

# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

## **Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra**

Diseño de la captación y línea de conducción del agua potable  
para Caluma Nuevo, cantón Caluma, provincia de Bolívar

### **PROYECTO INTEGRADOR**

Previo la obtención del Título de:

**Ingeniero civil**

Presentado por:

Ivon Maite Cajas Zarate  
Andrés Felipe Macas Macas

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2019

## DEDICATORIA

El presente proyecto lo dedico a mis padres Ethiel e Ivon, quienes siempre sin ninguna excusa han cuidado y velado por mí, brindándome su amor y apoyo incondicional.

A mis hermanos Kassandra, Ethiel y Aracely, por las vivencias juntos y por las que vendrán. Los amo, familia. ♥

**Ivon Maite Cajas Zarate**

## **AGRADECIMIENTOS**

Mi eterna gratitud a mis padres y hermanos quienes me alientan a no rendirme y luchar por mis sueños. A Dios por su guía.

A mi enamorado, por su apoyo incondicional para la elaboración del presente trabajo.

A mi tía Digna por su ayuda invaluable cuando inicié esta meta.

A mi tío Stevens por siempre brindarme sus conocimientos en lo referente a esta linda profesión.

Un agradecimiento especial a la Ing. Alexandra Camacho quien, con su apoyo, ha sido el motor intelectual de este proyecto.

**Ivon Maite Cajas Zarate**

## DEDICATORIA

El presente proyecto lo dedico en primer lugar a Dios, por haberme guiado en todo momento. A mis padres; Felipe Macas y Tereza Macas, que con su incondicional apoyo han sido un pilar fundamental durante toda mi carrera universitaria. A mi tía Edilma Loayza por estar siempre pendiente de mí. A mi novia por apoyarme durante todo este tiempo. Finalmente, a todos mis amigos que han formado parte de este proceso y aportaron para mi desarrollo profesional.

**Andrés Felipe Macas Macas**

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero expresar mi gratitud a la Escuela Superior Politécnica del Litoral por acogerme todos estos años, a todos los docentes que han aportado para mi formación integral como profesional en especial a la Ingeniera Alexandra Camacho, al Doctor Miguel Ángel Chávez y al Ingeniero Erwin Larreta, que me compartieron sus conocimientos y experiencias. Al GAD Municipal del Cantón Caluma por confiar en mí para el desarrollo del presente proyecto.

**Andrés Felipe Macas Macas**

## DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Ivon Maite Cajas Zarate, Andrés Felipe Macas Macas* y damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”

Ivon Maite Cajas Zarate

Andrés Felipe Macas Macas

# EVALUADORES

.....  
**Ing. Miguel Ángel Chávez Ph.D.**

PROFESOR DE LA MATERIA

.....  
**Ing. Alexandra Camacho M.Sc.**

PROFESORA TUTORA

## RESUMEN

El agua potable es un recurso fundamental para el desarrollo social y económico de los habitantes de una comunidad, ya que la misma es sustancial para la vida y es derecho de todo ser humano tener libre acceso a ella. Este proyecto se enfoca en presentar una solución para sustituir el actual sistema de captación y su línea de conducción en el sector Caluma Nuevo, perteneciente al cantón Caluma, favoreciendo a muchas familias a futuro.

El diseño desarrollado contempla una bocatoma de fondo de hormigón armado que capte el agua del río y una línea de conducción que permita transportar a gravedad el agua desde el lugar de captación hasta la planta de tratamiento, adicionalmente se contemplaron válvulas de aire, válvulas de desagüe y válvulas de control que permitirán el correcto funcionamiento del sistema. Los materiales asociados a los elementos que forman parte del sistema son tuberías y accesorios de PVC y hierro dúctil y estructuras de hormigón armado.

La modelación de la estructura de captación permitió obtener las dimensiones definitivas, la cantidad y diámetro del acero de refuerzo. Para el sistema de conducción se calculó el diámetro de la tubería que permita transportar el caudal de diseño que requiere la población para un periodo de 30 años.

El diseño de estos sistemas contribuirá a mejorar la calidad de vida de los habitantes de Caluma Nuevo. Además, de contribuir al desarrollo económico y social del cantón.

**Palabras Clave:** Bocatoma de Fondo, Línea de Aducción, Línea de Conducción, Válvula de Aire, Válvula de Purga.

## **ABSTRACT**

*Drinking water is one of the most important resource for the social and economic development of the inhabitants of a community, without mention that it is substantial for life and it is the right of every human being to have free access to it. This project focuses on bringing a solution to replace the current collection system and its line of conduction in the Caluma Nuevo zone, belonging to the canton Caluma, favoring many families in the future.*

*The design developed includes a reinforced concrete bottom intake that captures the river water and a conduction line that allows water to be transported by gravity from the collection site to the treatment plant. Additionally, the conduction line has air valves, drain valves were contemplated. and control valves that will allow the correct functioning of the system. The materials associated with the elements that are part of the system are PVC and ductile iron pipes and fittings and reinforced concrete structures.*

*The modeling of the collection structure allowed to obtain the definitive dimensions, the quantity and diameter of the reinforcing steel. For the conduction system, the diameter of the pipeline that allows transporting the design flow required by the population for a period of 30 years was calculated.*

*The design of these systems will contribute to improve the quality of life of the inhabitants of Caluma Nuevo. In addition, to contribute to the economic and social development of the canton.*

**Keywords:** *Bottom Intake, Adduction Line, Conduction Line, Air Valves, Drain Valves.*

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN .....	I
<i>ABSTRACT</i> .....	II
ÍNDICE GENERAL .....	III
ABREVIATURAS.....	VI
SIMBOLOGÍA.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS .....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	X
ÍNDICE DE PLANOS.....	XII
<b>CAPÍTULO 1</b> .....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Descripción del problema .....	1
1.2 Justificación del problema .....	8
1.3 Objetivos .....	8
1.3.1 Objetivo General .....	8
1.3.2 Objetivos Específicos.....	8
1.4 Marco teórico.....	9
1.4.1 Estudios topográficos.....	9
1.4.2 Estudios de suelos .....	9
1.4.3 Estudios hidrológicos .....	19
1.4.4 Obras de captación .....	22
1.4.5 Elementos de una bocatoma de fondo.....	25
1.4.6 Línea de conducción .....	26
1.4.7 Consideraciones de diseño .....	18
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	23

2.	METODOLOGÍA .....	23
2.1	Alternativas de solución .....	23
2.1.1	Alternativa 1: Bocatoma lateral y línea de conducción sin desarenador .....	23
2.1.2	Alternativa 2: Bocatoma de fondo y línea de conducción sin desarenador .....	24
2.1.3	Alternativa 3: Bocatoma de fondo y línea de conducción con desarenador .....	25
2.1.4	Alternativa escogida .....	28
2.2	Características de la zona de estudio .....	28
2.2.1	Clima .....	28
2.2.2	Población .....	28
2.2.3	Aspectos socioeconómicos .....	28
2.2.4	Geología .....	29
2.2.5	Geometría y morfología de la cuenca de aporte .....	29
2.3	Estimación de caudal y población de diseño .....	31
2.3.1	Periodo de diseño .....	31
2.3.2	Proyección de la población .....	31
2.3.3	Caudal de diseño .....	32
2.4	Diseño de la bocatoma de fondo .....	34
2.4.1	Diseño Geométrico del Azud .....	34
2.4.2	Diseño del Pozo de amortiguamiento .....	37
2.4.3	Diseño estructural del azud .....	40
2.4.4	Diseño canal de aducción y rejilla .....	40
2.4.5	Diseño de la cámara de recolección .....	41
2.4.6	Diseño del vertedero de excesos .....	42

2.4.7	Diseño de los muros de ala .....	43
2.5	Diseño de la línea de conducción .....	46
2.6	Diseño de la línea de aducción .....	50
2.7	Diseño de la tubería de excesos .....	53
<b>CAPÍTULO 3</b>	.....	<b>55</b>
<b>3.</b>	<b>RESULTADOS Y ANÁLISIS .....</b>	<b>55</b>
3.1	Diseño de la captación .....	55
3.1.1	Diseño geométrico del azud .....	55
3.1.2	Diseño del pozo de amortiguamiento .....	57
3.1.3	Diseño estructural del azud .....	58
3.1.4	Diseño canal de aducción y rejilla .....	59
3.1.5	Diseño de la cámara de recolección .....	59
3.1.6	Diseño del vertedero de excesos .....	61
3.1.7	Diseño de los muros de ala .....	61
3.2	Diseño de la línea de conducción .....	68
3.3	Cálculo de cotas .....	70
3.4	Análisis de Costos .....	71
<b>CAPÍTULO 4</b>	.....	<b>75</b>
<b>4.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>75</b>
4.1	Conclusiones .....	75
4.2	Recomendaciones .....	76
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	.....	<b>77</b>

## ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
ACI	American Concrete Institute
ASTM	American Society for testing and Materials
NEC	Norma Ecuatoriana de la Construcción
INEC	Instituto Ecuatoriano de Estadísticas y Censos
INAMHI	Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología
TULSMA	Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente
SENAGUA	Secretaria Nacional del Agua
INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización
IGM	Instituto Geográfico Militar
AAPP	Agua Potable
PTAP	Planta de Tratamiento de Agua Potable

## SIMBOLOGÍA

m	metro
mm	milímetro
kg	kilogramo
MPa	MegaPascal
LL	Límite Líquido
LP	Límite Plástico
IP	Índice de Plasticidad
As	Acero de refuerzo
$Q_{adm}$	Capacidad de carga admisible
$Q_{ult}$	Capacidad de carga última
T	Periodo de diseño
Q	Caudal
$Q_{md}$	Caudal máximo diario
$Q_{mh}$	Caudal máximo horario
FS	Factor de seguridad
DBO	Demanda bioquímica de oxígeno
DQO	Demanda química de oxígeno
pH	Potencial de hidrógeno
$d/D_0$	Relación de tirantes
$q/Q_0$	Relación de caudales
$v/V_0$	Relación de velocidades
F	Número de Froude
E	Energía Específica
$X_i$	Alcance del agua, parte superior
$X_s$	Alcance del agua, parte inferior
$L_r$	Longitud de la rejilla
PTO	Punto
CAP	Captación
EST	Estación

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Levantamiento de información. (Castro & Rizzo, 2019) .....	2
Figura 1.2 Estructura de captación existente en el Estero del Pescado. (Macas & Cajas, 2019) .....	2
Figura 1.3 Corona del azud, presenta desgaste en su estructura. (Macas & Cajas, 2019) .....	3
Figura 1.4 Estructura de captación existente en el estero Cacauyacu. (Macas & Cajas, 2019) .....	3
Figura 1.5 Compuerta de retención colapsada. (Macas & Cajas, 2019) .....	4
Figura 1.6 Desarenador del estero del Pescado. (Macas & Cajas, 2019) .....	5
Figura 1.7 Acometidas conectas a la tubería de 110 mm. (Macas & Cajas, 2019).....	5
Figura 1.8 Paso elevado colapsado. (Macas & Cajas, 2019) .....	5
Figura 1.9 Fugas en tubería de PVC de 63 mm. (Macas & Cajas, 2019) .....	6
Figura 1.10 Desarenador en el estero Cacauyacu. (Macas & Cajas, 2019) .....	6
Figura 1.11 Válvula de Purga existente. (Macas & Cajas, 2019) .....	7
Figura 1.12 Topografía aledaña a las captaciones. (Macas & Cajas, 2019) .....	7
Figura 1.13 Captaciones superficiales en zonas recta y curva. (López, 1995).....	23
Figura 1.14 Bocatoma con muro transversal. (López, 1995).....	23
Figura 1.15 Bocatoma lateral con bombeo, en planta y corte. (López, 1995) .....	24
Figura 1.16 Bocatoma lateral por gravedad, en planta y en corte. (López, 1995) .....	25
Figura 1.17 Conducción a presión. (López, 1995) .....	27
Figura 1.18 Válvula de purga. (López, 1995) .....	27
Figura 1.19 Ubicación y detalle de la ventosa. (López, 1995).....	28
Figura 1.20 Válvula de compuerta      Figura 1.21 Válvula de mariposa .....	18
Figura 2.1. Presencia de piedras aguas arriba de la captación del estero del pescado. (Macas & Cajas, 2019) .....	24
Figura 2.2. Alrededores del actual desarenador en el estero del Pescado. (Macas & Cajas, 2019) .....	24
Figura 2.3 Sección transversal del río del estero del Pescado, 5 m aguas abajo de la captación actual (Macas & Cajas, 2019).....	25

Figura 2.4 Comparación de los niveles de turbidez en las fuentes de captación actuales con los límites permisibles establecidos en el anexo 1 del TULSMA. (Espinel & Obando, 2019) .....	26
Figura 2.5. Comparación de los niveles de pH, oxígeno disuelto, DBO5, DQO y conductividad eléctrica en las fuentes de captación actuales con los límites permisibles establecidos en el anexo 1 del TULSMA. (Espinel & Obando, 2019).....	27
Figura 2.6 Divisorias de agua de la cuenca del estero del Pescado. (Macas & Cajas, 2019) .....	30
Figura 2.7 Orden de corrientes del estero del Pescado. (Macas & Cajas, 2019) .....	30
Figura 2.8 Análisis de sensibilidad poblacional. (Macas & Cajas, 2019) .....	31
Figura 2.9 Proyección de los caudales de diseño. (Macas & Cajas, 2019) .....	34
Figura 2.10 Geometría del perfil del azud. (Chow, 1994).....	36
Figura 2.11 Diferentes tipos de resaltos hidráulicos. (Chow, 1994) .....	38
Figura 2.12 Valores de Ka para diferentes tipos de suelos, (McCormac, 2011).....	44
Figura 3.1 Diseño geométrico del azud. (Macas & Cajas, 2019).....	58
Figura 3.2 Diseño estructural del azud, losa y dentellones. (Macas & Cajas, 2019) .	58
Figura 3.3 Bosquejo del canal de aducción. (López, 1995).....	59
Figura 3.4 Corte transversal de la captación. (Macas & Cajas, 2019).....	60
Figura 3.5 Corte longitudinal a la cámara de recolección. (Macas & Cajas, 2019)....	60
Figura 3.6 Dimensiones del muro. (Macas & Cajas, 2019) .....	62
Figura 3.7 Diseño estructural de la pantalla central del muro. (Macas & Cajas, 2019) .....	67
Figura 3.8 Diseño estructural de la pantalla central del muro. (Macas & Cajas, 2019) .....	67
Figura 3.9 Línea estática, piezométrica y perfil del terreno natural. (Macas & Cajas, 2019).....	69

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Rangos aproximados del factor de forma. (Pérez, 1979) .....	21
Tabla 1.2 Diámetro de la válvula de purga. (López, 1995).....	27
Tabla 1.3 Vida útil sugerida para los elementos de un sistema de agua potable. (CPE INEN 005, 1992).....	18
Tabla 1.4 Población del cantón Caluma en los años 1990, 2001 y 2010. (INEC, 2010) .....	19
Tabla 1.5 Dotaciones en función al número de habitantes y el clima. (SENAGUA, 2012) .....	20
Tabla 1.6 Caudales de diseño de los elementos que conforman un sistema de agua. (SENAGUA, 2012).....	22
Tabla 2.1 Caudales de la Cuenca del Estero del Pescado. (Macas & Cajas, 2019)..	28
Tabla 2.2 Parámetros hidrológicos de la cuenca. (Macas & Cajas, 2019) .....	30
Tabla 2.3 Población futura con el método geométrico. (Macas & Cajas, 2019) .....	32
Tabla 2.4 Caudales de diseño para la bocatoma de fondo. (Macas & Cajas, 2019) .	33
Tabla 2.5 Caudales medio, máximo y de diseño de acuerdo a la dotación. (Macas & Cajas, 2019) .....	33
Tabla 2.6 Valores de K y n. (Chow, 1994) .....	36
Tabla 2.7 Consideraciones según el número de Froude. (Chow, 1994).....	39
Tabla 2.8 Relación $L/Y_2$ en función del número de Froude. (Chow, 1994) .....	39
Tabla 2.9 Coeficiente de rugosidad de Hazen – Williams típicos. (López, 1995) .....	47
Tabla 2.10 Velocidades máximas en la tubería de acuerdo al material. (López, 1995) .....	47
Tabla 2.11 Coeficientes de pérdida de algunos accesorios. (López, 1995) .....	48
Tabla 2.12 relación de módulos de elasticidad del agua y del material de la tubería. (López, 1995) .....	49
Tabla 2.13 Coeficientes de rugosidad de Manning. (López, 1995) .....	50
Tabla 2.14. Relaciones hidráulicas para conductos circulares. (López, 1995) .....	52
Tabla 3.1 Parámetros hidráulicos del azud. (Macas & Cajas, 2019) .....	55
Tabla 3.2 Tirante y velocidad críticos. (Macas & Cajas, 2019).....	55
Tabla 3.3 Curvatura del azud. (Macas & Cajas, 2019).....	55

Tabla 3.4 Línea tangente. (Macas & Cajas, 2019) .....	56
Tabla 3.5 Unión entre la tangente y el solado. (Macas & Cajas, 2019) .....	56
Tabla 3.6 Perfil aguas arriba. (Macas & Cajas, 2019) .....	57
Tabla 3.7 Dimensionamiento del pozo de amortiguamiento. (Macas & Cajas, 2019)	57
Tabla 3.8 Dimensiones del canal de aducción. (Macas & Cajas, 2019) .....	59
Tabla 3.9 Dimensionamiento de la cámara de recolección. (Macas & Cajas, 2019) .	59
Tabla 3.10 Caudal de excesos. (Macas & Cajas, 2019) .....	61
Tabla 3.11 Dimensiones preliminares del muro. (Macas & Cajas, 2019) .....	61
Tabla 3.12 Propiedades del suelo. (Macas & Cajas, 2019).....	62
Tabla 3.13 Presión lateral del suelo. (Macas & Cajas, 2019) .....	62
Tabla 3.14 Momentos resistentes. (Macas & Cajas, 2019) .....	63
Tabla 3.15 Parámetros del diseño a flexión. (Macas & Cajas, 2019) .....	64
Tabla 3.16 Valores de cuantía. (Macas & Cajas, 2019) .....	65
Tabla 3.17 Acero longitudinal del vástago del muro. (Macas & Cajas, 2019).....	65
Tabla 3.18 Acero transversal del vástago del muro. (Macas & Cajas, 2019) .....	65
Tabla 3.19 Acero longitudinal de la zapata del muro. (Macas & Cajas, 2019).....	66
Tabla 3.20 Acero transversal de la zapata del muro. (Macas & Cajas, 2019) .....	66
Tabla 3.21 Diseño hidráulico de la línea de conducción. (Macas & Cajas, 2019) .....	68
Tabla 3.22 Pérdidas por accesorios. (Macas & Cajas, 2019).....	68
Tabla 3.23 Parámetros del golpe de ariete. (Macas & Cajas, 2019) .....	69
Tabla 3.24 Verificación del golpe de ariete. (Macas & Cajas, 2019) .....	70
Tabla 3.25 Cálculo de cotas. (Macas & Cajas, 2019) .....	70

## ÍNDICE DE PLANOS

- PLANO 1 Ubicación geográfica del proyecto
- PLANO 2 Planta y cortes del desvío del río y línea de aducción provisional
- PLANO 3 Implantación y cortes de la captación
- PLANO 4 Estructural de la captación 1/2
- PLANO 5 Estructural de la captación 2/2
- PLANO 6 Planta de la línea de aducción y cortes de la cámara de salida
- PLANO 7 Línea de conducción abscisa 0+000 a 0+940
- PLANO 8 Línea de conducción abscisa 0+940 a 1+840
- PLANO 9 Detalles de cámaras de revisión y anclajes

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

El agua potable es un recurso fundamental para el desarrollo social y económico de los habitantes de una comunidad, ya que la misma es sustancial para la vida y es derecho de todo ser humano tener un libre acceso a la misma.

Los sistemas de abastecimiento de agua potable están formados por diversas componentes: captación, conducción, potabilización, almacenamiento y distribución. La captación se la realiza mediante una bocatoma, que tienen como finalidad desviar el curso de agua en ríos, arroyos o canales, mientras que la conducción es el transporte del recurso hasta el punto de entrega (PTAP) para su posterior tratamiento, almacenamiento y distribución a toda una población.

El cantón Caluma es uno de los siete cantones que pertenece a la provincia de Bolívar, se ubica en las estribaciones de la hoya del río Chimbo, está limitada al Norte por los cantones Urdaneta, Echeandía y Guaranda, al Sur por San José de Chimbo, Babahoyo, al Este por Guaranda, San José de Chimbo y al Oeste por Urdaneta y Babahoyo. Posee características topográficas irregulares, con alturas que están entre los 210 a 1.874 m.s.n.m. El territorio del cantón ocupa un área de 192,41 Km<sup>2</sup> (GAD Municipal del Cantón Caluma, 2012), según los resultados del Censo de Población y Vivienda del INEC 2010, el cantón contaba con 13.129 habitantes, se estima que en la actualidad la población es de 16.158 personas.

Los datos proporcionados por el Sistema Nacional de Información hasta el 2010 indican que el 83% de la población del cantón en su zona urbana tiene acceso al agua potable. En la actualidad existen tres captaciones que suministra de agua a todo el cantón, dos de ellas abastecen al sector de Caluma Nuevo y la restante al sector de Caluma Viejo. El presente proyecto buscará mejorar el sistema de abastecimiento de agua potable para el sector de Caluma Nuevo, diseñando una nueva estructura de captación y su línea de conducción hacia la planta de tratamiento, con la finalidad de elevar la calidad de vida de los habitantes de la zona.

### 1.1 Descripción del problema

La cabecera cantonal de Caluma, cuenta con una superficie de 13,67 Km<sup>2</sup>, está atravesada por el río que lleva el mismo nombre, dividiendo en dos zonas

denominadas Caluma Viejo y Caluma Nuevo, la primera representa un 27% de la superficie total, mientras que la segunda el 73% restante.

En la actualidad existen dos captaciones de agua que abastecen a Caluma Nuevo, la principal proviene del estero del Pescado y otra que se deriva desde el estero Cacauyacu, produciendo un caudal promedio de 28,75 L/s, el mismo no alcanza a abastecer a la población actual con la que cuenta el cantón, viéndose mayormente afectados barrios de la parte alta del sector, como se muestra en la Figura 1.1.



**Figura 1.1 Levantamiento de información. (Castro & Rizzo, 2019)**

La estructura de captación existente en el estero del Pescado es una bocatoma de fondo de hormigón armado, presenta una contracción de 8,50 m, la misma que fue construida hace 30 años.



**Figura 1.2 Estructura de captación existente en el Estero del Pescado. (Macas & Cajas, 2019)**

Se puede constatar que la estructura de hormigón armado a cumplido su tiempo de vida util, encontrandose en mal estado, como se observa en la Figura 1.3, presenta un desgaste notorio en el azud del vertedero.



**Figura 1.3 Corona del azud, presenta desgaste en su estructura. (Macas & Cajas, 2019)**

Al igual que en el estero del Pescado, la captación de agua del río en el estero Cacauyacu se realiza mediante una bocatoma de hormigón armado con acceso lateral para el agua.



**Figura 1.4 Estructura de captación existente en el estero Cacauyacu. (Macas & Cajas, 2019)**

La estructura de captación del estero Cacauyacu fue construida hace 50 años, en la actualidad presenta un deterioro en la corona del dique y la compuerta de control ha sido derribada por el constante golpe de las piedras que arrastra el cauce, como se muestra en la Figura 1.4 y Figura 1.5



**Figura 1.5 Compuerta de retención colapsada. (Macas & Cajas, 2019)**

La línea de conducción actual que lleva el agua desde el estero del Pescado a la planta de tratamiento, esta compuesta por 1.822 metros lineales de tubería de PVC, un desarenador ubicado 70 metros aguas abajo de la captación, una válvula de control, cuatro válvulas de aire y tres válvulas de purga que se encuentran instaladas a lo largo de su trayectoria. De la captación al desarenador se conduce el agua mediante dos tuberías de PVC, una de 200 mm y otra de 150 mm, mientras que del desarenador se derivan tres tuberías, la primera es de 200 mm, la misma avanza 620 m. para luego cambiar de diámetro a 150 mm hasta llegar a la planta de tratamiento. La segunda línea de conducción, de diámetro de 110 mm, se encuentra paralela a la de 200 mm y en su recorrido abastece a las fincas aledañas, teniendo un total de veintiún acometidas de las cuales diecisiete son de  $\frac{1}{2}$  in, una de  $\frac{3}{4}$  in y tres de 1 in. Es de notar que existe una tercera línea de conducción que sale del desarenador con un diámetro de 63 mm y abastece al barrio Estero del Pescado, comunidad que cuenta con 50 casas aproximadamente.



**Figura 1.6 Desarenador del estero del Pescado. (Macas & Cajas, 2019)**



**Figura 1.7 Acometidas conectas a la tubería de 110 mm. (Macas & Cajas, 2019)**

En su recorrido la línea de conducción hacia la planta de tratamiento, atraviesa cuatro quebradas, donde se han construido pasos elevados, los mismos que se encuentran en mal estado.



**Figura 1.8 Paso elevado colapsado. (Macas & Cajas, 2019)**

La línea de conducción existente entre el estero Cacauyacu y planta de tratamiento esta compuesta por 835 metros lineales de tubería de PVC, un desarenador que se encuentra a lado de la captación, tres válvulas de aire y dos válvulas de purga instaladas a lo largo de su recorrido. Desde el desarenador salen dos líneas de tubería que llegan a la planta de tratamiento, la primera es de 110 mm y la segunda de 63 mm, algunos tramos se encuentran sobre el terreno natural y su estado es deplorable, existiendo presencia de fugas, como se observa en la Figura 1.9.



**Figura 1.9 Fugas en tubería de PVC de 63 mm. (Macas & Cajas, 2019)**

El desarenador existente en el estero Cacauyacu se encuentra totalmente colmatado y en ocasiones queda fuera de servicio, dejando de aportar caudal a la planta de tratamiento, esto se produce frecuentemente en época de invierno, debido a las crecidas del estero que arrastra muchos sedimentos.



**Figura 1.10 Desarenador en el estero Cacauyacu. (Macas & Cajas, 2019)**

Algunas válvulas de aire y de purga que existen dentro del trayecto de la línea de conducción se encuentran llenas de sedimentos notándose la falta de mantenimiento que estas reciben.



**Figura 1.11 Válvula de Purga existente. (Macas & Cajas, 2019)**

Uno de los factores importantes que ha influido en el constante desgaste de las estructuras de captación de ambos esteros, ha sido la topografía de las cuencas, ya que están consideradas como de cauce medio, las cuales presentan una gran cantidad de piedras que van desde los 0,5 m hasta 1,5 m de diámetro.



**Figura 1.12 Topografía alemana a las captaciones. (Macas & Cajas, 2019)**

El diseño hidráulico que tienen las estructuras de captación actuales es otro de los factores que ha influido que se presente un mayor deterioro en ellas, debido a que estas no tienen una geometría adecuada, no han podido contrarrestar el constante golpe de las piedras que arrastra el cauce de los ríos.

## **1.2 Justificación del problema**

Debido al crecimiento de la población, al deterioro de las estructuras de captación y conducción y al tiempo de vida útil que tienen, el GAD Municipal del Cantón Caluma se ha visto en la necesidad de realizar los estudios para la construcción del nuevo sistema de captación y línea de conducción para el sector de Caluma Nuevo.

La propuesta de diseño para el sistema de captación, es realizar una sola bocatoma en el mejor lugar desde el punto de vista topográfico y de calidad de agua, realizando los estudios hidrológicos que permitan asegurar un constante afluente, que abastezca de líquido vital a la población futura en un periodo de 30 años, cumpliendo con lo que establece la norma CPE INEN 005.

La línea de conducción debe cumplir los lineamientos de diseño que indica la norma CPE INEN 005. Además, de asegurar el correcto funcionamiento con los accesorios necesario dependiendo de la topografía que presente el terreno por donde cruce, garantizando que todo el sistema funcione a gravedad hasta su llegada a la planta de tratamiento.

El diseño de este sistema contribuirá a mejorar la calidad de vida de los habitantes de Caluma Nuevo. Además, de contribuir al desarrollo económico y social del cantón.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo General**

Diseñar una bocatoma y la línea de conducción para el mejoramiento del servicio de agua potable a los habitantes del sector Caluma Nuevo, cantón Caluma, provincia de Bolívar.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

1. Desarrollar el análisis hidrológico, para determinar los caudales máximos y mínimos de la cuenca de aporte del estero del Pescado.
2. Realizar el levantamiento topográfico y el estudio de suelos de la zona.
3. Diseñar hidráulica y estructuralmente una bocatoma.
4. Realizar el diseño hidráulico de la línea de conducción.

5. Presentar un registro ambiental del proyecto, cumpliendo con los requisitos lo que exige el Ministerio del Ambiente para la construcción de la obra.
6. Elaborar el presupuesto de la obra.

## **1.4 Marco teórico**

### **1.4.1 Estudios topográficos**

Para la presente investigación se realizó un levantamiento topográfico con estación total con el fin de tomar datos sobre la ubicación de puntos del terreno y de puntos de determinadas obras, que son de interés para el proyecto. Esta información permite elaborar los planos de la topografía y detalles del área de implantación del proyecto, requeridos para el diseño.

### **1.4.2 Estudios de suelos**

#### **1.4.2.1 Ensayo de límites de Atterberg**

Permiten una rápida caracterización del suelo puesto que son ensayos muy rápidos de realizar en laboratorio ya que no es necesaria la toma de muestras inalteradas para su determinación.

Los límites de los contenidos de humedad que caracterizan los cuatro estados de consistencia de un suelo de grano fino: estado sólido, estado semisólido, estado plástico y estado semilíquido. El límite entre los estados sólido y semisólido se llama límite de contracción, el límite entre los estados semisólido y plástico se denomina límite plástico y el límite entre los estados plástico y semilíquido, límite líquido. (Das, 2012)

##### **1.4.2.1.1 Índice Plasticidad**

Describe el rango de contenido de humedad natural sobre el cual el suelo era plástico. El índice de plasticidad IP, es por tanto numéricamente igual a la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico. (Das, B. & González, R., 2001)

$$IP = LL - LP \quad (1.1)$$

Donde:

LL: Límite líquido

LP: Límite plástico

### 1.4.2.2 Ensayo de permeabilidad.

Es la propiedad que tiene el suelo de transmitir el agua y el aire. Mientras más permeable sea el suelo, mayor será la filtración. Algunos suelos son tan permeables y la filtración tan intensa que para construir en ellos cualquier tipo de estanque es preciso aplicar técnicas de construcción especiales. (Budhu, 2011)

### 1.4.2.3 Capacidad portante

Para determinar la capacidad del suelo, se emplea la ecuación general de la capacidad de carga planteada por Terzaghi tomando en cuenta los efectos de la forma de cimentación, profundidad de desplante y la inclinación de la carga, para ello se verifica si la cimentación requerida es superficial ( $D_f/B \leq 4$ ), o profunda ( $D_f/B > 4$ ). (Das, 2012)

$$q_u = c' N_c F_{cs} F_{cd} F_{ci} + q N_q F_{qs} F_{qd} F_{qi} + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma F_{\gamma s} F_{\gamma d} F_{\gamma i} \quad (1.2)$$

Donde:

$c'$  = Cohesión

$q$  = Esfuerzo efectivo al nivel del fondo de la cimentación

$\gamma$  = Peso específico del suelo

$B$  = Ancho de la cimentación

$F_{cs}$ ,  $F_{qs}$ ,  $F_{\gamma s}$  = Factores de forma

$F_{cd}$ ,  $F_{qd}$ ,  $F_{\gamma d}$  = Factores de profundidad

$F_{ci}$ ,  $F_{qi}$ ,  $F_{\gamma i}$  = Factores de inclinación de la carga

$N_c$ ,  $N_q$ ,  $N_\gamma$  = Factores de capacidad de carga

Factores de capacidad de carga

$$N_q = \tan^2 \left( 45 + \frac{\Phi'}{2} \right) e^{\pi \tan \Phi'}$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \Phi'$$

$$N_\gamma = 2(N_q + 1) \tan \Phi'$$

Factores de forma

$$F_{cs} = 1 + \left( \frac{B}{L} \right) \left( \frac{N_q}{N_c} \right)$$

$$F_{qs} = 1 + \left( \frac{B}{L} \right) \tan \Phi'$$

$$F_{\gamma s} = 1 - 0.4 \left( \frac{B}{L} \right)$$

### Factores de profundidad

Si  $\frac{D_f}{B} \leq 1$ ;

Para  $\Phi' = 0$

$$F_{cd} = 1 + 0.4 \left( \frac{D_f}{B} \right)$$

$$F_{qd} = 1$$

$$F_{\gamma d} = 1$$

Para  $\Phi' > 0$

$$F_{cd} = F_{qd} - \frac{1 - F_{qd}}{N_c \tan \Phi'}$$

$$F_{qd} = 1 + 2 \tan \Phi' (1 - \sin \Phi)^2 \left( \frac{D_f}{B} \right)$$

$$F_{\gamma d} = 1$$

Si  $\frac{D_f}{B} > 1$ ;

Para  $\Phi' = 0$

$$F_{cd} = 1 + 0.4 \tan^{-1} \left( \frac{D_f}{B} \right)$$

$$F_{qd} = 1$$

$$F_{\gamma d} = 1$$

Para  $\Phi' > 0$

$$F_{cd} = F_{qd} - \frac{1 - F_{qd}}{N_c \tan \Phi'}$$

$$F_{qd} = 1 + 2 \tan \Phi' (1 - \sin \Phi)^2 \tan^{-1} \left( \frac{D_f}{B} \right)$$

$$F_{\gamma d} = 1$$

### Factores de inclinación

$$F_{ci} = F_{qi} = \left( 1 - \frac{\beta^\circ}{90^\circ} \right)^2$$

$$F_{\gamma i} = \left( 1 - \frac{\beta^\circ}{\Phi^\circ} \right)^2$$

### **1.4.3 Estudios hidrológicos**

Para diseñar hidráulicamente la estructura de captación y la línea de conducción, es necesario, conocer los caudales del Estero del Pescado, para conocer si

cumple con la demanda de la población de Caluma Nuevo, por lo que es necesario realizar un estudio hidrológico, para determinar la caracterización de la cuenca y sus respectivos caudales. A continuación, se explican los parámetros geomorfológicos de una cuenca:

#### **1.4.3.1 Cauce**

Es el conducto descubierto por donde corren las aguas. (Aparicio, 1997)

#### **1.4.3.2 Delimitación de la cuenca**

Se traza una línea divisoria (divortium aquarum) y se ubica en las partes más altas dividiendo el curso del agua entre una cuenca y otra. (Ordoñez, 2011)

#### **1.4.3.3 Área de la cuenca, A**

Es la proyección horizontal del área de drenaje dirigido directa o indirectamente a un mismo cauce natural. (Fattorelli & Fernández, 2011)

#### **1.4.3.4 Densidad de drenaje, $D_d$**

Indica la relación entre la longitud total de los cursos de agua de la cuenca y el área total de la misma. Valores altos representan zonas con poca cobertura vegetal, suelos erosionables o impermeables. Valores bajos indican suelos duros, pocos erosionables o muy permeables y cobertura vegetal densa. (Aparicio, 1997)

$$D_d = \frac{L_i}{A} \quad (1.3)$$

Donde:

$D_d$ : Densidad de drenaje Km/Km<sup>2</sup>.

$L_i$ : Longitud total de los cursos de agua de la cuenca en Km.

$A$ : Área total de la cuenca en Km<sup>2</sup>.

#### **1.4.3.5 Coeficiente de compacidad, $K_c$**

Este coeficiente representa la forma de la superficie de la superficie de la cuenca, según su delimitación, y su influencia sobre los escurrimientos y el hidrograma resultante de una precipitación. (López & Mintegui, 1987)

$$K_c = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} \quad (1.4)$$

Donde:

$K_c$ : Coeficiente de compacidad

$P$ : Perímetro de la cuenca en Km.

A: Área total de la cuenca en Km<sup>2</sup>.

#### 1.4.3.6 Factor de forma de Horton, K<sub>f</sub>

Se deduce con la siguiente ecuación:

$$K_f = \frac{A}{L^2} \quad (1.5)$$

Donde:

K<sub>f</sub>: Factor de forma.

A: Área total de la cuenca en Km<sup>2</sup>.

L: Distancia en línea recta entre los puntos más alejados de cuenca en Km.

**Tabla 1.1 Rangos aproximados del factor de forma. (Pérez, 1979)**

Factor de forma	Forma de la cuenca
< 0.22	Muy alargada
0.22 a 0.30	Alargada
0.30 a 0.37	Ligeramente alargada
0.37 a 0.45	Ni alargada ni ensanchada
0.45 a 0.60	Ligeramente ensanchada
0.60 a 0.80	Ensanchada
0.80 a 1.20	Muy ensanchada
> 1.20	Rodeando el desagüe

#### 1.4.3.7 Perímetro de la cuenca, P

Es la longitud de la línea divisora del área de la cuenca. Cuando se lo relaciona con el área, se determina la forma de la cuenca. (Fattorelli & Fernández, 2011)

#### 1.4.3.8 Longitud del cauce principal, L

Es la longitud del río principal de la cuenca, donde drenan los afluentes y quebradas. (Ordoñez, 2011)

#### 1.4.3.9 Pendiente del cauce, S

Se relaciona con la velocidad media de la escorrentía y su poder de arrastre y de la erosión sobre la cuenca. (Fattorelli & Fernández, 2011)

$$S = \frac{\Delta H}{L} * 100 \quad (1.6)$$

Dónde:

S: Pendiente media del cauce en %

ΔH: Diferencia de cotas entre los extremos del cauce en m.

L: Longitud del cauce en m.

#### **1.4.3.10 Orden de corrientes**

Permite cuantificar la magnitud de la red de drenaje en la escorrentía superficial directa. (Aparicio, 1997)

Ya caracterizada la cuenca con sus principales componentes, se procede a realizar el cálculo de caudales máximos y mínimos que se generan en la cuenca, se ha recopilado datos de caudales medios diarios de los años 1965 hasta el 2015, para elaborar la curva de duración de caudales.

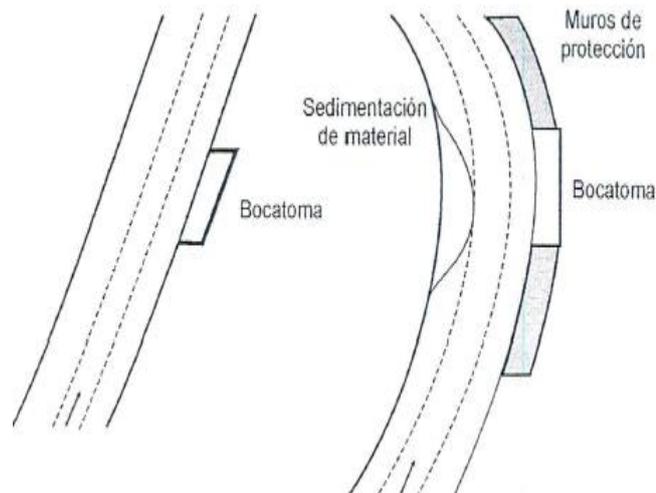
#### **1.4.4 Obras de captación**

Son estructuras que tienen como objetivo desviar el curso del río para producir energía, sistemas de riego y en este caso para brindar abastecimiento de agua potable a un sector. (Corcho, F. & Duque, J., 1993)

Los factores determinantes para la selección de la obra de captación más adecuada son: naturaleza del cauce y la topografía general.

##### **1.4.4.1 Criterios de localización**

- El caudal del río debe ser mucho mayor al caudal requerido por la población de diseño. (Corcho, F. & Duque, J., 1993)
- Debe ser un cauce estable y los taludes de las orillas resistentes para evitar derrumbes, sedimentos o erosiones que puedan obstaculizar el buen funcionamiento de la estructura de captación.
- En el caso de flujo por gravedad se debe asegurar una carga suficiente para mover el agua.
- Localizar el sistema de captación en un tramo recto del río, mas no en meandros, para evitar sedimentación del material como se observa en la Figura 1.13
- En corrientes de agua con poco transporte de sólidos y bajas pendientes, se podrán utilizar captaciones localizadas en forma perpendicular al sentido de flujo, mientras que en corrientes de agua de gran pendiente y con transporte de sólidos son adecuadas las captaciones laterales. (Corcho, F. & Duque, J., 1993)

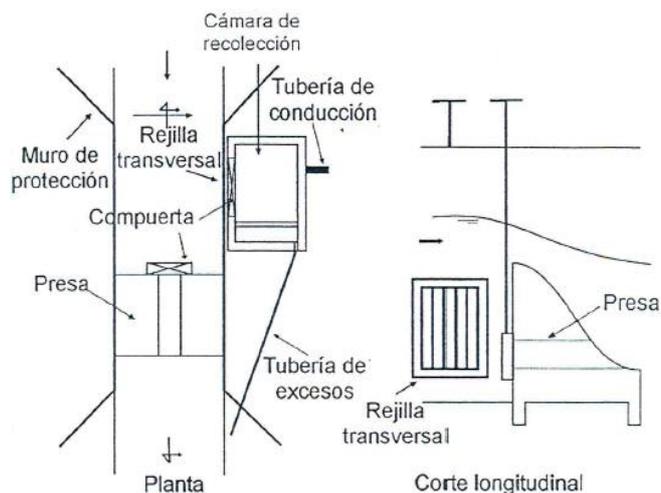


**Figura 1.13 Captaciones superficiales en zonas recta y curva. (López, 1995)**

#### 1.4.4.2 Tipos de bocatoma

##### 1.4.4.2.1 Toma lateral con muro transversal

Muy común en ríos pequeños o quebradas, donde el tirante del cauce es pequeño. (Corcho, F. & Duque, J., 1993)



**Figura 1.14 Bocatoma con muro transversal. (López, 1995)**

El muro transversal funciona como presa elevando la lámina de agua y es captada lateralmente por medio de una rejilla ubicada en uno de los muros laterales.

El principal problema que presenta este tipo de bocatoma es cuando la corriente arrastra mucho material y éste es depositado en el pie del muro impidiendo el paso del agua a través de la rejilla. (López, 1995)

#### 1.4.4.2.2 Bocatoma de fondo

Se coloca una rejilla en la parte superior de la presa, y el agua es captada en sentido normal de la corriente. El ancho de esta presa puede ser igual o menos que el ancho del río. Las características de las fuentes de abastecimiento. (Corcho, F. & Duque, J., 1993)

#### 1.4.4.2.3 Bocatoma lateral con bombeo

Ideal en ríos con secciones anchas y grandes caudales. Requiere como mínimo 2 bombas, y una de ellas permanece en reserva. Para evitar la obstrucción de la entrada al pozo de succión se utiliza una rejilla la cual impide el paso de elementos grandes. (López, 1995)

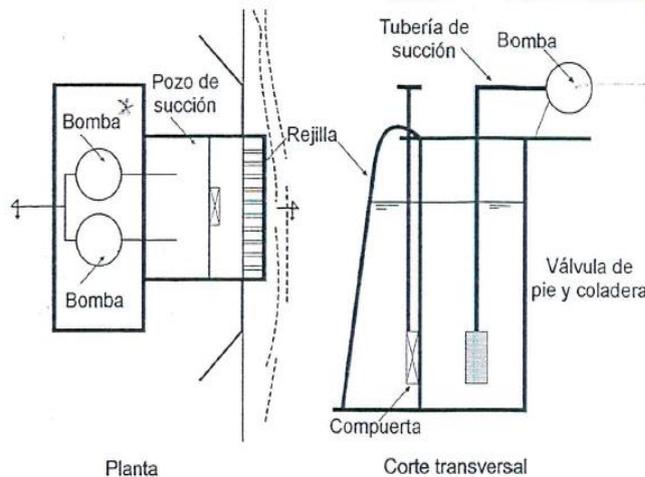
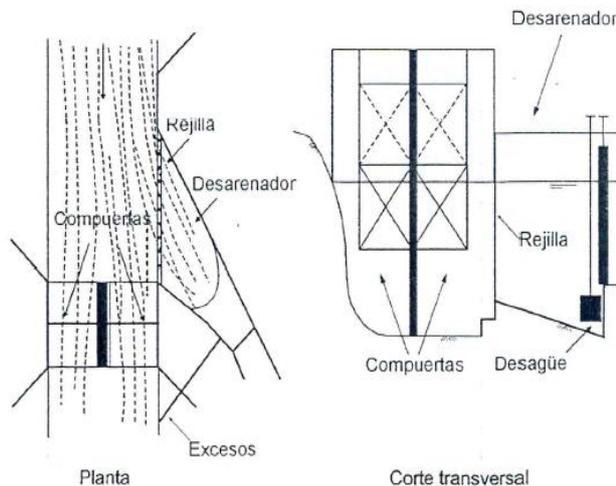


Figura 1.15 Bocatoma lateral con bombeo, en planta y corte. (López, 1995)

#### 1.4.4.2.4 Bocatoma lateral por gravedad

Se realiza cuando las condiciones topográficas e hidráulicas son indicadores de que la captación en ríos profundos puede hacerse por gravedad, se asemeja a la toma con muro transversal, reemplazando el muro por un sistema de compuertas y colocando una rejilla más grande, con el fin de elevar artificialmente el nivel del agua. Se puede hacer el tratamiento primario de desarenador en forma inmediata. (López, 1995)



**Figura 1.16 Bocatoma lateral por gravedad, en planta y en corte. (López, 1995)**

#### **1.4.4.2.5 Toma mediante estabilización del lecho**

Se hace una canalización, si el ancho del río es muy grande y el lecho no es muy estable; la toma puede ser de fondo o lateral. (López, 1995)

#### **1.4.4.2.6 Captación con lecho filtrante**

Utilizada para acueductos de bajo caudal, que prefiltran el afluente antes de conducirlo a la línea de conducción, esto es posible mediante un lecho granular, que filtra el agua y la traslada a un sistema de recolección de tuberías perforadas en el fondo del río. Consiste en aprovechar la corriente de la fuente para autolavarse superficialmente y así aumentar el tiempo de colmatación del filtro. (Corcho, F. & Duque, J., 1993)

### **1.4.5 Elementos de una bocatoma de fondo**

#### **1.4.5.1 Presa**

La cota del fondo del río está al mismo nivel de la cota superior de la presa, en su interior se encuentra el canal de aducción. (López, 1995)

#### **1.4.5.2 Enrocado superior o inferior**

Se ubican aguas arriba y aguas debajo de la presa, con el objetivo de protegerla de la erosión. Se pueden construir en enrocado o concreto. (López, 1995)

#### **1.4.5.3 Muros laterales**

Canalizan el agua hacia la rejilla, y a su vez protegen los taludes: el ancho de estos muros está dado por la estabilidad estructural de la zona. (López, 1995)

#### **1.4.5.4 Rejilla**

Es colocada sobre el canal de aducción que se encuentra en el interior de la presa, tanto la longitud de la rejilla como la longitud del canal de aducción pueden ser menores que la longitud de la presa. El ancho mínimo es de 40 cm. y el largo mínimo de 70 cm., para facilitar la limpieza y el mantenimiento de la misma. (López, 1995)

#### **1.4.5.5 Canal de aducción**

Toma el agua por medio de la rejilla y transporta el agua captada hacia la cámara de recolección. Tiene una pendiente entre el 1% y 4%, con el objetivo de garantizar que la velocidad mínima sea segura para realizar labores de mantenimiento. (López, 1995)

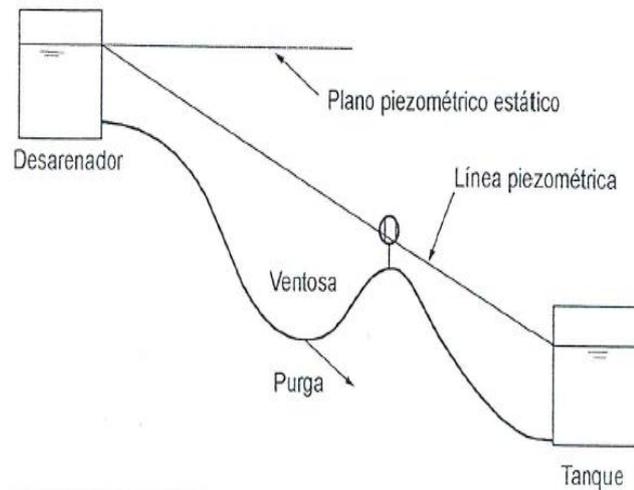
#### **1.4.5.6 Cámara de recolección**

Comúnmente es cuadrada o rectangular, con muros de concreto reforzado. Internamente existe un vertedero de excesos que entrega el agua a una tubería de excesos que retorna el agua al río. Se coloca en la parte superior una tapa y escalera de acceso para realizar labores de mantenimiento. (López, 1995)

#### **1.4.6 Línea de conducción**

El agua cruda o tratada suele ser transportada a flujo libre o a presión. Para el estudio, debido a que las condiciones topográficas son favorables para este tipo de flujo hidráulico se consideró realizar la conducción a presión, además es más corta que la de flujo libre. Se debe tomar en cuenta el trazado de la tubería en comparación a la línea piezométrica, para el caso de estudio, el perfil del terreno natural por donde se colocará la tubería está por debajo de la línea piezométrica, como lo muestra la Figura 1.17, con una diferencia en todos los puntos de mínimo 2 metros como es lo recomendable. Es importante evitar zonas de deslizamiento, inundaciones o nivel freático alto. (López, 1995)

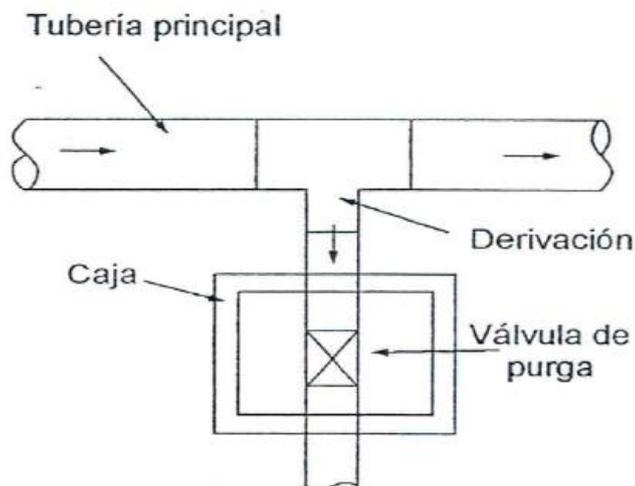
Se deben instalar accesorios especiales como válvulas de purga, ventosas y considerar cada 1 km colocar una válvula de control. A continuación, se explica a detalle el funcionamiento de estos accesorios.



**Figura 1.17 Conducción a presión. (López, 1995)**

#### 1.4.6.1 Válvula de purga

Son válvulas colocadas lateralmente, en los puntos más bajos del trazado de la tubería, en sí los puntos donde puede existir acumulación de sedimentos y se deba realizar limpieza. La derivación se la realiza por medio de una tee cuyos diámetros están especificados en la Tabla 1.2, por lo general es  $\frac{1}{4}$  del diámetro de la tubería principal; si la velocidad a la salida es muy alta, se debe colocar disipadores de energía. (López, 1995)



**Figura 1.18 Válvula de purga. (López, 1995)**

**Tabla 1.2 Diámetro de la válvula de purga. (López, 1995)**

Tubería principal Diámetro (mm)	Purga Diámetro (mm)
80 – 250	63
300 – 350	90

400 – 500	110
610 - 760	152
810 – 960	203
≥ 1000	254

#### 1.4.6.2 Válvulas de expulsión de aire (Ventosas)

Son dispositivos automáticos que permiten la expulsión o admisión del aire por medio de la tubería, deben ubicarse en los puntos más altos del trazado, tienen varias funciones:

- Expulsar el aire dentro de la tubería durante su llenado.
- Expulsar el aire acumulado en los puntos altos.
- Admitir aire en el caso de tener presiones negativas en la tubería

El diámetro para ventosa de acción simple (expeler aire) es 1/12 del diámetro de la tubería principal y 1/8 para ventosas de doble acción (expeler y admitir aire).

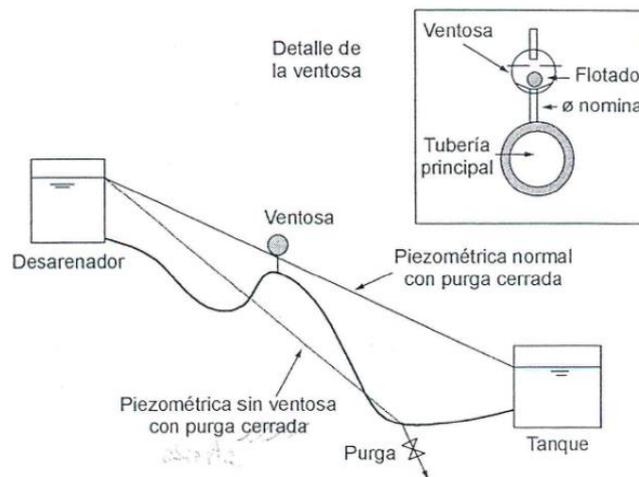


Figura 1.19 Ubicación y detalle de la ventosa. (López, 1995)

#### 1.4.6.3 Válvula de control

Son instaladas el inicio y final de la línea de conducción y tienen un diámetro igual al de la tubería. La más común en diámetros no tan grandes es la de compuerta, ya que es más barata y segura, sin embargo, para diámetros más grandes las válvulas de mariposa funcionan mejor. (Méndez, 1995)



**Figura 1.20 Válvula de compuerta**



**Figura 1.21 Válvula de mariposa**

#### **1.4.7 Consideraciones de diseño**

##### **1.4.7.1 Período de diseño de la bocatoma y línea de conducción**

El periodo de diseño es el lapso de tiempo durante el cual una obra cumple con eficiencia sus funciones. (CPE INEN 005, 1992)

El código de práctica ecuatoriano establece que no se puede tener periodos de diseño menores a 15 años para ningún tipo de obra, por lo que establece en la Tabla 1.3 periodos de diseño para diferentes elementos de un sistema de agua potable.

**Tabla 1.3 Vida útil sugerida para los elementos de un sistema de agua potable.  
(CPE INEN 005, 1992)**

<b>Componente</b>	<b>Vida útil (años)</b>
Diques grandes y túneles	50 a 100
Obras de captación	25 a 50
Pozos	10 a 25
Conducciones de hierro dúctil	40 a 50
Conducciones de asbesto cemento o PVC	20 a 30
Planta de tratamiento	30 a 40
Tanques de almacenamiento	30 a 40
Tuberías principales y secundarias de la red:	
De hierro dúctil	40 a 50
De asbesto cemento o PVC	20 a 25
Otros materiales	Variables de acuerdo especificaciones del fabricante

##### **1.4.7.2 Proyección de la población futura**

Se denomina población futura al número de habitantes que tendrá cierto sector dentro de un determinado número de años, se la determina en función del periodo de diseño, la población inicial, final y de la tasa de incremento

poblacional, que es la rapidez con la que crece o decrece una población. (López, 1995)

De acuerdo a los censos hechos por el INEC en los años 1990, 2001 y 2010, el Cantón Caluma cuenta con la siguiente población:

**Tabla 1.4 Población del cantón Caluma en los años 1990, 2001 y 2010. (INEC, 2010)**

AÑO	POBLACIÓN
1990	9828
2001	11074
2010	13129

#### 1.4.7.2.1 Método aritmético

Considera un crecimiento absoluto constante en el número de habitantes, es decir, a la población actual adicionar un número fijo de personas para cada periodo en el futuro. Comúnmente este método genera cantidades menores a la realidad. (López, 1995)

$$k_a = \frac{P_{uc} - P_{ci}}{T_{uc} - T_{ci}} \quad (1.7)$$

$$P_f = P_{uc} + k_a(T_f - T_{uc}) \quad (1.8)$$

Donde:

$K_a$  = Constante de crecimiento de población aritmética

$P_{uc}$  = Población de último censo

$T_{uc}$  = Año del último censo

$P_{ci}$  = Población de censo inicial

$T_{ci}$  = Año del censo inicial

$P_f$  = Población proyectada

$T_f$  = Año de la proyección

#### 1.4.7.2.2 Método geométrico

El aumento de la población es proporcional al número de habitantes. (López, 1995)

$$r = \left( \left( \frac{P_{uc}}{P_{ci}} \right)^{1/(T_{uc} - T_{ci})} \right) - 1 \quad (1.9)$$

$$P_f = P_{uc} (1 + r)^{(T_f - T_{uc})} \quad (1.10)$$

Donde:

$r$  = Tasa de crecimiento de población geométrica

$P_{uc}$  = Población de último censo

$T_{uc}$  = Año del último censo

$P_{ci}$  = Población de censo inicial

$T_{ci}$  = Año del censo inicial

$P_f$  = Población proyectada

$T_f$  = Año de la proyección

#### 1.4.7.2.3 Método logarítmico

Es de tipo exponencial (López, 1995), y se calcula con las siguientes ecuaciones:

$$r = \frac{\ln\left(\frac{P_{uc}}{P_{ci}}\right)}{T_{uc}-T_{ci}} \quad (1.11)$$

$$P_f = P_{ci} e^{r(T_f-T_{ci})} \quad (1.12)$$

Donde:

$r$  = Tasa de crecimiento de población logarítmica

$P_{uc}$  = Población de último censo

$T_{uc}$  = Año del último censo

$P_{ci}$  = Población de censo inicial

$T_{ci}$  = Año del censo inicial

$P_f$  = Población proyectada

$T_f$  = Año de la proyección

#### 1.4.7.3 Variaciones de consumo

##### 1.4.7.3.1 Dotación

Es la cantidad de agua potable que un habitante en promedio anual consume en un día. Para determinar este valor se consideran los consumos del servicio doméstico, servicio público, servicio industrial y comercial incluyendo las pérdidas físicas de agua. (Eiger, Shamir, & Ben-Tal, 1994)

**Tabla 1.5 Dotaciones en función al número de habitantes y el clima. (SENAGUA, 2012)**

Habitantes	Clima	Dotación media futura (l/hab./día)
Hasta 5 000	Cálido	170 – 200
	Templado	130 – 160

	Frío	120 – 150
5 000 a 50 000	Cálido	200 – 230
	Templado	190 – 220
	Frío	180 – 200
Más de 50 000	Cálido	> 230
	Templado	> 220
	Frío	> 200

#### 1.4.7.3.2 Caudal medio diario

Se refiere a la cantidad de agua que necesita una población en un día promedio, se determina mediante registros de consumo y sirve para calcular el consumo máximo diario y el consumo máximo horario. (SENAGUA, 2012) Se lo calcula con la siguiente ecuación:

$$Q_m = \frac{q * N}{86\ 400} \quad (1.13)$$

Donde:

$Q_m$ : Caudal promedio en L/s

$q$ : Dotación en L/hab-día

$N$ : Número de habitantes al final del periodo de diseño.

#### 1.4.7.3.3 Caudal máximo diario

Es el caudal medio consumido por la población en el día de máximo consumo en el año. (SENAGUA, 2012)

$$Q_{md} = K_{máx.d} * Q_m \quad (1.14)$$

Donde:

$Q_{md}$ : Caudal máximo diario en L/ s

$K_{máx.d}$ : Factor de mayoración máximo diario, tiene un valor entre (1.3 – 1.5)

#### 1.4.7.3.4 Caudal máximo horario

Es el máximo caudal de agua que requiere la comunidad durante una hora de un día del año. (SENAGUA, 2012)

$$Q_{mh} = K_{máx.h} * Q_{md} \quad (1.15)$$

Donde:

$Q_{mh}$ : Caudal máximo horario en L/s

$K_{máx.h}$ : Factor de mayoración máximo horario, tiene un valor entre (2 – 2.3)

#### 1.4.7.3.5 Caudal de diseño

La estructura de captación deberá ser diseñada para derivar al sistema de agua potable, en este caso la planta de tratamiento, un caudal mínimo igual al caudal máximo diario más un 20% del mismo, que corresponde al final del período de diseño. (SENAGUA, 2012)

Mientras que cuando no se requiera bombeo para la línea de conducción, el caudal de diseño será igual al caudal máximo diario calculado al final del periodo de diseño más un 10% del mismo, y por ningún motivo el caudal de diseño corresponderá al caudal máximo horario. (SENAGUA, 2012)

Los valores de caudal de diseño de la estructura de captación y de la línea de conducción están dados por la Tabla 1.6.

**Tabla 1.6 Caudales de diseño de los elementos que conforman un sistema de agua. (SENAGUA, 2012)**

Elemento	Caudal
Captación de aguas superficiales	Máximo diario + 20%
Captación de aguas subterráneas	Máximo diario + 5%
Conducción de aguas superficiales	Máximo diario + 10%
Conducción de aguas subterráneas	Máximo diario + 5%
Red de distribución	Máximo horario + incendio
Planta de tratamiento	Máximo diario + 10%

#### 1.4.7.4 Presión de diseño

Es la presión a la cual está funcionando la tubería, y debe ser menor a la presión de trabajo indicada por el fabricante. Por lo cual es necesario definir la presión de diseño de la tubería y corresponde al valor máximo entre la presión estática máxima y la sobrepresión máxima causada por el golpe de ariete, por un factor igual a 1.3. (Méndez, 1995)

# CAPÍTULO 2

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1 Alternativas de solución

#### 2.1.1 Alternativa 1: Bocatoma lateral y línea de conducción sin desarenador

Bocatoma lateral con muro transversal es utilizada para ríos pequeños o quebradas, en donde la profundidad del cauce no es muy grande (López, 1995)

De acuerdo a la Figura 1.14 este tipo de bocatoma consta de las siguientes partes:

- **Dique o muro transversal de retención:** Eleva el nivel del agua, asegurando una altura mínima.
- **Rejilla:** Permite la entrada de agua a la cámara de recolección.
- **Muros de ala:** Sirven para proteger y acondicionar la entrada del agua al conducto.
- **Cámara de recolección:** Almacena el agua que es captada mediante la rejilla de aducción.
- **Tubería de conducción:** Transporta el caudal de diseño hacia la planta de tratamiento o al desarenador.
- **Tubería de excesos:** Permite la evacuación del caudal de exceso.

Una de las desventajas de esta bocatoma se presenta en la época de invierno, debido al aumento del caudal se produce arrastre mucho material grande, que tiende a depositarse en el pie del muro transversal, llegando a tapar parcial o completamente la rejilla de entrada (López, 1995)

La cuenca del estero del Pescado y la del estero Cacauyacu están consideradas como cuencas de cauce medio, donde existen piedras de gran diámetro como lo muestra la Figura 2.1. Por lo tanto, estaría propensa a que la rejilla de captación quedara obstruida. Además, si no se tiene un mantenimiento adecuado y constante las piedras y sedimentos que llegaran acumularse al pie del dique de retención, haría que el nivel mínimo de diseño disminuya afectando el correcto funcionamiento de este tipo de captación. Actualmente este tipo de captación existe en el estero Cacauyacu.



**Figura 2.1. Presencia de piedras aguas arriba de la captación del estero del pescado. (Macas & Cajas, 2019)**

Se plantea la línea de conducción sin desarenador debido a que en los alrededores de donde se encuentra el actual desarenador y en todo el recorrido de la línea de conducción del estero del Pescado existe cultivos de cacao, naranja y crianza de animales, constatando de que todo material que se desprende de estos cultivos cercanos tiende a caer dentro del desarenador, pudiendo contaminar el agua.



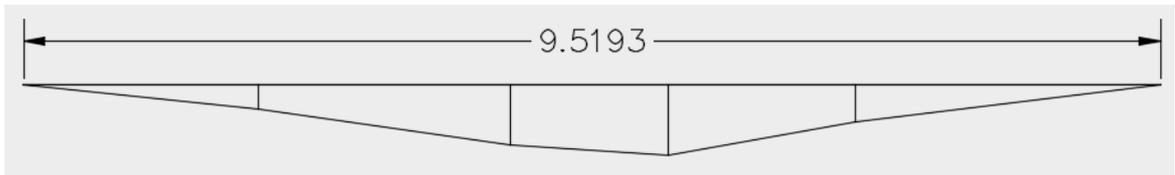
**Figura 2.2. Alrededores del actual desarenador en el estero del Pescado. (Macas & Cajas, 2019)**

### **2.1.2 Alternativa 2: Bocatoma de fondo y línea de conducción sin desarenador**

La bocatoma de fondo es utilizada en las regiones montañosas o en ríos pequeños donde las secciones transversales son de poco ancho (0 – 10 m). (Corcho, F. & Duque, J., 1993). El agua es captada a través de una rejilla colocada en la parte

superior de una presa, que a su vez se dirige en sentido normal de la corriente (López, 1995). Consta de las siguientes partes:

- **Dique o Presa:** En ella se encuentra el canal de aducción.
- **Rejilla:** Permite la entrada de agua al canal de aducción.
- **Canal de aducción:** Recibe el agua a través de la rejilla y conduce el agua captada a la cámara de la recolección.
- **Muros de Ala:** Sirven para proteger y acondicionar la entrada del agua al conducto.
- **Cámara de Recolección:** Admite el agua del canal de aducción.
- **Vertedero de excesos:** Controla el nivel de agua en la cámara de recolección, asegurando el caudal de diseño.
- **Tubería de Conducción:** Transporta el caudal de diseño hacia la planta de tratamiento o al desarenador.
- **Tubería de Excesos:** Permite la evacuación del caudal de exceso.



**Figura 2.3 Sección transversal del río del estero del Pescado, 5 m aguas abajo de la captación actual (Macas & Cajas, 2019)**

Este tipo de bocatoma es la mejor se adapta a la topografía de la cuenca, permite captar el agua de manera constante, sin peligro de que la rejilla pueda ser obstaculizada por las piedras. Actualmente la captación que existe en el estero del Pescado es de este tipo.

La línea de conducción sin un desarenador, estaría propensa a una mayor abrasión y acumulación de sedimentos dentro del tubo, reduciendo su tiempo de vida útil. Además, aumentaría el nivel de los sólidos suspendidos que lleguen directamente del río a la planta de tratamiento.

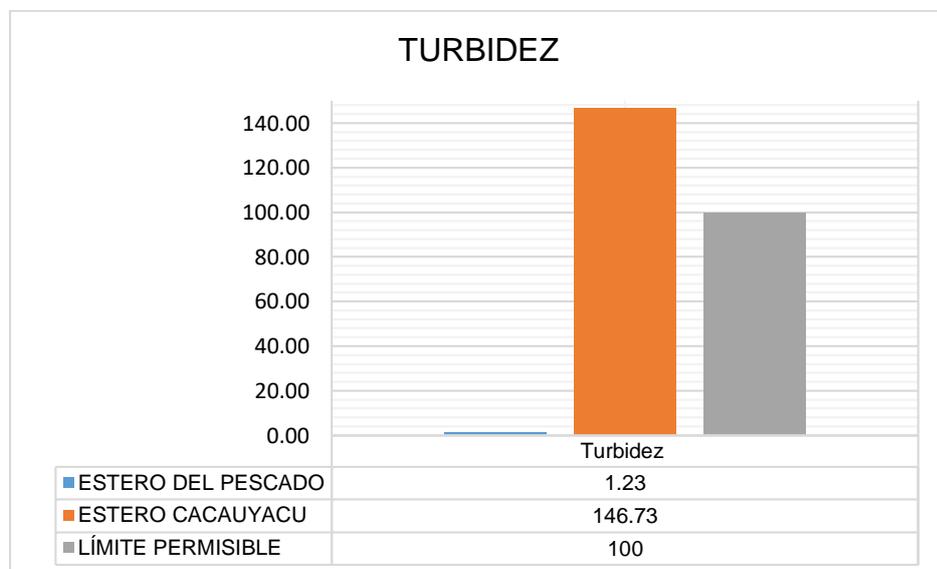
### **2.1.3 Alternativa 3: Bocatoma de fondo y línea de conducción con desarenador**

En base a lo establecido en la alternativa 2, podemos concluir que la mejor opción para captar el agua del río es la bocatoma de fondo, debido a que la topografía de la zona se adapta a este tipo de captación.

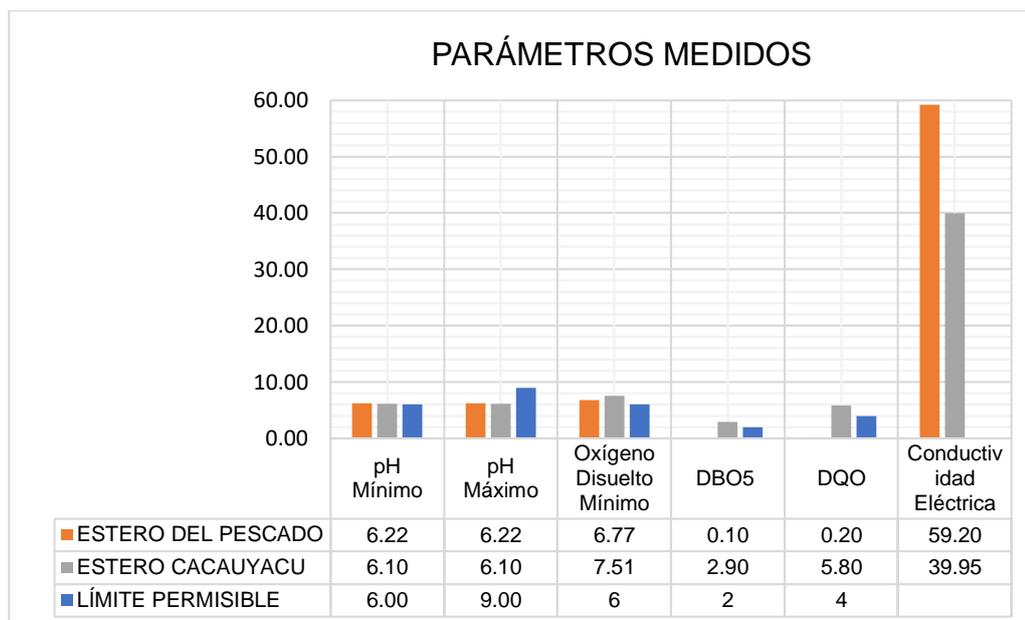
Para el diseño de la nueva línea de conducción se debe tener en cuenta cierta restricción, que del actual desarenador salen tres líneas de conducción, la primera es de diámetro de 200 mm y avanza directamente a la planta de tratamiento, la segunda línea de conducción es de 110 mm la misma que hace igual recorrido que la primera, pero en su trayecto abastece de agua a las fincas aledañas, mientras la tercera línea de conducción es de 63 mm y abastece al barrio estero del Pescado.

En base a lo antes expuesto, el diseño de la nueva línea de conducción, no puede suspender las líneas de 110 mm y de 63 mm, debido a que se dejaría sin líquido a las fincas aledañas a la actual línea de conducción y al barrio del Estero del Pescado, por lo que se optará por tomar en cuenta al actual desarenador para el diseño de la nueva línea de conducción.

Actualmente Caluma Nuevo es abastecido por dos captaciones, la principal y la que aporta mayor caudal es la del estero del Pescado, sin embargo, recibe aporte de la captación existente en el estero Cacauyacu, cabe recalcar que esta es la más antigua, tenida 50 años de vida útil. En invierno esta captación deja de funcionar, debido a que la crecida del estero obstaculiza la entrada del agua y el nivel de turbidez aumenta considerablemente afectado la calidad del agua, como se puede observar en los siguientes gráficos comparativos.



**Figura 2.4 Comparación de los niveles de turbidez en las fuentes de captación actuales con los límites permisibles establecidos en el anexo 1 del TULSMA. (Espinel & Obando, 2019)**



**Figura 2.5. Comparación de los niveles de pH, oxígeno disuelto, DBO5, DQO y conductividad eléctrica en las fuentes de captación actuales con los límites permisibles establecidos en el anexo 1 del TULSMA. (Espinel & Obando, 2019)**

En la Figura 2.4, realiza una comparación de los niveles de turbidez del estero del Pescado, Cacuayacu y los límites permisibles que establece la Tabla 1, del Anexo 1 del TULSMA, donde se puede verificar que el nivel de turbidez del estero Cacuayacu supera en un 46 % los límites permisibles establecidos en el TULSMA. En Figura 2.5, se hace comparaciones de los parámetros de calidad de agua como el pH, oxígeno disuelto, DBO5, DQO y conductividad eléctrica, entre los dos esteros, se puede constatar que los niveles de la DBO5 y DQO superan en un 45% los límites permisibles establecidos en el TULSMA, cabe indicar que los análisis de calidad del agua fueron realizados en la temporada invernal.

Las comparaciones de calidad de agua entre ambos esteros, ha permitido descartar la fuente de agua del estero Cacuayacu, debido a su alto nivel de turbidez en época invernal, quedando como mejor opción de abastecimiento de agua el estero del Pescado.

Los caudales máximos y mínimos de la cuenca del estero del Pescado, fueron establecidos en base a la curva de duración de caudales, mostrada en el Apéndice C.2, esta curva fue realizada con datos de caudales de la estación hidrológica Echeandía (H0343).

**Tabla 2.1 Caudales de la Cuenca del Estero del Pescado. (Macas & Cajas, 2019)**

<b>Caudales</b>	<b>Valor (m<sup>3</sup>/s)</b>
Caudal Máximo	93.26
Caudal Medio	17,26
Caudal Mínimo	1,69

#### **2.1.4 Alternativa escogida**

Para solucionar la problemática, se escogió la **Alternativa 3: Bocatoma de fondo y línea de conducción con desarenador**, en la que se plantea la construcción de una nueva estructura de captación y línea de conducción reutilizando el desarenador existente. El lugar óptimo que cumple los requisitos topográficos, demanda y calidad del agua es el estero del Pescado, ubicando la estructura de captación en mismo lugar donde se encuentra la actual y siguiendo igual recorrido de la línea de conducción existente.

La captación presentada es una bocatoma de fondo de hormigón armado, mientras que para la línea de conducción se utilizará tuberías de PVC con los accesorios necesarios para su correcto funcionamiento y cámaras de hormigón armado que servirán para protección de los mismos.

## **2.2 Características de la zona de estudio**

### **2.2.1 Clima**

El clima es templado y subtropical, durante los meses de mayo a septiembre tiene temperaturas que varían entre los 20°C a 24°C y de octubre a abril de 24°C a 28°C. La temperatura media registrada de acuerdo a la estación meteorológica en el Cantón Caluma va entre los 18 y 23 °C.

### **2.2.2 Población**

De acuerdo al censo realizado por el INEC en el 2010, el cantón Caluma cuenta con una población de 13,129 habitantes, que proyectada al año 2019 con la tasa de crecimiento de 1.89%, la población actual es de 14.150 habitantes

### **2.2.3 Aspectos socioeconómicos**

Sus actividades económicas se basan en el comercio del cultivo de productos agrícolas como la naranja y cacao en la parte media baja y la ganadería en la parte media alta

### **2.2.3.1 Servicios básicos**

De acuerdo al censo urbano de servicios de agua potable y alcantarillado del MIDUVI (2008), la provincia tiene una cobertura promedio de agua potable del 81.8% y 61.8% en el alcantarillado sanitario. En cuanto al sistema de alcantarillado en el área urbana tiene una cobertura media, ya que ciertos barrios del Cantón no cuentan con este servicio, y no existe un sistema de tratamiento de aguas servidas

### **2.2.3.2 Turismo**

Desde el año 2010 ha venido creciendo los servicios turísticos en el sector privado, entre los principales atractivos turísticos se tiene: Cascada La Chorrera, Cascada de Plomovado, Cascada Tres Pailas.

## **2.2.4 Geología**

Los suelos de Caluma son de cenizas volcánicas recientes, se caracterizan por tener un color amarillento de textura limosa y pegajosa, similar a la plastilina, esto determina la presencia de gran cantidad de limo y arcilla, con elementos de andesita, basalto y diabasas. En su color se nota una alta cantidad de hierro y magnesio entre sus principales elementos y alta presencia también de sulfatos. En función de su pendiente se utilizan para cultivar café, cacao, plátano, pastos, maíz, banano, cítricos, papa, naranjilla. Las rocas corresponden a la formación Unidad Macuchi que es una secuencia volcanoclástica.

## **2.2.5 Geometría y morfología de la cuenca de aporte**

### **2.2.5.1 Delimitación, área y perímetro**

Mediante el programa ArcGIS se obtuvo el divortium aquarium de la cuenca del estero del Pescado, de igual manera permitió obtener el área establecida en 4.90 Km<sup>2</sup> y con un perímetro de 9.90 Km.



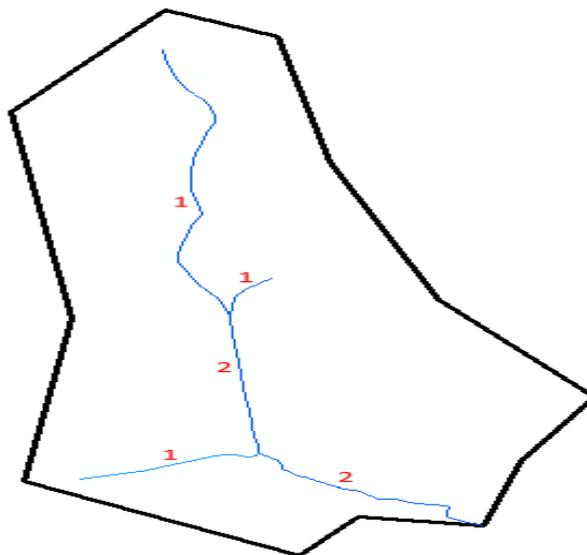
**Figura 2.6** Divisorias de agua de la cuenca del estero del Pescado. (Macas & Cajas, 2019)

**Tabla 2.2** Parámetros hidrológicos de la cuenca. (Macas & Cajas, 2019)

Densidad de drenaje, $D_d$	1.21	km/km <sup>2</sup>
Coefficiente de compacidad, $K_c$	1.26	
Factor de forma, $K_f$	0.32	
Pendiente del cauce, $S$	18.31	%

### 2.2.5.2 Orden de corrientes

Mediante el programa ArcGIS se pudo obtener el orden de las corrientes en la cuenca del estero del Pescado, tal como se pueden observar en la Figura 2.7.



**Figura 2.7** Orden de corrientes del estero del Pescado. (Macas & Cajas, 2019)

## 2.3 Estimación de caudal y población de diseño

### 2.3.1 Periodo de diseño

#### 2.3.1.1 Captación

La estructura de captación de hormigón armado fue diseñada para un periodo de diseño o tiempo de retorno de grandes avenidas de  $T= 50$  años.

#### 2.3.1.2 Línea de conducción

La línea de conducción de PVC fue diseñada para un periodo de diseño de  $T= 30$  años.

### 2.3.2 Proyección de la población

Para la estimación de la población de diseño se realizó un análisis de sensibilidad para establecer el método de proyección que mejor se ajusta al crecimiento que ha venido teniendo la población de Caluma Nuevo. Se tuvo en cuenta que en la actualidad este sector ocupa un 73.27 % de la superficie total de la zona urbana. El análisis de sensibilidad se lo realizó con los métodos aritméticos, geométricos y logarítmico. Se utilizó los valores de la Tabla 1.4 que tiene los datos de los tres últimos censos realizados por el INEC.

En la Figura 2.8 se puede observar la comparación entre los 3 métodos de proyección poblacional con los datos proporcionados por el INEC.

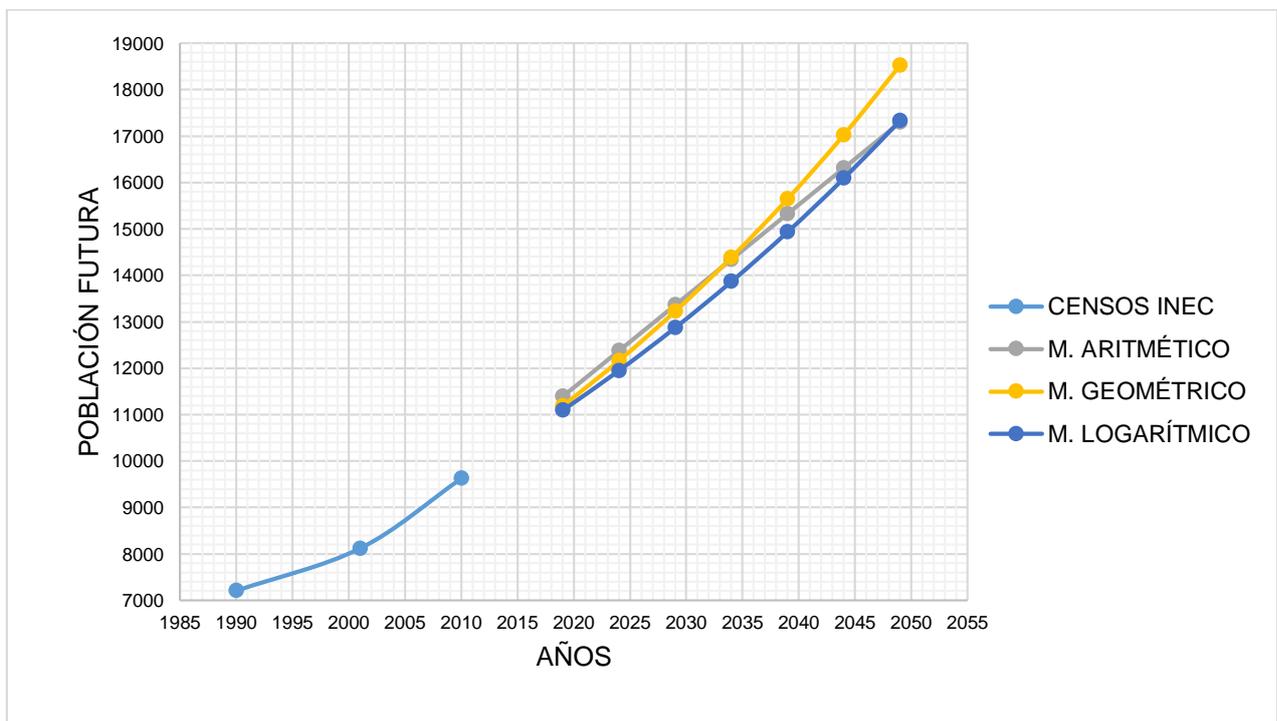


Figura 2.8 Análisis de sensibilidad poblacional. (Macas & Cajas, 2019)

Como se observa el método que mejor se ajusta a los datos de los tres últimos censos del INEC es la proyección geométrica, en la Tabla 2.3 se muestra el número de habitantes a lo largo del periodo de diseño.

**Tabla 2.3 Población futura con el método geométrico. (Macas & Cajas, 2019)**

<b>Año</b>	<b>Población futura</b>
2019	11180
2024	12153
2029	13211
2034	14362
2039	15613
2044	16972
2049	18450

### **2.3.3 Caudal de diseño**

#### **2.3.3.1 Caudales de diseño para la estructura de captación**

Para el diseño de la estructura se estimaron los caudales máximos, mínimos y el de diseño para obras de captación.

Los caudales máximos y mínimos fueron calculados por medio del estudio hidrológico de la cuenca del estero del pescado. El INAMHI proporciono información de caudales medios diarios de todas las estaciones hidrológicas de la provincia de Bolívar, en donde se estableció que la estación más cercana y semejante a la zona de estudio es la estación H0343 de Echeandía. Con los datos proporcionados se realizó la curva de duración de caudales.

Se estableció como caudal máximo el caudal medio de la curva de duración y como caudal mínimo el menor valor de los datos proporcionados.

El caudal máximo se utilizó para diseñar los muros de ala de la estructura y el caudal mínimo es el caudal que asegura el abastecimiento constante de agua para captar.

El caudal de diseño para estructuras de captación se lo estableció conforme la Tabla 1.6, donde indica que el caudal para la captación de aguas superficiales es igual al caudal máximo diario más un 20 % del mismo.

$$Q_{diseño-cap} = 1.20 * Q_{md} \quad (2.1)$$

**Tabla 2.4 Caudales de diseño para la bocatoma de fondo. (Macas & Cajas, 2019)**

Caudal	Valor (m <sup>3</sup> /s)
Máximo	17.26
Mínimo	1.69
Diseño	0.0784

➤ **Caudal medio diario**

El cálculo del caudal medio diario se realizó conforme la ecuación 1.12 estableciendo una dotación de 204 L/hab-día, que se encuentra dentro de los parámetros que dicta el SENAGUA para ciudades de 5000 a 50000 habitantes con un clima templado (Tabla 1.5).

➤ **Caudal máximo diario**

Se calcula con la ecuación 1.14 y se aplica un factor de mayoración de 1.50. Los valores de caudales medio, máximo y diseño se presentan en la siguiente tabla:

**Tabla 2.5 Caudales medio, máximo y de diseño de acuerdo a la dotación. (Macas & Cajas, 2019)**

Caudal medio diario, $Q_m$	43.56	l/s
Caudal máximo diario, $Q_{md}$	65.34	l/s
Caudal diseño captación, $Q_{md}$	78.41	l/s

Los caudales que se utilizaron para el diseño de la estructura de captación son los indicados en la Tabla 2.4.

**2.3.3.2 Caudal de diseño para la línea de conducción**

El caudal de diseño para líneas de conducción de aguas superficiales se lo estableció conforme la Tabla 1.6, donde indica que el caudal para conducción de aguas superficiales es igual al caudal máximo diario más un 10 % del mismo.

$$Q_{dis-conducción} = 1.10 * Q_{md} \quad (2.2)$$

$$Q_{diseño-cond.} = 71.87 \frac{L}{s}$$

La Figura 2.9 indica el aumento de los caudales de diseño tanto de la captación como de la línea de conducción conforme el periodo de diseño.

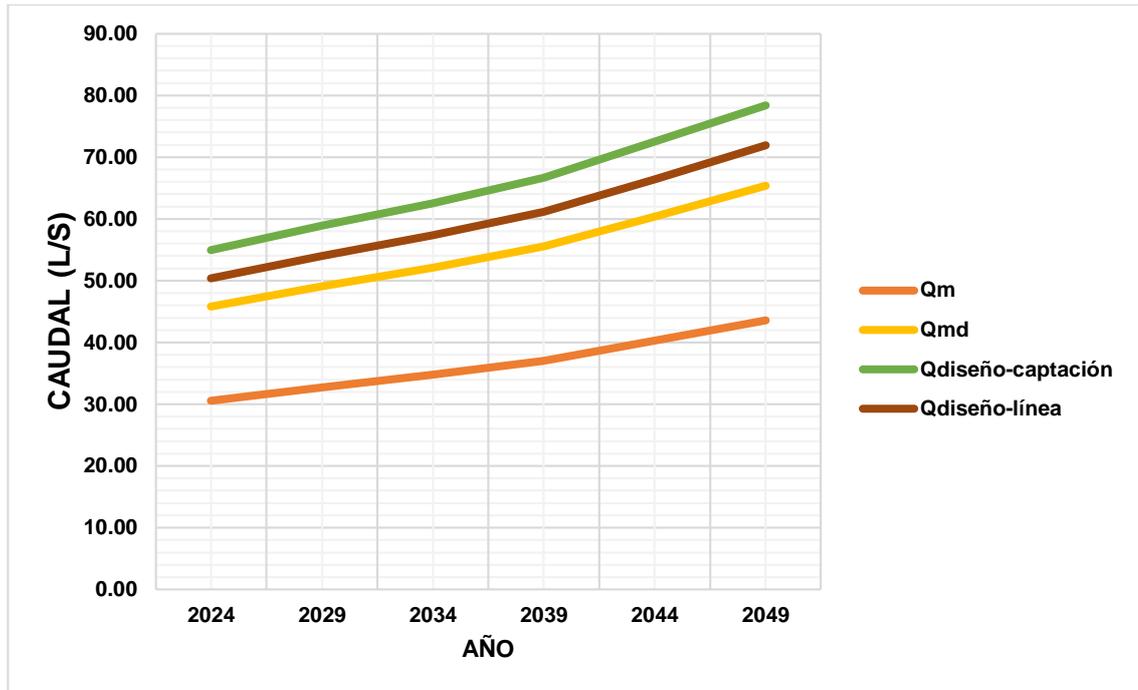


Figura 2.9 Proyección de los caudales de diseño. (Macas & Cajas, 2019)

## 2.4 Diseño de la bocatoma de fondo

### 2.4.1 Diseño Geométrico del Azud

Para el diseño geométrico del azud se consideró solo el caudal máximo, ya que estará diseñado para las condiciones más desfavorables.

El valor de la lámina de agua se calculó con la ecuación mostrada a continuación:

$$H_d = \left( \frac{Q}{1.84 L} \right)^{2/3} \quad (2.3)$$

Donde:

$H_d$  = Altura de la lámina de agua en m.

Q = Caudal en  $m^3/s$ .

L = Longitud de contracción en m.

Debido a las contracciones laterales, se realiza una corrección a la longitud de vertimiento.

$$L' = L - 0.1nH_d \quad (2.4)$$

Donde:

$L'$  = Longitud de contracción modificada en m.

L = Longitud de contracción en m.

n = Número de contracciones laterales.

$H_d$  = Altura de la lámina de agua en m.

La velocidad de agua sobre las rejillas está dada por la ecuación 2.5 y no debe ser menos a 0.3 m/s, ni mayor a 3.0 m/s.

$$V_r = \frac{Q}{L'H_d} \quad (2.5)$$

Donde:

$V_r$  = Velocidad del agua sobre las rejillas en m/s.

$Q$  = Caudal en m<sup>3</sup>/s.

$L'$  = Longitud de contracción modificada en m.

$H_d$  = Altura de la lámina de agua en m.

Se calculó la altura de velocidad sobre la rejilla de captación con la ecuación 2.6

$$H_a = \frac{V_r^2}{2g} \quad (2.6)$$

Donde:

$H_a$  = Altura de velocidad en m.

$V_r$  = Velocidad del agua sobre las rejillas en m/s.

$g$  = Aceleración de gravedad en m/s<sup>2</sup>.

Con la altura de la lámina de agua y la altura de velocidad se calculó la carga total sobre la corona del azud con la ecuación 2.7

$$H_e = H_d + H_a \quad (2.7)$$

Donde:

$H_e$  = Carga total sobre la corona del azud en m.

$H_d$  = Altura de la lámina de agua en m.

$H_a$  = Altura de velocidad en m.

Se calculó el tirante y la velocidad crítica para verificar estar en un flujo subcrítico.

$$Y_c = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{gL^2}} \quad (2.8)$$

$$V_c = \sqrt{gY_c} \quad (2.9)$$

Se debe comparar las velocidades:  $V_r < V_c$

Donde:

$Y_c$  = Tirante crítico en m.

$V_c$  = Velocidad crítica en m.

Q = Caudal en m<sup>3</sup>/s.

L = Longitud de contracción en m.

g = Aceleración de la gravedad en m/s<sup>2</sup>.

El diseño geométrico del azud fue basado en la teoría de vertederos de cresta delgada y puede representarse mediante la siguiente ecuación:

$$X^n = K(H_d)^{n-1} \quad (2.10)$$

Donde:

X, Y = Coordenadas del perfil del azud con su origen en el punto más alto de ésta.

H<sub>d</sub> = Altura de la lámina en m.

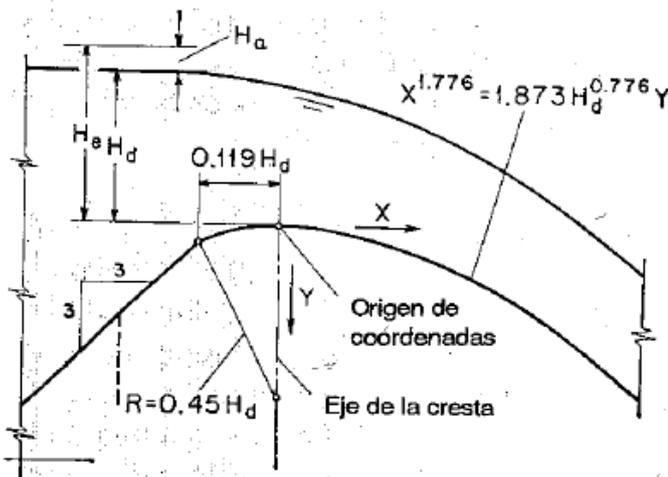
K, n = Parámetros que dependen de la pendiente de la cara de aguas arriba.

Los valores de K y n se los establece conforme la Tabla 2.6.

**Tabla 2.6 Valores de K y n. (Chow, 1994)**

Pendiente de la cara aguas arriba	K	n
Vertical	2	1.85
1 H : 3 V	1.936	1.836
2 H : 3 V	1.939	1.810
3 H : 3 V	1.873	1.776

Para el diseño se eligió una pendiente 3H:3V, con el valor de K igual a 1.873 y un valor de n igual a 1.776. La Figura 2.10 se establece la geometría a seguir.



**Figura 2.10 Geometría del perfil del azud. (Chow, 1994)**

Con los valores de K y n establecidos la ecuación 2.10 quedó de la siguiente manera.

$$X^{1.776} = 1.873(H_d)^{0.776}Y \quad (2.11)$$

Con la ecuación 2.11 se calcularon los puntos (X, Y) del perfil del azud, para evitar las presiones negativas se utilizó una pendiente aguas debajo de 1.5H:1V. La recta del talud se une en un punto tangente a la curva del perfil del azud.

Para el perfil aguas arriba se calculó el radio de la curvatura y el punto en que se une la curva y la recta del talud 3H:3V.

$$R = 0.45H_d \quad (2.12)$$

#### 2.4.2 Diseño del Pozo de amortiguamiento

Para el diseño del pozo de amortiguamiento se consideró solo el caudal máximo, ya que estará diseñado para las condiciones más desfavorables.

Primero se calculó la altura desde nivel máximo aguas arriba de la estructura hasta el nivel del pozo de amortiguamiento con la ecuación 2.13

$$Z = H_d + h \quad (2.13)$$

Donde:

Z = Altura medida desde el nivel máximo aguas arriba de la estructura hasta el nivel del pozo de amortiguamiento en m.

H<sub>d</sub> = Altura de la lámina de agua sobre la corona del azud en m.

h = Altura de diseño del azud en m.

Luego se calculó la velocidad al pie del azud aguas abajo.

$$V_1 = \sqrt{2g(Z - 0.5H_d)} \quad (2.14)$$

Donde:

V<sub>1</sub> = Velocidad al pie del azud en m/s.

Z = Altura medida desde el nivel máximo aguas arriba de la estructura hasta el nivel del pozo de amortiguamiento en m.

H<sub>d</sub> = Altura de la lámina de agua sobre la corona del azud en m.

g = Aceleración de la gravedad en m/s<sup>2</sup>.

Con el valor de la velocidad se halló el tirante al pie del azud con la ecuación 2.15

$$Y_1 = \frac{q}{v_1 L'} \quad (2.15)$$

Donde:

Y<sub>1</sub> = Tirante al pie del azud en m.

$Q$  = Caudal en  $m^3/s$ .

$V_1$  = Velocidad al pie del azud en  $m/s$ .

$L$  = Longitud de contracción modificada en  $m$ .

Se calculó el número de Froude para saber el régimen del flujo a al término del azud con la siguiente ecuación:

$$F_1 = \frac{V_1}{\sqrt{gY_1}} \quad (2.16)$$

Donde:

$F_1$  = Número de Froude

$V_1$  = Velocidad al pie del azud en  $m/s$ .

$Y_1$  = Tirante al pie del azud en  $m$ .

$g$  = Aceleración de la gravedad en  $m/s^2$ .

Con el valor del número de Froude calculado se determinó el tipo de resalto hidráulico conforme lo indica la Figura 2.6.

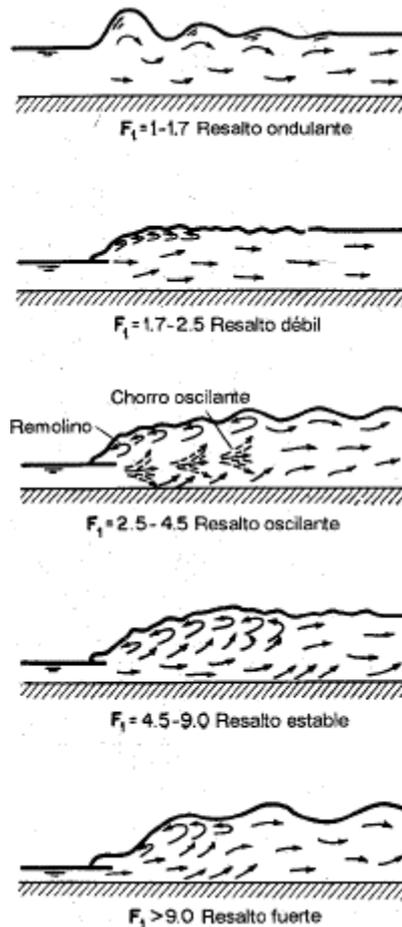


Figura 2.11 Diferentes tipos de resaltos hidráulicos. (Chow, 1994)

La Tabla 2.7 indica las consideraciones que se deben tomar dependiendo del tipo de resalto hidráulico que se presente.

**Tabla 2.7 Consideraciones según el número de Froude. (Chow, 1994)**

Número de Froude	Consideración
F1 < 2.5	No necesita dados disipadores
F1 > 2.5	Necesita dados disipadores

Se calculó la energía específica al pie del azud mediante la ecuación:

$$E_1 = Y_1 + \frac{V_1^2}{2g} \quad (2.17)$$

Donde:

$E_1$  = Energía específica al pie del azud en m.

$V_1$  = Velocidad al pie del azud en m/s.

$Y_1$  = Tirante al pie del azud en m.

$g$  = Aceleración de la gravedad en  $m/s^2$ .

Se consideró una expansión de la sección transversal de 3 m a 8.5 m adoptando todo el ancho de la sección transversal del río, por lo que se calculó el tirante al final del pozo de amortiguamiento con la siguiente ecuación.

$$E_1 = Y_2 + \frac{Q^2}{2gB_2^2Y_2^2} \quad (2.18)$$

Donde:

$Y_2$  = Tirante al final del pozo de amortiguamiento en m.

$E_1$  = Energía específica al pie del azud en m.

$B$  = Ancho de la sección transversal al final del pozo de amortiguamiento en m.

$Q$  = Caudal en  $m^3/s$ .

$g$  = Aceleración de la gravedad en  $m/s^2$ .

Mediante la Tabla 2.8 se obtiene la relación  $L/Y_2$ , en caso de tener valores intermedios a los indicados, se debe interpolar para obtener el valor exacto y posteriormente obtener la longitud del pozo de amortiguamiento.

**Tabla 2.8 Relación  $L/Y_2$  en función del número de Froude. (Chow, 1994)**

$F_1$	1.70	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	5.00	6.00	8.00	10.00
$L/Y_2$	4.00	4.35	4.85	5.28	5.55	5.80	6.00	6.10	6.12	6.10

### 2.4.3 Diseño estructural del azud

Para el diseño estructural del azud se ha considerado la metodología presentada por la organización "United States Bureau Reclamation", descrita en el libro "Design of Small Dams".

### 2.4.4 Diseño canal de aducción y rejilla

Para el diseño del canal de aducción y de las rejillas se considerará solo el caudal de diseño indicado en la Tabla 2.4.

Se determinó el ancho del canal de aducción con las siguientes ecuaciones.

$$X_s = 0.36 V_r^{\frac{2}{3}} + 0.60 H^{\frac{4}{7}} \quad (2.19)$$

$$X_i = 0.18 V_r^{\frac{4}{7}} + 0.74 H^{\frac{3}{4}} \quad (2.20)$$

$$B = X_s + 0.10 \quad (2.21)$$

El ancho B no debe ser menor a 0.45 m.

Donde:

B = Ancho del canal de aducción en m.

X<sub>s</sub> = Alcance del agua, filo superior en m.

X<sub>i</sub> = Alcance del agua, filo inferior en m.

V<sub>r</sub> = Velocidad del río en m/s

H<sub>d</sub> = Profundidad de la lámina de agua sobre la presa en m.

Para la longitud del canal de aducción se consideró que estará ubicada en el centro de la contracción, su valor fue calculado teniendo en consideración que el tirante crítico será igual al tirante aguas abajo del canal de aducción.

$$h_e = h_c = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{gB^2}} \quad (2.22)$$

$$h_0 = \sqrt{2h_e^2 + \left(h_e - \frac{iL_c}{3}\right)^2} - \frac{2}{3}iL_c \quad (2.23)$$

Para encontrar la altura total del canal de aducción se consideró un borde libre de 15 cm y una pendiente del 3%.

$$H_0 = h_0 + BL \quad (2.24)$$

$$H_e = H_0 + iL_c \quad (2.25)$$

Donde:

$H_0$  = Altura total del canal de aducción aguas arriba en m.

$H_e$  = Altura total del canal de aducción aguas abajo en m.

$h_0$  = Profundidad aguas arriba en m.

$h_e$  = Profundidad aguas abajo en m.

$i$  = Pendiente del fondo del canal.

$L_c$  = Longitud total del canal, incluye espesor del muro de ala en m.

$B$  = Ancho del canal de aducción en m.

$BL$  = Borde libre en m.

$Q$  = Caudal en  $m^3/s$ .

$g$  = Aceleración de la gravedad en  $m/s^2$ .

Se requirió una rejilla con barrotes paralelos a la dirección de flujo del agua, el área neta de la rejilla es:

$$A_n = \left( \frac{a}{a+b} \right) BL_r \quad (2.26)$$

$$A_n = aBN \quad (2.27)$$

Siendo:

$A_n$  = Área neta de la rejilla en  $m^2$ .

$a$  = Separación entre barrotes en m.

$b$  = Diámetro de los barrotes en m.

$L_r$  = Longitud de la rejilla en m.

$B$  = Ancho del canal de aducción en m.

$N$  = número de orificios entre barrotes.

#### 2.4.5 Diseño de la cámara de recolección

Para el diseño de la cámara de recolección se debe considerar la trabajabilidad para poder ser limpiada, primero se calculó la velocidad de entrada a la cámara de recolección mediante la siguiente ecuación.

$$V_e = \frac{Q}{Bh_e} \quad (2.28)$$

Donde:

$V_e$  = Velocidad de entrada a la cámara de recolección en m.

$B$  = Ancho del canal de aducción en m.

$Q$  = Caudal en  $m^3/s$ .

$h_e$  = Profundidad aguas abajo en el canal de aducción en m.

Una vez calculada la velocidad se calculó el ancho de la cámara de recolección la misma no puede ser menor a 1.20 metros y el fondo no debe ser menor a 1.50 metros.

$$X_i = 0.18(V_e)^{4/7} + 0.74(h_e)^{3/4} \quad (2.29)$$

$$X_s = 0.36(V_e)^{2/3} + 0.60(h_e)^{4/7} \quad (2.30)$$

$$L = X_s + 0.30 > 1.20 \text{ m} \quad (2.31)$$

$$\text{Fondo} > 1.50 \text{ m}$$

Siendo:

$L$  = Ancho de la cámara de recolección en m.

$X_s$  = Alcance del agua, filo superior en m.

$X_i$  = Alcance del agua, filo inferior en m.

$V_e$  = Velocidad de entrada a la cámara de recolección en m.

$h_e$  = Profundidad aguas abajo en el canal de aducción en m.

#### 2.4.6 Diseño del vertedero de excesos

Se calculó el caudal que puede captar la rejilla con la ecuación 2.32

$$Q_{\text{captado}} = C_d A_n \sqrt{2gH_d} \quad (2.32)$$

$$Q_{\text{exceso}} = Q_{\text{captado}} - Q_{\text{diseño}} \quad (2.33)$$

Donde:

$Q_{\text{captado}}$  = Caudal captado a través de la rejilla en m<sup>3</sup>/s.

$Q_{\text{exceso}}$  = Caudal de exceso en m<sup>3</sup>/s.

$Q_{\text{diseño}}$  = Caudal de diseño en m<sup>3</sup>/s.

$C_d$  = Coeficiente de descarga (0.3)

$A_n$  = Área neta de la rejilla en m<sup>2</sup>.

$H_d$  = Altura de la lámina de agua sobre la rejilla en m.

$g$  = Aceleración de la gravedad en m/s<sup>2</sup>.

Se calculó la altura lámina y la velocidad del agua sobre el vertedero exceso con las siguientes ecuaciones.

$$H_{\text{exceso}} = \left( \frac{Q_{\text{exceso}}}{1.84L} \right)^{2/3}$$

$$V_{exceso} = \frac{Q_{exceso}}{H_{exceso}L}$$

Siendo:

$H_{exceso}$ : Altura de lámina de agua sobre el vertedero de excesos en m.

$Q_{exceso}$ : Caudal de exceso en m<sup>3</sup>/s

L: Ancho de la cámara de recolección en m.

$V_{exceso}$ : Velocidad sobre el vertedero de excesos en m/s

La altura del vertedero de excesos se calculará en base a la línea de aducción, pero no debe ser menor a 60 cm.

Se calculó el ancho de la cámara de excesos mediante la ecuación (2.19)

$$X_s = 0.36(V_{exceso})^{2/3} + 0.60(H_{exceso})^{4/7}$$

$$L = X_s + 0.30$$

## 2.4.7 Diseño de los muros de ala

### 2.4.7.1 Diseño geométrico

Se ha seleccionado un muro tipo voladizo. La estabilidad del muro respecto al volcamiento y deslizamiento, está dada por las condiciones de carga de servicio.

Se inicia estimando dimensiones y por medio de un proceso de ensayo y error.

#### Presión lateral del suelo

Las presiones ejercidas lateralmente a los muros se pueden estimar de la siguiente manera:

$$P = \gamma \cdot H \cdot K \quad (2.34)$$

Donde:

$\gamma$ : Peso específico del suelo

H: Altura del relleno

K: Constante que depende del tipo de relleno

Debido a que la geometría del muro no presenta una punta en su zapata se puede decir que el suelo no ejercerá una presión pasiva contra el mismo.

Sin embargo, la presión activa actuante sobre el talón del muro se calcula con las siguientes expresiones:

$$k_a = \tan^2 \left( 45 - \frac{\phi}{2} \right) \quad (2.35)$$

$$P_a = \frac{1}{2} \gamma (H')^2 k_a \quad (2.36)$$

Por otro lado, de acuerdo a McCormac, propone la siguiente gráfica para hallar el coeficiente de presión activa.

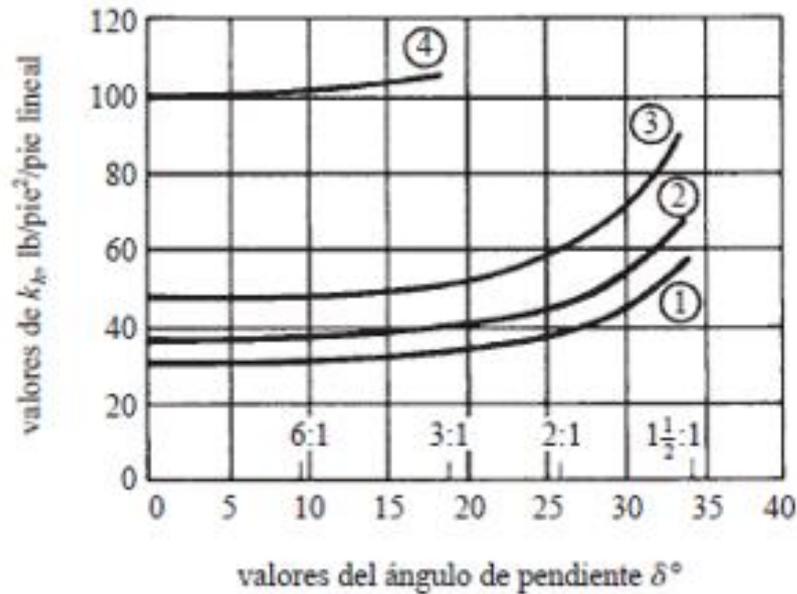


Figura 2.12 Valores de  $K_a$  para diferentes tipos de suelos, (McCormac, 2011)

### Factor de seguridad contra el volcamiento

El factor de seguridad con el volteo está dado por:

$$FS_{volteo} = \frac{\Sigma M_R}{\Sigma M_o} \quad (2.37)$$

El momento de volteo del muro está dado por:

$$M_v = P_h \cdot H/3 \quad (2.38)$$

### Factor de seguridad contra el deslizamiento

Para determinar el factor de seguridad contra el deslizamiento, se usa la siguiente expresión:

$$FS_{deslizamiento} = \frac{(\Sigma V) \tan(k_1 \phi'_2) + Bk_2 c'_2 + P_p}{\Sigma M_o} \quad (2.39)$$

Donde  $k_1$  y  $k_2$  se encuentran en el rango de  $\frac{1}{2}$  a  $\frac{2}{3}$ , en este estudio se ha considerado  $k = \frac{2}{3}$

### Revisión del espesor de la pantalla o vástago

$$V_u = 1.6 \cdot E_s \quad (2.40)$$

$$d = \frac{V_u}{0.53 \cdot \Phi \cdot L \cdot \sqrt{f'c}} \quad (2.41)$$

### Factor de seguridad por capacidad de carga

De acuerdo a la ecuación de Terzaghi, se determinó la capacidad portante,

El punto de aplicación de la resultante de cargas es:

$$x = \frac{\Sigma M_R - \Sigma M_o}{\Sigma V} \quad (2.42)$$

La excentricidad en la zapata del muro es:

$$e = \frac{B}{2} - x \quad (2.43)$$

Si  $e < B/6$ , la resultante cae en el primer tercio medio, lo cual ocasionara un diagrama trapezoidal de presiones de contacto con el suelo.

$$q_{\text{mín, talón}} = \frac{(\Sigma V)}{B} \left( 1 - \frac{6e}{B} \right) \quad (2.44)$$

$$q_{\text{máx, punta}} = \frac{(\Sigma V)}{B} \left( 1 + \frac{6e}{B} \right) \quad (2.45)$$

$$FS_{\text{carga}} = \frac{q_{\text{adm}}}{q_{\text{máx}}}$$

### 2.4.7.2 Diseño estructural de los muros de ala

Para determinar los momentos y el acero de refuerzo del vástago y la zapata del muro, se considera a cada uno como una viga en voladizo, la base y la pantalla.

Se considera que la sección crítica se presenta en la base del muro. Por lo tanto, el momento actuante en el pie del vástago está dado por:

$$M_u = \frac{1.6 \cdot \gamma_s \cdot H^3 K_a}{6} \quad (2.46)$$

Se calcula el índice de refuerzo, para obtener la cuantía de acero requerida por el momento:

$$\omega = \frac{\frac{M_u}{\phi b d^2 f'_c}}{2 * 0.59} \sqrt{1 - 4 * \left( \frac{M_u}{\phi b d^2 f'_c} \right) * 0.59}$$

$$\rho = \omega \frac{f'_c}{f_y}$$

Se procede a comprobar con la cuantía mínima que dicta el código ACI.

$$\rho_{min} = \frac{0.8\sqrt{f'_c}}{f_y} \geq \frac{14}{f_y}$$

$$A_s = \rho b d$$

Adicional a los momentos calculados con las ecuaciones, se modeló el muro en el programa SAP 2000 para determinar la cantidad de acero que requiere a flexión. Se utilizó el método de elementos finitos, es decir la zapata y el vástago están conformados por elementos tipo Shell.

Se aplicó cargas previamente mayoradas de acuerdo a las combinaciones que dicta la NEC\_SE\_CG, de lo que se obtiene los siguientes diagramas:

## 2.5 Diseño de la línea de conducción

Se utilizará la ecuación de Hazen – Williams desarrollada en 1933, debido a que es muy explícita con relación al caudal y velocidad.

$$Q = 0.2785 C D^{2.63} J^{0.54} \quad (2.47)$$

Donde:

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

C = coeficiente de rugosidad de Hazen – Williams de acuerdo al material de la tubería, como se indica en la Tabla 2.9 Coeficiente de rugosidad de Hazen – Williams típicos Tabla 2.9

D = diámetro interno de la tubería en m

J = pérdida de carga unitaria o pendiente de la línea de energía en m/m de tubería

Para la utilización de esta ecuación se debe tener en cuenta que:

- La temperatura del agua debe estar en condiciones normales.
- Diámetro de la tubería mayor a 50mm
- Velocidad del flujo menor a 3 m/s

### **Caudal de diseño para la línea de aducción, Q**

El caudal de diseño requerido por la población se determinó en el apartado 2.3.3.2.

### **Coeficiente de rugosidad de Hazen – Williams, C**

Fundamentalmente depende del material de la tubería y del estado de las paredes del tubo.

**Tabla 2.9 Coeficiente de rugosidad de Hazen – Williams típicos. (López, 1995)**

Material	C
Hierro Dúctil	130
PVC	150
Concreto	135
Acero galvanizado	120

### **Pérdida de carga unitaria, J**

Con el fin de obtener el diámetro más pequeño posible, se eleva la pérdida de carga al máximo. Es decir, es la diferencia de niveles dividida por la longitud de la conducción.

$$J = \frac{H}{L} \quad (2.48)$$

Posteriormente este valor será recalculado con la ecuación de Hazen-Williams

### **Velocidades mínimas y máximas**

No se debe sobrepasar los valores de velocidades máximas de acuerdo al material de la tubería, y se la calcula con la siguiente ecuación:

$$v = \frac{Q}{A}$$

**Tabla 2.10 Velocidades máximas en la tubería de acuerdo al material. (López, 1995)**

Material	v <sub>máx</sub>
Hierro Dúctil	4
PVC	4.5
Concreto	4.5
Acero galvanizado	6

### **Diámetro de la tubería requerido, D**

Con todos los parámetros (Q<sub>d</sub>, C, J) ya calculados, se procede a despejar D de la ecuación de Hazen-Williams (2.47)

$$D = \sqrt[2.63]{\frac{Q}{0.2785CJ^{0.54}}}$$

La presión ejercida a la tubería se calcula con la siguiente ecuación:

$$h = d + 1.5 \frac{v^2}{2g} \quad (2.49)$$

Y se verifica que ésta, no exceda a la presión de trabajo de la tubería. Sin embargo, se debe recalcular las pérdidas de cargas unitarias, ya que se toma en cuenta el valor del diámetro interno comercial, adicional hay que determinar las pérdidas por accesorios.

### **Pérdida de carga localizadas, $h_f$**

Son las pérdidas generadas por los accesorios como: codos, válvulas y perdidas en la entrada y salida.

$$h_f = k \frac{v^2}{2g} \quad (2.50)$$

Las pérdidas por cambio de dirección se determinan con la siguiente ecuación:

$$h_f = \frac{v^2}{2g} \sqrt{\frac{\theta}{90}} \quad (2.51)$$

Donde  $\theta$  es el ángulo del codo.

En la siguiente tabla se muestran algunos valores aproximados de k.

**Tabla 2.11 Coeficientes de pérdida de algunos accesorios. (López, 1995)**

Elemento	K
Entrada normal al tubo	0.50
Válvula abierta (compuerta)	0.20
Tee de paso directo	0.60
Tee de paso lateral	1.30
Salida del tubo	1.00

### **Verificación por golpe de ariete**

Se debe tener en cuenta este fenómeno en la tubería, ya que puede ocasionar daños

La velocidad de propagación de la onda o celeridad, se puede determinar de la siguiente manera:

$$C = \frac{9,900}{\sqrt{48.3 + k_e \frac{D}{e}}} \quad (2.52)$$

Donde:

k = Relación entre el módulo de elasticidad del agua y del material de la tubería, en la Tabla 2.12 se muestran los valores de k para algunos materiales

D = Diámetro interior del tubo en m

e = Espesor de la pared del tubo en m

**Tabla 2.12 relación de módulos de elasticidad del agua y del material de la tubería.**  
(López, 1995)

Material de la tubería	K
Acero	0.50
Hierro fundido	1.00
Concreto	5.00
Asbesto-cemento	4.40
Plástico	18.00

Luego se calculó el periodo de la onda en la tubería

$$T = \frac{2L}{c} \quad (2.53)$$

Dónde:

L = Longitud hasta el depósito (m)

C = Celeridad de la onda (m/s)

A continuación, se presentan las ecuaciones para hallar diferentes parámetros:

$$\text{Sobrepresión (ha): } h_a = \frac{c \cdot v}{g} \quad (2.54)$$

$$\text{Tiempo de parada: } T = C + \frac{K \cdot L \cdot v}{g \cdot H_m} \quad (2.55)$$

$$\text{Longitud crítica: } L_c = \frac{a \cdot T}{2} \quad (2.56)$$

Si  $L < L_c$ , y  $T > \frac{2L}{c}$  se produce una impulsión corta, por lo tanto, se utiliza la ecuación

$$\text{de Michaud para hallar la sobrepresión } \Delta H = \frac{2 \cdot L \cdot v}{g \cdot T} \quad (2.57)$$

Si  $L > L_c$ , y  $T < \frac{2L}{c}$  se produce una impulsión larga, y se utiliza la ecuación de Allievi

$$\text{para hallar la sobrepresión } \Delta H = \frac{c \cdot v}{g}. \quad (2.58)$$

$$P_{total} = P_{estática} + \Delta H \quad (2.59)$$

Para verificar las presiones negativas que pueda existir en la tubería se utiliza las siguientes expresiones:

$$P_{negativa} = P_{estática} - \Delta H \quad (2.60)$$

$$Vacío_{Mendiluce} = -0.136 * |P_{negativa}|^{0.8} \quad (2.61)$$

## 2.6 Diseño de la línea de aducción

Para el diseño de la línea de aducción se consideró que la tubería trabajaría como tubo parcialmente lleno.

La línea de aducción servirá para transportar el agua de la cámara de recolección en la captación hasta el desarenador.

### Caudal de diseño para la línea de aducción

El caudal de diseño para la línea de aducción es el indicado en la Tabla 2.4.

En base a la ecuación 2.62 se calcula el diámetro que se necesita para transportar el caudal de diseño hacia el desarenador.

$$D = 1.548 \left( \frac{nQ}{S^2} \right)^{\frac{3}{8}} \quad (2.62)$$

Donde:

D = Diámetro requerido en m.

n = Coeficiente de rugosidad de Manning. (Tabla 2.13)

Q = Caudal de diseño en m<sup>3</sup>/s

S = Pendiente en m/m

**Tabla 2.13 Coeficientes de rugosidad de Manning. (López, 1995)**

Coeficientes de Rugosidad de Manning	
Material	Coeficiente de rugosidad (n)
Asbesto Cemento	0.01
Concreto Liso	0.012
Concreto Rugoso	0.014
Metal Corrugado	0.022
Hierro Fundido	0.015
Plástico (PVC)	0.009

En base al diámetro calculado se establece el diámetro comercial o nominal.

Una vez escogido el diámetro se realizan los cálculos a tubo lleno, para saber la capacidad máxima de la tubería. Todos los cálculos se los realiza con el diámetro interno.

$$Q_0 = 0.312 \left( \frac{D^{\frac{8}{3}} * S^{\frac{1}{2}}}{n} \right) \quad (2.63)$$

Donde:

D = Diámetro interno de la tubería escogida en m.

n = Coeficiente de rugosidad de Manning. (Tabla 2.13)

$Q_0$  = Caudal a tubo lleno en  $m^3/s$

S = Pendiente en m/m

Calculado el caudal a tubo lleno se procede a calcular la velocidad a tubo lleno.

$$V_0 = \frac{Q_0}{A}$$

Calculada la velocidad se calcula el radio hidráulico a tubo lleno con la siguiente ecuación:

$$R_0 = \frac{D}{4} \quad (2.64)$$

Donde:

D = Diámetro interno de la tubería escogida en m.

$R_0$  = Radio hidráulico a tubo lleno en m.

Se calculó la relación entre el caudal de diseño y el caudal a tubo lleno, con la finalidad de establecer las relaciones hidráulicas.

$$\frac{Q}{Q_0}$$

De la Tabla 2.14, se obtienen las relaciones hidráulicas para la relación  $Q/Q_0$  calculada.

**Tabla 2.14. Relaciones hidráulicas para conductos circulares. (López, 1995)**

Relaciones hidráulicas para conductos circulares ( $n_2/n$ variable)											
Q/Q <sub>0</sub>	Rel.	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,0	V/V <sub>0</sub>	0,000	0,292	0,362	0,400	0,427	0,453	0,473	0,492	0,505	0,520
	d/D	0,000	0,092	0,124	0,148	0,165	0,182	0,196	0,210	0,220	0,232
	R/R <sub>0</sub>	0,000	0,239	0,315	0,370	0,410	0,449	0,481	0,510	0,530	0,554
	H/D	0,000	0,041	0,067	0,086	0,102	0,116	0,128	0,140	0,151	0,161
0,1	V/V <sub>0</sub>	0,540	0,553	0,570	0,580	0,590	0,600	0,613	0,624	0,634	0,645
	d/D	0,248	0,258	0,270	0,280	0,289	0,298	0,308	0,315	0,323	0,334
	R/R <sub>0</sub>	0,586	0,606	0,630	0,650	0,668	0,686	0,704	0,716	0,729	0,748
	H/D	0,170	0,179	0,188	0,197	0,205	0,213	0,221	0,229	0,236	0,244
0,2	V/V <sub>0</sub>	0,656	0,664	0,672	0,680	0,687	0,695	0,700	0,706	0,713	0,720
	d/D	0,346	0,353	0,362	0,370	0,379	0,386	0,393	0,400	0,409	0,417
	R/R <sub>0</sub>	0,768	0,780	0,795	0,809	0,824	0,836	0,848	0,860	0,874	0,886
	H/D	0,251	0,258	0,266	0,273	0,280	0,287	0,294	0,300	0,307	0,314
0,3	V/V <sub>0</sub>	0,729	0,732	0,740	0,750	0,755	0,760	0,768	0,776	0,781	0,787
	d/D	0,424	0,431	0,439	0,447	0,452	0,460	0,468	0,476	0,482	0,488
	R/R <sub>0</sub>	0,896	0,907	0,919	0,931	0,938	0,950	0,962	0,974	0,983	0,992
	H/D	0,321	0,328	0,334	0,341	0,348	0,354	0,361	0,368	0,374	0,381
0,4	V/V <sub>0</sub>	0,796	0,802	0,806	0,810	0,816	0,822	0,830	0,834	0,840	0,845
	d/D	0,498	0,504	0,510	0,516	0,523	0,530	0,536	0,542	0,550	0,557
	R/R <sub>0</sub>	1,007	1,014	1,021	1,028	1,035	1,043	1,050	1,056	1,065	1,073
	H/D	0,388	0,395	0,402	0,408	0,415	0,422	0,429	0,436	0,443	0,450
0,5	V/V <sub>0</sub>	0,850	0,855	0,860	0,865	0,870	0,875	0,880	0,885	0,890	0,895
	d/D	0,563	0,570	0,576	0,582	0,588	0,594	0,601	0,608	0,615	0,620
	R/R <sub>0</sub>	1,079	1,087	1,094	1,100	1,107	1,113	1,121	1,125	1,129	1,132
	H/D	0,458	0,465	0,472	0,479	0,487	0,494	0,502	0,510	0,518	0,526
0,6	V/V <sub>0</sub>	0,900	0,903	0,908	0,913	0,918	0,922	0,927	0,931	0,936	0,941
	d/D	0,626	0,632	0,639	0,645	0,651	0,658	0,666	0,672	0,678	0,686
	R/R <sub>0</sub>	0,136	1,139	1,143	1,147	1,151	1,155	1,160	1,163	1,167	1,172
	H/D	0,534	0,542	0,550	0,559	0,568	0,576	0,585	0,595	0,604	0,614
0,7	V/V <sub>0</sub>	0,945	0,951	0,955	0,958	0,961	0,965	0,969	0,972	0,975	0,980
	d/D	0,692	0,699	0,705	0,710	0,719	0,724	0,732	0,738	0,743	0,750
	R/R <sub>0</sub>	1,175	1,179	1,182	1,184	1,188	1,190	1,193	1,195	1,197	1,200
	H/D	0,623	0,633	0,644	0,654	0,665	0,677	0,688	0,700	0,713	0,725
0,8	V/V <sub>0</sub>	0,984	0,987	0,990	0,993	0,997	1,001	1,005	1,007	1,011	1,015
	d/D	0,756	0,763	0,770	0,778	0,785	0,791	0,798	0,804	0,813	0,820
	R/R <sub>0</sub>	1,202	1,205	1,208	1,211	1,214	1,216	1,219	1,219	1,215	1,214
	H/D	0,739	0,753	0,767	0,783	0,798	0,815	0,833	0,852	0,871	0,892
0,9	V/V <sub>0</sub>	1,018	1,021	1,024	1,027	1,030	1,033	1,036	1,038	1,039	1,040
	d/D	0,826	0,835	0,843	0,852	0,860	0,868	0,876	0,884	0,892	0,900
	R/R <sub>0</sub>	1,212	1,210	1,207	1,204	1,202	1,200	1,197	1,195	1,192	1,190
	H/D	0,915	0,940	0,966	0,995	1,027	1,063	1,103	1,149	1,202	1,265
1,0	V/V <sub>0</sub>	1,041	1,042	1,042							
	d/D	0,914	0,920	0,931							
	R/R <sub>0</sub>	1,172	1,164	1,150							
	H/D	1,344	1,445	1,584							

siendo: Q = caudal de diseño      Q<sub>0</sub> = caudal a tubo lleno  
V = velocidad de diseño      V<sub>0</sub> = velocidad a tubo lleno  
d = lámina de agua      D = diámetro de la tubería  
R = radio hidráulico al caudal de diseño  
R<sub>0</sub> = radio hidráulico a tubo lleno  
H = profundidad hidráulica  
n = número de Manning a caudal de diseño  
n<sub>0</sub> = número de Manning a tubo lleno

En base a las relaciones hidráulicas se obtiene la velocidad, tirante y radio hidráulico real.

$$v = A * V_0; \quad 0.6 < v < 4.5 \quad (2.65)$$

$$d = B * D \quad (2.66)$$

$$R = C * R_0 \quad (2.67)$$

Donde:

v = Velocidad real en m/s.

V<sub>0</sub> = Velocidad a tubo lleno en m/s.

d = Tirante de agua en m.

D = Diámetro interno de la tubería escogida en m.

R = Radio hidráulico real en m.

A, B, C = Constantes hidráulicas obtenidas de la Tabla 2.14.

Para prevenir sedimentación en la tubería se calculó la fuerza tractiva en base a la ecuación 2.68.

$$\tau = \gamma RS > 1.2 \quad (2.68)$$

Donde:

$\tau$  = Fuerza tractiva en N/m<sup>2</sup>.

R = Radio hidráulico real en m.

S = Pendiente en m/m.

## 2.7 Diseño de la tubería de excesos

Para el diseño de la tubería de excesos se consideró que la tubería trabajaría como tubo parcialmente lleno. El caudal de diseño es el indicado en la Tabla 2.4.

En base a la ecuación 2.62 se calcula el diámetro que se necesita para transportar el caudal de diseño hacia el desarenador.

$$D = 1.548 \left( \frac{nQ}{S^2} \right)^{\frac{3}{8}}$$

En base al diámetro calculado se establece el diámetro comercial o nominal.

Una vez escogido el diámetro se realizan los cálculos a tubo lleno con la ecuación 2.63, para saber la capacidad máxima de la tubería. Todos los cálculos se los realiza con el diámetro interno.

$$Q_0 = 0.312 \left( \frac{D^{\frac{8}{3}} * S^2}{n} \right)$$

Calculado el caudal a tubo lleno se procede a calcular la velocidad a tubo lleno.

$$V_0 = \frac{Q_0}{A}$$

Calculada la velocidad se calcula el radio hidráulico a tubo lleno con la ecuación 2.64.

$$R_0 = \frac{D}{4}$$

Se calculó la relación entre el caudal de diseño y el caudal a tubo lleno, con la finalidad de establecer las relaciones hidráulicas.

$$\frac{Q}{Q_0}$$

De la Tabla 2.14, se obtienen las relaciones hidráulicas para la relación Q/Q<sub>0</sub> calculada.

En base a las relaciones hidráulicas se obtiene la velocidad, tirante y radio hidráulico real.

$$v = A * V_0; \quad 0.6 < v < 4.5$$

$$d = B * D$$

$$R = C * R_0$$

Para prevenir sedimentación en la tubería se calculó la fuerza tractiva en base a la ecuación 2.68.

$$\tau = \gamma RS > 1.2$$

# CAPÍTULO 3

## 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

### 3.1 Diseño de la captación

#### 3.1.1 Diseño geométrico del azud

Para el diseño geométrico del azud se consideró solo el caudal máximo, ya que estará diseñado para las condiciones más desfavorables.

Se tiene en cuenta que la velocidad de agua sobre las rejillas no debe ser menor a 0.3 m/s, ni mayor a 3.0 m/s. Se estableció una altura de diseño “h” para el azud, la misma tendrá un valor de 1.25 m.

**Tabla 3.1 Parámetros hidráulicos del azud. (Macas & Cajas, 2019)**

Lámina de agua, Hd	2.14	m
Longitud de contracción, L'	2.99	m
Velocidad del agua sobre la rejilla, Vr	2.70	m/s
Altura de velocidad, Ha	0.37	m
Carga sobre la corona del azud, He	2.51	m

Se calculó el tirante y la velocidad crítica para verificar que está en un flujo subcrítico.

**Tabla 3.2 Tirante y velocidad críticos. (Macas & Cajas, 2019)**

Y <sub>c</sub>	1.50	m
V <sub>c</sub>	3.84	m/s

Se verificó las velocidades:  $V_r < V_c \rightarrow$  Flujo subcrítico  $\therefore OK$

El diseño geométrico del azud fue basado en la teoría de vertederos de cresta delgada y para la curvatura se estableció la siguiente ecuación:

$$X^{1.776} = 1.873(H_d)^{0.776}Y$$

**Tabla 3.3 Curvatura del azud. (Macas & Cajas, 2019)**

X	Y	Y
0.00	0.0000	0.0000
0.10	0.0050	-0.0050
0.20	0.0170	-0.0170

0.30	0.0349	-0.0349
0.40	0.0581	-0.0581
0.50	0.0864	-0.0864
0.60	0.1194	-0.1194
0.70	0.1570	-0.1570
0.80	0.1990	-0.1990
0.90	0.2454	-0.2454
1.00	0.2958	-0.2958
1.10	0.3504	-0.3504
1.20	0.4090	-0.4090
1.30	0.4714	-0.4714

Para evitar las presiones negativas se utilizó una pendiente aguas abajo de 1.5H:1V. La recta del talud se une en un punto tangente a la curva del perfil del azud, en la Tabla 3.4 se indican los puntos de inicio y fin de la recta tangente.

**Tabla 3.4 Línea tangente. (Macas & Cajas, 2019)**

Punto Inicial Tangente		
m=	dY/dX	
1.268830285	=X^0.776	
X	1.36	m
Y	0.51	m
Y	-0.51	m
Punto Final Tangente		
Y	1.07	m
Y	-1.07	m
X	2.06	m

La unión entre la tangente y el solado se lo realizó de la siguiente manera:

**Tabla 3.5 Unión entre la tangente y el solado. (Macas & Cajas, 2019)**

Curva de enlace entre la tangente y el solado		
R	1.07	m
Rx	0.59	m
Ry	0.89	m
R-Ry	0.18	m
Punto Final Curvatura		
Y	1.25	m

Y	-1.25	m
X	2.66	m

Para el perfil aguas arriba se calculó el radio de la curvatura y el punto en que se une la curva y la recta del talud 3H:3V.

$$R = 0.96 \text{ m}$$

**Tabla 3.6 Perfil aguas arriba. (Macas & Cajas, 2019)**

Perfil aguas arriba		
	X	Y
0.119Hd	0.255	0.0343
	-0.255	0.0343
Punto final		
	-1.47	1.25

### 3.1.2 Diseño del pozo de amortiguamiento

Para el diseño del pozo de amortiguamiento se consideró solo el caudal máximo, ya que fue diseñado para las condiciones más desfavorables.

**Tabla 3.7 Dimensionamiento del pozo de amortiguamiento. (Macas & Cajas, 2019)**

Z	3.39	m
V <sub>1</sub>	6.75	m/s
Y <sub>1</sub>	0.86	m
F <sub>1</sub>	2.33	Resalto débil

Se ingresa en la Tabla 2.8 el valor de  $F_1 = 2.33$ , por lo que  $L/Y_2 = 4.68$ , por lo tanto, la longitud de salto hidráulico para disipar la energía generada en el pie del azud es 1.26 m, pero por medidas constructivas se redondea a 1.30 m en aguas arriba y 1.37 m en aguas abajo.

A continuación, se muestra un corte longitudinal y el perfil del azud:

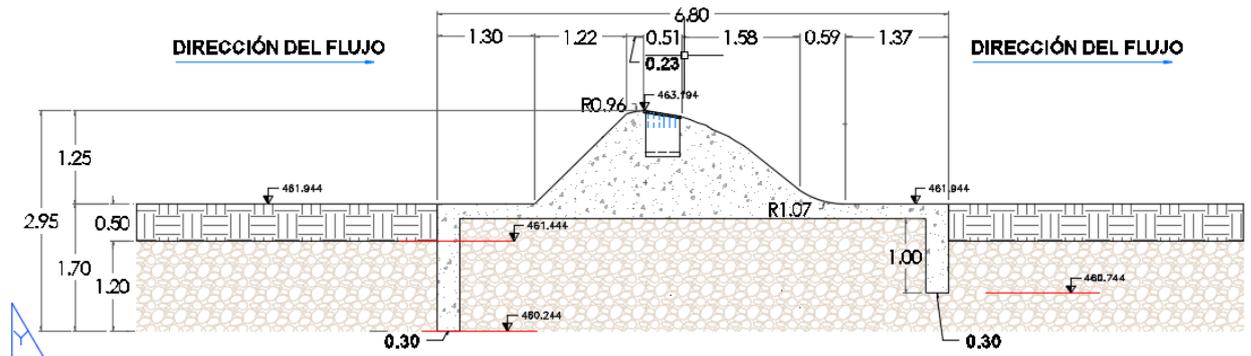


Figura 3.1 Diseño geométrico del azud. (Macas & Cajas, 2019)

### 3.1.3 Diseño estructural del azud

Se calculó una losa de un espesor igual a 20 cm, con una longitud de 6.80 m a lo largo del azud, y dos dentellones al inicio con una altura de 1.50 m y al final de 1.00 m de altura del dique de retención, con el fin de aumentar la línea de gradiente hidráulico y así evitar infiltraciones.

Para el refuerzo transversal del azud se requiere varillas con  $\Phi=12\text{mm}$  cada 20 cm.

Adicional se colocó mallas electrosoldadas de  $\Phi 8\text{mm} \times 10\text{cm} \times 10\text{cm}$ , en la parte superior y en la parte inferior a 10 cm del refuerzo transversal del azud, y en la losa en la parte superior e inferior con una separación de 10 cm.

Para los dentellones el refuerzo longitudinal y transversal consta de varillas de  $\Phi=12\text{mm}$  cada 20 cm, como se observa en la siguiente figura.

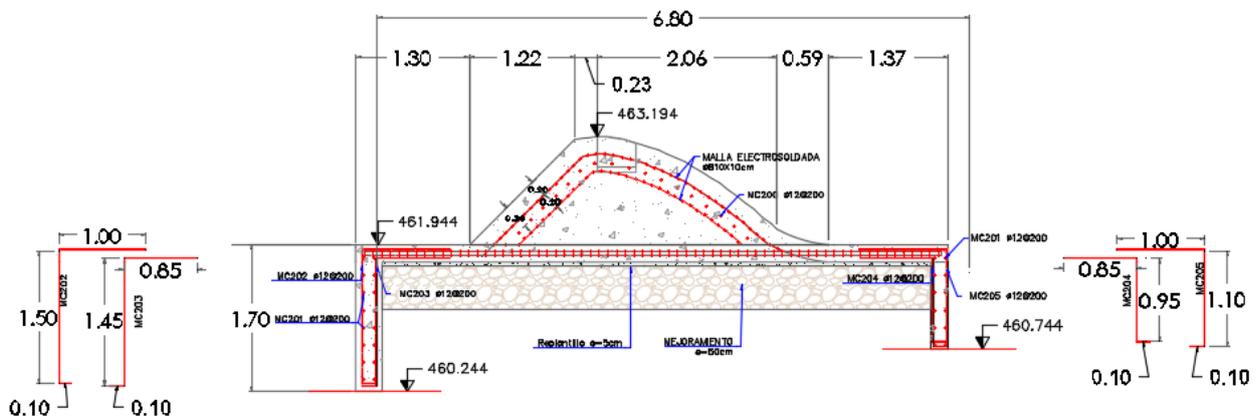


Figura 3.2 Diseño estructural del azud, losa y dentellones. (Macas & Cajas, 2019)

### 3.1.4 Diseño canal de aducción y rejilla

Se determinó las dimensiones y demás parámetros del canal de aducción, tal como se muestra en la Figura 3.3 y Figura 3.4.

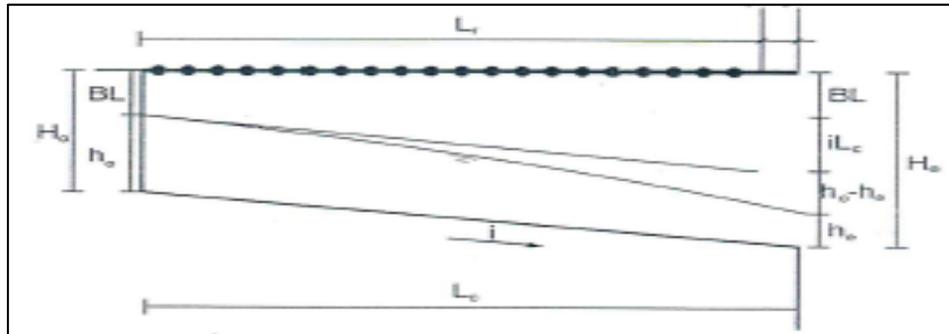


Figura 3.3 Bosquejo del canal de aducción. (López, 1995)

Tabla 3.8 Dimensiones del canal de aducción. (Macas & Cajas, 2019)

<b>Xs</b>	0.61	m
<b>Xi</b>	0.37	m
<b>B</b>	0.45	m
<b>he</b>	0.15	m
<b>ho</b>	0.20	m
<b>BL</b>	0.15	m
<b>Ho</b>	0.35	m
<b>He</b>	0.41	m
<b>An</b>	0.23	m <sup>2</sup>

Para la longitud del canal de aducción se consideró que estará ubicada en el centro de la contracción, su valor fue calculado teniendo en consideración que el tirante crítico será igual al tirante aguas abajo del canal de aducción.

### 3.1.5 Diseño de la cámara de recolección

Para el diseño de la cámara de recolección se calculó la velocidad de entrada a la cámara de recolección y distancias de alcance del agua para evitar desgaste del hormigón.

Tabla 3.9 Dimensionamiento de la cámara de recolección. (Macas & Cajas, 2019)

<b>Ve</b>	1.20	m/s
<b>Xi</b>	0.37	m
<b>Xs</b>	0.61	m
<b>L</b>	1.20	m
<b>FONDO</b>	1.60	m
<b>Vo</b>	0.88	m/s

H	0.85	m
---	------	---

Estas dimensiones se muestran en las Figuras Figura 3.4 y Figura 3.5

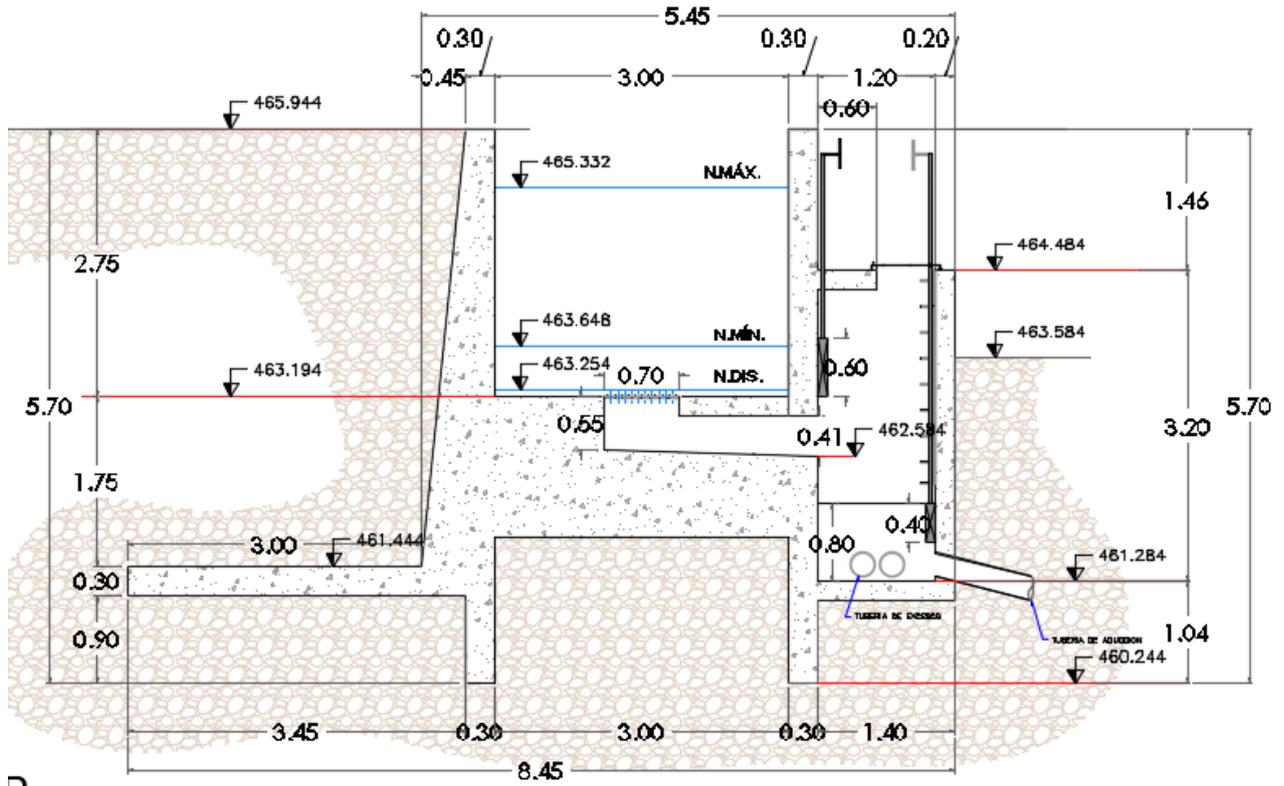


Figura 3.4 Corte transversal de la captación. (Macas & Cajas, 2019)

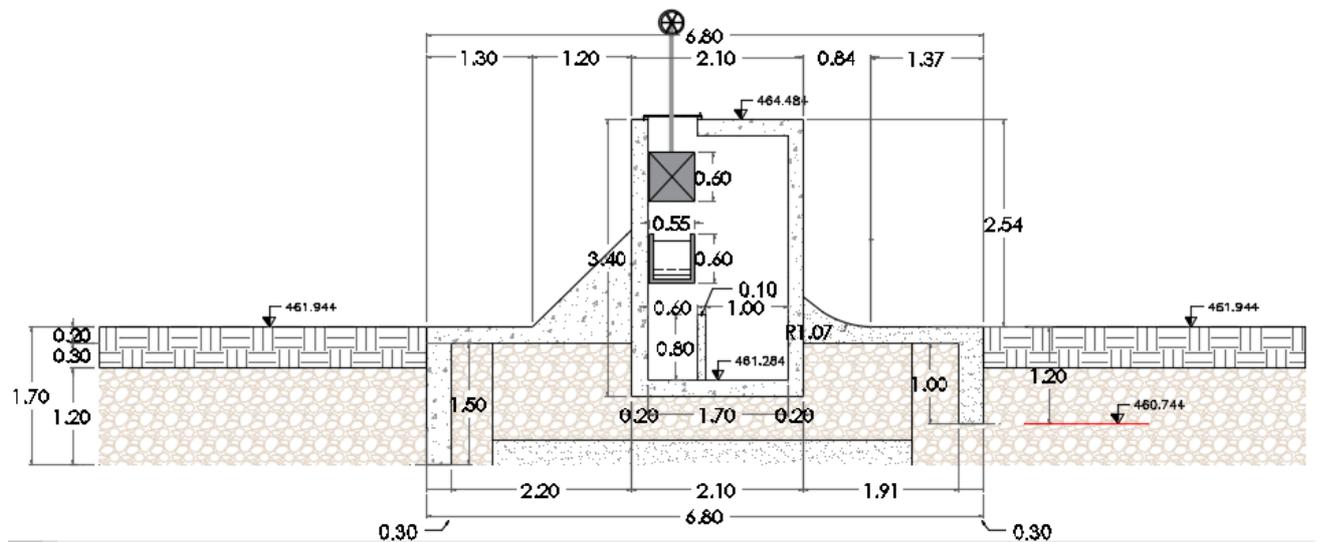


Figura 3.5 Corte longitudinal a la cámara de recolección. (Macas & Cajas, 2019)

### 3.1.6 Diseño del vertedero de excesos

Se calculó el caudal que puede captar la rejilla y se dimensionó la tubería para retornar al río, lo que no será conducido a la planta de tratamiento:

**Tabla 3.10 Caudal de excesos. (Macas & Cajas, 2019)**

$Q_{\text{captado}}$	0.44	$\text{m}^3/\text{s}$
$Q_{\text{exceso}}$	0.36	$\text{m}^3/\text{s}$
$H_{\text{exceso}}$	0.30	m
$V_{\text{exceso}}$	1	m/s
$X_s$	0.66	m
$L_s$	1.00	m

Para retornar el caudal de excesos al río se necesita 2 tuberías de 250 mm, salientes de la cámara de recolección como se indica en la Figura 3.4.

### 3.1.7 Diseño de los muros de ala

#### 3.1.7.1 Diseño geométrico

Se seleccionó un muro tipo voladizo. La estabilidad del muro respecto al volcamiento y deslizamiento, está dada por las condiciones de carga de servicio. Se inició estimando dimensiones y por medio de un proceso de ensayo y error, se verificó los valores obtenidos:

**Tabla 3.11 Dimensiones preliminares del muro. (Macas & Cajas, 2019)**

b, ancho del vástago	0.30	m
b1	3.45	m
b2	0.45	m
B, ancho total	3.75	m
H, altura vástago	4.50	m
E, espesor base	0.30	m
H', altura muro	4.80	m
b <sub>d</sub> , ancho llave	0.30	m
h1, altura llave	0.50	m
h <sub>s</sub> , altura relleno vástago	4.00	m

Las dimensiones se muestran en la siguiente figura:



**Tabla 3.14 Momentos resistentes. (Macas & Cajas, 2019)**

SECCIÓN	PESO (ton)	BRAZO DE MOMENTO (m)	Momento resistente respecto a C (ton-m)
1 (hormigón)	2.43	0.45	1.0935
2 (hormigón)	3.24	0.15	0.486
3 (hormigón)	2.7	1.875	5.0625
4 (hormigón)	0.36	0.15	0.054
5 (suelo)	1.224	0.60	0.7344
6 (suelo)	16.32	2.25	36.72
Pv	0	3.75	0
	$\Sigma V = 26.274$		$\Sigma M_R = 44.1504$

$$M_v = P_h \cdot H/3$$

$$M_v = 7.065 \text{ ton/m}$$

$$FS_{\text{volteo}} = \frac{\Sigma M_R}{\Sigma M_o} = \frac{44.1504}{7.065} = 6.2 > 3.0 \rightarrow OK$$

La estructura no fallará por volteo ya que cumple con el factor de seguridad mínimo igual a 3.0, establecido por la NEC\_SE\_GC

#### **Factor de seguridad contra el deslizamiento**

Para determinar el factor de seguridad contra el deslizamiento, se usó la siguiente expresión:

$$FS_{\text{deslizamiento}} = \frac{(\Sigma V) \tan(k_1 \phi'_2) + Bk_2 c'_2 + P_p}{\Sigma M_o}$$

Donde k1 y k2 se encuentran en el rango de 1/2 a 2/3, en este estudio se ha considerado k = 2/3

$$FS_{\text{deslizamiento}} = \frac{7.8659}{4.415} = 1.781 > 1.60$$

El muro tampoco fallará por deslizamiento, ya que supera el valor mínimo igual a 1.60, establecido por la NEC\_SE\_GC.

#### **Revisión del espesor de la pantalla o vástago**

$$V_u = 1.6 \cdot E_s$$

$$V_u = 1.6 * 4.41 = 7.056 \text{ ton}$$

$$d = \frac{V_u}{0.53 \cdot \Phi \cdot L \sqrt{f'_c}} = 10.61 \text{ cm}$$

El espesor del muro es el correcto.

#### **Factor de seguridad por capacidad de carga**

De acuerdo a la ecuación de Terzaghi, se determinó la capacidad portante,

El punto de aplicación de la resultante de cargas es:

$$x = \frac{\Sigma M_R - \Sigma M_o}{\Sigma V} = 1.411 \text{ m}$$

La excentricidad en la zapata del muro es:

$$e = \frac{B}{2} - x = 0.314 \text{ m}$$

$$\frac{B}{6} = 0.575 \text{ m}$$

Si  $e < B/6$ , la resultante cae en el primer tercio medio, lo cual ocasionara un diagrama trapezoidal de presiones de contacto con el suelo.

$$q_{\text{mín, talón}} = 3.492 \text{ ton/m}^2$$

$$q_{\text{máx, punta}} = 10.50 \text{ ton/m}^2$$

Como se observa los valores de  $q_{\text{máx}}$  y  $q_{\text{mín}}$  no exceden a la capacidad de carga admisible  $q_{\text{adm}} = 10.51 \text{ ton/m}^2$ , con ello se controla que no existan asentamientos excesivos.

El factor de seguridad de la capacidad de carga, está dado por:

$$FS_{\text{carga}} = \frac{q_{\text{adm}}}{q_{\text{máx}}} = \frac{10.51}{10.50} = 4.23 > 1.5$$

### 3.1.7.2 Diseño estructural de los muros de ala

Para determinar los momentos y el acero de refuerzo del vástago y la zapata del muro, se consideró a cada uno como una viga en voladizo, la base y la pantalla tienen las propiedades descritas en la Tabla 3.15

**Tabla 3.15 Parámetros del diseño a flexión. (Macas & Cajas, 2019)**

$f_c$	280	[kg/cm <sup>2</sup> ]
$E_c$	252,671.328	[kg/cm <sup>2</sup> ]
$E_s$	2,039,440	[kg/cm <sup>2</sup> ]
$f_y$	4,200	[kg/cm <sup>2</sup> ]

Se consideró que la sección crítica se presenta en la base del muro. Por lo tanto, el momento actuante en el pie del vástago está dado por:

$$M_u = \frac{1.6 \cdot \gamma_s \cdot H^3 K_a}{6}$$

$$M_u = 13.54 \text{ ton/m}$$

Se calculó el índice de refuerzo, para obtener la cuantía de acero requerida por el momento:

**Tabla 3.16 Valores de cuantía. (Macas & Cajas, 2019)**

$\omega$	0.001
$\rho$	0.0007
$\rho_{\min}$	0.0033
As (cm <sup>2</sup> /m)	23.33

Es de notar que la cuantía requerida por el muro en cuestión está por debajo de la mínima, la cuantía que regirá el diseño será  $\rho = 0.0033$

Adicional a los momentos calculados con las ecuaciones, se modeló el muro en el programa SAP 2000 para determinar la cantidad de acero que requiere a flexión. En las siguientes tablas se muestra las dimensiones del vástago considerado como viga, así como de la zapata o talón del muro, adicional la cuantía mínima que dicta el código ACI y la cuantía dada por el programa SAP 2000. En el caso que la cuantía del SAP sea inferior a la mínima, el diseño se lo realiza con  $\rho_{\min}$

**Tabla 3.17 Acero longitudinal del vástago del muro. (Macas & Cajas, 2019)**

CARA	PANTALLA CENTRAL				PANTALLA LATERAL			
	TOP FACE		BOT FACE		TOP FACE		BOT FACE	
<b>b [cm]</b>	100	100	100	100	100	100	100	100
<b>r [cm]</b>	5	5	5	5	5	5	5	5
<b>h [cm]</b>	40.00	75.00	40.00	75.00	40.00	75.00	40.00	75.00
<b>d [cm]</b>	35.00	70.00	35.00	70.00	35.00	70.00	35.00	70.00
<b><math>\rho_{\min}</math></b>	0.00333	0.00333	0.00333	0.00333	0.00333	0.00333	0.00333	0.00333
<b>As<sub>,min</sub> cm<sup>2</sup>/m</b>	11.655	23.31	11.655	23.31	11.655	23.31	11.655	23.31
<b>As<sub>,SAP</sub> cm<sup>2</sup>/m</b>	0.1	0	0	19	1.3	6.9	0	30
<b>As<sub>,refuerzo</sub> cm<sup>2</sup>/m</b>	11.655	23.31	11.655	23.31	11.655	23.31	11.655	30
<b><math>\Phi</math></b>	18	18	18	18	18	18	25	25
<b>#Varillas</b>	5	10	5	10	5	10	3	7
<b>S [cm]</b>	20	10	20	10	20	10	30	15

**Tabla 3.18 Acero transversal del vástago del muro. (Macas & Cajas, 2019)**

CARA	PANTALLA CENTRAL				PANTALLA LATERAL			
	TOP FACE		BOT FACE		TOP FACE		BOT FACE	
<b>L [cm]</b>	100	100	100	100	100	100	100	100
<b>r [cm]</b>	5	5	5	5	5	5	5	5
<b>h [cm]</b>	40.00	75.00	40.00	75.00	40.00	75.00	40.00	75.00

<b>d [cm]</b>	35.00	70.00	35.00	70.00	35.00	70.00	35.00	70.00
<b><math>\rho_{\min}</math></b>	0.0018	0.0018	0.0018	0.0018	0.0018	0.0018	0.0018	0.0018
<b><math>A_{s,\min}</math> [cm<sup>2</sup>/m]</b>	6.3	12.6	6.3	12.6	6.3	12.6	6.3	12.6
<b><math>A_{s,SAP}</math> [cm<sup>2</sup>/m]</b>	4.5	0	14	14	5.4	10.8	14	14
<b><math>A_{s,refuerzo}</math> [cm<sup>2</sup>/m]</b>	6.3	12.6	14	14	6.3	12.6	14	14
<b><math>\Phi</math></b>	14	18	20	20	14	18	20	20
<b>#Varillas</b>	5	5	5	5	5	5	5	5
<b>S [cm]</b>	20	20	20	20	20	20	20	20

**Tabla 3.19 Acero longitudinal de la zapata del muro. (Macas & Cajas, 2019)**

<b>CARA</b>	<b>TOP FACE INTERIOR</b>	<b>TOP FACE EXTERIOR</b>	<b>BOT FACE INTERIOR</b>	<b>BOT FACE EXTERIOR</b>
<b>b [cm]</b>	100	100	100	100
<b>r [cm]</b>	7	7	7	7
<b>h [cm]</b>	30.00	30.00	30.00	30.00
<b>d [cm]</b>	23.00	23.00	23.00	23.00
<b><math>\rho_{\min}</math></b>	0.00333	0.00333	0.00333	0.00333
<b><math>A_{s,\min}</math> [cm<sup>2</sup>/m]</b>	7.659	7.659	7.659	7.659
<b><math>A_{s,SAP}</math> [cm<sup>2</sup>/m]</b>	30	1.9	0	0
<b><math>A_{s,refuerzo}</math> [cm<sup>2</sup>/m]</b>	30	7.659	7.659	7.659
<b><math>\Phi</math></b>	25	25	18	18
<b>#Varillas</b>	7	2	4	4
<b>S [cm]</b>	15	45	25	25

**Tabla 3.20 Acero transversal de la zapata del muro. (Macas & Cajas, 2019)**

<b>CARA</b>	<b>TOP FACE INTERIOR</b>	<b>TOP FACE EXTERIOR</b>
<b>L [cm]</b>	100	100
<b>r [cm]</b>	7	7
<b>h [cm]</b>	30.00	30.00
<b>d [cm]</b>	23.00	23.00
<b><math>\rho_{\min}</math></b>	0.0018	0.0018
<b><math>A_{s,\min}</math> [cm<sup>2</sup>/m]</b>	4.14	4.14
<b><math>A_{s,SAP}</math> [cm<sup>2</sup>/m]</b>	8.4	10
<b><math>A_{s,refuerzo}</math> [cm<sup>2</sup>/m]</b>	8.4	10
<b><math>\Phi</math></b>	16	16
<b>#Varillas</b>	5	5
<b>S [cm]</b>	20	20

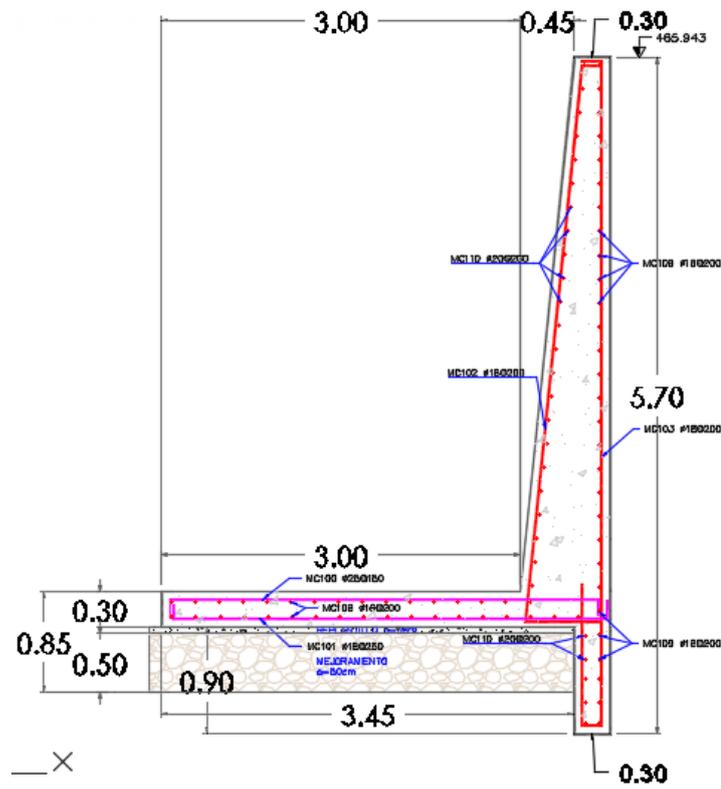


Figura 3.7 Diseño estructural de la pantalla central del muro. (Macas & Cajas, 2019)

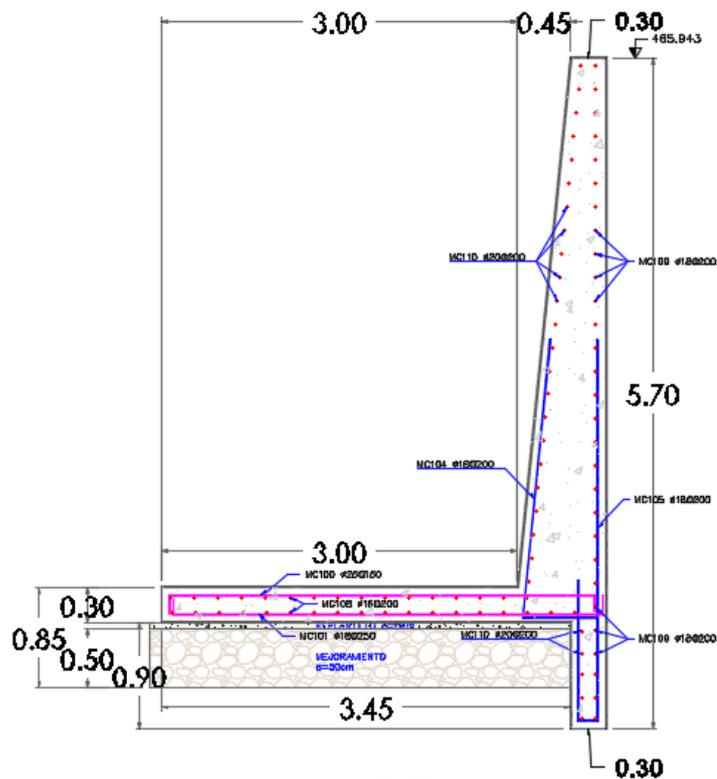


Figura 3.8 Diseño estructural de la pantalla central del muro. (Macas & Cajas, 2019)

### 3.2 Diseño de la línea de conducción

Es un proceso iterativo, en el cual se halló el valor del diámetro de la tubería más económico cumpliendo con límites de velocidad y presión. A continuación, se muestra los valores de la última iteración de la línea de conducción.

**Tabla 3.21 Diseño hidráulico de la línea de conducción. (Macas & Cajas, 2019)**

Qd	0.071878	m <sup>3</sup> /s
Material	PVC	
Chezy	150.00	
Cota inicio	457.940	m
Cota planta	409.400	m
H: Carga hidráulica disponible	47.78649	m
L	1822.00	m
J = H/L	2.62%	
Diámetro calculado	0.19	m
Diámetro comercial	250	mm
Diámetro interno	239.2	mm
Presión de trabajo	0.80	Mpa
Jreal	0.008	
V	1.600	m/s
$h=d+1.5 v^2/2g$	0.4348	OK
Presión estática máxima	57.940	
Presión diseño estática	75.322	OK

Como se observa en la Tabla 3.21 los valores de velocidad y presión de trabajo no exceden a los permitidos: 4.5 m/s y 0.80 MPa, respectivamente.

Luego se determinan la cantidad de accesorios en la línea, ya que se deben calcular las pérdidas que ocasionan estos mecanismos, la suma de estas pérdidas definirá la cota piezométrica real.

**Tabla 3.22 Pérdidas por accesorios. (Macas & Cajas, 2019)**

Accesorio	Cantidad	k	h <sub>f</sub>	
Inicio (salida sedimentador)	1	0.5	0.0652	m
Válvula de control	3	0.2	0.0782	m
4 válvulas de purga (tee de paso directo)	4	0.6	0.3130	m

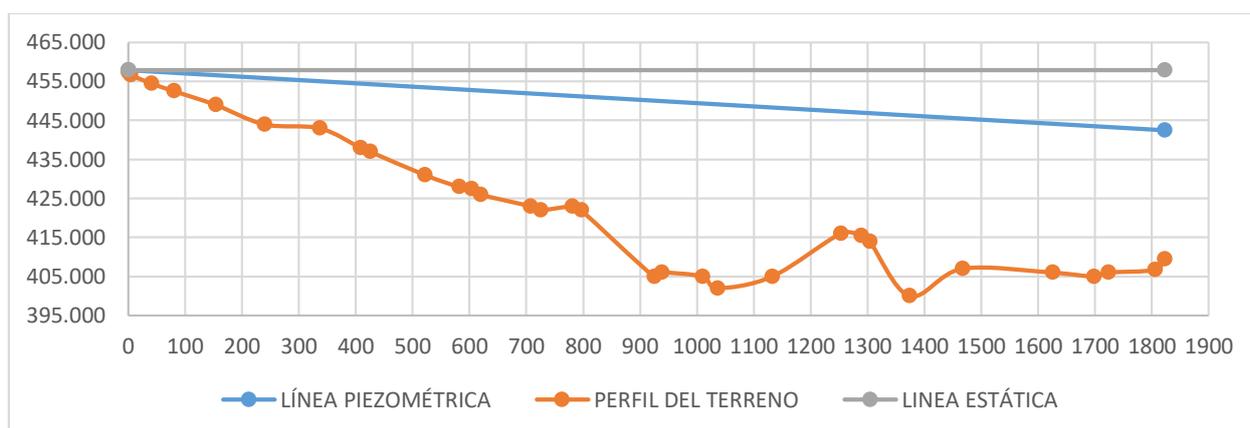
1 tee de paso lateral (planta)	1	1.3	0.1695	
Codos 22.5°	1	22.5	0.0000	
Codos 45°	2	45	0.0461	
Codos 90	2	90	0.0652	
Final línea (llegada a la planta)	1	1	0.1304	m

$$h_f = 0.7372 \text{ m}$$

$$\text{Cota piezométrica} = z_{\text{inicio}} - J_{\text{real}} \cdot L - h_f$$

$$\text{Cota piezométrica} = 442.51 \text{ m}$$

Como se observa la línea piezométrica se encuentra por arriba de la cota de la PTAP, con una diferencia de 33.1 m,



**Figura 3.9** Línea estática, piezométrica y perfil del terreno natural. (Macas & Cajas, 2019)

### Verificación por golpe de ariete

Se observan que existen 4 puntos donde se requieren válvulas de aire y de purga, además de un punto de control en la abscisa: 0+979m, por lo que a continuación se menciona el caso más crítico, el resto de puntos vulnerables están anexados en el Apéndice D.4

**Tabla 3.23** Parámetros del golpe de ariete. (Macas & Cajas, 2019)

k	18.0	
e	0.0054	m
D interno	0.2392	m
C	340.443	m/s
ha, sobrepresión	55.509	m
Cota lámina de agua	457.940	m
Presión de trabajo	80.000	m
Periodo	10.704	s

**Tabla 3.24 Verificación del golpe de ariete. (Macas & Cajas, 2019)**

<b>Válvula de purga X=</b>	<b>1375.000</b>	<b>m</b>
Cota de la válvula	400.000	m
Cota piezométrica	445.000	
Tiempo de parada	1.756	Allievi
Longitud crítica	298.858	Allievi
$\Delta H$ , sobrepresión	55.509	m
P estática válvula	57.940	m
Presión negativa	2.431	m
Vacío Mendiluce	-0.277	m
P total de la válvula	113.449	m

Es de notar que las presiones en la tubería exceden a la presión de trabajo = 0.80 MPa, por lo que se realizará un cierre de maniobra lenta, es decir se cerrará las válvulas no en el tiempo de parada estimado sino en tiempo igual al periodo de la onda  $T = 11$  segundos, esto se debe hacer también para los siguientes puntos: 0+725, 1+035 y 1+375.

### 3.3 Cálculo de cotas

A continuación, se muestra un resumen de cotas en los puntos más destacados de la captación y línea de conducción.

Se parte de la cota de fondo del río en la captación = 463.194 m.

**Tabla 3.25 Cálculo de cotas. (Macas & Cajas, 2019)**

<b>Lámina sobre la presa</b>		
Diseño	463.254	m
Máxima	465.332	m
Mínima	463.648	m
<b>Canal de aducción</b>		
Fondo aguas arriba	462.644	m
Fondo aguas abajo	462.584	m
Lámina aguas arriba	462.842	m
Lámina aguas abajo	462.730	m
<b>Cámara de recolección</b>		
Lámina de agua	462.384	m
Cresta del vertedero de excesos	462.086	m

Fondo cámara	461.286	m
<b>Tubería de excesos</b>		
Cota de entrada	461.286	m
Cota del río, entrega	452.219	*Topografía
Cota de salida	452.719	m
<b>Desarenador</b>		
Entrada desarenador	459	m
Salida desarenador	456.24	m
Lámina de agua cámara	457.94	m

### 3.4 Análisis de Costos

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P.U.	P. TOTAL
<b>OBRAS PRELIMINARES</b>				<b>\$ 13,315.14</b>
Desbroce, desbroce y limpieza del área del proyecto	Ha	0.40	\$ 735.89	\$ 294.36
Desalojo de material de desbroce, desbroce y limpieza del área del proyecto	m <sup>3</sup> /km	250.00	\$ 0.39	\$ 97.50
Demolición de la estructura de captación existente (Incluye Desalojo)	m <sup>3</sup>	70.50	\$ 7.19	\$ 506.90
Trazado y replanteo para la estructura de captación	m <sup>2</sup>	72.51	\$ 1.29	\$ 93.54
Trazado y replanteo para la línea de conducción	m	2083.06	\$ 0.54	\$ 1,124.85
Trazado y replanteo para el desvío del río	m <sup>2</sup>	358.45	\$ 1.27	\$ 455.23
Alquiler de caseta de guardianía, bodega de almacenamiento y oficinas de obras	mes	4.00	\$ 907.50	\$ 3,630.00
Suministro e instalación mecánica de tubería PVC tipo BIAx, $\Phi = 250$ mm, P = 0.80 Mpa	m	152.70	\$ 46.58	\$ 7,112.77
<b>DESIVIO DEL RÍO</b>				<b>\$ 14,049.42</b>
Conformación del canal de desvío con material de sitio (Talud, Obtención de material y conformación)	m	161.06	\$ 4.82	\$ 776.31
Excavación a máquina menor a 2 metros	m <sup>3</sup>	414.40	\$ 2.58	\$ 1,069.15
Extracción de material pétreo (Piedra) con máquina en presencia de agua menor a 2 metros	m <sup>3</sup>	23.56	\$ 3.52	\$ 82.94
Desalojo de material de excavación	m <sup>3</sup> /km	386.71	\$ 0.39	\$ 150.82
Bombeo para extracción de agua en excavaciones (D= 3in)	hora	250.00	\$ 6.55	\$ 1,637.50
Llenado de sacos con material de sitio (río)	u	6480.00	\$ 0.37	\$ 2,397.60
Conformación de núcleo impermeable (A máquina)	u	6480.00	\$ 1.13	\$ 7,322.40
Instalación de Geomembrana HDPE Imm	m <sup>2</sup>	37.40	\$ 7.51	\$ 280.87
Enrocado del núcleo impermeable (Piedra del río)	m <sup>3</sup>	21.42	\$ 9.44	\$ 202.20
Relleno en el pie del dique de contención (Material de sitio)	m <sup>3</sup>	20.16	\$ 6.43	\$ 129.63
<b>SISTEMA DE CAPTACIÓN (BOCATOMA)</b>				<b>\$ 96,098.07</b>
<b>Componente Estructural</b>				<b>\$ 93,694.50</b>
<b>Muros de Ala</b>				<b>\$ 85,778.17</b>
Excavación a máquina menor a 2 metros	m <sup>3</sup>	288.40	\$ 2.58	\$ 744.07
Excavación a máquina mayor a 2 metros	m <sup>3</sup>	66.08	\$ 2.83	\$ 187.01
Desalojo de material de excavación	m <sup>3</sup> /km	372.21	\$ 0.39	\$ 145.16
Replanteo y nivelación	m <sup>2</sup>	100.00	\$ 1.08	\$ 108.00
Hormigón premezclado f'c = 300 kg/cm <sup>2</sup> , incluye inhibidor de corrosión, aditivos y transporte.	m <sup>3</sup>	129.50	\$ 188.28	\$ 24,382.26
Hormigón simple para replantillo ( e = 0.05m), f'c = 180 kg/cm <sup>2</sup> , hecho en obra.	m <sup>2</sup>	100.00	\$ 8.89	\$ 889.00
Encofrado y desencofrado recto triplex, incluye desmoldante	m <sup>2</sup>	416.56	\$ 10.28	\$ 4,282.24
Acero de refuerzo fy = 4200 kg/cm <sup>2</sup>	Kg	21937.99	\$ 2.46	\$ 53,967.46
Suministro e instalación de compuertas metálicas (Ingreso a la cámara de recolección)	u	3.00	\$ 347.82	\$ 1,043.46
Juntas de construcción de PVC, para estructuras de hormigón contenedoras de agua.	m	12.00	\$ 2.46	\$ 29.52
<b>Muro de Retención (Dique)</b>				<b>\$ 3,291.25</b>
Hormigón premezclado f'c = 300 kg/cm <sup>2</sup> , incluye inhibidor de corrosión, aditivos y transporte.	m <sup>3</sup>	9.50	\$ 188.28	\$ 1,788.66
Acero de refuerzo fy = 4200 kg/cm <sup>2</sup>	Kg	60.41	\$ 2.40	\$ 144.98
Encofrado y desencofrado curvo triplex, incluye desmoldante	m <sup>2</sup>	15.50	\$ 12.81	\$ 198.56

Suministro e instalación de rejilla 0.70 x 0.45 m de acero inoxidable con barros $\Phi = 3/4$ in, incluye marco y anclajes al hormigón	u	1.00	\$ 229.69	\$ 229.69
Extracción de material pétreo (Piedra) con máquina en presencia de agua menor a 2 metros	m3	28.44	\$ 3.52	\$ 100.11
Enrocado con material de sitio e=0.50 m	m2	49.41	\$ 6.40	\$ 316.22
Suministro y armado del dique y losa de cimentación con malla electrosoldada 10x10x8 mm	m2	73.50	\$ 6.98	\$ 513.03
<b><u>Cámara de Recolección</u></b>				<b>\$ 4,625.08</b>
Relleno compactado con material de mejoramiento importado (incluye transporte)	m3	20.90	\$ 17.14	\$ 358.23
Replanteo y nivelación	m2	3.15	\$ 1.08	\$ 3.40
Hormigón simple para replantillo ( e = 0.05m), f'c = 180 kg/cm <sup>2</sup> , hecho en obra.	m2	3.15	\$ 8.89	\$ 28.00
Hormigón premezclado f'c = 300 kg/cm <sup>2</sup> , incluye inhibidor de corrosión, aditivos y transporte.	m3	4.00	\$ 188.28	\$ 753.12
Acero de refuerzo fy = 4200 kg/cm <sup>2</sup>	Kg	514.97	\$ 2.40	\$ 1,235.93
Encofrado y desencofrado recto triplex, incluye desmoldante	m2	25.16	\$ 10.28	\$ 258.64
Suministro e instalación mecánica de tubería PVC tipo BIAx, $\Phi = 250$ mm, P = 0.80 Mpa	m	34.40	\$ 46.83	\$ 1,610.95
Suministro e instalación de tapa metálica de ingreso para cámara de recolección 0.60 x 0.60 m, incluye marco y contramarco	u	1.00	\$ 88.02	\$ 88.02
ESCALERA METÁLICA (INCLUYE PELDAÑOS CON VARILLA $\phi$ 16 MM, FY=4200 Kg/cm <sup>2</sup> , (SOLDADURA AWS E-6011), ÁNGULOS, Y PROTECCIÓN ANTICORROSIVA. H= 1.60 m	u	1.00	\$ 150.20	\$ 150.20
Juntas de construcción de PVC, para estructuras de hormigón contenedoras de agua.	m	6.80	\$ 20.38	\$ 138.58
<b>Componente Geotécnico</b>				<b>\$ 2,403.56</b>
<b><u>Cimentación (Dentellon)</u></b>				<b>\$ 2,403.56</b>
Excavación a máquina menor a 2 metros (Dentellon y mejoramiento del suelo)	m3	48.69	\$ 2.58	\$ 125.62
Excavación a máquina mayor a 2 metros (Dentellon y mejoramiento del suelo)	m3	26.11	\$ 2.83	\$ 73.89
Desalajo de material de excavación	m3	78.54	\$ 0.39	\$ 30.63
Replanteo y nivelación	m2	19.30	\$ 1.08	\$ 20.84
Relleno compactado con material de mejoramiento importado seleccionado para la captación incluye transporte	m3	17.66	\$ 17.14	\$ 302.69
Hormigón simple para replantillo ( e = 0.05m), f'c = 180 kg/cm <sup>2</sup> , hecho en obra. (Para los Deltallon y base del Azud)	m2	22.26	\$ 8.89	\$ 197.89
Hormigón premezclado f'c = 300 kg/cm <sup>2</sup> , incluye inhibidor de corrosión, aditivos y transporte.	m3	3.05	\$ 188.28	\$ 573.69
Acero de refuerzo fy = 4200 kg/cm <sup>2</sup>	Kg	221.21	\$ 2.40	\$ 530.91
Encofrado y desencofrado recto triplex, incluye desmoldante	m2	50.92	\$ 10.75	\$ 547.39
<b>LÍNEA DE CONDUCCIÓN</b>				<b>\$ 156,056.67</b>
<b>Componente hidráulico</b>				<b>\$ 154,428.34</b>
<b><u>Línea de conducción</u></b>				<b>\$ 154,428.34</b>
Excavación a mano	m3	1041.00	\$ 11.53	\$ 12,002.73
Cama de arena (Incluye base, entre y sobre el tubo)	m3	998.18	\$ 21.76	\$ 21,720.40
Relleno compactado con material producto de la excavación incluye compactación con equipo liviano	m3	575.86	\$ 7.00	\$ 4,031.02
Suministro e instalación de tubería PVC tipo BIAx, $\Phi = 250$ mm, P = 0.80 Mpa (Línea de conducción; Desarenador - PTAP) (Incluye prueba de presión)	m	1823.00	\$ 48.83	\$ 89,017.09

Suministro e instalación de codos L/R U/Z 22.5° de $\Phi = 250$ mm, P:0.80 Mpa	u	4.00	\$ 180.22	\$ 720.88
Suministro e instalación de codos L/R U/Z 45° de $\Phi = 250$ mm, P:0.80 Mpa	u	11.00	\$ 180.22	\$ 1,982.42
Suministro e instalación de válvulas de purga D = 63 mm	u	4.00	\$ 680.34	\$ 2,721.36
Suministro e instalación de tee reductora U/Z de 250 mm a 63 mm, P:0.80 Mpa	u	4.00	\$ 624.82	\$ 2,499.28
Suministro e instalación de tee reductora U/Z de 250 mm a 110 mm, P:0.80 Mpa	u	2.00	\$ 607.58	\$ 1,215.16
Suministro e instalación de válvulas de aire D = 250 mm	u	4.00	\$ 318.25	\$ 1,273.00
Suministro e instalación de válvulas de compuerta de cierre con extremos bridados D = 250 mm	u	3.00	\$ 3,956.14	\$ 11,868.42
Suministro e instalación de tubería PVC tipo BIAx, $\Phi = 160$ mm, P = 0.80 Mpa (Neplos de L=0.70m)	m	4.90	\$ 19.07	\$ 93.44
Suministro e instalación de tubería PVC tipo BIAx, $\Phi = 110$ mm, P = 0.80 Mpa (Conexiones en la PTAR y Neplos de L= 0.60 m)	m	13.60	\$ 11.18	\$ 152.05
Suministro e instalación de tubería PVC tipo UZ, $\Phi = 63$ mm, P = 0.80 Mpa (Neplos para conectar Valv. Purga, L: 0.50 m)	m	2.00	\$ 6.43	\$ 12.86
Suministro e instalación mecánica de tubería PVC tipo BIAx, $\Phi = 250$ mm, P = 0.80 Mpa (Línea de aducción; Captación - Desarenador)	m	75.02	\$ 46.83	\$ 3,513.19
Excavación a mano (Anclajes)	m3	17.80	\$ 12.01	\$ 213.78
Compactación de la base de las cajas de revisión (Anclajes)	m2	20.40	\$ 1.16	\$ 23.66
Hormigón $f_c = 210$ kg/cm <sup>2</sup> , hecho en obra, incluye encofrado. (Anclajes)	m3	8.10	\$ 168.84	\$ 1,367.60
<b>Componente estructural</b>				<b>\$ 1,628.33</b>
<b>Cámaras de revisión</b>				<b>\$ 1,628.33</b>
Excavación a mano	m3	3.75	\$ 8.67	\$ 32.51
Compactación de la base de las cajas de revisión	m2	4.00	\$ 1.16	\$ 4.64
Hormigón $f_c = 210$ kg/cm <sup>2</sup> , hecho en obra.	m3	4.52	\$ 124.41	\$ 562.33
Suministro y armado de las cajas con malla electrosoldada de 15 x 15 x 5.5mm	m2	32.40	\$ 5.83	\$ 188.89
Encofrado y desencofrado recto triplex, incluye desmoldante	m2	35.20	\$ 8.67	\$ 305.24
Relleno compactado con material de mejoramiento importado, incluye transporte. (Cámara junto al desarenador)	m3	1.60	\$ 17.14	\$ 27.42
Desalojo de material de excavación (Cámara junto al desarenador)	m3	1.58	\$ 0.39	\$ 0.62
Hormigón simple para replantillo ( $e = 0.05$ m), $f_c = 180$ kg/cm <sup>2</sup> , hecho en obra. (Cámara junto al desarenador)	m2	3.00	\$ 8.89	\$ 26.67
Acero de refuerzo $f_y = 4200$ kg/cm <sup>2</sup>	Kg	200.00	\$ 2.40	\$ 480.00
<b>SEGURIDAD LABORAL, SALUD OCUPACIONAL Y MEDIO AMBIENTE</b>				<b>\$ 22,841.16</b>
<b>Seguridad</b>				<b>\$ 5,353.97</b>
Suministro e instalación de letrero Señalética en metálico tamaño 30 x 45 cm simbología "Área restringida"	u	1.00	\$ 44.42	\$ 44.42
Suministro e instalación de letrero Señalética en metálico tamaño 20 x 30 cm simbología "Usar casco"	u	3.00	\$ 15.55	\$ 46.65
Suministro e instalación de letrero Señalética en metálico tamaño 20 x 30 cm simbología "Usar botas"	u	3.00	\$ 15.55	\$ 46.65
Suministro e instalación de letrero Señalética en metálico tamaño 20 x 30 cm simbología "Usar chaleco"	u	3.00	\$ 15.55	\$ 46.65
Suministro e instalación de letrero Señalética tamaño 20 x 40 cm simbología "Ruta de evacuación"	u	4.00	\$ 43.38	\$ 173.52
Suministro e instalación de Señalética "Punto de Encuentro" tamaño 40 x 60 cm, incluye parante de tubería HG 1 1/2"	u	2.00	\$ 267.73	\$ 535.46

Suministro e instalación de letrero Señalética tamaño 30 x 45 cm simbología "Extintor"	u	2.00	\$ 44.42	\$ 88.84
Suministro e instalación de letrero Señalética tamaño 20 x 30 cm simbología "Número de Emergencia 911"	u	2.00	\$ 15.55	\$ 31.10
Suministro e instalación de letrero Señalética tamaño 60 x 90 cm, pintura reflectiva; leyenda y dibujo "Atención Zona de obras", incluye parante de tubería HG 1 1/2"	u	2.00	\$ 82.78	\$ 165.56
Suministro e instalación de letrero Señalética tamaño 60 x 90 cm, pintura reflectiva; leyenda y dibujo "Peligro maquinaria pesada en movimiento"	u	2.00	\$ 82.78	\$ 165.56
Extintor contra incendio material PQS , capacidad 20lb	u	2.00	\$ 82.78	\$ 165.56
Suministro de cintas reflectivas de seguridad	m	3000.00	\$ 0.17	\$ 510.00
Suministro de Kits de EPPs	u	20.00	\$ 110.04	\$ 2,200.80
Conos de seguridad	u	10.00	\$ 19.54	\$ 195.40
Parantes de caña h=1.5m con base de hormigón 40x40x15	u	20.00	\$ 6.53	\$ 130.60
Charla de uso de equipos de seguridad	u	2.00	\$ 403.60	\$ 807.20
<b>Salud</b>				<b>\$ 418.18</b>
Botiquín plástico de primeros auxilios, con leyendas identificadora en la pared de la caseta de guardiana	u	1.00	\$ 19.86	\$ 19.86
Baterías sanitarias	u	2.00	\$ 199.16	\$ 398.32
<b>Ambiental</b>				<b>\$ 17,069.01</b>
Control de polvo (Riego de agua)	m3	1600.00	\$ 4.93	\$ 7,888.00
Suministro e instalación de tanques para el almacenamiento de desechos sólidos (Tanques metálicos de 55 galones)	u	6.00	\$ 53.00	\$ 318.00
Charla de inducción al plan de manejo ambiental	u	1.00	\$ 403.60	\$ 403.60
Taller: Usos del agua	u	1.00	\$ 434.52	\$ 434.52
Taller: Manejo de desechos sólidos	u	2.00	\$ 403.60	\$ 807.20
Monitoreo calidad de aire (PM10; PM2.5; NO2; SO2; CO; OZONO 3)	u	1.00	\$ 575.66	\$ 575.66
Monitoreo para fuentes móviles de ruido (vehículos de carga, peso 3.5 ton hasta 12 ton)	u	1.00	\$ 364.92	\$ 364.92
Relleno compactado con material de mejoramiento para el canal del desvío de río	m3	344.67	\$ 17.14	\$ 5,907.64
Reforestación del área ocupada para el desvío del río	Ha	0.33	\$ 1,119.59	\$ 369.46
			<b>SUBTOTAL</b>	\$ 302,360.46
			<b>IVA (12%)</b>	\$ 36,283.25
			<b>COSTO TOTAL DE LA OBRA</b>	<b>\$ 338,643.71</b>

Para el análisis de costos, se describió todos los rubros por cada producto terminado, y se realizó el análisis de precios unitarios, en base a presupuestos de proyectos con condiciones semejantes y a la experticia del tutor del área. El presupuesto contempla productos como:

- Obras preliminares
- Desvío del río
- Sistema de captación
- Línea de conducción
- Seguridad Laboral, Salud Ocupacional y Medio Ambiente.

Los costos presentados incluyen los indirectos, que se estiman alrededor del 21% del total de la obra.

# CAPÍTULO 4

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 Conclusiones

- De la investigación realizada y el diagnóstico de la estructura actual, se concluye que no es factible la repotenciación de la captación, debido a los daños irreparables que presenta, además esta estructura ya cumplió con su vida útil; por lo tanto, es necesario realizar la demolición de la misma para la construcción de una nueva estructura que cumpla con los requerimientos y especificaciones de diseño.
- Por medio de la Curva de Duración de Caudales se pudo estimar el caudal promedio ( $17.26 \text{ m}^3/\text{s}$ ), mínimo ( $1.69 \text{ m}^3/\text{s}$ ) para un periodo de retorno de  $T= 50$  años.
- Del estudio de suelos, se establece que las calicatas realizadas en el lugar pertenecen a un suelo tipo SM es decir, arena limosa con grava de baja plasticidad, y de media a baja permeabilidad.
- El caudal de diseño para la captación es  $0.0784 \text{ l/s}$ , que comparado con el mínimo caudal que ofrece el río ( $1.69 \text{ m}^3/\text{s}$ ), demuestra que el Estero del Pescado brinda suficiente líquido vital para abastecer a la población de Caluma Nuevo, ya que no supera el caudal ecológico del río.
- El dique de retención y los muros de contención se han diseñado para las condiciones más desfavorables, con una altura de muros igual a  $4.50 \text{ m}$ , para soportar las máximas avenidas, en estas estructuras también se han colocado dentellones con el fin de evitar el deslizamiento y en el dique aumentar el gradiente hidráulico para evitar filtraciones.
- De acuerdo a las exigencias de la máxima autoridad ambiental, el Ministerio del Ambiente, se establece que el proyecto en cuestión requiere un Registro Ambiental.
- El presupuesto total de la obra contempla rubros como: Obras preliminares, Desvío del río, Sistema de captación, Línea de conducción, Seguridad Laboral, Salud Ocupacional y Medio Ambiente; y su valor es de aproximadamente  $\$338,643.71$ , incluido IVA.
- De acuerdo al cronograma de ejecución de obra, se estima que el proyecto tendrá una duración de  $73$  días laborables o alrededor de unos  $3$  meses y medio.

## **4.2 Recomendaciones**

- El Municipio de Caluma debe realizar los trámites necesarios con las entidades gubernamentales pertinentes, para obtener la concesión del agua para el tratamiento y posterior consumo de la población.
- El diseño realizado contempla servir a la comunidad del Pescado, dado que actualmente es abastecida por una línea directa desde el río sin tratamiento, por tal motivo será necesario considerar abastecer a esta población desde la planta de tratamiento y considerar la instalación de una estación de bombeo y tanque de reserva para su abastecimiento.
- Se recomienda el análisis final del presente estudio que incluya un estudio detallado del suelo y de niveles, previo a la ejecución de la obra.
- Finalmente se requiere la construcción del proyecto, dado que el actual sistema se encuentra colapsado y la población sufre a diario el déficit del líquido vital. La construcción de este proyecto mejorará la calidad de vida de la población.
- La construcción del proyecto deberá realizarse en época de estiaje, dado que se requiere la desviación del río mientras se construye la estructura de captación.

# BIBLIOGRAFÍA

- Ankum, p. (2002). *Design of open channels and hydraulic structures*.
- Aparicio, F. (1997). *Fundamentos de hidrología de superficie*. México: LIMUSA.
- Arcadia. ((2019). *Normativa de Impacto medio ambiental*. Retrieved from <http://www.mecontuc.gov.ar/dpv/descargas/EIA/EIA%20RP%20327/CAPITULO%206%20PDF/EIA%20RP%20327-CAP.06-TX.pdf>
- Block, A. (2018). *Retaining Walls*. Bloomington: Allan Block.
- Budhu, M. (2011). *Soil Mechanics and Foundations* (3 ed.). Arizona: John Wiley & Sons, INC.
- Camacho, M. (2014). *Control y evaluación de la planta de tratamiento de agua potable y su incidencia en la calidad de vida de los habitantes de Caluma Nuevo del cantón Caluma – provincia de Bolívar” Tesis de Grado*. Ambato, Ecuador: UTA.
- Castro, J. & Rizzo, R. (2019). *Análisis de la situación actual y solución para mejorar la red de abastecimiento y distribución del agua potable del cantón Caluma*. Guayaquil, Ecuador: ESPOL.
- Chow, V. (1994). *Hidrología Aplicada*. Colombia: McGraw-Hill.
- Chow, V. (2000). *Hidráulica de canales abiertos*. California.: McGraw Hill.
- Corcho, F. & Duque, J. (1993). *Acueductos. Teoría y Diseño*. Medellín, Colombia: Universidad de Medellín. Centro general de investigaciones.
- Das, B. & González, R. (2001). *Fundamentos de ingeniería geotécnica* (4 ed.). (S. Cervantes, Ed.) México: Thomson Learning.
- Das, B. (2012). *Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones* (7 ed.). México: CENGAGE Learning.
- De Azevedo, J. & Fernández, M. (2015). *Manual de Hidráulica* (9° ed.). Brasil: Editora Edgard Blücher.
- Fattorelli, S., & Fernández, P. (2011). *Diseño Hidrológico* (2 ed.). Zaragoza: WASA-GN.
- Krochin, S. (1968). *Diseño Hiráulico*. Quito, Ecuador: Editorial Universitaria.
- López, R. (1995). *Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados*. Bogotá, Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Mataix, C. (1986). *Mecánica de Fluidos y Máquinas hidráulicas* (2 ed.). Madrid, España: Ediciones del Castillo.

- McCormac, J. & Brown, R. (2011). *Diseño de cConcreto Reforzado* (8 ed.). México: ALFAOMEGA.
- Méndez, M. (1995). *Tuberías a presión en los sistemas de abastecimiento de agua*. Caracas, Venezuela: Universidad Católica Andrés Bello.
- MIDUVI. (2015). *NEC-SE-DS-Peligro-Sísmico-parte-1*. Ecuador: Dirección de Comunicación Social.
- Moreno, J. (2004). *Especificaciones técnicas para el diseño de captaciones por garvedad de aguas superficiales*. Lima: Organización Panamericana de la Salud.
- Novak, P. (2006). *Huydraulic Structures* (4 ed.). New York: Taylor & Francis.
- Ordoñez, J. (2011). *Qué es una cuenca hidrológica*. Lima: Sociedad Geográfica de Lima.
- Plaza, G., & Yépez, H. (1998). *Manual para la mitigación de desastres naturales en sistemas rurales de agua potable*. Quito, Ecuador: Organización Panamericana de la Salud. Retrieved from <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/021051/MANUALPARAMITIGACIONDEDESATRES/man-libro.pdf>
- Rocha, A. (2003). *La Bocatoma, estructura clave de un proyecto de aprovechamiento hidráulico*. Piura: XI Congreso Nacional de Estudiantes de Ingeniería Civil (CONEIC).
- Sandoval, W. (2018). *Diseño de Obras Hidrotécnicas*. Quito, Ecuador: ESPE.
- SENAGUA. (2012). *Normas para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes*. Ecuador.
- USBR. (1987). *Design of Small Dams*. Washington: A water resources technical.