,41	9,05	9,39	9,3	9,84	10,16	9,09
9,23	9,61	9,35	9,38	9,26	9,51	10,14	9,02

**Tabla 2.6:** ESPESORES OBTENIDOS MEDIANTE ULTRASONIDO TRAMO 5

P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
9,54	9,52	9,39	9,44	9,43	9,35	9,32	9,35
9,67	9,49	9,41	9,38	9,48	9,32	9,24	9,24
9,45	9,49	9,34	9,33	9,41	9,3	9,21	9,21

**Tabla 2.7:** ESPESORES OBTENIDOS MEDIANTE ULTRASONIDO TRAMO 6

P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
9,21	8,89	8,81	8,32	9,16	9,12	9,06	8,98
9,18	8,81	8,84	8,72	9,15	9,18	9,05	9,12
9,17	8,84	8,86	8,5	9,12	9,08	8,92	9,14

**Tabla 2.8:** ESPESORES OBTENIDOS MEDIANTE ULTRASONIDO TRAMO 7

P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
0°				45°	90°	180°	270°
8,77	9,21	9,22	9,25	9,52	9,52	8,49	9,54
8,94	9,29	9,32	9,21	9,49	9,49	8,45	9,51
9,24	8,86	9,21	9,24	9,5	9,5	8,45	9,4

**Tabla 2.9:** ESPESORES OBTENIDOS MEDIANTE ULTRASONIDO TRAMO 7

POSICION		SOLDADURA				POSICION	
LATERAL		VERTICAL FRONTAL				LATERAL	
P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
270°	180°	0°	0°	0°	0°	45°	90°
9,54	8,49	8,77	9,21	9,22	9,25	9,52	9,52
9,51	8,45	8,94	9,29	9,32	9,21	9,49	9,49
9,4	8,45	9,24	8,86	9,21	9,24	9,5	9,5

**Tabla 2.10:** ESPESORES OBTENIDOS MEDIANTE ULTRASONIDO TRAMO 8

P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
9,19	9,13	9,15	9,41	9,09	9,4	9,18	9,21
9,02	9,11	9,16	9,39	9,22	9,33	9,17	9,1
9,12	9,15	9,21	9,44	9,09	9,41	9,15	9,08

**Tabla 2.11:** ESPESORES OBTENIDOS MEDIANTE ULTRASONIDO TRAMO 9

P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
12,41	13,54	12,44	12,64	12,8	12,84	12,89	13,65
12,32	13,02	11,96	12,75	12,84	12,86	12,75	12,97
12,68	12,88	11,92	12,77	12,86	12,81	12,72	13,09

**Tabla 2.12:** ESPESORES OBTENIDOS MEDIANTE ULTRASONIDO TRAMO 10

P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
13,17	13,27	13,31	13,24	13,12	13,26	13,12	11,56
13,15	13,32	13,23	13,19	13,12	13,19	12,96	11,39
13,05	13,14	13,26	13,24	13,21	13,23	13,82	11,4

**Tabla 2.13:** ESPESORES OBTENIDOS MEDIANTE ULTRASONIDO TRAMO 11

P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
12,32	12,59	12,55	12,35	12,21	12,03	12,13	12,53
12,28	12,46	12,41	12,24	12,15	12,09	11,91	12,63
12,32	12,7	12,38	12,4	12,19	12,11	11,9	12,47

**Tabla 2.14:** ESPESORES OBTENIDOS MEDIANTE ULTRASONIDO TRAMO 12

P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
12,35	12,81	12,44	12,64	12,15	12,14	12,72	12,98
12,21	12,81	12,55	12,54	12,08	12,24	12,63	13,1
12,38	12,73	12,47	12,78	12,07	12,68	12,72	13,19

**Tabla 2.15:** ESPESORES OBTENIDOS MEDIANTE ULTRASONIDO TRAMO 12

POSICION		SOLDADURA				POSICION
LATERAL	FRONTAL (0°)	HORIZONTAL				LATERAL
DERECHA (270°)		SUPERIOR		INFERIOR	IZQUIERDA	
P1	P2	P3 (45°)	P4 (315°)	P5 (180°)	P6 (90°)	
12,72	12,35	12,81	12,98	12,15	12,44	
12,63	12,21	12,81	13,1	12,08	12,55	
12,72	12,38	12,73	13,19	12,07	12,47	

**Tabla 2.16:** ESPESORES OBTENIDOS MEDIANTE ULTRASONIDO TRAMO 13

TRAMO	LATERAL	SOLDADURA				LATERAL
N°	DERECHA	VERTICAL DERECHA				IZQUIERDA
13		LADO DERECHO		LADO IZQUIERDO		
		P1	P2	P3	P4	P5
		11,75	12,57	12,81	12,32	12,06
		11,69	12,55	12,68	12,23	12,11
		11,54	12,63	12,69	12,28	12,04
		11,68	12,41	12,66	12,18	12,07
		11,64	12,4	12,64	12,21	12,09
		11,58	11,99	12,62	12,35	12,02

**Tabla 2.17:** ESPESORES OBTENIDOS MEDIANTE ULTRASONIDO TRAMO 14

TRAMO	POSICION		SOLDADURA				
N°	INFERIOR		VERTICAL FRONTAL				
14			LADO DERECHO		LADO IZQUIERDO		
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	
		12,56	12,53	13,52	13,42	13,22	12,53
		12,55	12,52	13,4	13,46	13,19	12,47
	12,48	12,54	13,36	13,51	13,33	12,44	

**Tabla 2.18:** ESPESORES OBTENIDOS MEDIANTE ULTRASONIDO TRAMO 15

TRAMO	CODO 90°					
	LATERAL		LATERAL			
BY PASS			IZQUIERDO		DERECHO	
	P1	P2	P3	P4	P5	P6
	9,93	9,91	9,03	8,95	8,91	9,11
	9,84	9,92	8,97	8,93	8,92	9
9,95	9,86	8,96	8,9	8,91	9,01	

### 2.11 Velocidad de Corrosión

La velocidad de corrosión en milésimas de pulgadas por año (mpy) se calculo empleando la siguiente ecuación:

$$\text{Velocidad de corrosión: } \frac{\text{perdida de espesor}}{\text{años de funcionamiento}} [\text{mpy}] \quad (2.1)$$

**Tabla 2.19:** PÉRDIDA DE ESPESOR

<b>(mm)</b>	2,59	2,08	3,32	3,52	2,79	3,68	3,55	2,98	2,08	2,61	2,1	1,93	2,46	1,56	3,1
<b>(plg)</b>	0.102	0.082	0.13	0.14	0.11	0,15	0.14	0,12	0.08	0.10	0.08	0.07	0.09	0.06	0.12

$$e_{\text{promedio}} = \frac{e_1 + e_2 + \dots + e_{15}}{15} (\text{plg}) \quad (2.2)$$

$$e_{\text{promedio}} = \frac{1.574}{15}$$

$$e_{\text{promedio}} = 0.105 \text{ plg}$$

$$\text{Velocidad de corrosión: } \frac{0.105}{22} * 1000 [\text{mpy}]$$

$$\text{Velocidad de corrosión} = (4.77 * 10^{-03}) * 1000 [\text{mpy}]$$

$$\underline{\underline{\text{Velocidad de corrosión} = 4,77 \text{ mpy}}}$$

Según esta velocidad se puede decir que este material tiene una resistencia a la corrosión buena [9].

## 2.8 COMPROBACION DEL ESPESOR DE LA TUBERIA DE PRESION PARA 30 AÑOS DE FUNCIONAMIENTO

$$\varepsilon = \varepsilon_0 + \alpha.t \quad (2.3)$$

$\varepsilon$  = es el valor de la rugosidad luego de un tiempo determinado (m)

$\varepsilon_0$  = es el valor de la rugosidad de la tubería nueva (m)

t = es el tiempo expresado en años

$\alpha$  = es la tasa de crecimiento de las asperezas expresada en m/año

El valor de  $\alpha$  depende principalmente del pH del agua, el pH del agua según análisis realizados es igual a 7,91

[2]

$$\alpha = 10^{\frac{6,6-pH}{2}} \quad (2.4)$$

$$\alpha = 10^{\frac{6,6-7,91}{2}}$$

$$\alpha = 10^{-0,655}$$

$$\alpha = 0,2213 \text{ mm/año}$$

$$\alpha = 0,0002213 \text{ m/año}$$

$$pH = 7,91$$

$$\varepsilon_0 = 0,00005 \text{ m (para tubos nuevos)}$$

$$\alpha = 0,0002213 \text{ m/ año}$$

$$t = 30 \text{ años}$$

$$\varepsilon = \varepsilon_0 + \alpha.t$$

$$\varepsilon = 0,00005 + (0,0002213) (30)$$

$$\varepsilon = 0,006689 \text{ m}$$

$$\varepsilon = \underline{6,689 \text{ mm}}$$

### PARA UN ESPESOR DE TUBERIA DE 8 mm

$$D_e = 30'' = 0,762 \text{ m}$$

$$e = 8 \text{ mm}$$

$$D = D_e - 2e$$

$$D = (0,762 - 2(0,008))$$

$$D = 0,746 \text{ m}$$

### CALCULO DE LA VELOCIDAD

$$Q = A * V \quad (2.5)$$

$$V = \frac{Q}{A} \quad (2.6)$$

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \quad (2.7)$$

$$V = \frac{4Q}{\pi D^2}$$

$$V = \frac{4(1,27)}{\pi(0,746)^2}$$

$$V = \frac{5,08}{1,617}$$

$$\underline{V = 2,91 \text{ m/s}}$$

Con este valor se calculó las pérdidas de fricción a los 30 años de uso de la tubería de presión:

**PERDIDA DE FRICCION EN EL TUBO:**

$$h_f = \lambda \frac{L.v^2}{D.2g} \quad (2.8)$$

$$Re = \frac{v.D}{\nu} \quad (2.9)$$

$$Re = \frac{(2,79)(0,762)}{1 \times 10^{-6}}$$

$$Re = 2170860$$

Rugosidad de la tubería de acero comercial a los 30 años,  $\varepsilon = 6,689 \text{ mm}$ ; entonces [1].

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{6,689}{746} = 0,008966 \quad (2.10)$$

$$\lambda = 0,018$$

$$h_f = 0,018 \frac{660,14.(2,91)^2}{(0,746).2(9,8)}$$

$$\underline{h_f = 6,88 \text{ m}}$$

Entonces se verifica el funcionamiento de la tubería de presión en 30 años.

En la tubería de presión la energía disponible debe ser mayor a las pérdidas totales producidas en ella.

**PERDIDA POR GOLPE DE ARIETE:**

$$h_s = 0,15 \frac{L.V}{T} \quad (2.11)$$

$$h_s = 0,15 \frac{(660,14) * (2,91)}{40}$$

$$\underline{h_s = 6,68 \text{ m}}$$

**PERDIDAS EN LA REJILLA [h<sub>r</sub>]**

$$h_r = \xi_r * \frac{v^2}{2g} \quad (2.12)$$

$$\xi_r = 1,8 \text{ hr} = 1,8 \frac{(2,91)^2}{2(9,8)}$$

$$\underline{hr = 0,78 \text{ m}}$$

**PERDIDA A LA ENTRADA (h<sub>E</sub>)**

$$h_E = \xi_E * \frac{v^2}{2g} \quad (2.13)$$

$$\xi_E = 0,8$$

$$\underline{h_E = 0,3456 \text{ m}}$$

**PERDIDAS EN LOS CODOS [ h<sub>K</sub>]**

$$h_K = \xi_k * \frac{v^2}{2g} \quad (2.14)$$

$$\xi_k = k_1 + k_2 + \dots + k_{10}$$

$$\xi_k = (0,684) + (0,044) + (0,062) + (0,32) + (0,165) + 5(0,014)$$

$$\xi_k = 1,345$$

$$h_K = 1,345 * 0,432$$

$$\underline{h_K = 0,581 \text{ m}}$$

**PERDIDA EN LA VALVULA [h<sub>v</sub>]**

$$h_v = \xi_v * \frac{v^2}{2g} \quad (2.15)$$

$$\xi_v = 0,1$$

$$\underline{h_v = 0,0432 \text{ m}}$$

Verificación del buen funcionamiento de la tubería de presión:

$$\Delta h > h_{r\ 1-2}$$

$$h_{r\ 1-2} = h_f + h_r + h_s + h_E + h_k + h_v \quad (2.16)$$

$$h_{r\ 1-2} = (6,88 + 6,68 + 0,78 + 0,3456 + 0,581 + 0,0432) \text{ m}$$

$$h_{r\ 1-2} = 15,3098 \text{ m}$$

$$\Delta h = 284,12 \text{ m}$$

$$\underline{\Delta h > 15,3098 \text{ m}}$$

A continuación se muestra una tabla de resumen para los diferentes espesores de la tubería y el cálculo de sus respectivos parámetros:

**Tabla 2.20:** CÁLCULOS PARA 30 AÑOS DE FUNCIONAMIENTO DE LA TUBERÍA DE PRESIÓN.

<b>TIEMPO 30 AÑOS</b>			
<b><math>\alpha = 0,0002213</math> m/ año</b>			
<b><math>\varepsilon = 6,689</math></b>			
<b>ESPESOR (mm)</b>	<b>8</b>	<b>12</b>	<b>14</b>
<b>D (m)</b>	0,746	0,738	0,734
<b>V (m/s)</b>	2,91	2,97	3
<b>Re</b>	2170860	2191860	2202000
$\lambda$	0,018	0,01896	0,0192
<b>hf (m)</b>	6,88	7,63	7,93
<b>hs (m)</b>	6,68	7,35	7,43
<b>hr (m)</b>	0,78	0,81	0,83
<b>he (m)</b>	0,3456	0,36	0,37
<b>hk (m)</b>	0,581	0,605	0,62
<b>hv (m)</b>	0,0432	0,045	0,0459
<b>hr 1-2 (m)</b>	15,3098	16,8	17,2259
<b><math>\Delta H</math> (m)</b>	284,12	284,12	284,12

**Tabla 2.21:** CÁLCULOS PARA 35 AÑOS DE FUNCIONAMIENTO DE LA TUBERÍA DE PRESIÓN

<b>TIEMPO 35 AÑOS</b>			
<b><math>\alpha = 0,0002213</math> m/ año</b>			
<b><math>\varepsilon = 7,7955</math></b>			
<b>ESPESOR (mm)</b>	<b>8 mm</b>	<b>12mm</b>	<b>14mm</b>
<b>D (m)</b>	0,746	0,738	0,734
<b>V (m/s)</b>	2,91	2,97	3
<b>Re</b>	2170860	2191860	2202000
$\lambda$	0,05	0,051	0,054
<b>hf (m)</b>	19,12	20,53	22,3
<b>hs (m)</b>	6,68	7,35	7,43
<b>hr (m)</b>	0,78	0,81	0,83
<b>he (m)</b>	0,3456	0,36	0,37
<b>hk (m)</b>	0,581	0,605	0,62
<b>hv (m)</b>	0,0432	0,045	0,0459
<b>hr 1-2 (m)</b>	27,5498	29,7	31,5959
<b><math>\Delta H</math> (m)</b>	284,12	284,12	284,12

**Tabla 2.22: ESPESOR RESTANTE EN LA TUBERÍA CON DIFERENCIA DE PRESIÓN**

<b>ESPESOR INICIAL</b>	<b>ALTURA</b>	<b>PRESION FINAL</b>	<b>ESPESOR ACTUAL MAXIMO</b>	<b>ESPESOR ACTUAL MINIMO</b>	<b>ESPESOR DE RETIRO FINAL SA= 16 600 Psi</b>	<b>ESPESOR DE RETIRO FINAL SA= 15 200 Psi</b>	<b>ESPESOR RESTANTE PARA SA= 16 600 Psi</b>	<b>ESPESOR RESTANTE PARA SA= 15 200 Psi</b>
<b>(mm)</b>	<b>(m)</b>	<b>(Psi)</b>	<b>(mm)</b>	<b>(mm)</b>	<b>(mm)</b>	<b>(mm)</b>	<b>(mm)</b>	<b>(mm)</b>
8	13,6	24,045	6,14	5,41	0,55	0,60	<b>4,86</b>	<b>4,81</b>
	46,25	69,4	6,22	5,92	1,59	1,74	<b>4,33</b>	<b>4,18</b>
	74,96	108,071	5,74	4,68	2,47	2,70	<b>2,21</b>	<b>1,98</b>
12	95,84	135,34	10,16	8,48	3,10	3,38	<b>5,38</b>	<b>5,10</b>
	114,4	159,73	9,67	9,21	3,65	3,99	<b>5,56</b>	<b>5,22</b>
	137,56	190,57	9,21	8,32	4,35	4,75	<b>3,97</b>	<b>3,57</b>
	170,01	234,44	9,54	8,45	5,35	5,84	<b>3,10</b>	<b>2,61</b>
	200,03	274,9	9,44	9,02	6,27	6,84	<b>2,75</b>	<b>2,18</b>
14	232,01	318,14	13,65	11,92	7,25	7,91	<b>4,67</b>	<b>4,01</b>
	241,03	329,12	13,82	11,39	7,49	8,18	<b>3,90</b>	<b>3,21</b>
	263,02	358,33	12,7	11,90	8,15	8,90	<b>3,75</b>	<b>3,00</b>
	271,02	367,9	13,19	12,07	8,37	9,13	<b>3,70</b>	<b>2,94</b>
	274,01	370,45	12,81	11,54	8,43	9,20	<b>3,11</b>	<b>2,34</b>
	284,12	384,67	13,52	12,44	8,75	9,55	<b>3,69</b>	<b>2,89</b>
12	284,12	384,67	9,95	8,90	7,00	7,64	<b>1,90</b>	<b>1,26</b>

**Tabla 2.23: ANÁLISIS DE ESPESOR RESTANTE EN LA TUBERÍA DE PRESIÓN**

<b>ESPESO R INICIAL</b>	<b>ALTURA</b>	<b>PRESIO N FINAL</b>	<b>ESPESOR ACTUAL MAXIMO</b>	<b>ESPESOR ACTUAL MINIMO</b>	<b>ESPESOR DE RETIRO FINAL SA= 15 200 Psi</b>	<b>ESPESOR RESTANTE PARA SA= 15 200 Psi</b>	<b>PERDIDA DE ESPESOR ACTUAL</b>
<b>(mm)</b>	<b>(m)</b>	<b>(Psi)</b>	<b>(mm)</b>	<b>(mm)</b>	<b>(mm)</b>	<b>(mm)</b>	<b>(mm)</b>
8	13,6	24,045	6,14	5,41	0,60	4,81	2,59
	46,25	69,4	6,22	5,92	1,74	4,18	2,08
	74,96	108,071	5,74	4,68	2,70	1,98	3,32
12	95,84	135,34	10,16	8,48	3,38	5,10	3,52
	114,4	159,73	9,67	9,21	3,99	5,22	2,79
	137,56	190,57	9,21	8,32	4,75	3,57	3,68
	170,01	234,44	9,54	8,45	5,84	2,61	3,55
	200,03	274,9	9,44	9,02	6,84	2,18	2,98
14	232,01	318,14	13,65	11,92	7,91	4,01	2,08
	241,03	329,12	13,82	11,39	8,18	3,21	2,61
	263,02	358,33	12,7	11,90	8,90	3,00	2,1
	271,02	367,9	13,19	12,07	9,13	2,94	1,93
	274,01	370,45	12,81	11,54	9,20	2,34	2,46
	284,12	384,67	13,52	12,44	9,55	2,89	1,56
12	284,12	384,67	9,95	8,90	7,64	1,26	3,1

- En el tramo de 8 mm de espesor se obtuvieron 3 puntos de revisión, con espesores residuales variables debido a la diferencia de presión; en los dos primeros puntos se obtuvo espesores residuales de 4,81 mm y 4,18 mm respectivamente, mientras que en el tercer se obtuvo un espesor residual de 1,98 mm, por lo cual es necesario proceder a un cambio de tubería en dicho tramo en un tiempo no mayor a los 10 años tomando en cuenta que se desconoce el estado real interno y conociendo que la tubería ha estado trabajando aproximadamente 21 años desde la fecha de su instalación, su desgaste ha sido de 3,32 mm, se recomienda realizar un monitoreo en un lapso de 5 años.

- En el tramo de 12 mm de espesor inicial se obtuvo 5 puntos de revisión de los cuales se calculo el espesor de retiro de acuerdo al Código ASME VII División (Recipientes de presión) y la diferencia con el espesor actual mínimo dio como resultado espesores residuales de 5,10 mm; 5,22 mm; 3,57mm.

En los posteriores se obtuvieron espesores residuales de 2,61mm, 2,68mm, los cuales señalan que en el lapso de 21 años de trabajo se han corroído 3,55 y 2,98 mm respectivamente lo cual muestra que de cinco puntos analizados dos puntos tienen mayor grado de corrosión debido a presión de trabajo que se encuentran, se recomienda proceder a un cambio de tubería en ese tramo en un lapso de 10 años.

- En el tramo correspondiente a un espesor inicial de 14 mm se obtuvieron 6 puntos de revisión de los cuales los tres primeros puntos son de 4,01mm; 3,21 mm; 3,00 mm y con una pérdida de espesor hasta la actualidad de 2,08 mm; 2,61 mm; 2,1 mm; respectivamente mientras que en los tres siguientes puntos de análisis se obtuvo espesores residuales de 2,94mm; 2,34mm; 2,89 mm; con una pérdida de espesor respectivamente de 1,93 mm; 2,46 mm; 1,56 mm, con lo cual se recomienda realizar un cambio de tubería en este tramo el último punto trabaja a presión máxima 384,67 Psi

- En el by-pass con un espesor inicial de 12 mm de acuerdo con los datos el máximo espesor encontrado que fue de 9,95mm este es el punto más crítico pues presenta un espesor residual de 1,26 mm y trabaja a la presión máxima que es de 384,67 Psi, hasta la actualidad ha sufrido una pérdida de espesor de 3,1 mm en un lapso de 21 años de trabajo aproximadamente es recomendable realizar un monitoreo en un lapso de 3 años para verificar el estado corrosivo del mismo pues se desconoce el espesor inicial y luego de esto proceder al cambio de tubería en el by pass en un lapso no menor a los 5 años tomando en cuenta los últimos resultados que se obtengan en una nueva inspección de medición de espesor.

## 2.8 Análisis de Agua

Los datos obtenidos son resultados de la muestra de un litro de agua tomados del tanque de presión y del agua turbinada de la Central Hidroeléctrica Río Blanco facilitados por la Empresa Eléctrica Riobamba S.A.

**Tabla 2.24: COORDENADAS DEL M1 Y DE LA M2**

SITIO DE MUESTRA	CODIGO	COORDENADAS	
		E	N
Tanque de Presión Central Río Blanco	M1	17761162	9814194
Agua turbinada Central Río Blanco	M2	17773969	9816634

Tabla 2.25: ANÁLISIS DE AGUA

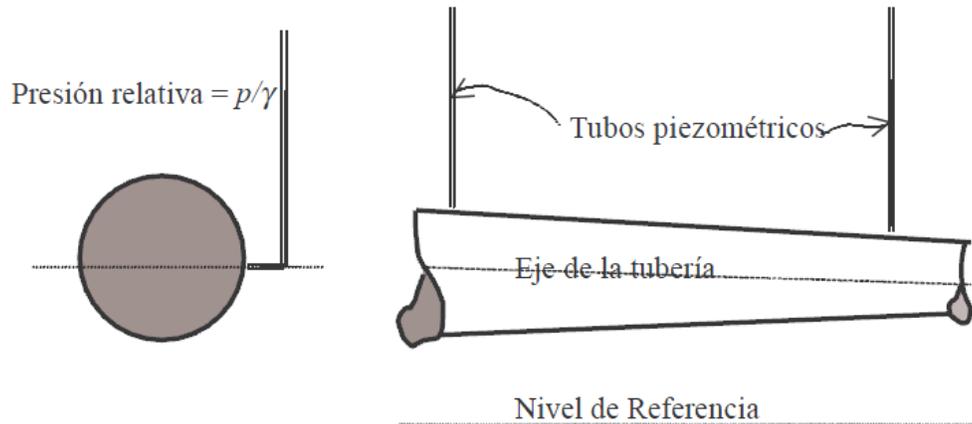
Nº	Parámetros de análisis	UNIDADES	Lim Max descarga a un cuerpo agua dulce	Tanque de Presión Central Río Blanco	Agua turbinada Central Río Blanco
1	Aceite y grasas *	mg/L	0,3	<0,2	<0,2
2	Aluminio *	mg/L	5,00	<0,1	0,01
3	Arsénico *	mg/L	0,10	<0,001	<0,001
4	Bario *	mg/L	NO INDICA	<1	8,1
5	Boro*	mg/L	2	<0,1	<0,1
6	Cadmio *	mg/L	0,02	<0,0125	<0,0125
7	Cloro Activo *	mg/L	0,5	<0,01	<0,01
8	Cloruros*	mg/L	1000	<0,1	22,1
9	Cobalto*	mg/L	0,5	<0,01	<0,01
10	Cobre *	mg/L	1,00	<0,01	<0,01
11	Coliformes fecales *	NMP	3000	AUSENCIA	30
12	Coliformes Totales*	NMP	NO INDICA	<3	43
13	Compuestos Fenólicos *	mg/L	0,2	<0,002	<0,002
14	Conductividad Eléctrica	µS/cm	NO INDICA	0	139
15	Cromo hexavalente *	mg/L	0,50	<0,01	<0,01
16	DBO(5días)*	mg/L	100	<5	14,4
17	DQO	mg/L	250	<10	153,028
18	Fósforo Total *	mg/L	10	<0,01	2,8
19	Hidrocarburos totales *	mg/L	20	<5	<5
20	Hierro*	mg/L	10	0	<0,01
21	Manganeso*	mg/L	2	<0,1	<0,1
22	Mercurio Total*	mg/L	0,005	<0,001	<0,001
23	pH		5-9	0	7,91
24	Plata*	mg/L	0,1	<0,1	<0,1
25	Plomo *	mg/L	0,20	<0,05	<0,05
26	Sólidos suspendidos totales *	mg/L	92	<0,1	3
27	Sólidos totales sedimentables *	mL/L	1	<0,5	<0,5
28	Sulfatos *	mg/L	1000	< 1	6

<b>29</b>	Sulfitos	mg/L	<b>2</b>	< 1	0,7
<b>30</b>	Sulfuro de Hidrógeno	mg/L	<b>NO INDICA</b>	<0,01	0,003
<b>31</b>	Temperatura (en el punto de descarga)*	°C	<b>&lt; 35</b>	0	15,2
<b>32</b>	Tensoactivos*	mg/L	<b>0,5</b>	<0,001	0,003
<b>33</b>	Vanadio*	mg/L	<b>5</b>	<1	<1
<b>34</b>	Zinc *	mg/L	<b>5,00</b>	<0,01	<0,01

### CAPÍTULO III

#### 3.- DISEÑO Y SELECCIÓN DE LA TUBERÍA DE PRESIÓN

La conducción del fluido se realiza por conductos cerrados sobre los que se ejerce una presión diferente a la atmosférica. Las fuerzas principales que intervienen son las de presión.



**Figura 3.1:** Conductos a presión.

La tubería de presión constituye en muchas veces, el rublo más caro del presupuesto total del proyecto hidroeléctrico. Es por tanto necesario optimizar el diseño minimizando el costo a lo largo de la vida útil del proyecto y el costo inicial de inversión; asegurando costos bajos en los trabajos de reparación y mantenimiento [1].

Los siguientes materiales son comúnmente usados para tuberías de presión para pequeñas centrales hidroeléctricas:

- Acero comercial.
- Poli cloruro de vinilo no sintético (PVC).
- Poli cloruro de alta densidad (HDPE).
- Poli cloruro de densidad media (MDPE).
- Hierro dúctil centrifugado.
- Asbesto – cemento.
- Concreto.
- Plástico reforzado con fibra de vidrio (GRP).

El uso de tuberías plásticas se recomienda cuando los diámetros son inferiores a 300 mm. Requieren protección a la acción de la radiación ultravioleta. [2].

### 3.1 Datos De Placa De La Turbina Peltón:



Figura 3.2: Datos de placa de la turbina Peltón

- **Altura bruta, neta**

$$H = 284,12 \text{ m}$$

- **Caudal de diseño**

$$Q = 2 \text{ m}^3/\text{s}$$

### Cálculo de la Presión Atmosférica vs Altitud

#### 3.3 Cálculo de la presión atmosférica

Se calcula la presión atmosférica en función de la siguiente ecuación en la superficie del líquido del tanque de presión que se encuentra a 3400 msnm para obtener la presión atmosférica a esa altitud.

[6]

$$Pa = \frac{1013.3}{e^{\left(\frac{x}{8430.15 - x * 0.09514}\right)}} * 99.931 \quad (3.1)$$

Donde: x [m]: altura sobre el nivel del mar (msnm).

$$x = 3400 \text{ msnm}$$

$$Pa = \frac{1013.3}{e^{\left(\frac{3400}{8430.15 - (3400) * 0.09514}\right)}} * 99.931$$

$$Pa = \frac{1013.3}{e^{(0.4194075153)}} * 99.931$$

$$Pa = \frac{1013.3}{e^{(0.4194075153)}} * 99.931$$

$$Pa = \frac{1013.3}{1.521} * 99.931$$

$$Pa = 66574.676$$

$Pa$  = presión atmosférica en pascales.

La presión que se tiene a los 3400 msnm o en el punto 1 de la figura 3.3 es de 66 574,676 Pascales lo que en Psi da:

Como:

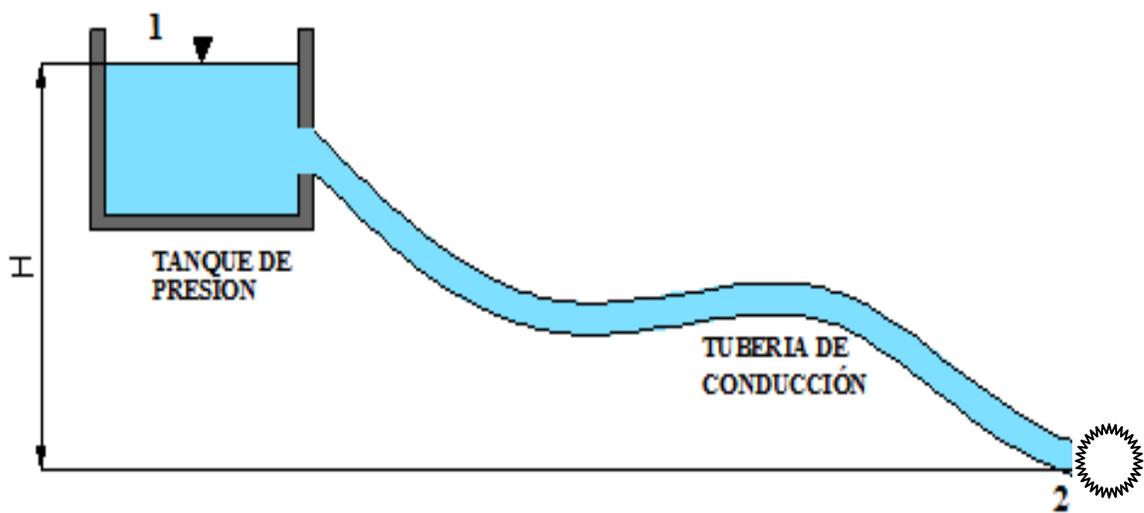
$$1\text{PSI}=6890\text{Pa}$$

$$P_1 = 66574.676 \text{ Pa} = 9.66 \text{ Psi}$$

$$\mathbf{P_1 = 9.66 \text{ Psi}}$$

$$P_1 = 6\,881,92 \text{ kg/m}^2$$

### BALANCE DE ENERGIA ( 1 - 2 )



**Figura 3.3:** Diagrama tubería de conducción.

$$E_1 - H_{r\,1-2} = E_2$$

(3.2)

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} - H_{r\ 1-2} = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g} \quad (3.3)$$

Ya que en el tanque de presión la presión 1 es la atmosférica, y en él la presión manométrica es cero. En el punto 2 que es el de descarga o donde ingresa a la turbina, se analiza la presión que ha de soportar la tubería. La diferencia de alturas es H, y la velocidad en el punto 1 es cero se considera que el nivel se mantiene constante. Es así que la ecuación se reduce a:

Como:  $\frac{V_1^2}{2g} = 0$

### 3.3 Presión de diseño

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 - H_{r\ 1-2} = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g}$$

$$\frac{P_1}{\gamma} + (Z_1 - Z_2) - \frac{V_2^2}{2g} - H_{r\ 1-2} = \frac{P_2}{\gamma}$$

$$\frac{P_2}{\gamma} = \frac{P_1}{\gamma} + (Z_1 - Z_2) - \frac{V_2^2}{2g} - H_{r\ 1-2}$$

$$(Z_1 - Z_2) = H_B$$

$$\frac{P_2}{\gamma} = \frac{P_1}{\gamma} + H_B - \frac{V_2^2}{2g} - H_{r\ 1-2}$$

$$\frac{P_2}{\gamma} = \frac{P_1}{\gamma} + H_B - \frac{V_2^2}{2g} - H_{r\ 1-2}$$

$$\frac{P_2}{\gamma} = \frac{6881,92 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2}}{1000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}} + 284,12 \text{ m} - \frac{V_2^2}{2g} - H_{r\ 1-2}$$

$$\frac{P_2}{\gamma} = \frac{6881,92 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2}}{1000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}} + 284,12 \text{ m} - \frac{(4,69^2)}{2(9,8)} \text{ m} - 18,6811 \text{ m}$$

$$\frac{P_2}{\gamma} = 6,88 + 284,12 - 1,12 - 18,68 \text{ [m]}$$

$$\frac{P_2}{\gamma} = 271,2 \text{ m}$$

$$P_2 = \gamma * (271,2) \text{ m}$$

$$P_2 = (1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}) * 271,2 \text{ m}$$

$$P_2 = 271200 \text{ kg/m}^2$$

$$\underline{P_2 = 380,68 \text{ Psi}}$$

### 3.10 Pérdidas Secundarias

El cálculo de las pérdidas secundarias se realiza mediante la siguiente ecuación:

$$H_{rs} = \sum k_m \frac{V^2}{2g} \quad (m) \quad (3.4)$$

Donde:

$k_m$ : Coeficiente de pérdidas por accesorios..

V: Velocidad del fluido.

g: Gravedad.

### 3.11 CÁLCULO DEL DIÁMETRO

#### Ecuación de Bondshú:

$$D = 1.27 * \frac{Q^{0.4268}}{(H_B + h_s)^{0.1423}} \quad (3.5)$$

Si:  $H_B + h_s = 1.3 * H_B$

$$D = 1.27 * \frac{Q^{0.4268}}{(1.3 * H_B)^{0.1423}}$$

Q = caudal de diseño [m<sup>3</sup>/s]

H<sub>B</sub> = altura de caída bruta [m]

$$D = 1.27 * \frac{2^{0.4268}}{[1.3 * (284,12)]^{0.1423}}$$

$$D = \frac{1,707}{2,319}$$

$$D = 0,7361 \text{ m}$$

$$D = 73,61 \text{ cm}$$

$$D = 73,61 \text{ cm}$$

$$D = 28,98 \text{ plg}$$

$$\underline{D = 29 \text{ plg}}$$

$$\underline{D = 736,6 \text{ mm}}$$

### 3.12 CÁLCULO DE LA VELOCIDAD

$$Q = A * V$$

Q = caudal de diseño [m<sup>3</sup>/s]

A = área del tubo [m<sup>2</sup>]

V = velocidad [m/s]

$$V = \frac{Q}{A} \quad (3.6)$$

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \quad (3.7)$$

$$V = \frac{4Q}{\pi D^2}$$

$$V = \frac{4(2)}{\pi(0,7366)^2}$$

$$V = \frac{8}{1,705}$$

$$\underline{V = 4,69 \text{ m/s}}$$

### 3.13 PÉRDIDA POR GOLPE DE ARIETE:

$$h_s = 0,15 \frac{L*V}{T} \quad (3.8)$$

$$h_s = 0,15 \frac{(660,14) * (4,69)}{40}$$

$$\underline{h_s = 11,61m}$$

### 3.14 PÉRDIDAS EN LA REJILLA [h<sub>r</sub>]

$$h_r = \xi_r * \frac{V^2}{2g} \quad (3.9)$$

$\xi_r$  = coeficiente de perdidas

$\xi_r = 1,8$  seleccionada para rejilla redonda [3].

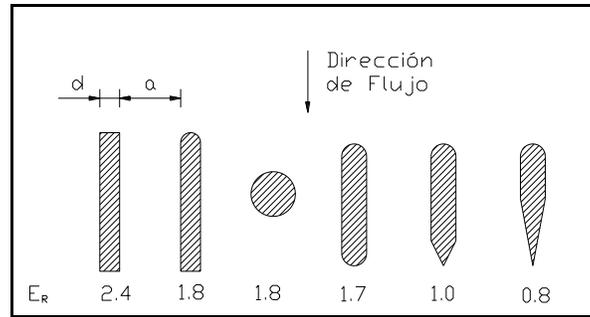


Figura 3.4: Coeficiente de pérdidas de fricción en la rejilla.

$$h_r = 1,8 \frac{(4,69)^2}{2 (9,8)}$$

$$\mathbf{h_r = 2,02 m}$$

### 3.15 PÉRDIDAS POR FRICCIÓN EN EL TUBO

$$h_f = \lambda \frac{L \cdot v^2}{D \cdot 2g} \quad [m] \quad (3.10)$$

$$Re = \frac{V \cdot D}{\nu} \quad (3.11)$$

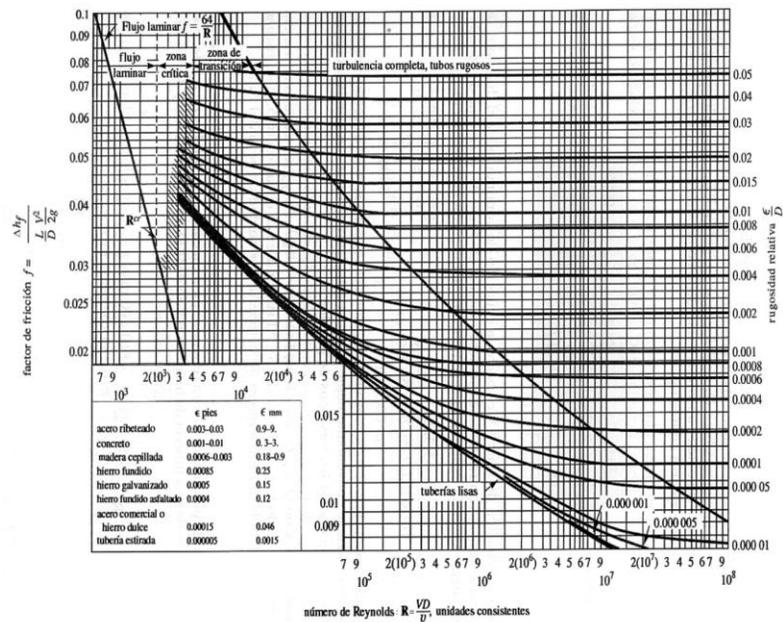


Figura 3.5: Diagrama De Moody

La viscosidad del agua es:  $1 \times 10^{-6}$

$$Re = \frac{(4,69)(0,7366)}{1,15 \times 10^{-6}}$$

$$Re = 3004046,957$$

La rugosidad de la tubería de acero comercial pintada nueva es

de ,  $\varepsilon = 0,046\text{mm}$ ; .[1] entonces

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0,046}{736,6} = 6,245 \times 10^{-5} \quad (3.12)$$

$$\lambda = 0,015$$

$$h_f = \lambda \frac{L \cdot v^2}{D \cdot 2g} \quad [\text{m}] \quad (3.13)$$

$$h_f = 0,015 \frac{660,14 \cdot (4,69)^2}{(0,7366) \cdot 2(9,8)}$$

$$\mathbf{h_f = 15.09 m}$$

Verificación del factor de rozamiento:

$$\lambda = 0,01 \left( \frac{K}{D} \right)^{0,134} \quad (3.14)$$

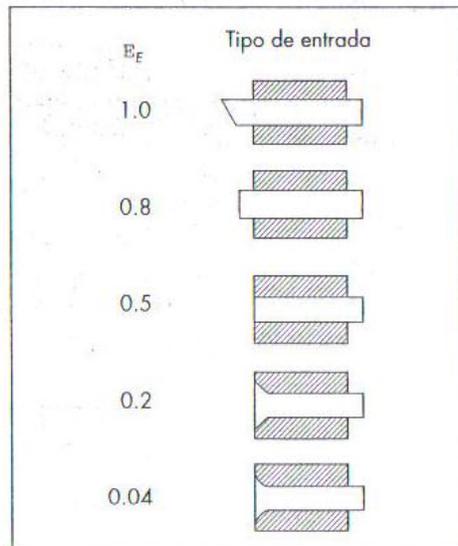
$$\lambda = 0,01 \left( \frac{15}{0,7366} \right)^{0,134}$$

$$\lambda = \mathbf{0,015}$$

### 3.16 PÉRDIDA A LA ENTRADA ( $h_E$ )

$$*h_E = \xi_e \frac{V^2}{2g} \quad (3.15)$$

$\xi_E$  = coeficiente de pérdidas en la entrada .



**Figura 3.6:** Coeficiente de pérdidas a la entrada de la tubería

$$\xi_E = 0,8 \quad [3] h_E = 0,8 * \frac{(4,69)^2}{2(9,8)}$$

$$\underline{h_E = 0,898 \text{ m}}$$

### 3.17 PÉRDIDAS EN LOS CODOS [ h\_K ]

$$h_K = \xi_k \frac{V^2}{2g} \quad (3.16)$$

$$\xi_k = k_1 + k_2 + k_3 + k_4 + k_5 \quad (3.17)$$

Codo 90° radio largo,  $k = 0,1$

$$\xi_k = (0,1) + (0,1) + (0,1) + (0,1) + (0,1)$$

$$\xi_k = 0.5$$

$$h_K = 0.5 * \frac{(4,69)^2}{2(9,8)}$$

$$\underline{h_K = 0,5611 \text{ m}}$$

### 3.18 Pérdida En La Válvula [h\_v]

$$h_v = \xi_v * \frac{V^2}{2g} \quad (3.18)$$

$$\xi_v = 0,1$$

**Tabla 3.1:** COEFICIENTES SEGÚN EL TIPO DE VÁLVULA [3].

TIPOS DE VÁLVULA	$E_v$
Válvula mariposa	0.2 - 0.4
Válvula esférica	0.1
Válvula anular	1.2 - 2.5

$$h_v = 0,1 * \frac{4,69^2}{2(9,8)}$$

$$\underline{h_v = 0,112 \text{ m}}$$

### 3.19 PÉRDIDAS SECUNDARIAS:

$$H_{r_{1-2}} = h_r + h_f + h_E + h_K + h_v \quad (3.19)$$

$$H_{r_{1-2}} = 2,02 + 15,09 + 0,898 + 0,5611 + 0,112 \text{ [m]}$$

$$\underline{H_{r_{1-2}} = 18,6811 \text{ m}}$$

### 3.20 Potencia disponible

$$P = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H \cdot \eta}{\kappa} \text{ [KW]} \quad (3.20)$$

$$P = \frac{(1000 \text{ kg/m}^3) \cdot (9,8 \text{ m/s}^2) \cdot (2 \text{ m}^3/\text{s}) \cdot (284,12 \text{ m}) \cdot (0,91)}{1000 \text{ W/kW}}$$

$$\underline{P = 5067,56 \text{ [KW]}}$$

### 3.21 Material de la Tubería

La selección del material de la tubería de presión se hace en consideración a la presión de diseño que va a soportar, el tipo de unión que va a tener la tubería, el diámetro y las pérdidas debidas a la fricción, el peso y el grado de dificultad de instalación, la accesibilidad al sitio, el terreno y tipo de suelo, el mantenimiento y vida esperada de la instalación, las condiciones climáticas, la disponibilidad y el costo relativo de la tubería de presión, por lo cual se opta por tubería de acero unido mediante soldadura. Se prefiere este material frente a otro como tubería de acero fundido (centrifugado) ya que la desventaja que tendría ante este es la poca resistencia al agua, además la ventaja de que la tubería de acero es menos costosa, lo que resulta muy conveniente en grandes longitudes de tubería [1].

**Tabla 3.2:** PROPIEDADES FÍSICAS DE MATERIALES PARA TUBERÍAS.

Material	Esfuerzo de Ruptura (MN/m <sup>2</sup> )
Acero	350
PVC	58
Polietileno	5.9 – 8.8
Hierro dúctil	310 - 520

**Tabla 3.3:** PROPIEDADES FÍSICAS DE TUBERÍA CON NORMA API 5L.

Especificación	Composición química % en peso (máximo)								Límite elástico KSI mín.	Última tensión KSI mín.	% de elong. en 2" mín.	Rango de dimensión
	C	Mn	P	S	Si	Cb	V	Mo				
API 5L-B	0.20	1.15	0.035	0.035	0.35	-	-	-	35	60	35	1
API 5L X-42	0.16	1.20	0.025	0.020	0.35	-	-	-	42	61	35	1
API 5L X-46	0.16	1.20	0.025	0.020	0.35	0.050	0.06	-	46	63	35	2
API 5L X-52	0.15	1.35	0.025	0.020	0.35	0.050	0.06	-	52	66	33	3
API 5L X-56	0.15	1.35	0.025	0.020	0.35	0.050	0.06	-	56	68	33	3
API 5L X-60	0.15	1.50	0.025	0.020	0.35	0.050	0.06	-	60	76	32	3
API 5L X-65	0.15	1.60	0.025	0.020	0.35	0.050	0.06	-	65	78	32	3
API 5L X-70	0.15	1.60	0.025	0.020	0.35	0.050	0.06	-	70	83	30	3
API X-52-GA (1)	0.10	1.05	0.025	0.005	0.35	0.050	0.06	-	52 - 68	66 - 80	35	3
API X-60-GA (1)	0.10	1.05	0.025	0.005	0.35	0.050	0.06	-	60 - 75	75	32	3
API X-65-GA (1)	0.10	1.40	0.025	0.005	0.35	0.050	0.06	0.2	68 - 80	80 - 92	30	3

### 3.22 Espesor de la Tubería

El espesor de la tubería de presión se determina con la siguiente ecuación: [2]

$$e = \frac{5 \times f_s \times h_t \times 10^6 \times D \times k_j}{S} + k_c \quad (3.21)$$

Donde:

$f_s$ : factor de seguridad. Debe ser mayor o igual a 3.  $f_s = 3$

$k_j$ : factor del tipo de junta.  $k_j = 1$ , factor de junta soldada.

$h_t$ : Caída total máxima considerando el golpe de ariete (m)

$k_c$ : factor de corrosión (mm).  $k_c = 3$  mm, por 30 años de vida

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

$S$ : esfuerzo de rotura del material N/m<sup>2</sup>. De la Tabla 4.29  $S_{\text{acero}} = 350$  MN/m<sup>2</sup>. (valor que es menor al que da el catálogo de última tensión) [3].

El término  $h_t$  es igual a la suma de altura debido a la caída bruta y la sobrepresión ejercida por el golpe de ariete. Un aproximado del valor del golpe de ariete es 0.3 de la caída bruta, es decir:

$$\begin{aligned} h_t &= h_B + 0.3 h_B \\ h_t &= 1.3 h_B \end{aligned} \quad (3.22)$$

Donde:

$h_B$ : Caída bruta.  $h_B = 284,12$  m

$$h_t = 369,36 \text{ m}$$

Reemplazando en la ecuación 4.91:

$$\begin{aligned} e &= \frac{5 \times 3 \times 369,36 \times 10^6 \times 0.7366 \times 1}{350000000} + 3 \\ e &= 14,66 \text{ mm} \\ e &= 1,466 \text{ cm} \\ e &= 0,57 \text{ plg} \\ \mathbf{e} &= \mathbf{9/16 \text{ plg}} \end{aligned}$$

La tubería seleccionada tiene un espesor de 14,66 mm, superior al espesor necesario para soportar la presión de trabajo.

### 3.23 Diámetro exterior tubería de presión (d):

El diámetro exterior de la tubería de presión esta dado por la siguiente ecuación:

$$d = D + 2e \quad (3.23)$$

Donde:

D= diámetro interno de la tubería [plg]

e = espesor de la tubería [plg]

$$\mathbf{d} = 29 + 2 (0,57) \text{ [plg]}$$

$$\mathbf{d} = 29 + 1,14 \text{ [plg]}$$

$$d = 30.14 \text{ plg}$$

$$\mathbf{d} = \mathbf{31 \text{ plg}}$$

## CAPÍTULO IV

### 4. COMPONENTES DE ENSAMBLE DE LA TUBERÍA DE PRESIÓN

#### 4.1 Tanque de presión:

Es un tanque en el cual la velocidad superficial del agua es cero, su principal función es evitar que ingresen burbujas de aire en la tubería de presión y reducir el ingreso de elementos extraños a la tubería, y amortiguar el golpe de ariete.



**Figura 4.1:** Tanque de Presión Central Hidroeléctrica Río Blanco

Para su dimensionamiento se requiere la siguiente información:

$Q$  = caudal de diseño ( $m^3/s$ ),

$H_c$  = altura o salto bruto de la central hidroeléctrica. (m),

$D$  = diámetro interno de la tubería (m) y

$L$  = longitud de la tubería de presión. (m).

Por tanto como el tanque de presión fue construido al igual que todo su sistemas para un caudal promedio de  $2 m^3 /s$ , no se diseñara porque el tanque ya está construido como se muestra en la figura 4.1 y este seguirá en funcionamiento al encontrarse en buen estado.

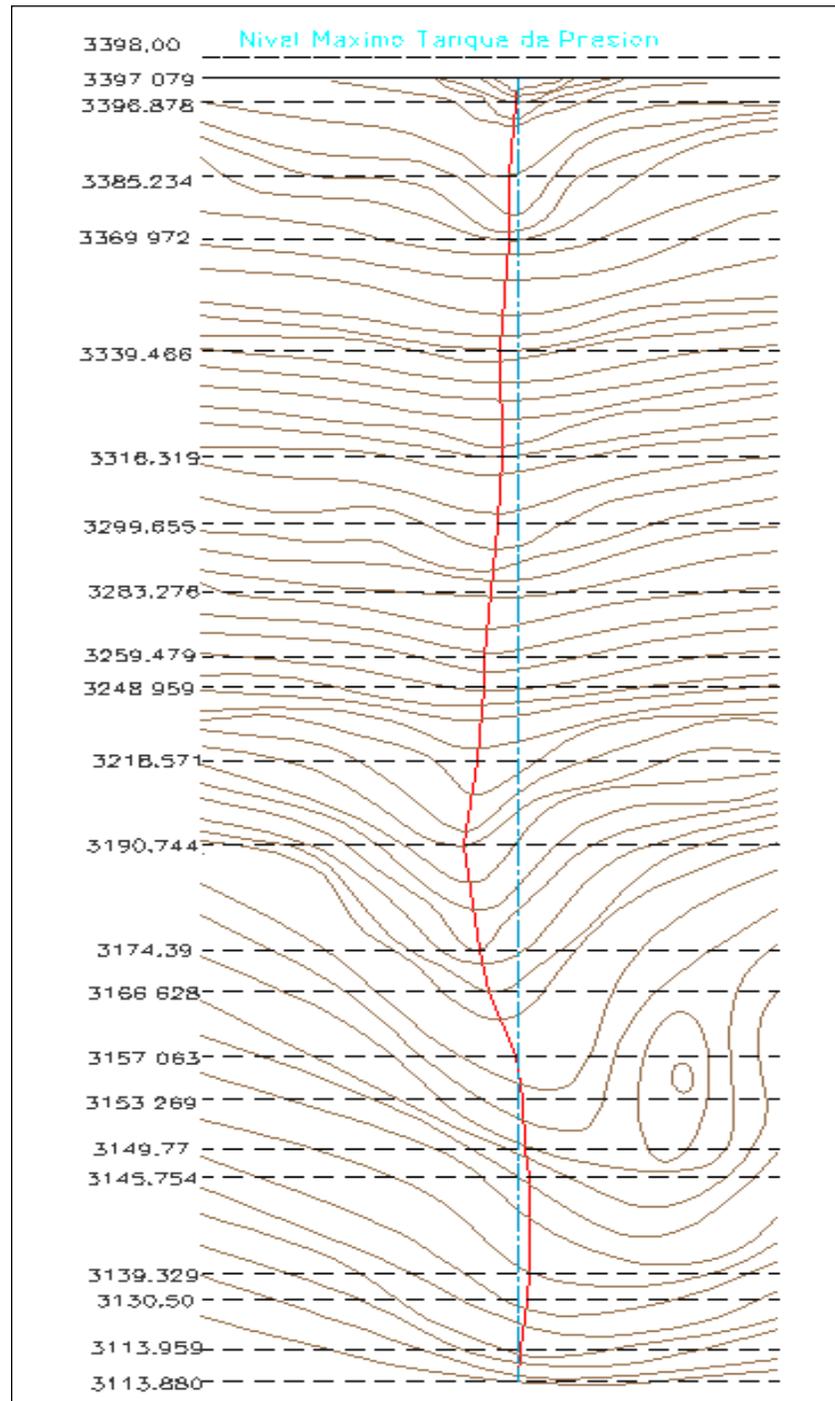
Para realizar el diseño de apoyos y anclajes para la tubería de presión expuesta se realizo el levantamiento topográfico, con lo que se obtuvo el perfil de la tubería y los ángulos respectivos en el cambio de dirección.

**Tabla 4.1:** Coordenadas geográficas tubería de presión

UBICACIÓN		ALTITUD
9816927,86	774403,381	3398,00
9816934,09	774402,288	3397,079
9816927,86	774393,751	3396,878
9816908,87	774366,549	3385,234
9816891,35	774344,31	3369,972
9816862,84	774303,884	3339,466
9816833,23	774267,789	3316,319
9816815,85	774244,203	3299,655
9816798,78	774219,054	3283,276
9816782,28	774195,058	3259,479
9816774,34	774184,586	3248,959
9816755,34	774157,589	3218,571
9816735,09	774125,709	3190,744
9816702,03	774092,749	3174,39
9816689,00	774080,006	3166,628
9816664,01	774062,431	3157,063
9816650,66	774049,163	3153,269
9816636,44	774032,663	3149,77
9816627,52	774024,068	3145,754
9816600,81	773990,154	3139,329
9816593,64	773980,591	3130,500
9816581,41	773962,292	3113,880
9816573,35	773950,666	3113,959

## 4.2

## LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

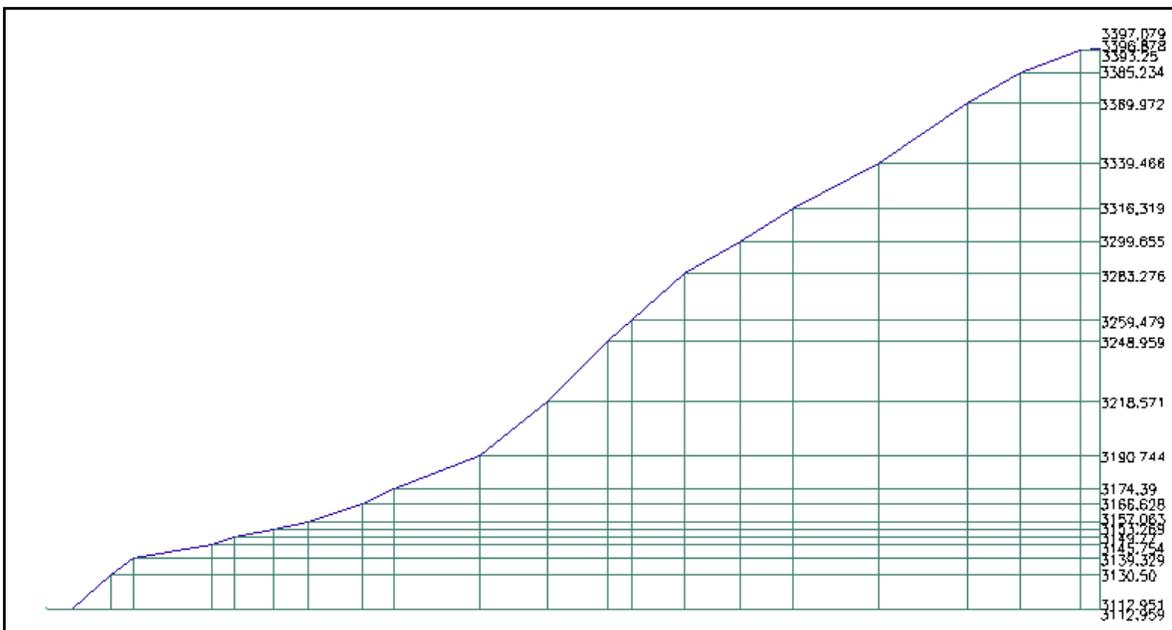


**Figura 4.2:** Levantamiento topográfico curvas de nivel

Con los datos obtenidos de coordenadas se grafica las curvas de nivel y se obtiene el perfil de la tubería de presión respectivamente como se puede observar en anexos,

Las curvas de nivel tienen una serie de propiedades que conviene tener en cuenta a la hora de interpretarlas [3].

- Dos curvas de nivel nunca pueden cruzarse entre sí.
- Una curva de nivel nunca puede dividirse en dos ó más curvas.
- Dos ó más curvas pueden unirse en una sola solamente en pendientes verticales (90°).
- El terreno entre dos curvas de nivel se considera con pendiente uniforme.
- Cuando las curvas de nivel de menor altura envuelven a las de mayor altura tendremos la representación de un saliente en el relieve, caso contrario cuando las curvas de nivel de mayor altura envuelvan a las de menor altura se tendrá la representación de un entrante en el mismo.
- **Perfil Transversal**



**Figura 4.3:** Perfil transversal tubería de presión Central Hidroeléctrica Rio Blanco

#### 4.3 Tubería de Presión:

Es la que conduce el agua desde el tanque de presión hasta la turbina, la cual deberá estar apoyada en anclajes que le ayudan a soportar la presión a la cual estará sometida y los dilataciones térmicas de la misma.

La tubería de presión se recomienda que sea lo más recta posible, aunque siempre se debe ajustar a las condiciones topográficas de la central. [1]

La tubería de presión está compuesta por los siguientes elementos:

- Toma de agua la cual debe tener una rejilla.
- Codos para la variación de la pendiente.
- Juntas de unión.
- Juntas de expansión ubicadas entre los anclajes las cuales deben asimilar la expansión o contracción de esta.
- 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 la tubería.

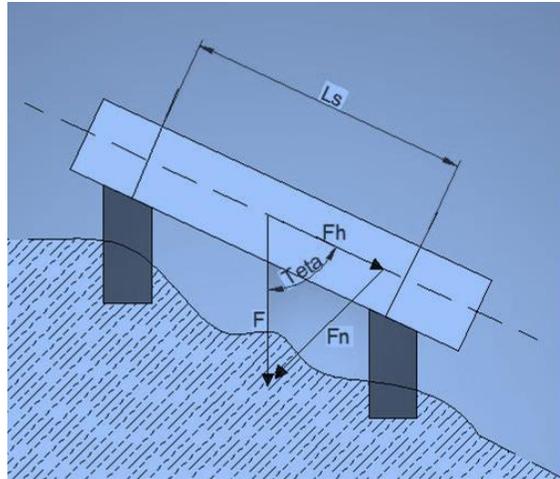
Para el dimensionamiento de la tubería se deben tener en cuenta los siguientes parámetros.

- El diámetro se selecciona de acuerdo al análisis técnico-económico que permita determinar el diámetro que cause menores pérdidas y el menor costo.
- El espesor se determina de acuerdo a los esfuerzos generados por el golpe de ariete, el peso del agua y la tubería.
- El material de construcción de la tubería para seleccionar la de mayor resistencia mecánica a los esfuerzos mecánicos.

Uno de los mayores costos en una pequeña central hidroeléctrica es el de la tubería por lo que se debe optimizar el diseño para reducir costos y escoger los mejores materiales y su espesor lo cual reducirá el número de anclajes.

#### **4.4 Tensiones en la Tubería de Presión**

La tubería de presión apoyada sobre estructuras de concreto tiene gran importancia en relación entre el espesor de la tubería y la distancia entre bloques  $L_s$ , decisión que se toma con base de criterios técnico-económicos como se muestra en la siguiente figura [1].



**Figura 4.4:** Tensiones en la tubería

- **Tensiones Tangencial Ejercida por el Golpe de Ariete**

$$\delta_{ta} = \frac{Ps \times D}{2e} \quad (4.1)$$

Donde:

$Ps$ : Presión debido a la columna de agua y la sobrepresión del golpe de ariete ( $\text{Kgf/cm}^2$ ).

$e$ : Espesor de la tubería (m).

$D$ : Diámetro interno de la tubería (m).

$$Ps = \delta g h_t + P_{atm} \quad (4.2)$$

Donde:

$\delta$ : Densidad del agua ( $\text{Kg/m}^3$ ).  $\delta = 1000 \text{ Kg/m}^3$

$g$ : Gravedad.  $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ .

$h_t$ : altura total (caída bruta y sobrepresión por golpe de ariete) (m).

La presión atmosférica en la superficie del líquido del tanque de presión se encuentra a 3398 msnm, la presión atmosférica a esa altitud fue calculada en el capítulo anterior con la ecuación 3.1, lo que dio como resultado:

$$P_{atm} = \frac{1013.3}{e^{\left(\frac{x}{8430.15 - x * 0.09514}\right)}} * 99.931$$

$$P_{atm} = 66574.676 \text{ Pa}$$

$$P_{atm} = 9.66 \text{ Psi}$$

$$P_{atm} = 6881.92 \text{ kg/m}^2$$

Reemplazando los valores obtenidos en la ecuación 4.2:

$$P_s = 1000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \times 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times h_t \text{m} + P_{atm} \text{Pa}$$

$$P_s = 1000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \times 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 369.356 \text{m} + 66574.676 \text{Pa}$$

$$P_s = 3686263,476 \text{ Pa} = 38.11 \text{ Kgf/cm}^2$$

Luego sustituyendo estos valores en la ecuación 4.1:

$$\delta_{ta} = \frac{38.11 \frac{\text{Kgf}}{\text{cm}^2} \times 0.7366 \text{ m}}{2 \times 0.01466 \text{ m}}$$

$$\delta_{ta} = 625,765 \text{ Kgf/cm}^2$$

- **Tensión Longitudinal por Variación de Temperatura**

$$\delta_{te} = E * \alpha * \Delta t \quad (4.3)$$

Donde:

E : Módulo de Elasticidad del material. (Kgf/cm<sup>2</sup>)

$\alpha$  : Coeficiente de dilatación térmica del material (1/°C)

$\Delta t$  : Variación de la temperatura (°C)

Las juntas de dilatación se pueden encargar de absorber este esfuerzo, las cuales estarían instaladas en cada tramo de tubería por lo que la tensión longitudinal por variación de temperatura sería cero. [2]

- **Tensión Longitudinal por Presión Hidrostática**

$$\delta_{tl} = 0.25 \frac{P_s \times D^2}{e(e + D)} \quad (4.4)$$

Donde:

$P_s$ : Presión debido a la columna de agua y la sobrepresión del golpe de ariete (Kgf/cm<sup>2</sup>).

$e$ : Espesor de la tubería (m) .

$D$ : Diámetro interno de la tubería (m).

Reemplazando los valores la tensión es:

$$\delta_{tl} = 0.25 \frac{38,11 \frac{\text{Kgf}}{\text{cm}^2} \times (0.7366 \text{ m})^2}{0.01466 \text{ m}(0.00.01466 + 0.7366) \text{m}}$$

$$\delta_{tl} = 303,64 \text{ Kgf/cm}^2$$

- **Tensión por Flexión entre Apoyos**

$$\delta_f = \frac{Mf_{\max}}{W} \quad (4.5)$$

Donde el momento flector máximo es igual a:

$$Mf_{\max} = F(Ls^2 / 8) \sin \theta \quad (4.6)$$

Donde:

$F$ : Peso del agua y de la tubería (Kgf/m)

$Ls$ : Distancia entre apoyos (m).

$\theta$ : Angulo entre la tubería y la vertical.

El momento flector máximo tendrá un valor diferente en cada tramo de la tubería de presión, debido que el ángulo  $\theta$  varía para cada caso.

El peso del agua y la tubería es igual a:

$$F = \gamma_t \times \pi \times \frac{De^2 - D^2}{4} + \gamma \times \pi \frac{D^2}{4}$$

$$F = \gamma_t \times \pi \times e \times (D + e) + \gamma \times \pi \frac{D^2}{4} \quad (4.7)$$

Donde

$\gamma_t$ : Peso específico de la tubería (Kgf/m<sup>3</sup>). Para el acero  $\gamma_t = 7850$  Kgf/m<sup>3</sup>

$\gamma$ : Peso específico del agua (Kgf/m<sup>3</sup>). Para agua es  $\gamma = 1000$  Kgf/m<sup>3</sup>

$De$ : Diámetro exterior de la tubería

Po tanto el peso del agua y la tubería es:

$$F = 7850 \frac{\text{Kgf}}{\text{m}^3} \times \pi \times 0.01466 \text{ m} \times (0.7366 + 0.01466) \text{ m} + 1000 \frac{\text{Kgf}}{\text{m}^3} \times \pi \frac{(0.7366 \text{ m})^2}{4}$$

$$F = 419,86 \frac{\text{Kgf}}{\text{m}^2} + 426,14 \frac{\text{Kgf}}{\text{m}^2}$$

$$F = 846 \text{ Kgf/m}$$

Se halla la longitud entre apoyos con la siguiente expresión:

$$Ls = 182,61 * \sqrt[3]{\frac{(D+2e)^4 - D^4}{F}} \quad (4.8)$$

$$Ls = 182,61 * \sqrt[3]{\frac{(0,7366 + 2(0.01466))^4 - 0,7366^4}{846}}$$

$$\underline{\underline{Ls = 8,28 \text{ m}}}$$

Lo cual dice, que se deberá colocar los apoyos cada 8 metros de separación, se realizara los cálculos con 6 metros y posteriormente se adjunta en tablas los cálculos para diferentes distancias de separación de apoyos.

De la ecuación 4.6 se encuentra el momento flector máximo, considerando un tramo de tubería en el que el ángulo  $\theta = 71^\circ$ .

$$Mf_{\max} = 846 \frac{\text{Kgf}}{\text{m}} \times \frac{(6 \text{ m})^2}{8} \sin 71^\circ$$

$$Mf_{\max} = 3599,59 \text{ Kgf} \cdot \text{m}$$

El momento de resistencia W es igual:

$$W = \frac{I}{Y} \quad (4.9)$$

Donde:

I: Momento de Inercia de la sección de la tubería.

Y: Distancia desde el punto a de apoyo hasta el eje neutro.

El momento de inercia para la sección de la tubería está dado por la siguiente ecuación:

$$I = \frac{\pi}{64} (De^4 - D^4) \quad (4.10)$$

La distancia Y es:

$$Y = \frac{De}{2} \quad (4.11)$$

Reemplazando en la ecuación 4.9, se tiene que el momento W es igual a:

$$W = \frac{\frac{\pi}{64} (De^4 - D^4)}{\frac{De}{2}}$$

$$W = \frac{\pi}{32} \frac{((D + 2e)^4 - D^4)}{D + 2e} \quad (4.12)$$

$$W = \frac{\pi}{32} \frac{((0.7366 + 2 \times 0,01466)^4 - 0.7366^4)}{(0.7366 + 2 \times 0.01466)} \text{ m}^3$$

$$W = 0.00987 \text{ m}^3$$

Los valores obtenidos se reemplaza en la ecuación 4.5 y se determina la tensión por flexión:

$$\delta_f = \frac{3599,59 \text{ Kgf} \cdot \text{m}}{0.00987 \text{ m}^3}$$

$$\delta_f = 36,76 \text{ Kgf/cm}^2$$

- **Tensión Longitudinal por Variación de la Pendiente**

$$\delta_j = \frac{F \times Ls \times \cos \theta}{\pi \times e \times (D + e)} \quad (4.13)$$

Donde:

F: Peso del agua y de la tubería. (Kgf/m)

Ls: Distancia entre apoyos (m)

$\theta$ : Angulo entre la tubería y la vertical

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

$e$ : Espesor de la tubería (m)

Reemplazando los valores se tiene:

$$\delta_j = \frac{F \frac{\text{Kgf}}{\text{m}} \times L_{sm} \times \cos \theta}{\pi \times e \times (D + e) \text{m}^2}$$

$$\delta_j = \frac{846 \frac{\text{Kgf}}{\text{m}} \times 6\text{m} \times \cos 71^\circ}{\pi \times 0,01466 \times (0,7366 + 0,01466) \text{m}^2}$$

$$\delta_j = 3,09 \text{ Kgf/cm}^2$$

La tensión resultante puede ser hallada mediante dos criterios:

- Según el primer criterio la tensión resultante es:

$$\delta_R = \sqrt{\delta_{ta}^2 + (\delta_{te} + \delta_{tl} + \delta_f + \delta_j)^2} \quad (4.14)$$

$$\delta_R = \sqrt{625,765^2 + (0 + 303,64 + 36,76 + 3,09)^2} \frac{\text{Kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$\delta_R = 713,84 \text{ Kgf/cm}^2$$

- Otro criterio es:

$$\delta_R = \delta_{ta} + \delta_{te} + \delta_{tl} + \delta_f + \delta_j \quad (4.15)$$

$$\delta_R = (625,765 + 0 + 303,64 + 36,76 + 3,09) \frac{\text{Kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$\delta_R = 969,255 \text{ Kgf/cm}^2$$

Debe cumplirse que su tensión admisible  $\delta_{ad}$  debe ser mayor a la que el material de la tubería soporta es decir:

$$\delta_{ad} > \delta_R$$

La tensión admisible del material de la tubería es  $\delta_{ad} = 31.6 \text{ Kgf/mm}^2 = 3160 \text{ Kgf/cm}^2$ .

La condición se cumple con cualquiera de los dos criterios.

En caso de no cumplirse se debe tomar en cuenta la disminución de la distancia entre apoyos o incluso se puede aumentar el espesor de la tubería (debe tenerse en cuenta que aumentar el espesor eleva el factor económico).

A continuación se verifica que para cada tramo de tubería tomando en cuenta con variación entre la separación de apoyos para se cumpla esta condición comparándola con los respectivos esfuerzos al que se

encuentra sometido el tramo en cuestión. Debe tenerse en cuenta que el ángulo de la tubería respecto a la vertical son diferentes en cada tramo de tubería analizado.

$$F = \gamma_t \times \pi \times e \times (D+e) + \gamma \times \pi \frac{D^2}{4} \quad W = \frac{\pi}{32} \frac{((D+2e)^4 - D^4)}{D+2e} \quad Mf_{\max} = F(Ls^2/8)\sin\theta \quad \delta_{ta} = \frac{Ps \times D}{2e}$$

$$\delta_{il} = 0.25 \frac{Ps \times D^2}{e(e+D)} \quad \delta_f = \frac{Mf_{\max}}{W} \quad \delta_j = \frac{F \times Ls \times \cos\theta}{\pi \times e \times (D+e)} \quad \delta_R = \sqrt{\delta_{ta}^2 + (\delta_{te} + \delta_{il} + \delta_f + \delta_j)^2} \quad \delta_R = \delta_{ta} + \delta_{te} + \delta_{il} + \delta_f + \delta_j$$

**Tabla 4.2:** TENSIONES EN LA TUBERÍA DE PRESIÓN PARA  $Ls = 6$  m.

TENSIONES EN LA TUBERIA DE PRESION																	
$\theta$	Ps	D	e	$\gamma_t$	$\gamma$	Ls	F	W	Mfmax	$\delta_{ta}$	$\delta_{tl}$	$\delta_f$	$\delta_j$	$\delta_r$	$\delta_r$	$\delta_{adm}$	$\delta_{adm} > \delta_r$
(°)	kgf/cm <sup>2</sup>	m	m	kgf/m <sup>3</sup>	kgf/m <sup>3</sup>	m	m	m	m	kgf/cm <sup>2</sup>							
0	38,11	0,7366	0,01466	7850	1000	6	846	0,00987	0,00	625,765	303,64	0,000	9,49	699,74	938,896	3160	si
71	38,11	0,7366	0,01466	7850	1000	6	846	0,00987	3599,62	625,765	303,64	36,470	3,09	713,70	968,965	3160	si
61	38,11	0,7366	0,01466	7850	1000	6	846	0,00987	3329,70	625,765	303,64	33,736	4,60	713,11	967,742	3160	si
51	38,11	0,7366	0,01466	7850	1000	6	846	0,00987	2958,62	625,765	303,64	29,976	5,97	711,97	965,354	3160	si
70	38,11	0,7366	0,01466	7850	1000	6	846	0,00987	3577,44	625,765	303,64	36,246	3,25	713,67	968,897	3160	si
80	38,11	0,7366	0,01466	7850	1000	6	846	0,00987	3749,19	625,765	303,64	37,986	1,65	713,74	969,039	3160	si
51	38,11	0,7366	0,01466	7850	1000	6	846	0,00987	2958,62	625,765	303,64	29,976	5,97	711,97	965,354	3160	si
0	38,11	0,7366	0,01466	7850	1000	6	846	0,00987	0,00	625,765	303,64	0,000	9,49	699,74	938,896	3160	si

**Tabla 4.3:** TENSIONES EN LA TUBERÍA DE PRESIÓN PARA  $L_s = 8$  m.

$\theta$	Ps	D	e	$\gamma t$	$\gamma$	Ls	F	W	Mfmax	$\delta ta$	$\delta tl$	$\delta f$	$\delta j$	$\delta r$	$\delta r$	$\delta adm$	$\delta adm > \delta r$
( $^\circ$ )	kgf / cm <sup>2</sup>	m	m	kgf / m <sup>3</sup>	kgf / m <sup>3</sup>	m	m	m	m	kgf / cm <sup>2</sup>							
0	38,11	0,7366	0,01466	7850	1000	8	846	0,00987	0,00	625,765	303,64	0,00	12,65	701,16	942,06	3160	si
71	38,11	0,7366	0,01466	7850	1000	8	846	0,00987	6399,32	625,765	303,64	64,84	4,12	728,29	998,36	3160	si
61	38,11	0,7366	0,01466	7850	1000	8	846	0,00987	5919,47	625,765	303,64	59,97	6,13	726,84	995,51	3160	si
51	38,11	0,7366	0,01466	7850	1000	8	846	0,00987	5259,76	625,765	303,64	53,29	7,96	724,38	990,66	3160	si
70	38,11	0,7366	0,01466	7850	1000	8	846	0,00987	6359,89	625,765	303,64	64,44	4,33	728,19	998,17	3160	si
80	38,11	0,7366	0,01466	7850	1000	8	846	0,00987	6665,23	625,765	303,64	67,53	2,20	728,69	999,13	3160	si
51	38,11	0,7366	0,01466	7850	1000	8	846	0,00987	5259,76	625,765	303,64	53,29	7,96	724,38	990,66	3160	si
0	38,11	0,7366	0,01466	7850	1000	8	846	0,00987	0,00	625,765	303,64	0,00	12,65	701,16	942,06	3160	si

**Tabla 4.4:** TENSIONES EN LA TUBERÍA DE PRESIÓN PARA  $L_s = 10$  m.

$\theta$	Ps	D	e	$\gamma t$	$\gamma$	Ls	F	W	Mfmax	$\delta ta$	$\delta tl$	$\delta f$	$\delta j$	$\delta r$	$\delta r$	$\delta adm$	$\delta adm > \delta r$
( $^\circ$ )	kgf / cm <sup>2</sup>	m	m	kgf / m <sup>3</sup>	kgf / m <sup>3</sup>	m	m	m	m	kgf / cm <sup>2</sup>							
0	38,11	0,7366	0,01466	7850	1000	10	846	0,00987	0,00	625,765	303,64	0,00	15,82	702,59	945,22	3160	si
71	38,11	0,7366	0,01466	7850	1000	10	846	0,00987	9998,93	625,765	303,64	101,31	5,15	748,17	1035,86	3160	si
61	38,11	0,7366	0,01466	7850	1000	10	846	0,00987	9249,17	625,765	303,64	93,71	7,67	745,40	1030,78	3160	si
51	38,11	0,7366	0,01466	7850	1000	10	846	0,00987	8218,38	625,765	303,64	83,27	9,95	741,00	1022,63	3160	si
70	38,11	0,7366	0,01466	7850	1000	10	846	0,00987	9937,32	625,765	303,64	100,68	5,41	747,97	1035,50	3160	si
80	38,11	0,7366	0,01466	7850	1000	10	846	0,00987	10414,42	625,765	303,64	105,52	2,75	749,16	1037,67	3160	si
51	38,11	0,7366	0,01466	7850	1000	10	846	0,00987	8218,38	625,765	303,64	83,27	9,95	741,00	1022,63	3160	si
0	38,11	0,7366	0,01466	7850	1000	10	846	0,00987	0,00	625,765	303,64	0,00	15,82	702,59	945,22	3160	si

**Tabla 4.5:** TENSIONES EN LA TUBERÍA DE PRESIÓN PARA  $L_s = 12m$ .

$\theta$	Ps	D	e	$\gamma_t$	$\gamma$	Ls	F	W	Mfmax	$\delta_{ta}$	$\delta_{tl}$	$\delta_f$	$\delta_j$	$\delta_r$	$\delta_r$	$\delta_{adm}$	$\delta_{adm} > \delta_r$
( $^\circ$ )	kgf / cm <sup>2</sup>	m	m	kgf / m <sup>3</sup>	kgf / m <sup>3</sup>	m	m	m	m	kgf / cm <sup>2</sup>							
0	38,11	0,7366	0,01466	7850	1000	12	846	0,00987	0,00	625,765	303,64	0,00	18,98	704,04	948,39	3160	si
71	38,11	0,7366	0,01466	7850	1000	12	846	0,00987	14398,46	625,765	303,64	145,88	6,18	774,11	1081,47	3160	si
61	38,11	0,7366	0,01466	7850	1000	12	846	0,00987	13318,80	625,765	303,64	134,94	9,20	769,48	1073,55	3160	si
51	38,11	0,7366	0,01466	7850	1000	12	846	0,00987	11834,46	625,765	303,64	119,90	11,95	762,39	1061,25	3160	si
70	38,11	0,7366	0,01466	7850	1000	12	846	0,00987	14309,74	625,765	303,64	144,98	6,49	773,76	1080,88	3160	si
80	38,11	0,7366	0,01466	7850	1000	12	846	0,00987	14996,76	625,765	303,64	151,94	3,30	775,98	1084,64	3160	si
51	38,11	0,7366	0,01466	7850	1000	12	846	0,00987	11834,46	625,765	303,64	119,90	11,95	762,39	1061,25	3160	si
0	38,11	0,7366	0,01466	7850	1000	12	846	0,00987	0,00	625,765	303,64	0,00	18,98	704,04	948,39	3160	si

**Tabla 4.6:** TENSIONES EN LA TUBERÍA DE PRESIÓN PARA  $L_s = 15 m$ .

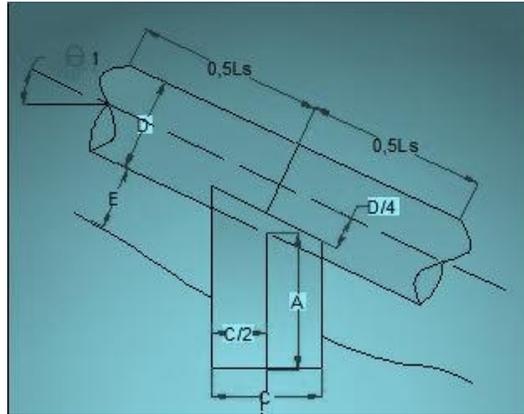
$\theta$	Ps	D	e	$\gamma_t$	$\gamma$	Ls	F	W	Mfmax	$\delta_{ta}$	$\delta_{tl}$	$\delta_f$	$\delta_j$	$\delta_r$	$\delta_r$	$\delta_{adm}$	$\delta_{adm} > \delta_r$
( $^\circ$ )	kgf / cm <sup>2</sup>	m	m	kgf / m <sup>3</sup>	kgf / m <sup>3</sup>	m	m	m	m	kgf / cm <sup>2</sup>							
0	38,11	0,7366	0,01466	7850	1000	15	846	0,00987	0,00	625,765	303,64	0,00	23,73	706,22	953,13	3160	si
71	38,11	0,7366	0,01466	7850	1000	15	846	0,00987	22497,59	625,765	303,64	227,94	7,72	826,09	1165,07	3160	si
61	38,11	0,7366	0,01466	7850	1000	15	846	0,00987	20810,63	625,765	303,64	210,85	11,50	817,46	1151,76	3160	si
51	38,11	0,7366	0,01466	7850	1000	15	846	0,00987	18491,35	625,765	303,64	187,35	14,93	804,70	1131,69	3160	si
70	38,11	0,7366	0,01466	7850	1000	15	846	0,00987	22358,97	625,765	303,64	226,53	8,11	825,43	1164,05	3160	si
80	38,11	0,7366	0,01466	7850	1000	15	846	0,00987	23432,44	625,765	303,64	237,41	4,12	829,94	1170,94	3160	si
51	38,11	0,7366	0,01466	7850	1000	15	846	0,00987	18491,35	625,765	303,64	187,35	14,93	804,70	1131,69	3160	si
0	38,11	0,7366	0,01466	7850	1000	15	846	0,00987	0,00	625,765	303,64	0,00	23,73	706,22	953,13	3160	si

**Tabla4.7:** TENSIONES EN LA TUBERÍA DE PRESIÓN PARA  $L_s = 20$  m.

$\theta$	Ps	D	e	$\gamma_t$	$\gamma$	Ls	F	W	Mfmax	$\delta_{ta}$	$\delta_{tl}$	$\delta_f$	$\delta_j$	$\delta_r$	$\delta_r$	$\delta_{adm}$	$\delta_{adm} > \delta_r$
( $^\circ$ )	kgf / cm <sup>2</sup>	m	m	kgf / m <sup>3</sup>	kgf / m <sup>3</sup>	m	m	m	m	kgf / cm <sup>2</sup>							
0	38,11	0,7366	0,01466	7850	1000	20	846	0,00987	0,00	625,765	303,64	0,00	31,63	709,92	961,04	3160	si
71	38,11	0,7366	0,01466	7850	1000	20	846	0,00987	39995,72	625,765	303,64	405,23	10,30	953,30	1344,93	3160	si
61	38,11	0,7366	0,01466	7850	1000	20	846	0,00987	36996,68	625,765	303,64	374,84	15,34	934,33	1319,58	3160	si
51	38,11	0,7366	0,01466	7850	1000	20	846	0,00987	32873,51	625,765	303,64	333,06	19,91	907,04	1282,38	3160	si
70	38,11	0,7366	0,01466	7850	1000	20	846	0,00987	39749,28	625,765	303,64	402,73	10,82	951,81	1342,95	3160	si
80	38,11	0,7366	0,01466	7850	1000	20	846	0,00987	41657,67	625,765	303,64	422,06	5,49	962,41	1356,96	3160	si
51	38,11	0,7366	0,01466	7850	1000	20	846	0,00987	32873,51	625,765	303,64	333,06	19,91	907,04	1282,38	3160	si
0	38,11	0,7366	0,01466	7850	1000	20	846	0,00987	0,00	625,765	303,64	0,00	31,63	709,92	961,04	3160	si

### Apoyos

Los bloques de apoyo se utilizan para sostener adecuadamente la tubería de presión, deberán ser dimensionados de forma que sean de bajo costo y de fácil construcción. El apoyo permite la variación de longitud de la tubería, por lo que la superficie en contacto debe recubrirse con una chapa de metal de igual material al de la tubería, de manera que el coeficiente de fricción sea menor. [3]



**Figura 4.5:** Apoyo

Las dimensiones tentativas que puede tener el apoyo son:

$$A = 1.2 D \quad (4.16)$$

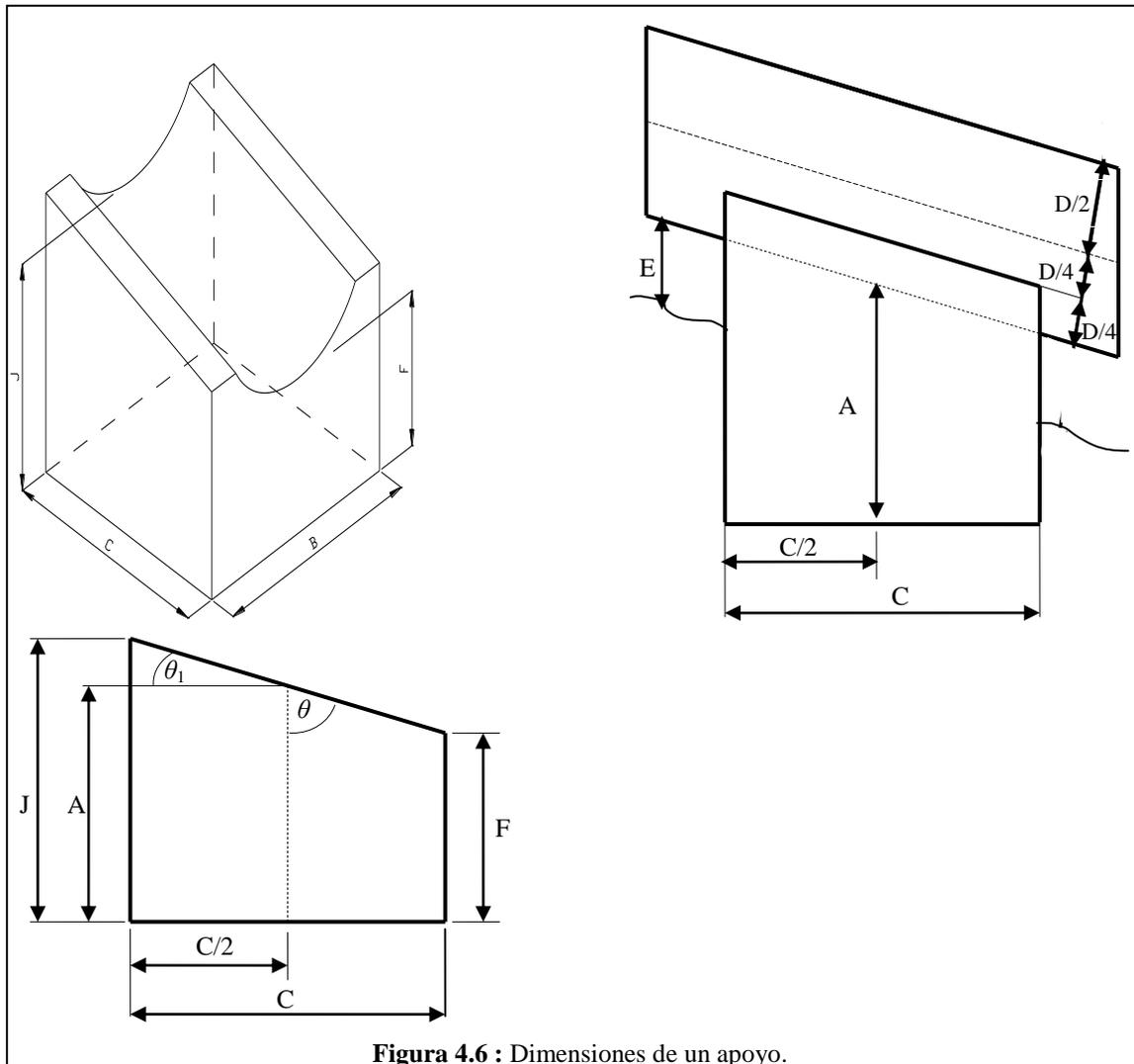
$$B = 1.2 D \quad (4.17)$$

$$C = 1.5 D \quad (4.18)$$

$$J = A + 0.5 C \tan \theta_1 \quad (4.19)$$

$$F = A - 0.5 C \tan \theta_1 \quad (4.20)$$

$$E_{\min} = 0.25 D \quad (4.21)$$



**Figura 4.6 :** Dimensiones de un apoyo.

Es decir, sus dimensiones serían:

$$A = 1.2 \times 0.7366 = 0.8839 \text{ m}$$

$$B = 1.2 \times 0.7366 = 0.8839 \text{ m}$$

$$C = 1.5 \times 0.7366 = 1.1049 \text{ m}$$

$$J = 0.8839 + 0.5 (1.1049) \tan 19^\circ = 1,074 \text{ m}$$

$$F = 0.8839 - 0.5 (1.1049) \tan 19^\circ = 0.694 \text{ m}$$

$$E_{\min} = 0.25 \times 0.7366 = 0.1842 \text{ m}$$

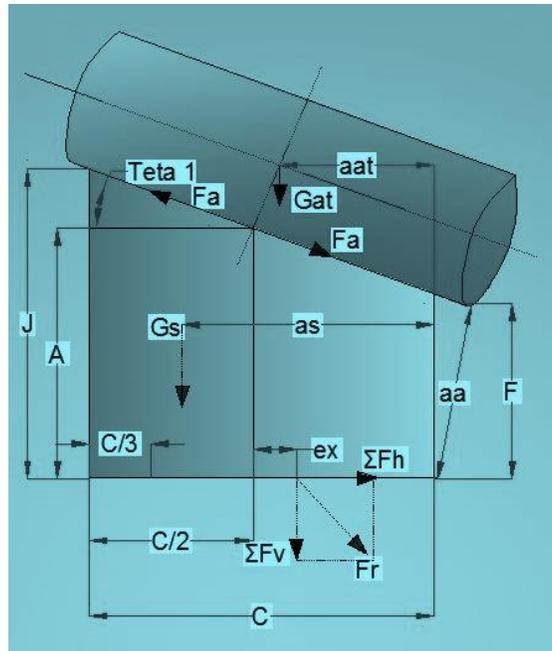


Figura 4.7: Tensiones sobre el apoyo y la tubería.

- **Fuerza por el Peso de la Tubería y el Peso del Agua**

El peso de la tubería y agua por unidad de longitud se lo encuentra mediante la ecuación 4.7 que es:

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

Para determinar su peso se multiplica por la distancia entre apoyos.

$$Gat = F \times Ls \quad (4.22)$$

$$Gat = 846 \frac{\text{Kgf}}{\text{m}} \times 8 \text{ m}$$

$$Gat = 6768 \text{ Kgf}$$

- **Fuerza por el Peso del Apoyo**

$$Gs = \gamma_s \times Vs \quad (4.23)$$

Donde:

$V_s$ : Volumen del apoyo ( $\text{m}^3$ )

$\gamma_s$ : Peso específico del material del bloque ( $\text{Kgf}/\text{m}^3$ ).

Para concreto  $\gamma_s = 2400 \text{ Kgf}/\text{m}^3$

El volumen del apoyo se calcula con la siguiente ecuación:

$$V_s = F \times B \times C + \frac{J - 0.5 \tan \theta_1}{2} C \times B + \frac{C \times De}{4 \cos \theta_1} \left( B - \frac{\pi \times De}{180^\circ} \arctan \left( \frac{B}{D} \right) \right) \quad (4.24)$$

$$V_s = 0.694 \times 0.8839 \times 1.1049 + \frac{1.074 - 0.5 \tan 19^\circ}{2} 1.1049 \times 0.8839 + \frac{1.1049 \times (0.7874)}{4 \cos 19^\circ} \left( 0.8839 - \frac{\pi \times (0.7874)}{180^\circ} \arctan \left( \frac{0.8839}{0.7366} \right) \right) [\text{m}^3]$$

$$V_s = 0,678 + 0,440 + 0,045 \text{ m}^3$$

$$V_s = 1,163 \text{ m}^3$$

Sustituyendo los valores en la ecuación 4.23 se tiene:

$$G_s = 2400 \frac{\text{Kgf}}{\text{m}^3} \times 1,163 \text{ m}^3$$

$$G_s = 2\,791,2 \text{ Kgf}$$

- **Fuerza por Fricción entre la Tubería y el Apoyo**

La fuerza de fricción es igual a :

$$F_a' = \mu \times N \quad (4.25)$$

Donde:

$\mu$ : Coeficiente de fricción entre la tubería y el apoyo. **Anexo**

De la Tabla 4.7.  $\mu = 0.5$  (acero sobre acero).

$N$ : Fuerza de reacción normal (Kgf).

**Tabla 4.8:** COEFICIENTES DE FRICCIÓN PARA DIVERSAS COMBINACIONES DE MATERIALES.

Coeficiente de rozamiento	$\mu$
Acero sobre hormigón con capa intermedia de cartón asfaltado	0.40
Acero sobre hormigón o mampostería de piedra	0.45 – 0.50
Acero sobre acero	0.30 – 0.50
Acero sobre acero con lubricante de grafito	0.20
Acero sobre acero con lubricante sólido	0.12 – 0.10
Apoyos con cojinetes de rodillos o soportes basculantes	0.05 – 0.10

La fuerza  $N$  se obtiene de la sumatoria de fuerzas respecto al eje perpendicular a la tubería.

$$N = G \cos \theta_l \quad (4.26)$$

Reemplazando esta expresión en la ecuación 4.25, la fuerza de fricción es:

$$F_a' = \mu \times G \cos \theta_l \quad (4.27)$$

$$F_a' = 0.5 \times 6768 \text{ Kgf} \times \cos 19^\circ$$

$$F_a' = 3\,199,64 \text{ Kgf}$$

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

$$F_a = 1.1 \times F_a' \quad (4.28)$$

$$F_a = 3519,60 \text{ Kgf}$$

Se realiza la sumatoria de las fuerzas antes calculadas, que a través del apoyo serán transmitidos hacia la superficie del terreno.

Hay que considerar dos casos que se pueden presentar, el primero cuando la tubería se dilata, y el segundo, cuando esta se contrae:

**Caso de Contracción de la Tubería:**

$$\sum F_H = -Fa \cos \theta_1 \quad (4.29)$$

$$\sum F_H = -3519,60 \cos 19^\circ \text{ Kgf}$$

$$\sum F_H = -3\,327,85 \text{ Kgf}$$

$$\sum F_V = -(Gat + Gs + Fa \sin \theta_1) \quad (4.30)$$

$$\sum F_V = -(6768 + 2791,2 + 3519,60 \sin 19^\circ) \text{Kgf}$$

$$\sum F_V = -10\,705,07 \text{ Kgf}$$

**Caso de Dilatación de la Tubería:**

$$\sum F_H = Fa \cos \theta_1 \quad (4.31)$$

$$\sum F_H = 3519,6 \cos 19^\circ \text{ Kgf}$$

$$\sum F_H = 3\,327,85 \text{ Kgf}$$

$$\sum F_V = -(Gat + Gs - Fa \sin \theta_1) \quad (4.32)$$

$$\sum F_V = -(6768 + 2791,2 - 3519,6 \sin 19^\circ) \text{Kgf}$$

$$\sum F_V = -8\,413,33 \text{ Kgf}$$

En el caso de contracción de la tubería la magnitud de la fuerza vertical es mayor, y en ambos casos tiene el mismo sentido, mientras en la magnitud de la fuerza horizontal son las mismas en ambos casos solo que en sentido contrario.

Por tanto será suficiente analizar únicamente el caso de contracción de la tubería, siendo la magnitud de las fuerzas horizontales y verticales que actúan sobre el bloque las siguientes:

$$\sum F_H = 3\,327,85 \text{ Kgf}$$

$$\sum F_V = 10\,705,07 \text{ Kgf}$$

**Fuerza por Fricción entre el Apoyo y el Suelo.**

La fuerza de fricción entre el apoyo y el suelo está definida por:

$$F_{ab} = \varphi \sum F_V \quad (4.33)$$

Donde:

$\varphi$ : Coeficiente de fricción entre el apoyo y el suelo.

Se trata de un suelo constituido por arcilla dura.  $\varphi = 0.25$

$$F_{ab} = 0.25 \times 10705,07 \text{ Kgf}$$

$$F_{ab} = 2\,676,27 \text{ Kgf}$$

- **Estabilidad para el apoyo**

Ahora que se ha calculado las fuerzas que actúan sobre el apoyo se deben cumplir las siguientes condiciones para garantizar que las dimensiones del apoyo son suficientes para soportar las fuerzas sobre él aplicadas, que será estable y no tendrá riesgo de volcarse. [3]

- $\frac{F_{ab}}{\sum F_H} \geq 1.5$

$$\frac{F_{ab}}{\sum F_H} = \frac{2676,27}{3327,85} = 0,804$$

$$0,804 \geq 1.5$$

La condición no se cumple.

En este caso se debe aumentar los valores de A, B, C en las dimensiones del apoyo, manteniendo que C sea mayor a B.

$$A = 1,7678 \text{ m}$$

$$B = 1,7678 \text{ m}$$

$$C = 2,2098 \text{ m}$$

$$J = 1,7678 + 0.5 (2,2098) \tan 19^\circ = 2,15 \text{ m}$$

$$F = 1,7678 - 0.5 (2,2098) \tan 19^\circ = 1,39 \text{ m}$$

$$E_{\min} = 0.25 \times 0.7366 = 0.1842 \text{ m}$$

- **Fuerza por el Peso de la Tubería y el Peso del Agua**

$$Gat = F \times Ls$$

$$Gat = 846 \frac{\text{Kgf}}{\text{m}} \times 8 \text{ m}$$

$$Gat = 6768 \text{ Kgf}$$

- **Fuerza por el Peso del Apoyo**

$$G_s = \gamma_s \times V_s$$

$$V_s = 1,39 \times 1,7678 \times 2,2098 + \frac{2,15 - 0,5 \tan 19^\circ}{2} 2,2098 \times 1,7678 + \frac{2,2098 \times (0,7874)}{4 \cos 19^\circ} \left( 1,7678 - \frac{\pi \times (0,7874)}{180^\circ} \arctan \left( \frac{1,7678}{0,7366} \right) \right) \left[ \text{m}^3 \right]$$

$$V_s = 5,43 + 3,86 + 0,39 \text{ m}^3$$

$$V_s = 9,68 \text{ m}^3$$

Sustituyendo los valores correspondientes en la ecuación, se tiene:

$$G_s = 2400 \frac{\text{Kgf}}{\text{m}^3} \times 9,68 \text{ m}^3$$

$$G_s = 23\,232 \text{ Kgf}$$

- **Fuerza por Fricción entre la Tubería y el Apoyo**

$$F_a' = \mu \times N$$

$$F_a' = \mu \times G_{at} \cos \theta_1$$

$$F_a' = 0,5 \times 6768 \text{ Kgf} \times \cos 19^\circ$$

$$F_a' = 3\,199,63 \text{ Kgf}$$

El apoyo ofrece una resistencia al deslizamiento de la tubería, y es mayor que la fuerza de fricción, por lo cual:

$$F_a = 1,1 \times F_a'$$

$$F_a' = 1,1 \times 3199,63 \text{ Kgf}$$

$$F_a = 3\,519,6 \text{ Kgf}$$

**Caso de Contracción de la Tubería:**

$$\sum F_H = -F_a \cos \theta_1$$

$$\sum F_H = -3519,60 \cos 19^\circ \text{ Kgf}$$

$$\sum F_H = -3\,327,85 \text{ Kgf}$$

$$\sum F_V = -(G_{at} + G_s + F_a \sin \theta_1)$$

$$\sum F_V = -(6768 + 23232 + 3519,60 \sin 19^\circ) \text{ Kgf}$$

$$\sum F_V = - 31\,145,9 \text{ Kgf}$$

**Caso de Dilatación de la Tubería:**

$$\sum F_H = Fa \cos \theta_1$$

$$\sum F_H = 3519,60 \cos 19^\circ \text{ Kgf}$$

$$\sum F_H = 3\,327,85 \text{ Kgf}$$

$$\sum F_V = -(Gat + Gs - Fa \sin \theta_1)$$

$$\sum F_V = -(6768 + 23232 - 3519,6 \sin 19^\circ) \text{ Kgf}$$

$$\sum F_V = - 28\,854,13 \text{ Kgf}$$

Se analiza el caso de contracción de la tubería, siendo la magnitud de las fuerzas horizontales y verticales que actúan sobre el bloque las siguientes:

$$\sum F_H = 3\,327,85 \text{ Kgf}$$

$$\sum F_V = 31\,145,9 \text{ Kgf}$$

- **Fuerza por Fricción entre el Apoyo y el Suelo.**

$$F_{ab} = \varphi \sum F_V$$

$$F_{ab} = 0,25 \times 31145,9 \text{ Kgf}$$

$$F_{ab} = 7\,786,475 \text{ Kgf}$$

- **Estabilidad para el apoyo**

- $\frac{F_{ab}}{\sum F_H} \geq 1,5$

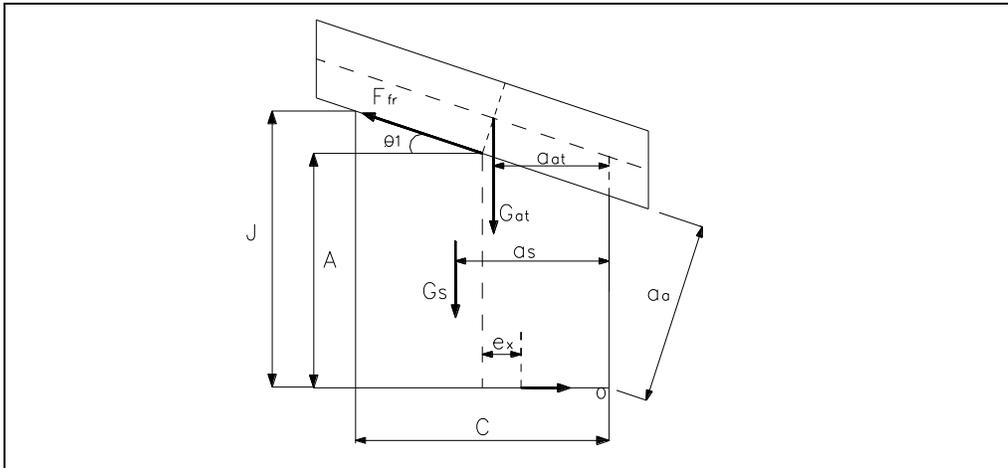
$$\frac{F_{ab}}{\sum F_H} = \frac{7786,475}{3327,85} = 2,34$$

$$2,34 \geq 1,5 \quad \text{ok! Se cumple}$$

- $e_x < C/6$

$$C/6 = 2,2098 \text{ m} / 6 = 0,3683 \text{ m}$$

$e_x$ : Distancia desde el punto medio del lado C del bloque hasta el punto O. Figura 4.



**Figura 4.8:** Distancias del punto de aplicación de las fuerzas al punto O.

El término  $e_x$  se lo despeja de la ecuación de momentos respecto al punto O.

$$G_s \times a_s + G_{ot} \times a_{ot} - F_a \times a_a = \sum F_V (0.5C - e_x) \quad (4.34)$$

Tomando en cuenta que los términos  $a_s$ ,  $a_{ot}$ ,  $a_a$ , son distancias perpendiculares a las fuerzas aplicadas sobre el bloque.

Para determinar  $a_a$  y  $a_{ot}$  se lo realiza mediante funciones trigonométricas. El término  $a_s$  es la distancia al centro de gravedad del bloque.

Las expresiones son:

$$a_{ot} = 0.5(C - D \sin \theta_1) \quad (4.35)$$

$$a_a = (A - 0.5C \tan \theta_1) \cos \theta_1 \quad (4.36)$$

$$a_s = \frac{C}{14.4D} (7.2D + C \tan \theta_1) \quad (4.37)$$

Sustituyendo cada valor se tiene:

$$a_{ot} = 0.5(2,2098 - 0,7366 \sin 19^\circ) \text{ m}$$

$$a_{ot} = 0.985 \text{ m}$$

$$a_a = (1,7678 - 0.5 \times 2,2098 \times \tan 19^\circ) \cos 19^\circ \text{ m}$$

$$a_a = 1,31 \text{ m}$$

$$a_s = \frac{2,2098}{14.4 \times 0.7366} (7.2 \times 0.7366 + 2,2098 \tan 19^\circ)$$

$$a_s = 1,26 \text{ m}$$

Despejando  $e_x$  de la ecuación 4.34 se tiene:

$$e_x = \frac{0.5C \times \sum F_V + Fa \times a_a}{\sum F_V} - \frac{Gs \times a_s + Gat \times a_{at}}{\sum F_V} \quad (4.38)$$

La ecuación 4.43, fue planteada solo para el caso de contracción de la tubería, ya que corresponde el caso más crítico para determinar  $e_x$ , como se comprueba en la ecuación 4.38 ya que en el caso de dilatación el término  $Fa \times a_a$  sería negativo.

Reemplazando los valores hallados en la ecuación 4.38 se tiene:

$$e_x = \left[ \frac{0.5 \times 2,2098 \times 31145,9 + 3519,60 \times 1,31}{31145,9} - \frac{23232 \times 1,26 + 6768 \times 0,985}{31145,9} \right] \text{m}$$

$$e_x = 1,253 - 1,154 \text{ m}$$

$$e_x = 0.099 \text{m}$$

Comprobando si cumple:

$$0.099 < 0.3683$$

La condición si se cumple, en caso de no cumplirse, se deberá aumentar las dimensiones del apoyo y principalmente el valor de C.

- $\delta_c < \delta_{ad}$

Donde:

$\delta_{ad}$ : Capacidad portante del terreno.

Se toma el valor de compresión del arcilla dura,  $\delta_{ad} = 15\ 000 \text{ Kg/m}^2$

$\delta_c$ : Presión transmitida por el apoyo

La tensión de compresión transmitida por el apoyo equivale a

$$\delta_c = \frac{\sum F_V}{B \times C} \left( 1 + \frac{6e_x}{C} \right) \quad (4.39)$$

$$\delta_c = \frac{31145,9}{1,7678 \times 2,2098} \left( 1 + \frac{6 \times 0,099}{2,2098} \right) \frac{\text{Kgf}}{\text{m}^2}$$

$$\delta_c = 10\ 116 \text{ Kg/m}^2$$

$$10\ 116 < 15\ 000 \text{ ok!}$$

Si no se cumpliera la condición, se debería aumentar los valores de B y C.

- $\delta_t > 0$

Donde:

$\delta_t$ : Tensión de tracción.

La tensión de tracción se determina por

$$\delta_t = \frac{\sum F_v}{B \times C} \left( 1 - \frac{6e_x}{C} \right) \quad (4.40)$$

$$\delta_t = \frac{31145,9}{1,7678 \times 2,2098} \left( 1 - \frac{6 \times 0,099}{2,2098} \right) \frac{\text{Kgf}}{\text{m}^2}$$

$$\delta_t = 5\,829,74 \text{ Kgf/m}^2$$

**5 829,74 > 0 ok! Se cumple**

Si no se cumple, se debe aumentar el valor de C.

**Tabla 4.9:** NUMERO DE APOYOS EN LA TUBERÍA DE PRESIÓN POR TRAMO

Tramo	Angulo	Longitud del tramo	# de apoyos
1	0°	27,11 m	0
2	19°	17,55 m	2
3	29°	210,32 m	26
4	39°	145,81 m	18
5	20°	99,67 m	12
6	10°	97,54 m	12
7	39°	43,56 m	6
8	0°	14,11 m	2
		<b>L<sub>T</sub> = 655,67m</b>	<b>A<sub>T</sub> = 78</b>

A continuación se muestra una tabla de cálculos para los apoyos en cada variación de ángulo es decir para los 8 tramos, las condiciones de cumplimientos y sus parámetros de cálculo con lo que se garantiza que las dimensiones del apoyo son suficientes para soportar las fuerzas sobre él aplicadas, que será estable y no tendrá riesgo de desestabilizarse.

**Tabla 4.10: DATOS DE DIMENSIONAMIENTO DE LOS APOYOS**

$\theta$	D	e	De	$\gamma_s$	$\mu$	A	B	C	J	F	$E_{\min}$
( $^{\circ}$ )	m	m	m	kgf / m <sup>3</sup>		m	m	m	m	m	m
19	0,7366	0,01466	0,7874	2400	0,25	0,9	1,0	1,10	1,2	0,69	0,1842
29	0,7366	0,01466	0,7874	2400	0,25	0,95	1,05	1,10	1,25	0,75	0,1842
39	0,7366	0,01466	0,7874	2400	0,25	0,95	1,05	1,10	1,2	0,80	0,1842
20	0,7366	0,01466	0,7874	2400	0,25	1,0	1,05	1,15	1,25	0,80	0,1842
10	0,7366	0,01466	0,7874	2400	0,25	1,0	1,10	1,25	1,25	0,75	0,1842
39	0,7366	0,01466	0,7874	2400	0,25	0,9	1,15	1,15	1,2	0,85	0,1842

Se muestra los datos respectivamente para dimensionar apoyos en cada tramo de la tubería de presión, al inicio como al final se tiene un ángulo de  $0^{\circ}$  entonces se lo calcula una sola vez por ser los mismos ángulos estos datos se utilizara para la construcción según el número de apoyos por cada tramo de tubería como se muestra en la tabla 4.8.

**Tabla 4.11:** CÁLCULOS RESPECTIVOS PARA CADA TRAMO DE LA TUBERÍA

						Contracción		Dilatación				
Gat	Vs	Gs	N	Fa'	Fa	Σ FH	Σ Fv	Σ FH	Σ Fv	Fab	Fab/ Σ Fh	(Fab/ Σ Fh) ≥ 1.5
kgf	m <sup>3</sup>	kgf	kgf	kgf	kgf	kgf	kgf	kgf	kgf	kgf		
6768	9,709	23300,55	6399,27	3199,6	3519,6	-3327,85	-31214,42	3327,84561	-28922,68	7803,60523	2,345	ok
6768	8,856	21253,76	5919,43	2959,7	3255,68	-2847,49	-29600,14	2847,48573	-26443,37	7400,03576	2,599	ok
6768	7,576	18181,95	5259,72	2629,9	2892,85	-2248,17	-26770,48	2248,16524	-23129,42	6692,6194	2,977	ok
6768	9,636	23127,16	6359,84	3179,9	3497,91	-3286,96	-31091,52	3286,96192	-28698,81	7772,88031	2,365	ok
6768	10,264	24632,43	6665,18	3332,6	3665,85	-3610,16	-32037,00	3610,15591	-30763,86	8009,24881	2,219	ok
6768	7,576	18181,95	5259,72	2629,9	2892,85	-2248,17	-26770,48	2248,16524	-23129,42	6692,6194	2,977	ok
6768	10,725	25741,2	6768	3384	3722,4	-3722,40	-32509,20	3722,4	-32509,20	8127,29947	2,183	ok

Se calcula los esfuerzos que actúan sobre el apoyo respectivamente para cada tramo como se puede observar con las dimensiones tomadas si se cumple la condición que  $Fab/ \Sigma Fh \geq 1.5$ , en todos los casos.

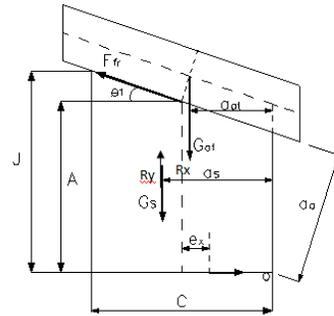
**Tabla 4.12:** CONDICIONES DE DIMENSIONAMIENTO DE LOS APOYOS

C/6	aat	aa	as	ex	ex< C/6	δc	δc<δad	δt	δt>0
m	m	m	m	m		kgf / cm <sup>2</sup>		kgf / cm <sup>2</sup>	
0,3683	0,9850	1,387	1,263	0,10467	ok	10260,9329	ok	5719,5299	ok
0,3683	0,9263	1,155	1,360	0,04359	ok	8473,76456	ok	6680,25627	ok
0,3683	0,8731	0,873	1,478	-0,02512	ok	6385,36975	ok	7319,98209	ok
0,3683	0,9789	1,366	1,272	0,09894	ok	10096,8173	ok	5820,72604	ok
0,3683	1,0409	1,573	1,186	0,15304	ok	11608,5526	ok	4793,03347	ok
0,3683	0,8731	0,873	1,478	-0,02512	ok	6385,36975	ok	7319,98209	ok
0,3683	1,1049	1,768	1,105	0,20242	ok	12895,374	ok	3747,95978	ok

**Tabla 4.13:** DATOS DE DIMENSIONAMIENTO DE LOS APOYOS CON DISMINUCIÓN DE MEDIDAS

$\theta$	D	e	De	$\gamma_s$	$\mu$	A	B	C	J	F	E min
( $^\circ$ )	m	m	m	kgf / m <sup>3</sup>		m	m	m	m	m	m
19	0,7366	0,01466	0,787	2400	0,25	1,547	1,54686	1,93358	1,87975	1,2232	0,18415
29	0,7366	0,01466	0,787	2400	0,25	1,547	1,54686	1,93358	2,08276	0,9696	0,18415
39	0,7366	0,01466	0,787	2400	0,25	1,547	1,54686	1,93358	2,32975	0,6036	0,18415
20	0,7366	0,01466	0,787	2400	0,25	1,547	1,54686	1,93358	1,89874	1,2013	0,18415
10	0,7366	0,01466	0,787	2400	0,25	1,547	1,54686	1,93358	1,71733	1,3955	0,18415
39	0,7366	0,01466	0,787	2400	0,25	1,547	1,54686	1,93358	2,32975	0,6036	0,18415
0	0,7366	0,01466	0,787	2400	0,25	1,547	1,54686	1,93358	1,54686	1,5469	0,18415

La presente tabla nos muestra los datos de dimensionamiento de los apoyos en este caso se disminuyo las dimensiones variando los parámetros A,B,C por ende vario J y F, se realiza para disminuir costos en la inversión del material utilizado para la construcción de los apoyos.

**Figura 4.9** Distancias del punto de aplicación de las fuerzas al punto O.

**Tabla 4.14: CÁLCULOS RESPECTIVOS PARA CADA TRAMO DE LA TUBERÍA**

						Contracción		Dilatación				
Gat	Vs	Gs	N	Fa'	Fa	Σ FH	Σ Fv	Σ FH	Σ Fv	Fab	Fab/ Σ Fh	(Fab/ Σ Fh) ≥ 1.5
kgf	m <sup>3</sup>	kgf	kgf	kgf	kgf	kgf	kgf	kgf	kgf	kgf		
6768	6,478	15547,2	6399,3	3199,6	3519,59835	-3327,84561	-23461,0628	3327,84561	-21169,3245	5865,2657	1,76248131	ok
6768	5,8875	14130,1	5919,4	2959,7	3255,6844	-2847,48573	-22476,4904	2847,48573	-19319,7162	5619,12261	1,97336286	ok
6768	5,0071	12016,9	5259,7	2629,9	2892,84813	-2248,16524	-20605,4706	2248,16524	-16964,414	5151,36765	2,29136522	ok
6768	6,4278	15426,7	6359,8	3179,9	3497,91181	-3286,96192	-23391,0803	3286,96192	-20998,3677	5847,77008	1,77908057	ok
6768	6,8652	16476,5	6665,2	3332,6	3665,84838	-3610,15591	-23881,1066	3610,15591	-22607,9709	5970,27666	1,65374483	ok
6768	5,0071	12016,9	5259,7	2629,9	2892,84813	-2248,16524	-20605,4706	2248,16524	-16964,414	5151,36765	2,29136522	ok
6768	7,1911	17258,7	6768	3384	3722,4	-3722,4	-24026,6654	3722,4	-24026,6654	6006,66635	1,61365419	ok

Luego de realizar los cálculos respectivos se puede observar que para las dimensiones de la tabla 4.11 los apoyos respectivamente en cada tramos cumple con las condiciones lo cual nos indica que si es posible construir los apoyos con las dimensiones anteriores.

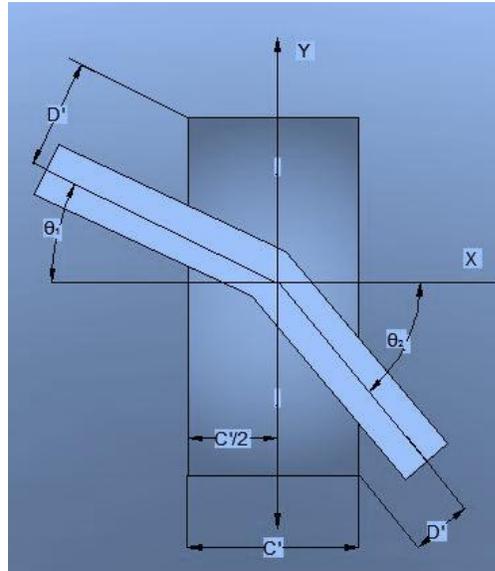
**Tabla 4.15:** CONDICIONES DE DIMENSIONAMIENTO DE LOS APOYOS

C/6	aat	aa	as	ex	ex< C/6	$\delta_c$	$\delta_c < \delta_{ad}$	$\delta_t$	$\delta_t > 0$
m	m	m	m	m		kgf / cm <sup>2</sup>		kgf / cm <sup>2</sup>	
0,3222625	0,84688075	1,21396837	1,08815424	0,1835002	ok	12310,4144	ok	3047,59106	ok
0,3222625	0,78823212	1,01096094	1,16216737	0,14526555	ok	10902,2057	ok	3547,68223	ok
0,3222625	0,7350088	0,76397092	1,25221581	0,10234266	ok	9077,07652	ok	3870,6284	ok
0,3222625	0,84082148	1,19497813	1,09507777	0,1799827	ok	12188,332	ok	3099,60936	ok
0,3222625	0,90283288	1,37638928	1,02893828	0,2122965	ok	13244,2781	ok	2579,2783	ok
0,3222625	0,7350088	0,76397092	1,25221581	0,10234266	ok	9077,07652	ok	3870,6284	ok
0,3222625	0,9667875	1,54686	0,9667875	0,23965172	ok	14006,89	ok	2059,24693	ok

Como se puede observar  $e_x$  cumple con la condición para que no se voltee, al igual que la capacidad portante del terreno  $\delta_{ad}$  es superior a la presión transmitida por el apoyo, al igual que se cumple que la tensión de tracción es mayor que cero en todos los tramos de la tubería de presión calculados respectivamente.

## Anclajes

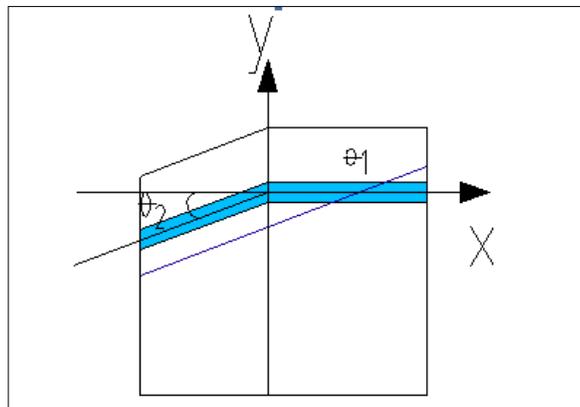
Los anclajes son bloques de concreto que envuelven la tubería de presión que impiden el movimiento de la tubería con el propósito de fijarla al terreno, por lo tanto deben resistir cualquier fuerza que la tubería ejerce sobre ellos. Los anclajes ajustan la tubería al perfil topográfico del terreno permitiendo variar la pendiente horizontal y vertical.



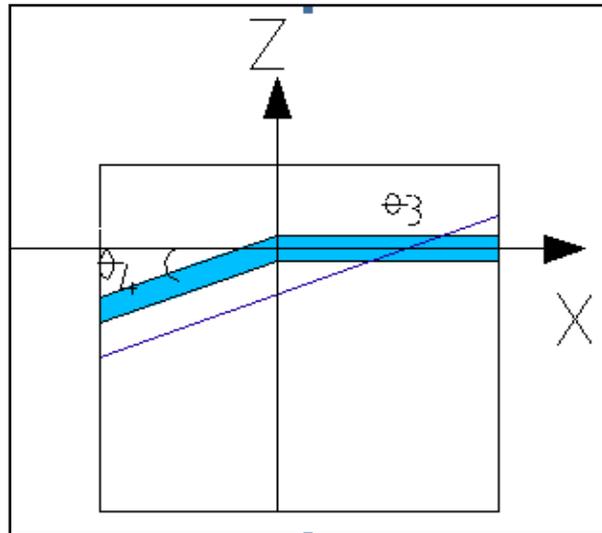
**Figura 4.10:** Dimensiones del anclaje

A continuación se calculan estas fuerzas. Para ello se adopta la siguiente nomenclatura: el subíndice m corresponde a las fuerzas aguas arriba del anclaje y el subíndice j aguas abajo del anclaje.

### Anclaje 1 :



**Figura 4.11:** Ángulos para variar la pendiente en un anclaje plano XY



**Figura 4.12:** Ángulos para variar la pendiente en un anclaje plano XZ

$\theta_1$ : Ángulo de inclinación de la tubería respecto al plano horizontal xz aguas arriba

$\theta_2$ : Ángulo de inclinación de la tubería respecto al plano horizontal xz aguas abajo

$\theta_3$ : Ángulo de inclinación de la tubería respecto al plano vertical xy aguas arriba

$\theta_4$ : Ángulo de inclinación de la tubería respecto al plano vertical xy aguas abajo

- **Componente del Peso de la Tubería con Agua Perpendicular a ella.  $F_1$**

$$F_1 = (W_t + W_a) \times L_1 \times \cos \theta \quad (4.41)$$

Donde:

$(W_t + W_a)$ : Peso del Agua y el Tubo por unidad de longitud (Kgf/m).

Se calculó anteriormente mediante la ecuación 4.7  $F = \gamma_t \times \pi \times e \times (D + e) + \gamma \times \pi \frac{D^2}{4}$

$L_1$ : Longitud media entre el anclaje y el apoyo próximo (m).  $L_{1m} = 4$  m.  $L_{1j} = 4$  m.

$\theta$ : Ángulo de inclinación de la tubería respecto a la horizontal.  $\theta_1 = 0^\circ$ ,  $\theta_2 = 19^\circ$

Reemplazando los respectivos valores se tiene

$$F_{1m} = (846) \frac{\text{Kgf}}{\text{m}} \times 4 \text{ m} \times \cos 0^\circ$$

$$F_{1m} = 3\,384 \text{ Kgf}$$

$$F_{1j} = (846) \frac{\text{Kgf}}{\text{m}} \times 4 \text{ m} \times \cos 19^\circ$$

$$F_{1j} = 3199,64 \text{ Kgf}$$

- **Fuerza de Fricción entre la Tubería y los Apoyos  $F_2$**

Cuando seguido del anclaje se coloca una junta de dilatación, esta fuerza no se presenta en el tramo en el cual se encuentra la junta. Para el caso en cuestión, no se considera esta fuerza en el tramo aguas abajo ya que después de cada anclaje la tubería tiene una junta de expansión instalada.

$$F_2 = \mu(W_t + W_a) \times L_2 \times \cos \theta \quad (4.42)$$

Donde:

$L_2$ : Longitud de la tubería sujeta a movimiento (m).

Corresponde a la distancia entre puntos medios de los tramos entre apoyo y anclaje respectivo.

Si en el tramo analizado, la distancia entre anclajes es 17,55 m, entonces  $L_{2m} = 9,55 \text{ m}$ ;

$\mu$ : Coeficiente de fricción entre la tubería y el apoyo.  $\mu = 0.5$

Sustituyendo los valores respectivos

$$F_2 = 0.5 \times (846) \frac{\text{Kgf}}{\text{m}} \times 9,55 \text{ m} \times \cos 0^\circ$$

$$F_{2m} = 4\,039,65 \text{ Kgf}$$

$$F_{2j} = 0$$

- **Fuerza de Presión  $F_3$**

$$F_3 = \gamma \times H_3 \times \frac{\pi \times D^2}{4} \quad (4.43)$$

Donde:

$\gamma$ : Peso específico del agua ( $\text{Kgf/m}^3$ ).  $\gamma = 1000 \text{ Kgf/m}^3$

$H_3$ : Distancia vertical entre el nivel normal del tanque de presión y el centro del bloque, incluido el aumento de altura por efecto del golpe de ariete. Para el anclaje en estudio la altura bruta es 4.75 m, por lo tanto  $H_3 = 6.175 \text{ m}$ .

Reemplazando estos valores se tiene:

$$F_{3m} = 1000 \frac{\text{Kgf}}{\text{m}^3} \times 6,175 \text{ m} \times \frac{\pi \times (0.7344 \text{ m})^2}{4}$$

$$F_{3m} = 2\,615,73 \text{ Kgf}$$

$$F_{3j} = 1000 \frac{\text{Kgf}}{\text{m}^3} \times 6,175 \text{ m} \times \frac{\pi \times (0,7344 \text{ m})^2}{4}$$

$$F_{3j} = 2\,615,73 \text{ Kgf}$$

- **Componente del Peso de la Tubería paralela a ella  $F_4$**

$$F_4 = W_t \times L_4 \times \sin \theta \quad (4.44)$$

Donde:

$W_t$ : Peso del Tubo por unidad de longitud (Kgf/m).

Corresponde a uno de los términos de la fórmula 4.100.

$$W_t = \gamma_t \times \pi \times e \times (D + e) \quad (4.45)$$

$$W_t = 7850 \frac{\text{Kgf}}{\text{m}^3} \times \pi \times 0,02243 \text{ m} \times (0,7366 + 0,02243) \text{ m}$$

$$W_t = 419,863 \frac{\text{Kgf}}{\text{m}^2}$$

$L_4$ : Longitud de la tubería a considerar en cada tramo. Generalmente es la distancia entre la junta de dilatación y el anclaje (m).  $L_{4m} = 13,55 \text{ m}$ .  $L_{4j} = 4 \text{ m}$ .

Reemplazando los respectivos valores se tiene

$$F_{4m} = 419,863 \frac{\text{Kgf}}{\text{m}^2} \times 13,55 \text{ m} \times \sin 0^\circ$$

$$F_{4m} = 0 \text{ Kgf}$$

$$F_{4j} = 419,863 \frac{\text{Kgf}}{\text{m}^2} \times 4 \text{ m} \times \sin 19^\circ$$

$$F_{4j} = 546,776 \text{ Kgf}$$

- **Fuerza Debida a Cambios de Temperatura en la Tubería  $F_5$**

Esta fuerza se origina cuando la tubería no tiene juntas de dilatación. Como se ha dicho anteriormente se instalará una junta después de cada anclaje por lo que no se considera esta fuerza.

- **Fuerza de Fricción en la Junta de Dilatación  $F_6$**

Un valor aproximado para esta fuerza se obtiene de la ecuación

$$F_6 = 10D \quad (4.46)$$

Donde el diámetro de la tubería  $D$  está en milímetros y la fuerza  $F_6$  está en Kilogramo-fuerza.

$$F_{6m} = (10 \times 734,4) \text{Kgf}$$

$$F_{6m} = 7344 \text{ Kgf}$$

$$F_{6j} = (10 \times 734,4) \text{Kgf}$$

$$F_{6j} = 7344 \text{ Kgf}$$

- **Fuerza debida a la Presión Hidrostática dentro de las Juntas de Expansión  $F_7$**

$$F_7 = 3.1H_7 \times D \times e \quad (4.47)$$

Donde la fuerza  $F_7$  está en kilogramos fuerza.

$H_7$ : Presión estática en la tubería a la altura del anclaje incluido el aumento de altura por efecto del golpe de ariete (m). Para el anclaje en cuestión  $H_7 = 6,175$  m

$e$ : Espesor de la tubería (mm).

$D$ : Diámetro de la tubería (m).

Sustituyendo los valores respectivos

$$F_{7m} = (3.1 \times 6,175 \times 0.7344 \times 22,43) \text{Kgf}$$

$$F_{7m} = 315,33 \text{ Kgf}$$

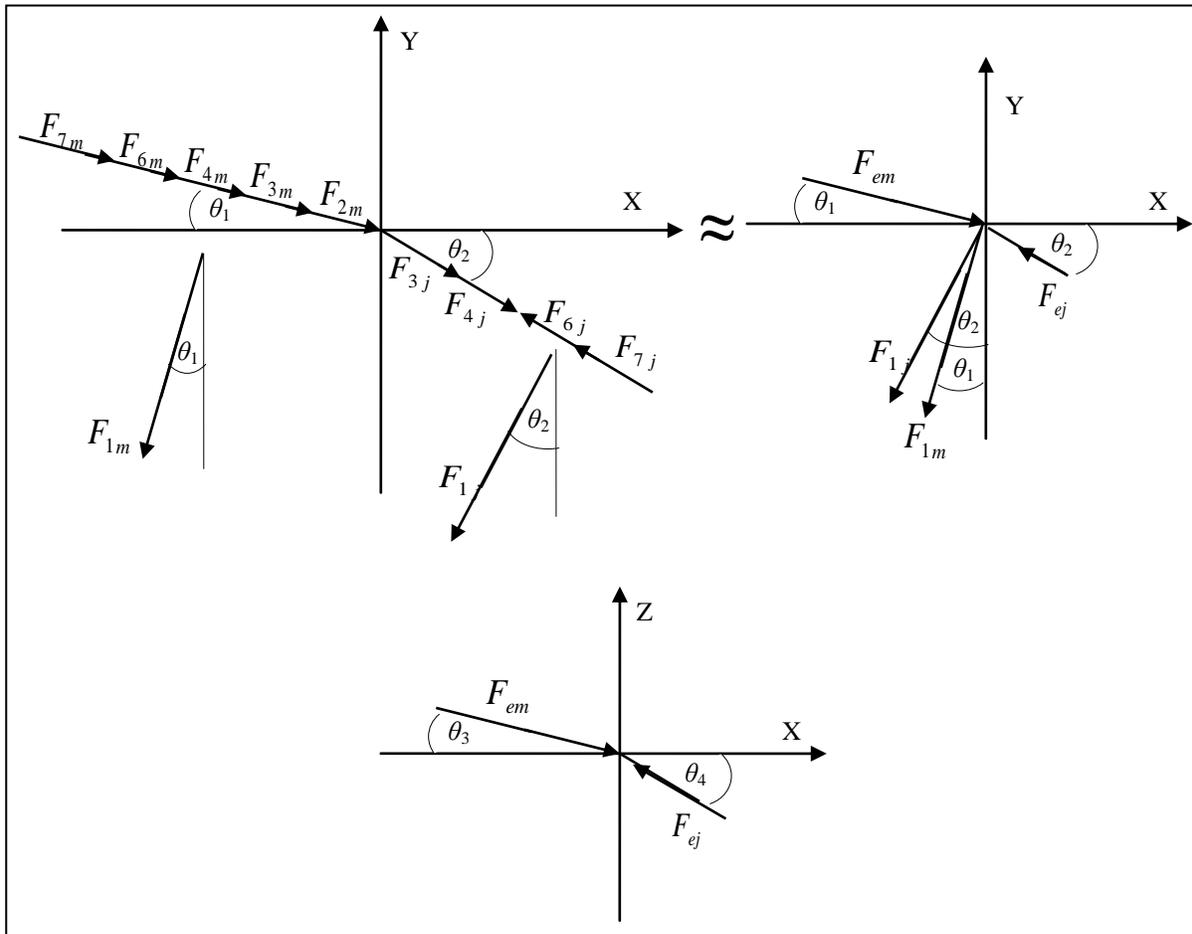
$$F_{7j} = (3.1 \times 6,175 \times 0.7344 \times 22,43) \text{Kgf}$$

$$F_{7j} = 315,33 \text{ Kgf}$$

- **Fuerza Debida al Cambio de Diámetro en la Tubería  $F_8$**

El diámetro de la tubería es el mismo en todo el trayecto, por lo que no se presenta esta fuerza.

A continuación se presenta la dirección que tiene cada una de las fuerzas que actúan sobre el anclaje



**Figura 4.13:** Diagrama de las fuerzas que actúan en un anclaje.

Las fuerzas paralelas a la tubería que actúan sobre el anclaje aguas arriba y aguas abajo se puede reducir a:

$$F_{em} = F_{2m} + F_{3m} + F_{4m} + F_{6m} + F_{7m} \quad (4.48)$$

$$F_{ej} = F_{2j} + F_{3j} + F_{4j} - F_{6j} - F_{7j} \quad (4.48)$$

$$F_{em} = (4\,597,164 + 2\,615,73 + 0 + 7344 + 315,33) \text{ Kgf}$$

$$F_{em} = 14\,872,224 \text{ Kgf}$$

$$F_{ej} = (0 + 2\,615,73 + 546,776 + 7344 + 315,33) \text{ Kgf}$$

$$F_{ej} = 10\,821,836 \text{ Kgf}$$

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

La componente horizontal en el eje  $x$

$$F_{XV} = -F_{1m} \sin \theta_1 + F_{em} \cos \theta_1 - F_{1j} \sin \theta_2 - F_{ej} \cos \theta_2 \quad (4.49)$$

$$F_{XV} = -3384 \sin 0^\circ + 14872,224 \cos 0^\circ - 3199,64 \sin 19^\circ - 10821,836 \cos 19^\circ$$

$$F_{XV} = 3598,27 \text{ Kgf}$$

La componente horizontal en el eje y

$$F_{YV} = -F_{1m} \cos \theta_1 - F_{em} \sin \theta_1 - F_{1j} \cos \theta_2 + F_{ej} \sin \theta_2 \quad (4.50)$$

$$F_{YV} = -3384 \cos 0^\circ - 14872,224 \sin 0^\circ - 3199,64 \cos 19^\circ + 10821,836 \sin 19^\circ$$

$$F_{YV} = -2886,073 \text{ Kgf}$$

La variación de la pendiente horizontal depende de los ángulos  $\theta_3$  y  $\theta_4$ . Sus valores son:  $\theta_3 = 45^\circ$ ,  $\theta_4 = 42^\circ$ . Las fuerzas resultantes que actúan sobre un anclaje que permite variar la pendiente horizontal son:

La componente horizontal en el eje x

$$F_{XH} = F_{em} \cos \theta_3 + F_{ej} \cos \theta_4 \quad (4.51)$$

$$F_{XH} = 14872,22 \cos 45^\circ + 10821,836 \cos 42^\circ$$

$$F_{XH} = 18\,558,44 \text{ Kgf}$$

La componente horizontal en el eje y

$$F_{ZH} = F_{em} \sin \theta_3 + F_{ej} \sin \theta_4 \quad (4.52)$$

$$F_{ZH} = 14872,22 \sin 45^\circ + 10821,836 \sin 42^\circ$$

$$F_{ZH} = 17\,757,47 \text{ Kgf}$$

Para el dimensionamiento del anclaje se sugieren las siguientes medidas y posteriormente el análisis de estabilidad comprobará si son suficientes para soportar las cargas sobre él aplicadas.

$$B = 3 D$$

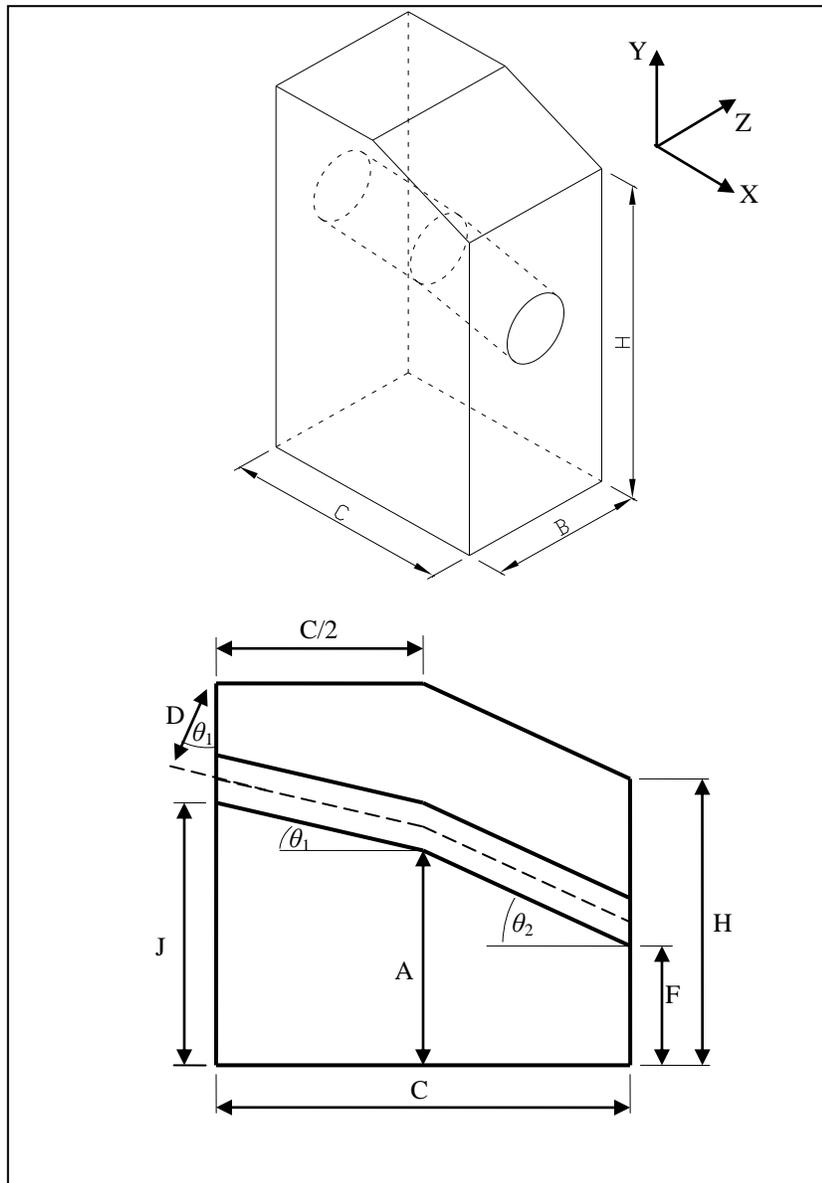
$$C = 3 D$$

$$A = 4 D$$

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

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

$$H = 1.5 D + F$$



**Figura 4.14:** Dimensiones de un anclaje.

Es decir, sus dimensiones serían:

$$B = 3 \times 0,7366 = 2,2098 \text{ m}$$

$$C = 3 \times 0,7366 = 2,2098 \text{ m}$$

$$A = 4 \times 0,7366 = 2,9464 \text{ m}$$

$$F = 2,9464 - 0,5 \times 2,2098 \tan 19^\circ = 2,57 \text{ m}$$

$$J = 2,9464 + 0,5 \times 2,2098 \tan 0^\circ = 2,9464 \text{ m}$$

$$H = 1,5 \times 0,7366 + 2,57 = 3,67 \text{ m}$$

El volumen del concreto del anclaje se halla de:

$$V_c = V_{\text{tot}} - V_f \quad (4.53)$$

Donde:

$V_{tot}$ : Volumen total del anclaje ( $m^3$ ).

$V_t$ : volumen de la tubería dentro del anclaje ( $m^3$ ).

El volumen total del anclaje es:

$$V_{tot} = B \times \left( \frac{C}{4} \times 3(J + 1.5D \cos \theta_1) + H \right) \quad (4.54)$$

$$V_{tot} = 2,2098 \times \left( \frac{2,2098}{4} \times 3(2,9464 + 1.5 \times 0.7366 \cos 0^\circ) + 3,67 \right) m^3$$

$$V_{tot} = 22,95 m^3$$

El volumen de la tubería es:

$$V_t = \frac{\pi}{8} \times C \times (D + 2e) \times \left( \frac{1}{\cos \theta_1} + \frac{1}{\cos \theta_2} \right) \quad (4.55)$$

$$V_t = \frac{\pi}{8} \times 2,2098 \times (0.7366 + 2 \times 0.02244) \times \left( \frac{1}{\cos 0^\circ} + \frac{1}{\cos 19^\circ} \right) m^3$$

$$V_t = 1,4 m^3$$

Al reemplazar los valores en la ecuación 4.53 se tiene:

$$V_c = (22.95 - 1,4) m^3$$

$$V_c = 21,55 m^3$$

El peso del concreto del anclaje es igual a:

$$G_c = \gamma_c \times V_c \quad (4.56)$$

Donde:

$\gamma_c$ : Peso específico del material del bloque ( $Kgf/m^3$ ).

Para concreto  $\gamma_s = 2400 Kgf/m^3$

$$G_c = 2400 Kgf/m^3 \times 21,55 m^3$$

$$G_c = 51 720 Kgf$$

Se verifica que se cumpla la siguiente condición:

$$e_{xc} < \frac{C}{6}$$

$$C / 6 = 0.3683 m$$

$e_{xc}$  se determina a través de la siguiente expresión:

$$e_{xc} = \frac{(F_{em} \times \cos \theta_1 + F_{ej} \times \cos \theta_2) \times A}{F_{YV} + G_c} - \frac{(G_c + W_t + W_a) \times C / 2}{F_{YV} + G_c} \quad (4.57)$$

Donde:

$W_t + W_a$  corresponde a la componente vertical del peso del agua y la tubería y se determina por:

$$W_t + W_a = \frac{F_{1m}}{\cos \theta_1} + \frac{F_{1j}}{\cos \theta_2} \quad (4.58)$$

$$W_t + W_a = \left[ \frac{3384}{\cos 0^\circ} + \frac{3199,64}{\cos 19^\circ} \right] = 6768,01 \text{ Kg}$$

Para determinar  $e_{xc}$  reemplazamos los correspondientes valores en la ecuación 4.57:

$$e_{xc} = \frac{(14782,224 \times \cos 0^\circ + 10821,836 \times \cos 19^\circ) \times 2,9464}{9932,56 + 51720} - \frac{(51720 + 6768,01) \times 2,2098 / 2}{9932,56 + 51720}$$

$$e_{xc} = 1,195 - 1,048 \text{ m}$$

$$e_{xc} = 0,147 \text{ m}$$

$$e_{xc} < \frac{C}{6}$$

$$0,147 < 0,3683$$

La condición si se cumple.

En el caso que no se cumpliera se debe aumentar los valores de  $C$  en las dimensiones del anclaje.

Se debe satisfacer a la relación entre los momentos  $M_{XC}$  y  $M_{XB}$  con la componente vertical  $F_{YV}$ :

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

donde los momentos son igual a:

$$M_{XC} = F_{YV} \times \frac{L_s}{2} - (F_{XV} + F_{XH}) \times \frac{C}{2} \quad (4.59)$$

$$M_{XB} = F_{YV} \times \frac{L_s}{2} - F_{ZH} \times \frac{B}{2} \quad (4.60)$$

$$M_{XC} = \left[ 2886,073 \times \frac{8}{2} - (3598,27 + 18558,44) \times \frac{2,2098}{2} \right] \text{Kgf} \cdot \text{m}$$

$$M_{XC} = 12936,66 \text{ Kgf} \cdot \text{m}$$

$$M = \left[ 2886,073 \times \frac{8}{2} - 17757,47 \times \frac{2,2098}{2} \right] \text{Kgf} \cdot \text{m}$$

$$M_{XB} = 8075,94 \text{ Kgf} \cdot \text{m}$$

Comparando los valores de las condiciones antes mencionadas

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

$$4,48 \geq 1.5 \qquad 2,8 \geq 1.5$$

Ambas condiciones se cumplen satisfactoriamente:

Para que el anclaje no se entierre debe garantizarse que el esfuerzo de compresión transmitido al terreno  $\delta_c$  no sea superior a la capacidad portante del terreno  $\delta_{ad}$  y que el esfuerzo de tracción  $\delta_t$  sea mayor a cero. Para determinar  $\delta_c$  y  $\delta_t$  se usa las fórmulas 4.39 y 4.40 respectivamente.

$$\delta_c = \frac{\sum F_V}{B \times C} \left( 1 + \frac{6e_x}{C} \right)$$

$$\delta_t = \frac{\sum F_V}{B \times C} \left( 1 - \frac{6e_x}{C} \right)$$

En la sumatoria de fuerzas verticales debe estar incluido el peso del concreto del anclaje, es decir

$$\sum F_V = G_c + W_t + W_a + F_{em} \sin \theta_1 + F_{ej} \sin \theta_2 \qquad (4.61)$$

$$\sum F_V = (51720 + 6768,01 + 14872,22 \sin 0^\circ + 10821,836 \sin 19^\circ) \text{Kgf}$$

$$\sum F_V = 62\,011,26 \text{ Kgf}$$

Los valores de las tensiones son:

$$\delta_c = \frac{62011,26}{2,2098 \times 2,2098} \left( 1 + \frac{6 \times 0,147}{2,2098} \right) \frac{\text{Kgf}}{\text{m}^2}$$

$$\delta_c = 13767,36 \text{ Kgf/m}^2$$

$$\delta_t = \frac{62011,26}{2,2028 \times 2,2098} \left( 1 - \frac{6 \times 0,147}{2,2098} \right) \frac{\text{Kgf}}{\text{m}^2}$$

$$\delta_t = 7630,35 \text{ Kgf/m}^2$$

Recordando que la tensión de compresión del terreno es  $\delta_{ad} = 15000 \text{ Kgf/m}^2$

$$13767,36 < 15000$$

$$7630,35 > 0$$

Las condiciones se cumplen satisfactoriamente.

Se ha diseñado un anclaje para el sistema de tubería de presión de la central hidroeléctrica rio blanco, el diseño del resto de anclajes se muestra en las tablas a continuación con todos los parámetros de cálculo respectivamente:

**Tabla 4.16:** ANGULO DE LOS ANCLAJES AGUAS ARRIBA Y AGUAS ABAJO DEL ANCLAJE RESPECTIVAMENTE

Anclaje	01	02	03	04	F
	(°)	(°)	(°)	(°)	
1	0	19	3,2	3,7	846
2	19	29	3,7	1,9	846
3	29	39	1,9	4,3	846
4	39	20	4,3	9,7	846
5	20	10	9,7	2,6	846
6	10	39	2,6	3,8	846
7	39	0	3,8	3,9	846

**Tabla 4.17:** CALCULO DE FUERZAS PARA CADA ANCLAJE RESPECTIVAMENTE.

F1		F2		F3		F4		F6		F7	
F1m	F1j	F2m	F2j	F3m	F3j	F4m	F4j	F6m	F6j	F7m	F7j
3384	3199,635	2019,83	0	2631,42	2631,42061	0	546,7762643	7366	7366	316,2712	316,271198
3200	2959,713	40459,4	0	7073,94	7073,94043	28202,7	814,2147486	7366	7366	850,21893	850,218929
2960	2629,862	25492,4	0	63554,7	63554,6672	28865,9	1056,91373	7366	7366	7638,6537	7638,65368
2630	3179,92	15067,5	0	114815	114815,167	25278,7	574,4065988	7366	7366	13799,668	13799,6678
3180	3332,589	17795,6	0	134328	134328,163	13432,5	291,6338732	7366	7366	16144,94	16144,9404
3333	2629,862	7406,68	0	143298	143298,431	2884,26	1056,91373	7366	7366	17223,079	17223,0795
2630	3384	1004,28	0	157399	157399,436	2671,35	0	7366	7366	18917,883	18917,8834

**Tabla 4.17:** CALCULO DE FUERZAS RESULTANTES PARA CADA ANCLAJE RESPECTIVAMENTE.

<b>Fem</b>	<b>Fej</b>	<b>Fxv</b>	<b>Fyv</b>	<b>F xh</b>	<b>Fzh</b>
12333,5168	-4504,07432	15550,5035	-4942,93103	16808,9721	397,817158
83952,2619	-328,063747	77188,7575	-32787,0721	84105,1567	5406,75623
132917,648	49606,92729	74610,6481	-100290,815	83377,2817	687,444084
176327,034	94223,90569	45747,7112	-148224,606	82953,8664	2654,95089
189067,228	111108,8563	66577,9211	-90228,7579	75369,745	26815,5902
178178,449	119766,2649	80161,9253	-111637,462	58492,0719	145,329362
187358,947	131115,5527	12834,6709	-123336,593	56135,1072	3499,14579

**Tabla 4.18:** PARÁMETROS DE CÁLCULO PARA CADA ANCLAJE RESPECTIVAMENTE

<b>D</b>	<b>L1</b>	<b>L2</b>	<b>COS01</b>	<b>COS02</b>	<b>u</b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b>PI</b>	<b>H3</b>	<b>E</b>	<b>L4m</b>	<b>L4j</b>	<b><math>\gamma t</math></b>
<b>m</b>	<b>m</b>	<b>m</b>				<b>kgf / m<sup>3</sup></b>		<b>m</b>	<b>M</b>	<b>m</b>	<b>m</b>	<b>kgf / m<sup>3</sup></b>
0,7366	4	9,55	1	0,94552	0,25	1000	3,141593	6,175	0,02243	13,55	4	7850
0,7366	4	202,32	0,94552	0,87462	0,25	1000	3,141593	16,6	0,02243	206,32	4	7850
0,7366	4	137,81	0,87462	0,77715	0,25	1000	3,141593	149,14	0,02243	141,81	4	7850
0,7366	4	91,67	0,77715	0,93969	0,25	1000	3,141593	269,43	0,02243	95,67	4	7850
0,7366	4	89,54	0,93969	0,98481	0,25	1000	3,141593	315,22	0,02243	93,54	4	7850
0,7366	4	35,56	0,98481	0,77715	0,25	1000	3,141593	336,27	0,02243	39,56	4	7850
0,7366	4	6,11	0,77715	1	0,25	1000	3,141593	369,36	0,02243	10,11	4	7850

**Tabla 4.19:** PARÁMETROS DE CÁLCULO PARA CADA ANCLAJE RESPECTIVAMENTE.

<b>Wt</b>	<b>D</b>	<b>H7</b>	<b>sen</b>	<b>sen</b>	<b>cos</b>	<b>Sen</b>	<b>cos</b>	<b>sen</b>
<b>kg</b>	<b>mm</b>	<b>m</b>	<b>01</b>	<b>02</b>	<b>03</b>	<b>03</b>	<b>04</b>	<b>04</b>
419,8631352	736,6	6,175	0	0,32556815	0,99844076	0,055821505	0,99791562	0,06453231
419,8631352	736,6	16,6	0,3255682	0,48480962	0,99791562	0,064532308	0,99945022	0,03315518
419,8631352	736,6	149,14	0,4848096	0,62932039	0,99945022	0,033155178	0,99718513	0,07497873
419,8631352	736,6	269,43	0,6293204	0,34202014	0,99718513	0,074978727	0,98570347	0,16848938
419,8631352	736,6	315,22	0,3420201	0,17364818	0,98570347	0,16848938	0,99897057	0,04536299
419,8631352	736,6	336,27	0,1736482	0,62932039	0,99897057	0,045362988	0,99780147	0,0662739
419,8631352	736,6	369,36	0,6293204	0	0,99780147	0,0662739	0,99768428	0,06801529

**Tabla 4.20:** DIMENSIONAMIENTO PARA CADA ANCLAJE RESPECTIVAMENTE.

<b>D</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>F</b>	<b>J</b>	<b>H</b>	<b>V<sub>total</sub></b>	<b>V<sub>t</sub></b>	<b>V<sub>c</sub></b>	<b>γ<sub>s</sub></b>	<b>G<sub>c</sub></b>
<b>m</b>	<b>m<sup>3</sup></b>	<b>m<sup>3</sup></b>	<b>m<sup>3</sup></b>	<b>kgf / m<sup>3</sup></b>	<b>kgf</b>						
0,7366	1,8	2,3	2,1	1,17032	2,1	2,35	15,77725	1,70489	14,0724	2400	33773,666
0,7366	2,1	2,5	2,22	0,83423	2,6504	2,75	18,62167	1,68858	16,9331	2400	40639,4271
0,7366	2,2	2,8	2,1	0,7554	2,7929	2,9	18,10389	1,86437	16,2395	2400	38974,8341
0,7366	2,6	2,8	2,05	1,56007	3,0622	2,45	18,23365	1,80363	16,43	2400	39432,052
0,7366	2,6	2,5	1,98	1,53918	2,435	2,344	16,4815	1,59547	14,886	2400	35726,4761
0,7366	2,25	2,8	1,95	1,525	2,1704	2,63	19,66417	1,76623	17,8979	2400	42955,0531
0,7366	1,95	2,5	1,6	1,6	2,6122	2,705	17,96503	1,75439	16,2106	2400	38905,5216

**Tabla 4.21:** CONDICIONES DE CUMPLIMIENTO PARA CADA ANCLAJE.

<b>C/6</b>	<b>Wt+Wa</b>	<b>exc</b>	<b>exc &lt; C/6</b>	<b>Mxc</b>	<b>MxB</b>	<b>Mxc/Fxv</b>	<b>MxB/Fyv</b>	<b>Σ Fv</b>	<b>δc</b>	<b>δt</b>
<b>m</b>	<b>kg</b>	<b>m</b>		<b>Kgf · m</b>	<b>Kgf · m</b>	<b>≥ 1.5</b>	<b>≥ 1.5</b>	<b>Kgf</b>	<b>Kgf/m<sup>2</sup></b>	<b>Kgf/m<sup>2</sup></b>
0,41667	6583,63	0,0989	ok	50335,207	9587,49919	2,93494333	1,939638472	40160,6193	13251,5051	8167,49193
0,41667	6514,25	0,256	ok	267191,54	61519,077	3,15833287	1,876321156	69075,9069	7102,84525	29737,6384
0,41667	6390,86	0,28	ok	398066,54	200066,048	5,02800209	1,99485912	73522,2531	6430,7464	32781,1219
0,41667	7475,79	0,276	ok	457326,18	294457,998	9,58849247	1,986566244	125712,516	11317,4787	55729,1963
0,41667	6930,47	0,213	ok	357892,1	160345,823	5,06617639	1,777103297	91437,5349	11918,5779	36848,1074
0,41667	6054,43	0,98	ok	396592,42	223165,927	4,69641572	1,999023652	6598,15558	2378,85502	5897,87133
0,41667	7738,39	0,298	ok	332885,41	244048,826	25,1566944	1,978721973	168538,1	12799,9069	77087,0799

Los anclajes serán construidos con las dimensiones calculadas para cada anclaje respectivamente debido a que se cumplen las condiciones para que funcionen bien.

#### **4.7 Juntas De Expansión**

En la tubería de presión de acero tiene que existir juntas de expansión o dilatación. Generalmente se las coloca una inmediatamente debajo de la cámara de carga o del anclaje superior [2].

La dilatación de la tubería debe ser calculada como:

$$E = \alpha \Delta T x L \quad (4.62)$$

Donde:

E= dilatación en metros.

$\alpha$ = coeficiente de dilatación del acero tomado como  $1.5 \times 10^{-5}$  m/m °C.

$\Delta T$ = cambio de temperatura experimentada por la tubería (°C).

L = longitud de la tubería (m).

$$E = (1.5 \times 10^{-5} \text{ m/m } ^\circ\text{C})(18^\circ\text{C} - 6^\circ\text{C})(656 \text{ m})$$

$$E = 0,11808 \text{ m}$$

#### **4.8 Válvula Esférica**

La válvula esférica es el elemento de protección e interceptación ente la tubería de presión y la turbina, trabaja en posición abierta o cerrada, asegurando en el primer caso un flujo continuo con el mínimo de pérdida y en el segundo caso una estanqueidad total hacia el lado de la turbina [2].

## CAPÍTULO V

### INSTALACIÓN DE LA TUBERIA DE PRESIÓN

- **Generalidades**

La tubería transportada será entregada y almacenada en la bodega de la Central hidroeléctrica Rio blanco de la EERSA ubicada a 15 Km. de Riobamba en las parroquias Quimiag y Candelaria pertenecientes a los Cantones Riobamba y Penipe.

A lo largo de toda la conducción, y en sitios convenientes se instalarán juntas de expansión y una válvula esférica hasta la turbina que se encuentra en casa de maquinas [1].

- **Misceláneos**

El suministrador de la tubería de presión deberá proporcionar los anclajes, anillos, pernos, tuercas, bridas, dispositivos temporales para transporte y montaje que se requieran, para que no se produzcan daños ni en los tubos ni en los revestimientos.

- **Tipos de Soldadura**

La tubería deberá ser fabricada con soldadura helicoidal con doble cordón de soldadura, interior y exterior. La soldadura en cualquier caso utilizará un proceso por arco eléctrico sumergido tipo UNIÓN-MELT [1].

- **Eficiencia de la Soldadura**

Para el diseño, se considerará una eficiencia de soldadura de junta igual a 1.

- **Fabricación de las Tuberías**

La fabricación de los tubos se deberá hacer de acuerdo con los últimos adelantos de la técnica de fabricación de tuberías y de la soldadura en las tuberías de acero [1].

#### **Procesos de Fabricación**

- **Tuberías de Acero Soldadas Helicoidalmente**

La fabricación de los tubos se deberá realizar mediante un proceso controlado y reproducible sometido a un procedimiento de calidad y certificado por un organismo exterior [3].

Los trabajos serán ejecutados cuidadosamente y ciñéndose a la norma API-5L y a las mejores prácticas usadas en la fabricación de tuberías de acero.

La tubería deberá ser soldada helicoidalmente con doble cordón, interior y exterior, por el procedimiento de arco sumergido tipo Unión Melt (S.A.W.) y se someterá a un ensayo mecánico de 1 tubo cada 50 consistente

en un ensayo de tracción del material base, un ensayo de tracción de soldadura según la norma API 5L, ASTM E4, ASTM E83, ASTM E8 Y ASTM A370 y dos ensayos de doblado transversal a la soldadura Según la norma ASTM A370. Tanto los procedimientos de soldadura como los soldadores y equipos de soldadura automáticos deberán estar homologados de acuerdo con la sección IX de la norma ASME o equivalente.

➤ Se deberán realizar los siguientes ensayos de control de calidad, de acuerdo con el procedimiento homologado, sobre muestras de aceros o tubos:

1. Ensayos de recepción de materiales.
2. Ensayos de laboratorio del tubo fabricado.

➤ Se deberán realizar los siguientes ensayos de control de calidad sobre todos los tubos:

1. Comprobación de procedimiento de soldadura al realizar la soldadura automática tanto exterior como interior.
2. Inspección visual de los tubos una vez cortados.
3. Inspección de la soldadura.
4. Inspección de la soldadura de las zonas reparadas.
5. Radiografía de extremos previo al biselado.
6. Inspección visual y dimensional final.
7. Pesaje y marcado

- **Tolerancias**

Toda la tubería objeto de contrato será fabricada cumpliendo con las tolerancias descritas a continuación:

La tolerancia en los espesores de las tuberías no se aceptará bobinas con diferencia de - 0.05 mm del espesor seleccionado.

La calidad del acero será X65 con las siguientes características técnicas:

Limite elástico: 45.7 Kg / mm<sup>2</sup>      448 Mpa (min)

Carga de rotura: 54.0 Kg / mm<sup>2</sup>      529 Mpa (min)

- **Tuberías de Acero**

Todas las tolerancias del resto de las características geométricas deberán satisfacer las requeridas en la norma API-5L/04 o equivalente.

Pruebas en Fábrica

Pruebas en las Tuberías de Acero

Pruebas de Recepción de Materiales

- **Pruebas sobre Tubos Fabricados**

Por cada lote de tubos se deberán seleccionar muestras las cuales serán sometidas a los siguientes ensayos de laboratorio de acuerdo con el procedimiento de calidad homologado:

1. Químicas.
2. Metalográfico.
3. Tracción.
4. Micro durezas.

- **Pruebas sobre las Soldaduras en los Tubos Fabricados**

En todos los tubos se realizarán los siguientes ensayos de control de calidad:

1. Inspección de la soldadura por radiografiado.
2. Radiografía de extremos y zonas reparadas por S.M.A.W..

- **Prueba Hidrostática**

Todos los tubos individualmente deberán ser sometidos en fábrica a una prueba hidrostática de presión del 90% del límite elástico.

- **Protección contra la Corrosión**

- Tuberías de Acero**

Las tuberías de acero para la línea de conducción deberán llevar los revestimientos anticorrosivos de fábrica que a continuación se especifican [1].

- Protección Interior de Fábrica**

A toda la tubería se le aplicará pintura epoxica, de espesor mínimo de 300 micras, según norma AWWA C210/92.

Se hará limpieza de extremos de 150 mm según norma.

- Protección Exterior de Fábrica**

- **Desperfecto en el Revestimiento**

En caso se produjera algún daño o deterioro en los revestimientos de la tubería durante el transporte y hasta su entrega-recepción la empresa que entregue la tubería ejecutará las reparaciones del revestimiento que se requieran.

- **Fabricación de Piezas Especiales y Tubería Expuestas**

La empresa, de acuerdo a los diseños y datos de replanteo, deberá fabricar o suministrar ya fabricadas las piezas especiales: codos, acoples para válvulas.

- **Codos para Tuberías de Acero de la Conducción de Agua**

Para la fabricación de los codos para las tuberías de acero de la Conducción de Agua, se deberán utilizar tubos de la misma especificación y espesor que el tramo pertinente, sin revestimiento de fábrica, de acuerdo con los planos de proyecto y la normativa de aplicación y deberán estar fabricados según la Norma C208 de AWWA.

- **Transporte de la Tubería**

La tubería será transportada desde las bodegas de la EERSA con el empleo de equipos y apoyos adecuados que garanticen la protección de los revestimientos interior y exterior hasta los sitios de montaje.

- **Calificación de los Soldadores**

Todos los soldadores y operadores de soldadura serán calificados siguiendo el proceso de Calificación establecida de acuerdo con la Sección IX de las Normas ASME

- **Reparaciones y Defectos**

Los defectos visuales o radiográficos que son susceptibles de reparación se llevarán a cabo de acuerdo a la norma API 5L/04.

- **Revestimiento de Juntas, Reparaciones del Revestimiento y Bajada de la Tubería de Acero**

Previamente a la tarea de bajada, será revisado la plataforma sobre la cual ira la tubería de presión, eliminándose todo objeto que pudiera dañar el revestimiento en la bajada de la tubería.

En todas las soldaduras circunferenciales ejecutadas en campo se resanará su pintura interior y exterior de modo que la protección sea la especificada para la tubería expuesta.

- **Juntas de Expansión para Tuberías de Acero**

Se deberán instalar las juntas de expansión en los extremos inicial y final de la tubería expuesta y en los cambios de pendiente [3].

Pruebas en fábrica: antes de la salida de fábrica deberán ser sometida a una prueba de estanqueidad acreditándose en la certificación correspondiente.

Montaje: para el montaje deberán respetarse las instrucciones y recomendaciones de seguridad recomendadas por el fabricante.

Las juntas deberán ser colocadas de acuerdo con la dirección del fluido.

## CAPÍTULO VI

### **6. EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA RÍO BLANCO**

#### **6.1 ANTECEDENTES**

La Empresa Eléctrica Riobamba. S.A. para garantizar la dotación de energía para la provincia de Chimborazo, ha aprovechado la ubicación geográfica de las fuentes de agua, mediante su captación, genera energía hidroeléctrica, producida por los caudales de los ríos Alao, Blanco y Achupallas.

Si bien la construcción de presas y embalses permite el aprovechamiento de la energía hidráulica, la fase de construcción, establecimiento y mantenimiento de las mismas genera distintos grados de impactos ambientales positivos y negativos.

Los resultados obtenidos permiten evaluar la magnitud de los impactos y delinear las acciones de protección y mitigación necesarias tanto para garantizar la calidad de los recursos como para alargar la vida útil de las instalaciones de la empresa.

#### **A. RESEÑA HISTÓRICA**

La Empresa Eléctrica Riobamba S.A. inició sus actividades el 3 de Abril de 1963, con las centrales de Generación Cordovez y Guadalupe, actualmente fuera de operación.

En 1966 se incorpora la Central Alao, con 5 200 KW.

En 1976 se incorpora a la **EERSA** el sistema eléctrico Alausí con la Central Hidroeléctrica Nízag con 300 KW.

En 1977 entra en operación el tercer grupo de la Central Alao y en 1979 el cuarto grupo de la misma central con 2600 KW cada unidad. En este año la empresa se incorpora al Sistema Nacional Interconectado a través de la línea Ambato- Riobamba.

En 1997 se incorpora a la **EERSA** la central Hidroeléctrica Río Blanco con una generación de 3 000 KW.

#### **B. PRESTACIÓN DE SERVICIOS**

Inicialmente la empresa prestaba sus servicios a los cantones: Guano, Riobamba, Chambo y Penipe. En la actualidad se cubre adicionalmente los cantones de Colta, Guamote, Alausí, Chunchi, Pallatanga y Cumandá.

A partir de la incorporación al Sistema Nacional Interconectado, y la inclusión de los cantones ya mencionados se desarrolla la electrificación rural de la provincia.

## **6.2 OBJETIVOS:**

### **A. Objetivo General**

- Disponer de información básica que apoye el diseño e implementación de acciones para optimizar la producción sustentable de la central hidroeléctrica, mitigando los daños ambientales y de esta forma garantizar la vida útil de los equipos, e instalaciones con un impacto ambiental y social aceptable o positivo.

### **B. Objetivos Específicos**

- Contar con un diagnóstico real de las zona de influencia que están involucrada por las instalaciones de generación río blanco de la **EERSA**.
- Evaluar los impactos ambientales positivos y negativos provocados por la generación, de la **EERSA**.
- Establecer recomendaciones viables para la mitigación de los impactos ambientales existentes.

## **6.3 METODOLOGÍA DE TRABAJO**

La presente evaluación se realizó en base a la recolección de información a través de visitas de campo.

La central río Blanco se caracterizó la micro cuenca, principalmente en aspectos de flora, fauna, suelo, contaminación de agua y nivel socioeconómico de las familias campesinas que habitan en la zona.

Para el estudio de flora y fauna se hizo una evaluación ecológica donde se evaluaron estos dos aspectos considerando la presencia y abundancia de especies vegetales y faunísticas.

Para los suelos se observó características físicas, uso actual, grado de erosión, grado de pendientes, además se tomó muestras para realizar análisis físico-químicos.

La caracterización del agua contempló la observación del grado de turbidez, sedimentación y características organolépticas. Se tomó muestras para analizar, DQO, Materia Orgánica, N, P y K [3].

El nivel socioeconómico fue valorado sobre la base de entrevistas semi estructurada, realizada a personas de las comunidades que se encontraban en los caminos y los centros poblados.

## **6.4 CARACTERIZACIÓN BIOFÍSICA Y SOCIOECONÓMICA DE LA ZONA**

### **A. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ÁREA DE ESTUDIO**

#### **1. Micro cuenca hidrográfica Río Blanco**

Se encuentra ubicada a 15 Km de Riobamba en las parroquias Quimiag y Candelaria pertenecientes a los Cantones Riobamba y Penipe.

El origen de los ríos se encuentra a 4 300 m.s.n.m. La bocatoma a 3 480.m.s.n.m. y la central de generación a 2 750 m.s.n.m.

**a. Clima**

La temperatura oscila entre 6 y 18 ° C con una precipitación de 800 a 1 000 mm. anuales, repartidos en los meses de enero a junio. La humedad relativa es de 75 % aproximadamente. La micro cuenca, presenta las formaciones ecológicas de bosque seco montano (bs-M), bosque húmedo montano (bh-M) y Páramo (p)

**b. Suelo**

Los suelos son profundos, arcillosos, de color café-rojizo, con pendientes mayores al 40 %, presentando un creciente proceso erosivo debido a prácticas agrícolas inapropiadas.

De acuerdo al análisis de suelos, tenemos los siguientes resultados:

**Tabla 6.1: ANÁLISIS DE SUELOS**

PARÁMETRO	EXPRESADO COMO	SALI ALTO	PUELAZO B
Ph		6,34 L. Ac	6,33 L. Ac
NITROGENO	Lb/acre	0,3 B.	0,9 B.
FOSFORO	Lb/acre	10 B.	2 B.
POTASIO	Lb/acre	229 A.	189 A.
HUMUS		1	5
TEXTURA		limoso	Limoso

**CODIGO:**

1 = suelo agrícola pobre      Ac = ácido  
 5 = suelo agrícola alto      L. Ac. = Ligeramente ácido  
 A = Alto      P.N = Prácticamente neutro  
 M = Medio      L. Al = Ligeramente alcalino  
 B = Medio      Al = Alcalino

De acuerdo con los análisis de suelos, de las dos localidades mediante un muestreo, se tiene que los valores de pH, a lo largo de toda la cuenca son ligeramente ácidos lo que se considera normal para la práctica de cultivos donde se utiliza agua de riego y aplicación de plaguicidas y fertilizantes.

La materia orgánica está presente pero es baja en las dos localidades mencionadas, esto confirma que son suelos de formación sedimentaria donde se desarrollan prácticas agrícolas inadecuadas.

**c. Hidrografía**

La micro cuenca del río Blanco tiene como principales afluentes los ríos Tiaco Grande, Tiaco Chico y Pailacajas que nacen de deshielos del Nevado Altar y otros pequeños nevados como el Pailacajas y Cubillines.

**Tipo de muestras:** Aguas de vertiente.

Muestra #1: Tanque de captación.

Muestra # 2 : A la mitad del recorrido.

Muestra #3 : Salida de Turbina.

**Tabla 6.2:** TIPOS DE MUESTRAS DE AGUA VERTIENTE DEL TANQUE DE CAPTACIÓN, A LA MITAD DEL RECORRIDO Y DE LA SALIDA DE LA TURBINA.

Determinaciones	Unidades	<u>Límites</u>	Muestra # 1	Muestra # 2	Muestra # 3
Ph	Unid	6.5 – 8.5	6.40	6.20	6.20
Conductividad	μS	< 1250.00	110.00	80.00	60.00
Turbiedad	UNT	20.00	3.40	2.24	1.27
Dureza	mg/L	300.00	56.00	40.00	32.00
Alcalinidad	mg/L	250-300	144.00	77.80	122.20
DQO	mg/L	----	143.91	151.49	166.64
Sulfatos	mg/L	200.00	4.47	4.26	4.90
Nitritos	mg/L	< 0.10	0.001	0.003	0.04
Nitratos	mg/L	40.00	4.10	5.30	6.20
Sólidos totales	mg/L	1000.00	240.00	280.00	320.00
Sólidos disueltos	mg/L	1000.00	71.50	52.00	39.00

Dentro de las características físicas se puede destacar que el pH (posee valores mínimos), se encuentra dentro de los límites normales y es muy estable a lo largo del recorrido del caudal desde la captación hasta el tanque de presión; igualmente la conductividad que es la propiedad que tiene el agua de transmitir el calor o la electricidad es ínfima, lo que es un indicativo de que no es una agua pesada.

Referente a la turbiedad los valores son bajos, debido a una disminución de la contaminación físico-química lo que determinan debido a la erosión del suelo que arrastra contaminación química.

La interpretación de la tabla de valores del análisis físico químico de este micro cuenca sigue los patrones del uso actual, con lo que se determina que el caudal del río Blanco es apto para actividades industriales y usos agrícolas. Sin embargo hay, presencia de elementos contaminantes lo que amerita la aplicación de medidas correctivas.

#### **d. Aspectos socio económico**

La planta de generación de Río Blanco aprovechó la infraestructura de riego construida por el ex **INERHI** para el canal de riego Químiag-Penipe.

El tamaño promedio de las fincas de las familias es de 5 hectáreas, los principales cultivos que se producen en la zona son: papa, haba, cebada y avena, con pequeñas áreas de pastos.

Cada familia posee en promedio 5 borregos, 2 a 6 cabezas de ganado vacuno, 1 a 2 cabezas de ganado equino y de 20 a 30 cuyes, animales que son utilizados una parte para la celebración de fiestas y los excedentes para la comercialización.

Los campesinos practican la rotación de cultivos con papa, haba y potreros, realizando controles químicos para las principales plagas.

En la parte alta de la micro cuenca los campesinos se agrupan en la Asociación Zoila Martínez, los socios provienen de las comunidades de: Chañag, Verde pamba. El Toldo, Quimiag. La mayor parte de los socios también poseen lotes para vivienda y cultivos en la parte baja de la micro cuenca.

El ingreso económico de las familias se genera principalmente por actividades agrícolas y ganaderas y eventualmente por oferta de servicios a turistas que visitan el Nevado Altar y las Lagunas, para ello cuentan con un albergue. En la zona se presenta una tasa de migración del 10 % principalmente de hombres que salen a trabajar como albañiles y comerciantes en las ciudades de Riobamba, Quito y Guayaquil.

#### **f. Caracterización florística**

Se diferencian tres zonas bien definidas en cuanto al uso actual del suelo, así en la parte baja se caracteriza por la presencia masiva de cultivos, la zona media una mezcla entre agricultura, ganadería y vegetación natural y la parte alta por cultivos, páramos, bosques y plantaciones forestales.

La zona baja ubicada entre los 2.800 a 3.100 m.s.n.m., esta destinada al cultivo de pastizales con ray grass *Lolium multiflorum* y pasto azul *Dactylus glomerata* y cultivos agrícolas anuales donde predomina la papa y el maíz.

En los linderos se observa gran cantidad de eucaliptos *Eucalyptus globulus* y capulí de monte *Padus capuli*. Esta zona cuenta con riego proveniente del canal Quimiag-Penipe luego de la utilización del agua por parte de la central eléctrica de Río Blanco. El área presenta un nivel moderado de erosión, producto de las malas prácticas agrícolas como el monocultivo y la escasa presencia de árboles.

La parte media aproximadamente ubicada desde los tanques de presión hasta la cota 3 500 m.s.n.m. presenta una cobertura vegetal tipo mosaico con cultivos de papa, cebada, grandes extensiones de páramos y pequeños remanentes de vegetación arbustiva. La apariencia del páramo es abierta con un sobre pastoreo y presencia de quemados, la vegetación representativa *Monnina obtusifolia* es la paja *Stipa ichu* pocos arbustos como *Hypericum laricifolium*, *Brachyotum*,. En los parches de vegetación arbustiva sobresalen especies de sacha capulí *Vallea stipularis*, *Bocconia frutescens*, tunash *Gynoxys nitida*, *Miconia*, *Macleania popenoi*, *Centropogum sp.*, *Rubus roseus* y sobre las plantas se observan abundantes epífitas como huicundos, musgos y líquenes.

Esta zona por poseer suelos negros y profundos aptos para el cultivo de la papa, está expuesta a fuertes presiones por la necesidad de incorporar nuevas áreas de cultivo.

En la parte alta ubicada arriba de los 3.500 m.s.n.m se diferencian dos tipos de cobertura, el páramo abierto y los bosques andinos de galería.

El páramo ocupa el 90 % de la parte superior de la micro cuenca, se observa una vegetación paramera típica dominada por penachos de paja *Stipa ichu* y arbustos de *Hypericum laricifolium*, *Barchyotum campanulare*, *Miconia salisifolia*, *Vaccinium floribundum*. Este ecosistema sufre muchas presiones por el sobre pastoreo y quema de la paja para obtener rebrotes tiernos para el ganado. Un problema ecológico notable que enfrenta el páramo es la reforestación masiva con *Pinus radiata*.

La cobertura boscosa en esta zona esta ubicado en las riberas de los ríos y en pequeñas superficies de galerías en terrenos de fuertes pendientes, donde sobresalen especies como las reportadas en LA siguiente tabla:

Tabla 6.3: ESPECIES BOSCOSAS EXISTENTES

Nombre Común	Nombre Científico	Familia	Habito de crecimiento	Abundancia	Usos
Samal	<i>Myrsine andina</i>	Myrsinaceae	A	2	Leña, construcción
Pugin	<i>Hesperomeles ferriginea</i>	Rosaceae	A	2	Alimento, leña, construcción
	<i>Philea</i> sp.	Urticaceae	H	2	
	<i>Centropogon</i> sp.	Lobeliaceae	H	2	
	<i>Tournefortia</i> sp.	Boraginaceae	H	2	Leña
Sharan,	<i>Baccharis obtusifolia</i>	Asteraceae	H	2	Leña
	<i>Maytenus prunoides</i>	Celastraceae	A	3	Leña
Rambran	<i>Myrica parviflora</i>	Myricaceae	H	2	Leña, medicinal
Pepinillo	<i>Fucsia candida.</i>	Oenotheraceae	H	2	
	<i>Jungia</i> sp	Ateraceae	H	2	
	<i>Oxalis</i> sp.	Oxalidaceae	T	2	
Tipo	<i>Mintostachys mollis</i>	Lammiaceae	H	2	Medicinal
Jigueron	<i>Aegyphylla ferruginea</i>	Verbenaceae	A	2	Leña, construcción
	<i>Peperomia</i> sp	Lammiaceae	H	1	Medicinal
Helechos	Filicine		h/E	3	
Musgos	Musci		E	3	

A = árboles;

H = arbustos;

h = hierbas;

T = trepador

E = epífita

1 = raro

2 = común

3 = abundante

#### g. Caracterización faunística

La cuenca del río Blanco llamada también de los Tiacos, se divide para efectos de descripción de fauna en dos zonas específicas. La zona baja con la presencia de cultivos y vegetación exótica como pinos y

eucaliptos, arbustos y herbáceas, la parte alta donde existen remanentes de bosques, algunos cultivos y pajonal.

La fauna de la parte baja de la cuenca se caracteriza por la presencia de pocas especies de mamíferos como zorro *Conepatus chinga*, conejo de páramo *Sylvilagus brasiliensis*, lobo de páramo *Dusicyon culpaeus*, raposa *Marmosa robinsoni*. En lo referente a aves se encuentran el gorrión *Zonotricha capensis*, mirlo *Turdus fuscater*, quinde herrero *Colibrí coruscans*, negrillos *Dyglossa humeralis*, huirac-churo *Pheucticus crysopeplus*, lechuza *Tyto alba*, chirote *Sturnella abelicos*, gavián *Falco sparverius*.

Conforme se avanza en altitud en los remanentes de bosque de las quebradas Hifza Chanchán y Puelazo, se puede detectar especies como las torcazas *Columba fasciata*, reinita cresti negra *Basileuterus nigrocristatus*.

En la parte alta de la cuenca se puede encontrar especies mayores de mamíferos como el venado *Odocoileus virginianus*, leopardo *Felis concolor* y entre las aves se mencionan el guarro *Geranoeatus melanoleucus*, pavas de monte *Penélope montagnii*, cóndor *Vultur gryphus*, platero *Anisognatus igniventris*, y patillos *Tringa melanoleuca*.

Entre los colibríes se pueden encontrar al colibrí pico espada *Ensifera ensifera*, y al colibrí cola blanca *Lafresnaya lafresnayi*.

La fauna entomológica se comporta de manera similar en las zonas poco intervenidas, así como en las zonas de cultivo.

## **6.5 DESCRIPCIÓN DE IMPACTOS DETERMINADOS EN LAS CENTRAL DE GENERACIÓN RÍO BLANCO**

### **A. IMPACTOS SOCIO - ECONÓMICOS.**

#### **1. Impactos Positivos.**

Los habitantes de las comunidades se han visto beneficiados en forma directa e indirecta por la construcción y mantenimiento de vías de acceso y canales de riego.

Las comunidades de la Central Río Blanco cuentan con los servicios de luz eléctrica, caminos vecinales, agua de riego en la parte alta por medio de canales abiertos (inundación), y en la parte baja por aspersión aprovechando el agua luego de la generación de energía.

Dentro del aspecto cultural los pobladores tienen acceso a los medios de comunicación como Radio y Televisión, comodidades que han influido en sus hábitos de comportamiento, visión de la realidad nacional y por tanto un ligero mejoramiento en la calidad de vida.

También la disponibilidad de servicio eléctrico ha permitido el establecimiento de fuentes de trabajo como: pequeños talleres de carpintería, mecánica, artesanales, tiendas, lo que ha creado alternativas de trabajo para que la gente no migre masivamente a las grandes urbes.

## **2. Impactos Negativos.**

En estos sectores se hace notoria la falta de alumbrado público el mismo que es solicitado por los moradores de estos sectores.

Falta apoyo y fiscalización a los convenios que la **EERSA** ha firmado con varios organismos para el mantenimiento de los caminos de acceso a estos sectores.

## **B. IMPACTOS CAUSADOS POR OBRAS CIVÍLES CENTRAL RÍO BLANCO**

### **1. Vías de Comunicación.**

#### **a. Impactos Negativos.**

Por la construcción del canal de riego por parte de **ex INERHI** esta micro cuenca se caracteriza por la apertura de un significativo número de caminos vecinales que cruzan la zona, situación que ha favorecido la colonización y los procesos erosivos por el poco mantenimiento de las mismas, éstas se derrumban transformándose en colectores de las aguas lluvias que recogen caudales más grandes y cuando llegan a la desembocadura presentan altos niveles de sedimentos.

Aunque el propósito de la obra inicialmente no estuvo destinada para la generación de energía, el uso actual que se le está dando permite analizar los impactos a "posteriori":

#### **b. Impactos Positivos.**

Apertura de caminos que están interconectados entre las comunidades de estos sectores, lo cual facilita el transporte de los habitantes como de los productos y animales.

### **2. Obra de captación**

#### **a. Impactos Negativos.**

El impacto más notable que se observa en la obra de captación se produce en la época de estiaje ya que se toma en su totalidad el caudal de agua lo que ocasiona que el lecho del río quede completamente seco, situación que provoca la alteración de la fauna afectando a especies como la trucha que ha sido sembrada, y también a la micro fauna.

Otro efecto de la obra de captación es la alteración visual del paisaje debido a la introducción de elementos extraños: estructura de hormigón y hierro.

#### **b. Impactos Positivos.**

Generación de mano de obra y apertura y mantenimiento de los caminos de acceso a estas comunidades.

### **3. Canal de conducción de agua**

#### **a. Impactos Negativos.**

Debido a que en la mayoría del recorrido la conducción del agua es a través de túneles, su construcción ha producido impactos sobre el suelo, vegetación, fauna, paisaje por los grandes volúmenes de tierra desplazados y depositados en áreas aledañas en el proceso de excavación.

Por las condiciones del suelo: textura, estructura, existen problemas de derrumbes y asentamientos que afectan a extensas áreas de dedicación agropecuaria.

#### **b. Impactos Positivos.**

Luego de la utilización del agua para la generación eléctrica, ésta es usada en el riego de cultivos de ciclo corto, situación que es muy beneficiosa ya que es un proyecto doble propósito.

### **4. Tanque de presión**

#### **a. Impactos Negativos.**

En la fase de construcción se había producido movimiento de tierra, actualmente los taludes y áreas circundantes se han recuperado aunque con modificaciones en el paisaje. En algunos lugares se ha hecho necesaria la construcción de gaviones para la prevención de posibles deslizamientos o derrumbes en la temporada lluviosa.

Los problemas de sedimentación no son evidentes, puesto que se retira poca cantidad de sólidos que son depositados en las cercanías.

En el tanque de presión existen filtraciones muy pequeñas que producen pérdida del caudal y principalmente una disminución de la vida útil de la obra y posibles problemas de deslizamientos por la ubicación del tanque.

#### **b. Impactos Positivos.**

Generación de empleo en la zona ocupando puestos de guardianes y ocupando mano de obra para el mantenimiento de la obra.

### **5. Central de Generación**

#### **a. Impactos Negativos.**

En la construcción de la infraestructura para la instalación de las turbinas y su funcionamiento, se ha realizado grandes excavaciones y movimientos de tierra, trabajos que han alterado el uso y estructura del suelo, paisaje y presencia de flora fauna. Los cortes o taludes no se han estabilizado todavía, existiendo un inminente peligro por los frecuentes deslizamientos por infiltraciones de agua, por riego y lluvia en la época de invierno.

La presencia física de la infraestructura para la generación de energía no armoniza con el paisaje lo que se evidencia con la ausencia de aves u otra forma de vida silvestre.

**b. Impactos Positivos.**

Generación de empleos directa e indirectamente y ocupación de la mano de obra de la zona en los trabajos de mantenimiento de esta obra.

**6.6 VALORACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES**

**A. MATRIZ CENTRAL DE GENERACION**

**1. Interpretación de la matriz de valoración de la planta de generación**

Como es conocido para la implementación de una planta de generación eléctrica es necesario realizar una serie de obras civiles entre los que se destacan caminos, tanques, canales de conducción, colocación de tuberías, casas para el funcionamiento de las maquinas, etc. Esta infraestructura viene acompañada de actividades como excavaciones, eliminación de vegetación, pérdida de fauna y micro fauna, introducción de materiales ajenos a la zona, maquinaria pesada que produce contaminación al aire y suelo.

**Tabla 6.4:** MATRIZ DE CUMPLIMIENTOS CENTRAL DE GENERACION

<b>MATRIZ DE CUMPLIMIENTOS</b>		
<b>Revisión del cumplimiento de obligaciones ambientales</b>	<b>Lista de verificación de Cumplimiento Ambiental</b>	
<b>Proyecto Empresa Eléctrica Riobamba S.A Central Hidroeléctrica Río Blanco</b>		
<b>Actividad Planteada</b>	<b>Calif</b>	<b>Actividad Correctiva</b>
El regulado deberá mantener un registro de los efluentes generados, indicando el caudal del efluente, frecuencia de descarga, tratamiento aplicado a los efluentes, análisis de laboratorio y la disposición de los mismos, identificando el cuerpo receptor y datos de producción	NC+	No cuentan con registros de los efluentes generados
Se prohíbe la descarga hacia el sistema de alcantarillado o hacia un cuerpo de agua de residuos líquidos no tratados, que contengan restos de aceite lubricante, grasas, etc., provenientes de los talleres mecánicos, vulcanizadoras, etc.	NC+	Los desagües de la sala de maquinas llega directamente al Río Blanco, sin tratamiento previo, no se llegar a la tubería ya que el misma se encontraba en un sitio inaccesible. Al no existir monitoreos previos es imposible establecer si existe contaminación al río por aceites y lubricantes que pudieran haberse derramado en esta área.
		Los desagües de la sala de maquinas llega directamente al Río Chambo, sin tratamiento previo, no se pudo verificar la tubería ya que el a misma se encontraba en un sitio inaccesible. Al no existir monitoreos previos es imposible establecer si existe contaminación al río por aceites y lubricantes que pudieran

		haberse derramado en esta área.
Las industrias y proveedores de servicios deben llevar un registro de los desechos generados, indicando volumen y sitio de disposición de los mismos	NC+	Se evidenció que no existe separación según tipo de desecho en la Hidroeléctrica Río Blanco.
Los residuos generados durante actividades de mantenimiento de equipos, maquinarias y vehículos que presenten contaminación con aceites minerales, hidrocarburos de petróleo o sus derivados deberán ser almacenados en sitios impermeabilizados y protegidos de la lluvia, a fin de evitar la contaminación del suelo por lixiviación o escorrentías.		Se evidenció en campo la mezcla de desechos (peligrosos y no peligrosos) y disposición inadecuada sobre suelo.
Se prohíbe arrojar al agua los recipientes, empaques o envases con especial atención de aquellos que contengan o que hayan contenido aceites, grasas, combustibles, pinturas, sustancias agroquímicas u otras sustancias tóxicas o productos químicos peligrosos.		Se evidenció la disposición no controlada de desechos junto al tanque contenedor de desechos, los cuales pueden ser arrastrados al río por efecto de la escorrentía durante lluvias fuertes.
Las actividades de manejo de desechos sólidos deberán realizarse en forma tal que se eviten las situaciones de (proliferación de vectores, olores, polvo, contaminación a los recursos agua, aire y suelo, susceptibilidad a riesgos de incendios o accidentes)		Se evidenció la disposición de desechos sólidos sin control. Se verificó que el único recipiente contenedor de desechos sólidos se encontraba en buenas condiciones
Deberán existir sitios designados y señalizados para almacenar los productos químicos. Las bodegas o sitios en donde se almacenen productos químicos al interior de centrales hidroeléctricas deben poseer estructuras de conducción y contención de derrames y deberán estar ubicados lejos de alcantarillas, sumideros y cuerpos de agua	NC+	Se evidenció en la bodega de la Central de Generación que no existía señalización para el almacenaje lubricantes. Se evidenció en la bodega de la Central de Generación que no existía señalización para el almacenaje de químicos y lubricantes
Las etiquetas de los envases de productos químicos peligrosos deben contener la información indispensable (nombre del químico, riesgos, instrucciones de manejo, etc.) relacionada con la seguridad personal y ambiental y deben tener marcas de tipo indeleble, legible y de un material resistente a la intemperie		Se verificó que en la etiqueta del envase que contenía cloro no indicaba la información indispensable solicitada por la normativa
Los regulados en el caso de las centrales hidroeléctricas existentes antes de marzo del 2003, adoptarán como caudal ecológico al menos el 10% del caudal medio anual que circulaba por el río aguas abajo de las inmediaciones del cuerpo de la presa antes de su construcción.	NC+	No cuentan con aforos del río ni del caudal que no toman (caudal ecológico)

<p>Las centrales hidroeléctricas deberán asegurar el mantenimiento de un caudal de agua o caudal ecológico aguas abajo en el área de influencia de la central. De existir caudales por debajo de este valor deberá ser sustentado técnicamente con la aplicación de la metodología para el cálculo del caudal ecológico.</p>		
<p>Para el cálculo del caudal ecológico se deberá determinar los parámetros (régimen del río, calidad del agua, interacciones bióticas y usos de agua en el área de influencia)</p>		
<p>El titular del derecho de uso de agua en proyectos hidroeléctricos debe presentar al CONELEC los estudios de determinación del caudal ecológico y su régimen dentro de un plazo máximo de un año desde la expedición de la presente normativa.</p>		<p>No cuentan con aforos del río blanco ni del caudal que toman (caudal ecológico) ni con el fallo del CNRH para uso de este río, verbalmente se nos indicó que el falló esta para la junta de riego de la zona. No cuentan con aforos del río ni del caudal que no toman (caudal ecológico) ,</p>
<p>El caudal ecológico y el régimen de caudales ecológicos aprobado por la autoridad ambiental y adoptado para la operación de la central hidroeléctrica deberá ser evaluado a lo largo de la vida útil de la central hidroeléctrica</p>	<p>NC+</p>	<p>No cuentan con evaluaciones a caudal ecológico</p>
<p>Los efectos del caudal adoptado, 10% del caudal medio anual, deberán ser evaluados mediante monitoreos para asegurar que no existan efectos sobre los ecosistemas del cuerpo de agua y sobre los usos consuntivos o no consuntivos aguas abajo de la central hidroeléctrica tanto en época lluviosa como durante la estación seca.</p>	<p>NC+</p>	<p>No cuentan con aforos de los ríos ni del caudal que no toman (caudal ecológico)</p>
<p>Toda central hidroeléctrica deberá contar con planes de contingencia que permitan responder a situaciones de emergencia que puedan afectar la calidad de las aguas superficiales, aguas subterráneas y recurso suelo de la zona.</p>	<p>NC-</p>	<p>Existe un Plan de Contingencias anexo al plan de manejo. Ver Anexo 4, sin embargo el mismo no considera el tema de derrame.</p>
<p>Las instalaciones de generación hidroeléctrica deben contar con los equipos de contención necesarios contra derrames de combustibles y/o productos químicos, así como equipos de protección personal para hacer frente a ese tipo de contingencias</p>	<p>NC+</p>	<p>No cuentan con equipo específico para atender derrames, sin embargo es importante indicar que la única fuente para derrames sería asociada a los lubricantes y en el momento de su cambio en las turbinas</p>
<p>Las centrales de generación hidroeléctrica deberán efectuar simulacros periódicos de situaciones de emergencia a fin de verificar la practicidad de los planes de contingencia. Se deberá llevar registros de los simulacros efectuados.</p>	<p>NC+</p>	<p>No cuenta con Registros de simulacro ni registros fotográficos.</p>
<p>Los efluentes generados no deben superar los valores de los límites máximos permisibles establecidos</p>	<p>NC+</p>	<p>No se han realizados monitoreos considerando este criterio</p>

<p>Los derrames de productos químicos deberán ser recolectados y manejados de acuerdo a los procedimientos establecidos en el plan de contingencia de la instalación, en concordancia con las hojas de seguridad (MSDS por sus siglas en inglés) de los productos y/o sustancias respectivas.</p>	NC-	<p>No se evidenció registros de eventos de este tipo, verbalmente supieron indicar que no habían existido ninguno de estos eventos.</p>
<p>El regulado deberá disponer de sitios adecuados para caracterización y aforo de sus efluentes y proporcionarán todas las facilidades para que el personal técnico encargado del control pueda efectuar su trabajo de la mejor manera posible</p>	NC+	<p>No cuentan con sitios adecuados para la toma de muestras y sitios determinados para este fin.</p>
<p>Se determinará la calidad físico química de los cuerpos de agua. Los parámetros mínimos para el muestreo físico-químico. Para el monitoreo de los cuerpos de agua se deberá realizar como mínimo dos campañas de monitoreo, una por cada época estacional (seca y lluviosa).</p>	NC+	<p>No han realizado monitoreos de la calidad del agua</p>
<p>Los resultados del monitoreo de los cuerpos de agua deberán ser comparados contra los criterios de calidad de las aguas para aguas superficiales</p>		
<p>La determinación de la calidad de agua se realizará mediante índices de calidad. El cálculo de los índices de calidad se realizará en base a los resultados de los monitoreos de acuerdo a metodologías aprobadas por el CONELEC. Los índices de calidad se calcularán en los monitoreos periódicos a ser ejecutados durante todas las fases del proyecto hidroeléctrico.</p>	NC+	<p>No han realizado monitoreos de la calidad del agua</p>
<p>Para la determinación de la calidad biológica del río se deberá realizar inicialmente una investigación cualitativa y cuantitativa de las comunidades planctónicas (fitoplancton, zooplancton e ictioplancton), bentónicas (Meiobentos y Macrobentosd) e ictiológica (peces), en las dos épocas del año</p>	NC+	<p>No han realizado monitoreos de la calidad biótica del agua</p>
<p>Para la determinación de la variación de la diversidad biológica de los ríos se procederá al monitoreo de la abundancia y diversidad de los organismos estudiados. Se deberán utilizar índices de diversidad, riqueza y equitabilidad en las comunidades planctónicas, bentónicas e ictiológica</p>	NC+	<p>No han realizado monitoreos de la calidad biótica del agua</p>
<p>Se deberá identificar bioindicadores en la comunidad bentónica (organismos tolerantes y sensibles) y comunidad planctónica (algas verdes azules - cianobacterias).</p>		
<p>Los parámetros a monitorearse con el objetivo de determinar la concentración y diversidad de los organismos acuáticos del sector hidrográfico</p>		
<p>Los niveles de presión sonora equivalente, NPSeq, expresados en decibeles, en ponderación con escala A, que se obtengan de la emisión de una fuente fija emisora de ruido.</p>	NC+	<p>No se evidencia la realización de monitoreos de ruido ambiente en el área de la central hidroeléctrica de Río Blanco.</p>

<p>Para la medición del nivel de ruido de una fuente fija, se realizarán mediciones en el límite físico o lindero o línea de fábrica del predio o terreno dentro del cual se encuentra alojada la fuente a ser evaluada. Se escogerán puntos de medición en el sector externo al lindero pero lo más cerca posible a dicho límite. Para el caso de que en el lindero exista una pared perimetral, se efectuarán las mediciones tanto al interior como al exterior del predio, conservando la debida distancia de por lo menos 3 metros a fin de prevenir la influencia de las ondas sonoras reflejadas por la estructura física.</p>	
--	--

Se concluye que el impacto ambiental causado es negativo.

Debido al tiempo la mayoría de los impactos ocasionados se han recuperado naturalmente y casi ya no son visibles, sin embargo será necesario diseñar acciones que permitan mitigar y evitar posibles daños como deslizamiento, hundimientos y accidentes de vidas humanas y animales.

## 6.7 CONCLUSIONES

### A. Aspectos Biofísicos

- Las malas prácticas culturales y la aplicación de agroquímicos contribuyen a la erosión al reducirse el grado de infiltración de los suelos por eliminación de la micro fauna y organismos descomponedores.
- Los suelos son limosos con alto contenido de materia orgánica, tienen potencial agroforestal, las actividades antropogénicas unidas a proyectos mineros, han desencadenado una lenta pero constante erosión de los suelos, lo que unido a los deslizamientos en terrenos con fuertes pendientes, aceleran este proceso.
- La turbidez actualmente se encuentra bajo los límites tolerables para proyectos industriales, sin embargo el inadecuado uso de los recursos es una amenaza potencial para las actividades humanas y el proyecto hidroeléctrico.

## 6.8 RECOMENDACIONES PARA MITIGACION DE LOS IMPACTOS

### A. TECNICAS

- 1. Mantener el caudal en la obra de captación, observando normas ecológicas para garantizar la permanencia de los organismos que viven aguas abajo y por ende mantener la calidad del recurso agua.

2. Para evitar la erosión y la presencia de sedimentos en los canales y tanques de presión de la central, se debería fortalecer e incrementar programas participativos de manejo y conservación de suelos. Enfatizando en el desarrollo de prácticas agroforestales, rotación y diversificación de cultivos, etc.
3. Elaborar un plan para el manejo integral de los recursos naturales renovables de la micro cuenca, en el que se incluya principalmente un programa de manejo integral de los páramos, en el que se contemple campañas de control de quemas, manejo racional de ganado ovino, equino y fomento de cría de camélidos, reforestación con especies nativas, manejo de plantaciones, prácticas de conservación de suelos, agroforestería y regulación del avance de la frontera agrícola, áreas de recuperación mediante el fomento de la regeneración natural de especies nativas, ordenamiento territorial de acuerdo al mapa de uso actual y potencial de los suelos.
4. Para proteger los pocos remanentes de vegetación nativa que son el hábitat de especies de flora y fauna, fuentes de germoplasma y elemento importante en el ciclo hidrológico que garantiza la generación de lluvias y por ende el mantenimiento de los caudales de agua en la micro cuenca, se debe diseñar un programa de educación ambiental dirigido a las comunidades campesinas y a pobladores de centros de influencia.
5. Los programas de forestación en el páramo deben responder a necesidades ecológicas sobre la base de criterios técnicos como selección de especies, pendiente del terreno, altura y principalmente prever el manejo de estas plantaciones.
6. Para mejorar el entorno paisajístico de todas las construcciones, se recomienda implementar espacios verdes con plantas ornamentales, frutales nativas.
7. Se conoce que la zona de Río Blanco esta declarado como bosque y vegetación protectora, sería conveniente impulsar la elaboración del plan de manejo para los recursos de esta área. Esto ayudará a disponer de normativas que apoyen a la conservación de la micro cuenca proveedora de agua para la central río Blanco.

## CAPÍTULO VII

### 7. ANÁLISIS ECONÓMICO

La evaluación de un proyecto es el proceso de medición de su valor, que se basa en la comparación de los beneficios que genera y los costos o inversiones que requiere, desde un punto de vista determinado.

Para realizar un análisis económico de un proyecto se considera tanto un presupuesto, una evaluación económica como una evaluación financiera.

**a.- Presupuesto.-** Es el cálculo anticipado de los ingresos y gastos de un proyecto a ser ejecutado durante un período, por lo general en forma anual.

El presupuesto es el instrumento de desarrollo anual de las empresas o instituciones cuyos planes y programas se formulan por término de un año.

**b.- Evaluación Económica.-** Son las compras y ventas al contado y que el capital es propio.

**c.- Evaluación Financiera.-** Es aquella que se debe a todos los flujos financieros del proyecto, haciendo la distinción entre capital propio y capital prestado.

La ejecución del proyecto consiste en sustituir el sistema de conducción de tubería de presión enterrada por un sistema de conducción expuesto, lo que quiere decir que no genera ingresos, por lo que se realizara una evaluación económica.

#### 7.1 Evaluación Económica

La decisión en torno a la ejecución o no del proyecto se basa en identificar los costos y beneficios atribuidos al mismo y valorarlos con el objetivo de determinar si es conveniente o no su construcción.

La evaluación económica utiliza el método costo/beneficio, para lo cual se requiere definir cuáles son los costos, los beneficios y cuantificarlos con la mayor precisión posible.

Para el caso específico del proyecto, sus costos están dados por el costo de inversión y por el costo de mantenimiento, mientras que el valor de costos de operación y mantenimiento del actual sistema de conducción de tubería de presión y el costo de cambio de tuberías que se consideran como ingresos en la evaluación económica del sistema de conducción propuesto.

#### 7.2 Costos

##### 7.2.1 Costos de inversión

Representados por costos de instalación, materiales, mano de obra, transporte, los que se detallan a continuación.

**Tabla 7.1: COSTOS DE OBRAS CIVILES**

<b>Material</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio Unitario</b>	<b>Precio Total</b>
			<b>(\$)</b>	<b>(\$)</b>
<b>CIMENTACIÓN DE TUBERÍA DE PRESIÓN</b>				
<b>APOYOS</b>				
Hormigón f'c = 300 Kg/cm <sup>2</sup> .	m <sup>3</sup>	724	200	144800
Encofrado.	m <sup>2</sup>	530	9,36	4960,8
<b>ANCLAJES</b>				
Hormigón f'c = 300 Kg/cm <sup>2</sup> .	m <sup>3</sup>	130	200	26000
Encofrado.	m <sup>2</sup>	90	9,36	842,4
<b>PLATAFORMA TUBERÍA DE PRESIÓN</b>				
Hormigón f'c = 300 Kg/cm <sup>2</sup> .	m <sup>3</sup>	650	75	48750
Encofrado.	m <sup>2</sup>	5643	9,36	52818,48
<b>Total</b>				<b>278171,68</b>

**Tabla 7.2: COSTOS DE LA TUBERÍA Y ACCESORIOS**

<b>Material</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio Unitario</b>	<b>Precio Total</b>
			<b>(\$)</b>	<b>(\$)</b>
Tubería de acero 31" e=9/16"	m	660	1025	676500
Juntas de expansión 31"	Unidad	5	8000	40000
Codo con variación de pendiente de 0-20°	Unidad	3	750	2250
Codo con variación de pendiente de 21-45°	Unidad	4	900	3600
Brida 31"	Unidad	10	875	8750
<b>Total</b>				<b>731100</b>

**Tabla 7.3: COSTOS DE MONTAJE E INSTALACIÓN**

DESCRIPCION	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Precio Total (\$)
Desbroce y limpieza	m <sup>2</sup>	2640	0,8	2112
Replanteo y nivelación polígono de conducción	m <sup>2</sup>	2640	0,6	1584
Excavación plataforma a maquina	m <sup>3</sup>	500	4,9	2450
Excavación plataforma a mano	m <sup>3</sup>	145	25	3625
instalación y montaje tubería de presión	m	660	625	412500
instalación y montaje juntas de expansión	m	5	825	4125
camino provisional ingreso	km	4	2800	11200
<b>TOTAL</b>				<b>443371</b>

### 7.3 Ingresos

Como la tubería actual está enterrada no se tiene ningún costo por operación y mantenimiento de la tubería de presión de la Central Hidroeléctrica Rio Blanco

El valor de salvamento considerando una depreciación de tipo lineal y un tiempo de vida del proyecto de 30 años se determina con la siguiente ecuación:

$$VR_n = V_i - V_i \frac{n}{N} \quad (7.1)$$

Donde:

VR<sub>n</sub>: Valor residual en el año n, en \$.

V<sub>i</sub>: Valor inicial del bien en el año de su instalación, en \$.

N: Vida útil del bien, en años.

n: Año en que se calcula el valor residual, en años.

Respecto a las obras civiles, su valor inicial es \$ 278171,68, el tiempo de vida útil es de 50 años y el tiempo de uso en el proyecto es 30 años; entonces se determina su depreciación:

$$VR_n = 278171,68 - 278171,68 \frac{30}{50}$$

$$VR_n = \$ 276 324,166$$

Respecto a tubería y sus accesorios, su valor inicial es \$ 731100, considerando un tiempo de vida útil de 31 años y un tiempo de uso en el proyecto es 30 años; entonces su depreciación es:

$$VR_n = 731100 - 731100 \frac{30}{31} \quad (7.2)$$

$$VR_n = \$ 258148,897$$

La Tabla 7.4 indica el valor de salvamento que tendría el proyecto después de 30 años.

**Tabla 7.4: VALOR DE SALVAMENTO DEL PROYECTO**

Bien	Valor de Salvamento (\$)
Obras Civiles	276 324,166
Tuberías y Accesorios	258148,897
<b>Total</b>	<b>470 772,527</b>

**Tabla7.5: VALOR TOTAL DEL PROYECTO**

DETALLE	VALOR TOTAL
Costos De Obras Civiles	278171,68
Costos De La Tubería y Accesorios	731100
Costos De Montaje E Instalación	443371
<b>TOTAL</b>	<b>1452642,68</b>

**Tabla 7.6: GENERACIÓN CENTRAL RÍO BLANCO**

<b>Generación de Energía Anual KW</b>	16231968
<b>Generación Mensual KW</b>	1352664 KW
<b>Precio Actual KW/H</b>	3,06 centavos
<b>Perdida Diaria (\$)</b>	1379,72
<b>Perdida Mensual (\$):</b>	16556,64
<b>Factor de Planta:</b>	0,62061

**Tabla 7.7: TIEMPO DE RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN**

<b>Generación de Energía Anual (\$)</b>	496698,2208
<b>Costo operacional 50% Anual (\$)</b>	298018,9325
<b>Inversión total del proyecto (\$)</b>	1452642,68
<b>tiempo a recuperar la inversión</b>	4,874330191
<b>TIEMPO</b>	5 años

La inversión del cambio de la tubería de presión se recuperaría después de 5 años de funcionamiento del sistema.

## CAPÍTULO VIII

### 8.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 8.1 CONCLUSIONES

- Se diseñó y seleccionó la nueva tubería de presión de la Central Hidroeléctrica Rio Blanco para un caudal de  $2 \text{ m}^3/\text{s}$ , obteniendo un diámetro exterior de 31 pulgadas con un espesor de 9/16 pulgadas, el material de la tubería es de acuerdo a la norma AWWA C200.
- De acuerdo con los resultados obtenidos por medición de espesores, tomando en cuenta el espesor residual de la tubería de presión enterrada se deberá monitorear en los lapsos de tiempos señalados en el resumen de la tabla 2.23, debido a que se desconoce el estado interno, con lo cual se conocerá la velocidad de corrosión en función de la pérdida de espesor que tendrá para que siga trabajando.
- El sistema de conducción a presión de pequeñas centrales hidroeléctricas es uno de los mayores costos que se presentan en la ejecución del proyecto por lo cual se realizó el diseño más optimo de la misma.
- La tubería de presión debe ir apoyada sobre estructuras de concreto y cumplir con las condiciones calculadas en el Capítulo IV, tiene gran importancia la relación entre el espesor de la tubería y la distancia entre bloques que es de 8 metros, decisión que se toma con base de criterios técnico-económicos.
- Los sistemas de tubería de presión no se deben colocar enterradas, debido a que se no se puede dar mantenimiento ni conocer el sitio preciso en caso que se tuviese alguna falla.

- El valor de salvamento que tendrá el proyecto después de 30 años será por las obras civiles debido a que su tiempo de vida útil es de 50 años y nos da un valor considerable en su depreciación.
- La turbidez del agua actualmente se encuentra bajo los límites tolerables para proyectos industriales, sin embargo el inadecuado uso de los recursos es una amenaza potencial para las actividades humanas y el proyecto hidroeléctrico.

#### **RECOMENDACIONES**

- Se recomienda instalar un sistema de tubería de presión expuesto para darle mantenimiento preventivo para evitar corrosión exterior, para realizar medición de espesores fácilmente y conocer el lugar exacto de una falla en caso que existiere.
- La Empresa Eléctrica Riobamba S.A deberá incluir el costo de cambio de tubería de presión en el presupuesto anual.
- Mantener el caudal en la obra de captación, observando normas ecológicas para garantizar la permanencia de los organismos que viven aguas abajo y por ende mantener la calidad del recurso agua.
- Para evitar la erosión y la presencia de sedimentos en los canales y tanques de presión de la central, se debería fortalecer e incrementar programas participativos de manejo y conservación de suelos. Enfatizando en el desarrollo de prácticas agroforestales, rotación y diversificación de cultivos.

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- [1] **KROCHIN, S.** Diseño Hidráulico. 3<sup>ra</sup> ed. Quito: 1986. pp 317, 319, 329, 330, 340, 350.
- [2] **ITDG.** Manual de Mini y Micro centrales Hidráulicas. Perú: 1995. pp 93, 95, 104.
- [3] **ORTIZ, R.** Pequeñas centrales hidroeléctricas. Bogotá: McGraw-Hill, 2001
- [4] **MOOT, R.** Mecánica de fluidos aplicada, 4<sup>a</sup> ed. México. pp 283, 241, 535, 536, 537, 545, 560.
- [5] **ZOPPETTI, G.** Centrales Hidroeléctricas, 2<sup>da</sup> ed. 1969. pp 98
- [6] **INSTITUTO NACIONAL DE ENERGIA.** Guía de Diseño de Obras Hidráulicas Para Minis Centrales Hidroeléctricas. Quito: 1987 – 1988. pp 64
- [7] **SALDARRIAGA, J.** Hidráulica de Tuberías. Bogotá. McGraw-Hill, 2000. pp 113
- [8] **SHIGLEY, E.** Diseño en Ingeniería Mecánica. 4<sup>ta</sup> ed. Bogota: McGraw-Hill, 2000
- [9] **FONTANA GREENE.** Corrosion Engineering, 2<sup>da</sup> Editorial McGRAW-HILL, 2000
- [10] <http://www.monografias.com>

**BIBLIOGRAFÍA**

**AVNER**//Introducción a la Metalurgia//Editorial McGRAW-HILL// México.

**FONTANA GREENE**// Corrosion Engineering//2<sup>da</sup> Editorial McGRAW-HILL.

**INSTITUTO NACIONAL DE ENERGIA**//Guía de Diseño de Obras Hidráulicas Para  
Minis Centrales Hidroeléctricas// Quito// 1987 – 1988.

**ITDG**// Manual de Mini y Micro centrales Hidráulicas// Perú//1995.

**KROCHIN, S**//Diseño Hidráulico//3<sup>ra</sup> edición // Quito//1986

**MOOT, R**//Mecánica de fluidos aplicada//4<sup>a</sup> edición// México//

**ORTIZ, R.** //Pequeñas centrales hidroeléctricas// Bogotá// McGraw-Hill,//2001.

**ROBERT. F.MEHL**//Metals Handbook// Atlas of Microstructures of Industrial Alloys//  
Vol 7. th.Edición// USA// 1961.

**SALDARRIAGA, J**// Hidráulica de Tuberías// Bogotá//McGraw-Hill// 2000.

**SHIGLEY, E**// Diseño en Ingeniería Mecánica// 4<sup>ta</sup> edición // Bogotá// McGraw-Hill//  
2000.

**ZOPPETTI, G**// Centrales Hidroeléctricas// 2<sup>da</sup> edición// 1969

## LINKOGRAFÍA.

### 1. Clasificación y elementos de las centrales hidroeléctricas

[www.monografias.com](http://www.monografias.com)

2010-05-23

### 2. Perdidas primarias y secundarias en tuberías a presión

file:///c:/users/sandra/desktop/\_tesis/consultas\_hoy/perdidaccessorios.htm

2010-06-01

### 3. Materiales tubería de presión

<http://www.uclm.es/area/gsee/aie/censublin/hidraulicas.pdf>

2010- 06-01

### 4. Componentes tubería de presión

[http://es.wikipedia.org/wiki/central\\_hidroel%c3%a9ctrica](http://es.wikipedia.org/wiki/central_hidroel%c3%a9ctrica)

2010-06-14

### 5. Apoyos y anclajes

<http://www.monografias.com/trabajos25/disenio-tuberias/disenio-tuberias.shtml>

2010-07-11

### 6. Válvula Esférica

<http://www.unprg.edu.pe/bounprg/blogs/media/blogs/rsamillanri/dmecanico/disenio-tuberias.pdf>

2010-07-22

### 7. Impactos Ambientales en Hidroeléctricas

<http://thales.cica.es/rd/recursos/rd99/ed99-0226-1/hidroelectrica.html>